



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“ELECTRIFICACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA
DEL CASERÍO SAN JUAN DE DIOS UBICADO EN EL DISTRITO
DE CALLAYUC - CUTERVO - CAJAMARCA”**

Autor:

Bach. GHAMIR YAN KLEIN ROJAS DÍAZ

Asesor:

Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Agosto del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“ELECTRIFICACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA
DEL CASERÍO SAN JUAN DE DIOS UBICADO EN EL
DISTRITO DE CALLAYUC - CUTERVO - CAJAMARCA”**

Presentado Por:

Bach. GHAMIR YAN KLEIN ROJAS DÍAZ

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

SECRETARIO: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

MIEMBRO: Dr. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE

ASESOR: Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

Lambayeque – Perú

Agosto del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

**“ELECTRIFICACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA DEL CASERÍO
SAN JUAN DE DIOS UBICADO EN EL DISTRITO DE CALLAYUC - CUTERVO -
CAJAMARCA”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

AUTOR: Bach. GHAMIR YAN KLEIN ROJAS DÍAZ

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

agosto del 2018

DEDICATORIA

El presente examen de suficiencia profesional está dedicado a:

Dios por permitirme estar con vida hasta el día de hoy.

A mi Padre Arnaldo Rojas Alejandría

A mi madre Carmen Díaz Hurtado

A mis hermanos: Carlos Dante, Luz Angélica, Gherson Alberto, Aurora y Carmen Lucy por su apoyo incondicional desde el momento en que vi la luz por primera vez, por su amor y cuidado, fuerzas e instrucción en cuanto a conocimiento excelente.

GHAMIR YAN KLEIN ROJAS DÍAZ

AGRADECIMIENTO

A todos los buenos docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo que me orientaron y enseñaron durante mi formación técnica y profesional. En especial a mi asesor: Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra, por su apoyo para concluir este examen de suficiencia profesional.

También a los compañeros y personas sinceras que alguna vez me apoyaron y dieron fuerza para seguir adelante.

GHAMIR YAN KLEIN ROJAS DÍAZ

RESUMEN

El objetivo del examen de suficiencia profesional es electrificar utilizando energía solar fotovoltaica al caserío San Juan De Dios ubicado en el distrito De Callayuc provincia de Cutervo perteneciente el departamento de Cajamarca. El cual aún no cuenta con servicio de energía eléctrica del cual la población involucrada asciende a un total de 120 habitantes y 30 viviendas, 01 local comunal, 01 iglesia, 01 institución educativa. El tipo de investigación, el diseño de la investigación es no experimental. De los cálculos se obtuvo que: la energía eléctrica promedio proyectada para el caserío San Juan es de 19 130 Wh/día. Con respecto a la radiación solar se ha considerado 03 fuentes de radiación solar: El atlas de radiación solar del Perú, la página web de la NASA y el software Solarius Plus de donde considero un valor de 6,15 kWh/m²/día. El sistema fotovoltaico estará compuesto por 24 paneles fotovoltaicos de 320 Wp, 24 baterías RITAR de 200 A.h, 03 reguladores de carga 150/60 y 03 inversores de 2 000 W. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 7,68 kWp. Se dimensiono la red de distribución secundaria en base a las normas DGE de electrificación rural, se realizaron los cálculos eléctricos y mecánicos con el conductor 2x16/25 y 1x16/25, los cuales cumplen con los requerimientos, se elaboró el presupuesto de la electrificación utilizando energía fotovoltaica obteniendo un total de: S/. 245 213,90

Palabras clave: Electrificación rural, sistema fotovoltaico, inversor, regulador

ABSTRACT

The purpose of the professional proficiency test is to electrify the San Juan De Dios farm located in the district of Callayuc province of Cutervo, belonging to the Department of Cajamarca, using photovoltaic solar energy. Which still does not have electricity service of which the population involved amounts to a total of 120 inhabitants and 30 homes, 01 communal premises, 01 church, 01 educational institution. The type of research, the design of the research is non-experimental. From the calculations it was obtained that: the average electrical energy projected for the San Juan farmhouse is 19 130 Wh / day. With regard to solar radiation, 03 sources of solar radiation have been considered: the solar radiation atlas of Peru, the NASA website and the Solarius Plus software, of which I consider a value of 6,15 kWh / m² / day. The photovoltaic system will consist of 24 photovoltaic panels of 320 Wp, 24 RITAL batteries of 200 Ah, 03 150/60 charge regulators and 03 inverters of 2 000 W. Giving an installed power of 7,68 kWp energy capture system. The secondary distribution network was dimensioned based on the rural electrification DGE standards, electrical and mechanical calculations were carried out with the driver 2x16 / 25 and 1x16 / 25, which meet the requirements, the electrification budget was elaborated using photovoltaic energy obtaining a total of: S /. 245 213,90

Keywords: Rural electrification, photovoltaic system, inverter, regulator

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Delimitación de la Investigación	3
1.3.1. Delimitación espacial	3
1.3.2. Delimitación temporal	6
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación	6
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	7
1.6. Objetivos	8
1.6.1. Objetivo General	8
1.6.2. Objetivo Específicos	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de Estudios	9
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	16
2.2.1. El sol como fuente energética.....	16
2.2.2. Componentes de los sistemas fotovoltaicos	27
2.2.3. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico	58
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	64

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	71
3.1. Tipo y diseño de investigación	71
3.2. Población y muestra.....	72
3.3. Hipótesis	72
3.4. Operacionalización de las variables.....	72
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	75
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	77
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	78
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	78
4.1. Propuesta de la investigación	79
1.1.1. Equipamiento de la propuesta	79
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	79
5.1. Demanda de energía eléctrica y potencia instalada.....	80
5.1.1. Población y vivienda actual y proyección para el caserío San Juan de Dios	80
5.1.2. Energía promedio diaria (Wh/día)	81
5.2. Radiación Solar en el caserío San Juan de Dios	84
5.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	88
5.3.1. Dimensionado del sistema fotovoltaico	88
5.3.2. Protección contra sobreintensidades	97
5.3.3. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares:.....	99
5.4. Sistema de distribución eléctrica en baja tensión: 220 V	101
5.4.1. Cálculos eléctricos	102
5.4.2. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes	107
5.1. Metrado y presupuesto	112
5.1.1. Metrado y presupuesto del sistema fotovoltaico	112
5.1.2. Presupuesto para electrificar el caserío Juan De Dios	113
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	114
6.1. Conclusiones.....	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante .	32
Tabla N° 2: Operacionalización de variables.....	74
Tabla N° 3: Técnicas e instrumentos utilizados.....	77
Tabla N° 4: Tasa de crecimiento en el departamento de Cajamarca	80
Tabla N° 5: Consumo de energía promedio diaria	82
Tabla N° 6: Radiación solar en el caserío San Juan de Dios según la NASA .	86
Tabla N° 7: Radiación solar en el departamento de Cajamarca con el software Solarius Plus	87
Tabla N° 8: Numero de paneles necesarios vs costos	89
Tabla N° 9: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.....	89
Tabla N° 10: Características mecánicas	90
Tabla N° 11: Resumen de los resultados de los paneles	91
Tabla N° 12: Capacidad de las baterías vs Costo	91
Tabla N° 13: Numero de controladores vs costo	93
Tabla N° 14: Características eléctricas de los conductores NYY	97
Tabla N° 15: Selección de fusibles.....	98
Tabla N° 16: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados.....	102
Tabla N° 17: Calculo de caída de tensión C-I	104
Tabla N° 18: caída de tensión C-II	104
Tabla N° 19: Calculo de la caída de tensión C-III.....	106
Tabla N° 21: Distancias mínimas de seguridad al terreno.....	107
Tabla N° 22: Hipótesis de estado	108
Tabla N° 23: Características de los cables autoportantes	109
Tabla N° 24: flecha para el vano básico	110
Tabla N° 25: Características De Los Postes De Concreto Armado	111
Tabla N° 26: valor referencial del suministro del sistema fotovoltaico.....	112
Tabla N° 27: Costo directo para el sistema fotovoltaico	113
Tabla N° 28: presupuesto para electrificar el caserío San Juan de Dios con energía fotovoltaica	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del Caserío San Juan de Dios en el distrito de Callayuc	4
Figura N° 2: Mapa solar del Perú	20
Figura N° 3: Componentes de la radiación solar	23
Figura N° 4: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta	24
Figura N° 5. Piranómetro con banda de sombra	25
Figura N° 6: Piranómetro	26
Figura N° 7: Concepto de horas sol pico	27
Figura N° 8: Esquema de un sistema fotovoltaico	28
Figura N° 9: Creación de un panel solar	30
Figura N° 10: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico	31
Figura N° 11: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos	33
Figura N° 12: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos	34
Figura N° 13: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos	35
Figura N° 14: Curva característica de un panel fotovoltaico	38
Figura N° 15: Influencia de la temperatura en la curva característica I-V de una celda fotovoltaica	39
Figura N° 16: Influencia de la irradiación solar en la curva I-V de un panel fotovoltaico	40
Figura N° 17: Ubicación del regulador de carga	42
Figura N° 18: Regulador de carga	43
Figura N° 19: Inversores para sistemas fotovoltaicos	46
Figura N° 20: Curva típica de eficiencia del inversor	49
Figura N° 21: Baterías de uso fotovoltaico	52
Figura N° 22: batería RITAR de 200 A.h (ANEXO 02)	92
Figura N° 23: Inversor de onda pura 48V 2000W TBB CPI2000S (anexo 04)	95
Figura N° 24: Diagrama de carga C-I	103

Figura N° 25: Diagrama de carga C-II	105
Figura N° 26: Diagrama de carga C-III	106

INTRODUCCIÓN

El presente examen suficiencia profesional titulado: **“ELECTRIFICACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA DEL CASERÍO SAN JUAN DE DIOS UBICADO EN EL DISTRITO DE CALLAYUC-CUTERVO - CAJAMARCA”** es una propuesta que permite electrificar al caserío San Juan de Dios utilizando energía fotovoltaica.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en el caserío San Juan de Dios 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 Teórico, 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

El estado peruano ha decidido impulsar decididamente el uso y aplicación de las energías renovables, entre ellas la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar de importancia y bastante uniforme durante todo el año.

En el caserío San Juan De Dios ubicado en el distrito De Callayuc provincia de Cutervo perteneciente el departamento de Cajamarca se ha observado que aún no cuenta con servicio de energía eléctrica del cual la población involucrada asciende a un total de 120 habitantes y 30 viviendas, 01 local comunal, 01 iglesia, 01 institución educativa.

La lejanía, el aislamiento, la poca accesibilidad y la extrema pobreza son características de estos pobladores que generalmente usan velas, mecheros y baterías para su alumbrado, siendo ineficientes y tóxico para la salud humana.

1.2. Formulación del Problema

¿Se podrá electrificar al caserío San Juan De Dios ubicado en el distrito De Callayuc provincia de Cutervo perteneciente el departamento de Cajamarca aprovechando la energía solar fotovoltaica?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El distrito de **Callayuc**¹ es uno de los quince distritos administrativos de la Provincia de Cutervo, ubicada en el Departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, en el Perú.

Tiene una extensión de 316,05 km² de superficie que representa el 10,4 % del territorio de la provincia de Cutervo. Limita con los siguientes distritos. -Al norte con Colasay (provincia de Jaén); -Al Este con Santa Cruz; -Al Sureste, con San Andrés de Cutervo;-Al Sur, con Santo Domingo de la Capilla y -Al Sur Oeste con Querocotillo.

Ubicado en el norte de Perú, entre las regiones naturales de ceja de selva y sierra, tiene una población de 10 321 habitantes según el INEI 2015. Su territorio cuenta con una gran diversidad de flora¹ y fauna además de un paradisíaco clima. Tiene enormes vínculos históricos y comerciales con Jaén de quien dista 51 km, es además un territorio bisagra que tiene como delimitación la carretera Fernando Belaunde Terry en el norte de su territorio; que le permite acceder con mayor facilidad hacia la costa norte y el nororiente de Perú, Puerto Chiple es parte de su territorio y es la principal entrada de acceso hacia este distrito y también hacia la provincia de Cutervo.

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Callayuc



Figura N° 1: Ubicación del Caserío San Juan de Dios en el distrito de Callayuc²

Geografía³

Es un territorio moderadamente accidentado, con pisos altitudinales que van desde los 2817 m.s.n.m. en el noroeste de su territorio (cerro Wuissus) su punto más alto; hasta los 895 m.s.n.m (Puerto Chiple) la zona más baja, haciendo de su territorio una región variada, comprendiendo cerros de pendiente moderada donde la vegetación tropical típica de ceja de selva es abundante y tan bien valles fértiles en la parte central de su territorio,

² http://www.perutouristguide.com/translator/06ca/translator_06cu_mapa_cutervo.html

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Callayuc

básicamente en los cursos de los ríos Santa Clara , Callayuc, y en el noroeste una pequeña jurisdicción de playa entre la desembocadura de los ríos Chotano y Chamaya.

En la parte central de la subregión natural predominante es tropical cálido con moderadas precipitaciones donde se ubica la capital y las principales actividades económicas.

Al sur presenta un clima de yunga fluvial donde se ubica el centro poblado de mayor relevancia **El Cumbe** y zonas aledañas.

Hacia el sureste presenta un clima de escasas precipitaciones donde predomina la región de yunga sub tropical y tropical húmedo.

En el noroeste contrastan planicies de vegetación abundante hacia los sectores de Queramarca y Sector el Campo con zonas de playas que no superan los 1000 m.s.n.m en los sectores de Playa Azul, Mañaca y Puerto Chiple. con precipitaciones estacionarias moderadas.

La región quechua no es notoria, solo se presenta en los lugares que sobrepasan los 2500 m.s.n.m, es el caso de los cerros wuissus, cerro marlumba y parte del cerro Paraton hacia el oeste.

Clima⁴

Callayuc cuenta con un clima muy agradable que contrasta con un moderado clima cálido - tropical seco característico de ceja de selva y también un clima templado semihúmedo en las zonas de El Cumbe, Sector el Campo Y Santa teresa de Queramarca,

⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Callayuc

La ciudad de Callayuc tiene un clima tropical, en invierno se registra menos lluvia que en verano. según el sistema de clasificación Köppen-Geiger El clima se considera AW (TROPICAL CON INVIERNO SECO). cabe mencionar que las temperaturas varían por su extensión y prolongación de su territorio.

Temperatura media anual: 19,4 °C.

Precipitaciones: 723 mm media al año

Mes más seco: julio, 20 mm. A 124 mm.

mes de mayor precip/año: marzo, 124 mm.

mes más caluroso: enero 23°C promedio.

mes más frío: julio 18,3 °C promedio.

1.3.2. Delimitación temporal

Este examen de suficiencia profesional tuvo una duración de 03 meses

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

La electrificación del caserío San Juan de Dios ubicado en el distrito de Callayuc provincia de Cutervo perteneciente el departamento de Cajamarca tiene la siguiente justificación:

Justificación ambiental

El desarrollo y aplicación de este trabajo de investigación no produce impacto ambiental negativo, al contrario, se disminuirá daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene del petróleo.

Justificación técnica

Permite el acercamiento tecnológico a la comunidad y fomenta el uso de energías renovables, contribuyendo así al estudio de esta línea de investigación

Justificación social

El trabajo de investigación tiene como beneficio la mejor calidad de vida de los pobladores de la localidad.

Justificación científica

Promover el uso de las energías no convencionales.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Los datos de radiación solar fueron obtenidos de 03 fuentes: NASA, al atlas solar del SENAMHI del 2003 y el software SOLARIUS PLUS.

Desconocimiento por parte de los habitantes del caserío sobre el uso de Energías Renovables y por consecuencia.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

El objetivo del examen de suficiencia profesional es electrificar utilizando energía solar fotovoltaica al caserío San Juan De Dios ubicado en el distrito De Callayuc provincia de Cutervo perteneciente el departamento de Cajamarca.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Estimar la demanda de energía proyectada del caserío San Juan de Dios.
- b) Obtener los datos de radiación que se registran en el caserío San Juan de Dios
- c) Dimensionar el sistema fotovoltaico para el caserío Juan de Dios
- d) Dimensionamiento de la red de distribución en baja tensión.
- e) Determinar el presupuesto total de inversión para electrificar el caserío Juan de Dios usando energía fotovoltaica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Cito a los siguientes autores, en los siguientes contextos como:

Contexto Internacional

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

el tiempo cuya capacidad puede aumentar en base a la cantidad demandada de energía⁵.

Según Herbas Moreira Jhonatan Alberto en su trabajo de tesis titulado: “Análisis del Potencial Eólico y Solar para la implementación de un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica en Base al Uso de Energías Alternativas en el Páramo Chalupas, Periodo 2015.”

En este proyecto se analiza la generación eólico-fotovoltaica, los instrumentos utilizados para la obtención de datos y la selección de los elementos para la generación de energía eléctrica y el funcionamiento de cada uno de los elementos existentes en el diseño.

El proyecto demuestra las formas de convertir la energía mecánica en eléctrica, este sistema constará de partes eléctricas, electrónicas y de almacenamiento, los cuales unidos conforman un sistema de generación eléctrica.

En este proyecto se llega a la conclusión de que el clima en el Páramo Chalupas es factible para poder montar un sistema de generación eléctrica híbrida eólico-fotovoltaico.

El beneficio de este proyecto se aprecia en la satisfacción del cliente y en la calidad de energía que recibe, y con la cual puede vivir su día a día de una mejor manera.

⁵ 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.

Así mismo **Fabio de Jesús Acevedo Garcés** 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 fotovoltaica⁶.

⁶ Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.

Contexto Nacional

Según **Bardales Espino José Leonardo**⁷ en su tesis titulado “Estudio de Factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el Centro Poblado de Shungun Región Amazonas, 2016”. Esta 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.

Según **Delfor Flavio Muños Anticon** en su trabajo de tesis de "Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas

⁷ (Bardales Espino 2016)

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.

Según **Juan Emmanuel Odar Acuña** en su trabajo de tesis titulado “ELECTRIFICACIÓN RURAL FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO PAREDONES, DISTRITO DE CHONGOYAPE 2016” Este trabajo muestra el desarrollo de un proyecto para implementar un Sistema que utilice la energía solar, para generar energía eléctrica para el Caserío “Paredones”, del Distrito de Chongoyape, asimismo, se presentan las etapas cálculos y diseño de cómo será desarrollado este proyecto. Inicialmente se lleva a cabo una investigación sobre conversión de la energía solar en electricidad a partir de las centrales térmicas solares y celdas solares. Seguidamente, se analiza el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos, sus principales componentes y las recomendaciones que deben tomarse en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento y escoger los equipos. Asimismo, se estima el nivel de radiación solar promedio en la zona de

⁸Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005.

interés, así como el consumo eléctrico diario para conocer los diversos factores que están relacionados con las cargas eléctricas conectadas y disponibles en la institución. Otro punto importante es el análisis económico, esto se realizará para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto, así como el periodo de recuperación del capital invertido. (Odar Acuña 2016)

Contexto Local

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

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

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir el consumo de combustible diésel en 912 galones/año. Se recomienda difundir y apoyar la investigación sobre este tipo de tecnología y así desarrollar proyectos en beneficio de comunidades que aún no tienen el servicio de electricidad en sus domicilios⁹.

Jorge Máximo Moran Santamaría; en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica

⁹ Llaue Chozo , Anthony Joel. «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, 2016.

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

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

393 154,87 y con la electrificación convencional es de S/ 1 584 052,88 la cual es muy superior¹⁰

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. El sol como fuente energética

El sol es la estrella más próxima a la Tierra. Tiene un radio de unos 700 000 km y una masa de 2×10^{30} Kg, unas 330 000 veces la de la Tierra. A su alrededor giran los planetas del sistema solar, aunque el concentra el 99 % de la masa del mismo. Su densidad es 1,41 103 kg/m³. La

¹⁰ Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.» Lambayeque, 2013.

temperatura de su superficie ronda los 6 000°C, aunque es algo menor en las manchas solares (alrededor de los 4 800°C). Las manchas solares tienen una gran influencia en nuestro clima. Cerca del centro la temperatura es de más de 15 000 000°C y la densidad es unas 120 veces mayor que en la superficie. En esta zona se alcanzan presiones de 250 000 millones de atmosferas. Los gases del núcleo están comprimidos hasta una densidad 150 veces la del agua¹¹. (Chona Suarez 2013)

La fuente de toda la energía del sol se encuentra en el núcleo. Debido las condiciones extremas de presión y temperatura en su interior, tienen lugar reacciones nucleares de fusión. En estas, cuatro átomos de hidrógeno se combinan para convertirse en un átomo de helio. La masa del átomo de helio es 0,7 % menor que la masa de los cuatro átomos de hidrogeno. Esa masa que falta es lo que se convierte en energía que, en forma de rayos gamma, se expande desde el núcleo hacia la superficie en los primeros 500.000 km de espesor de la esfera solar por radiación, ahí alcanza la zona en que el transporte es ya por convección y que permite a los fotones, después de un largo viaje de miles de años alcanzar la superficie solar¹²

2.2.1.1. Energía Solar en el Perú¹³

A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y

¹¹ (Chona Suarez 2013)

¹² (Chona Suarez 2013)

¹³ <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>

Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m²; 5,0 a 6,0 kWh/m² en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m² (ver Figura N° 2).

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú. El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente Arequipa y Puno, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos. No obstante, aún es amplio el camino a recorrer para masificar el uso de paneles solares tanto para áreas urbanas como rurales destinados al uso térmico el cual implicaría menor consumo de la red eléctrica en los hogares (una terma eléctrica es uno de los principales consumidores de energía eléctrica en un hogar). Asimismo, su uso no se limitaría a lo domestico sino también podría incluirse en usos productivos como secadores de granos para la agricultura (en la zona sur la producción de granos andinos como kiwicha, quinua, kañihua es alta) así como para como la potabilización de agua en aquellas zonas que lo requieran.

Como vemos, el sector de la energía solar va desde pequeñas instalaciones familiares hasta grandes proyectos de centrales solares. Es interesante que los avances, en este último caso, generen el desarrollo tecnológico y la difusión de esta fuente de energía renovable en el país. Una característica primordial de la energía solar es su capacidad para adecuarse a proyectos de mediana y pequeña envergadura para usuarios individuales. Por ejemplo, en ámbitos urbanos se pueden

desarrollar instalaciones fotovoltaicas que se integren a grandes superficies expuestas como estacionamientos, edificios, marquesinas. De hecho, la T –Solar ya desarrolla proyectos de este tipo en España. Este tipo de innovaciones permite acercar la producción de electricidad al punto de consumo evitando pérdidas durante el transporte y además de reemplazar el consumo de energía eléctrica de la red nacional y ahorrar costos a quienes la implementan.



Figura N° 2: Mapa solar del Perú¹⁴

¹⁴ (SENAMHI 2003)

2.2.1.2. Componentes de la radiación solar¹⁵

Como se ha referido, el sol es una poderosa fuente de energía. Esa energía solar que nos llega a la tierra puede ser transformada en energía eléctrica en un proceso denominado efecto fotovoltaico (FV) en células o celdas solares que se montan en paneles, como veremos a continuación. Según como Llegue la luz solar a la superficie de la tierra, podemos clasificar la radiación en Tres tipos diferentes: directa, dispersa o difusa y albedo. (Chona Suarez 2013)

Radiación solar directa. Es la que incide sobre cualquier superficie con un

ángulo único y preciso. La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. Esto explica que un área con sombra o pieza sin luz solar está iluminada: le llega luz difusa o radiación difusa. (Chona Suarez 2013)

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que las longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Cuando amanece o anochece, la radiación solar recorre un mayor espesor de atmósfera y la luz azul y violeta es dispersada hacia el espacio exterior, pasando mayor cantidad de luz roja y naranja hacia la Tierra, lo que da el color del cielo a esas horas. (Chona Suarez 2013)

¹⁵ (Chona Suarez 2013)

Se llama albedo a la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie. El albedo es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro, su valor es igual a cero, pero para la nieve es de 0,9; para un suelo mojado es 0,18; etc.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

De las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad mientras que en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90 % de la radiación total.

De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.

De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

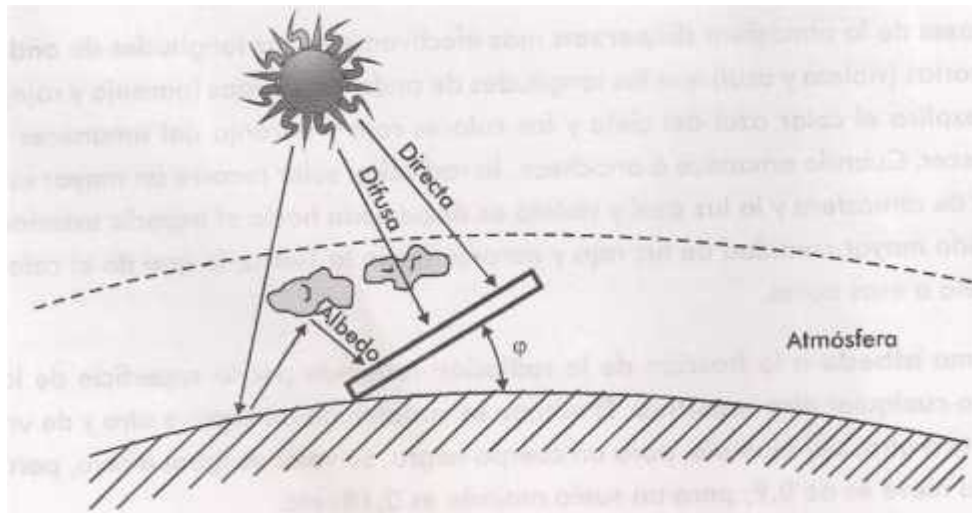


Figura N° 3: Componentes de la radiación solar¹⁶

2.2.1.3. Medición de radiación Solar

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

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

¹⁶ (Chona Suarez 2013)



Figura N° 4: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta¹⁷

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

¹⁷ <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/pirheliometro-80217.html>



Figura N° 5. Piranómetro con banda de sombra¹⁸

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

¹⁸ <http://www.kippzonen.es/Product/235/Espira-de-Sombra-CM121B-C>



Figura N° 6: Piranómetro¹⁹

2.2.1.4. Horas de sol pico (H.S.P.)

La **hora solar pico** (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de $1\,000\text{ W/m}^2$.

Una hora solar pico equivale a $3,6\text{ MJ/m}^2$ o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m^2 , tal y como se muestra en la siguiente conversión:

Interpretación grafica²⁰

Si se representa en un gráfico la distribución horaria de la irradiación incidente sobre la superficie terrestre se observa que los niveles varían a lo largo del día. Gráficamente, la hora pico solar se interpreta como una función de valor constante que delimita la misma área que la distribución antes mencionada.

Así, la hora solar pico nos indica el número de horas al día en las que se recibe una irradiación solar de $1\,000\text{ W/m}^2$. Si se cumplieran el resto de condiciones estándar, sería el número de horas al día en las que un

¹⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>

²⁰ https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico

panel fotovoltaico proporcionaría su potencia pico. Multiplicando HSP por potencia pico, obtendríamos la energía que proporciona un panel fotovoltaico (sin considerar las pérdidas que suelen ser de un 20 %).

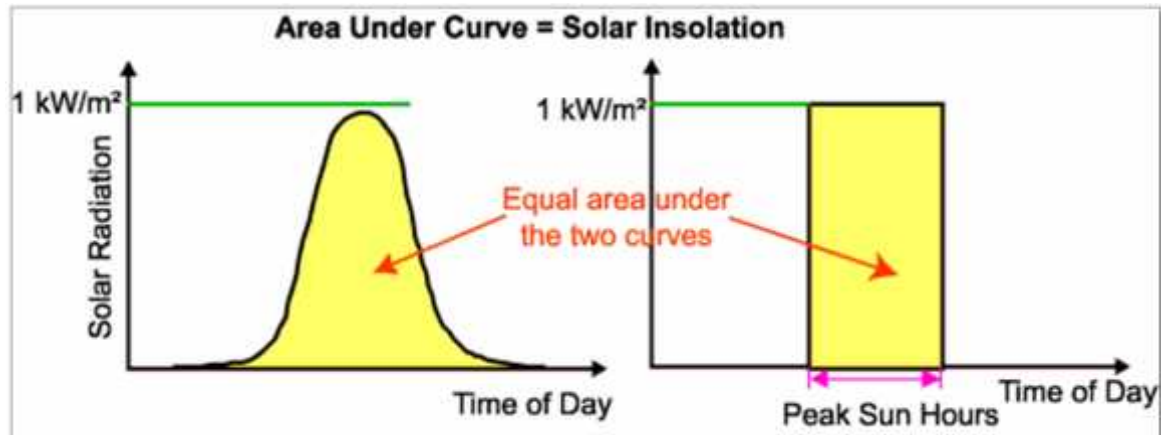


Figura N° 7: Concepto de horas sol pico²¹

2.2.2. Componentes de los sistemas fotovoltaicos

Para que el sistema fotovoltaico funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad de suministro y durabilidad, debe estar conformado por:

Subsistema de captación: transforma la radiación solar en electricidad.

Subsistema de almacenamiento: almacena la energía.

Subsistema de regulación: regula la entrada de energía procedente del campo de captación (ver Figura N° 8).

Subsistema de adaptación de corriente: adecua las características de la energía a las demandas por aplicaciones. (Muñoz Anticona 2005, 37)

²¹ <http://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/promedio-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>

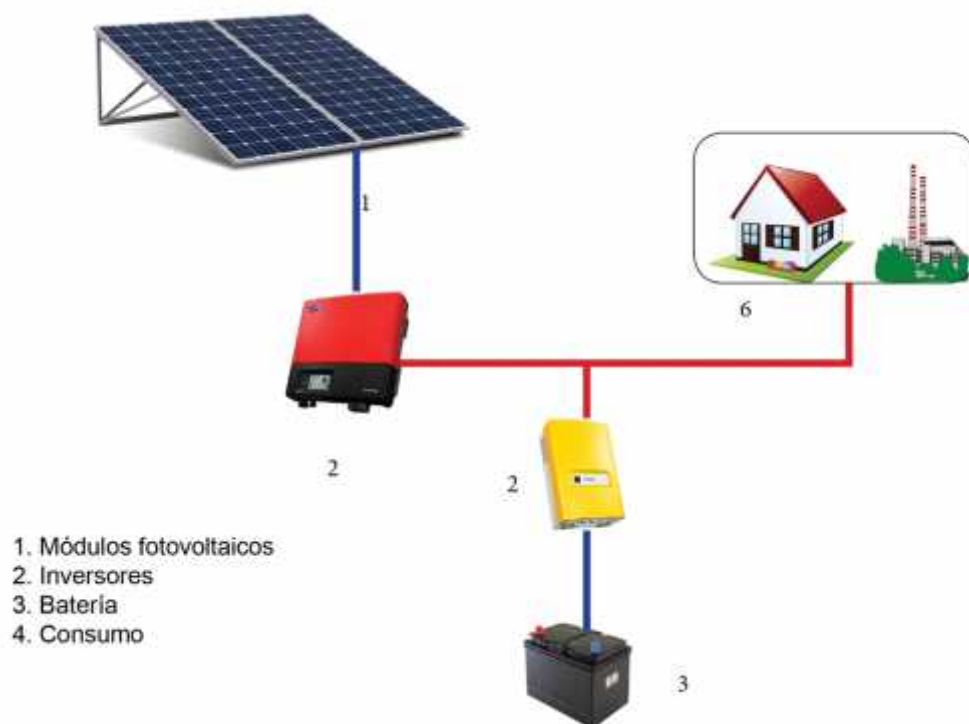


Figura N° 8: Esquema de un sistema fotovoltaico²²

2.2.2.1. Subsistema de captación:

Célula fotovoltaica

Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

²² <http://www.sitecnosolar.com/sistema-aislado-con-baterias/>

Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las celdas solares. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de cm^2 . La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO_2). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm^2 . El proceso de fabricación varía según las cualidades que se quieran obtener (rendimiento, flexibilidad, económica): a más pureza, más altos son los costos, para una calidad que no va a suponer un incremento sustancial del rendimiento.

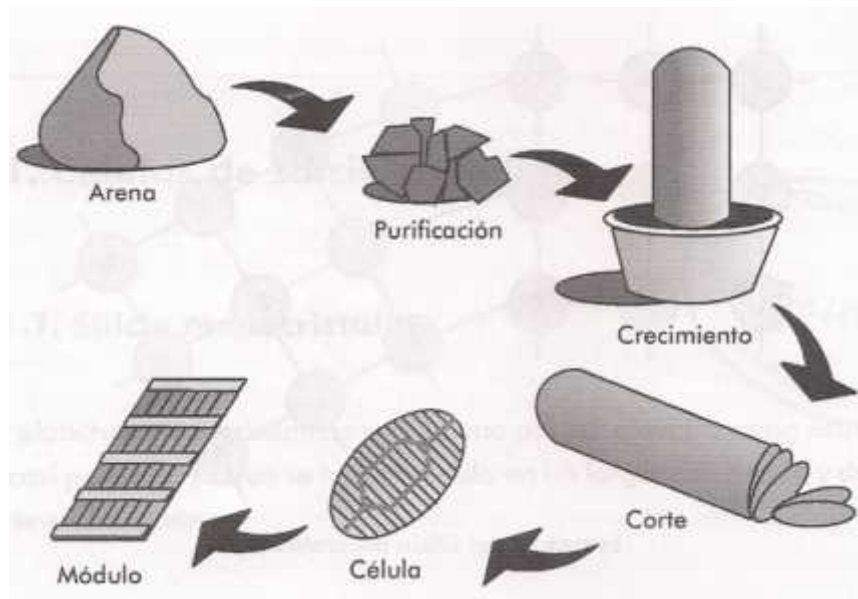


Figura N° 9: Creación de un panel solar²³

Está constituido por paneles solares fotovoltaicos que producen energía eléctrica debido a que captan la radiación luminosa procedente del sol a través de las celdas de silicio y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V). Este proceso funciona también cuando hay nubes livianas, pero con menos rendimiento.

Un módulo fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje.

Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobre todo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios.

²³ (Chona Suarez 2013)

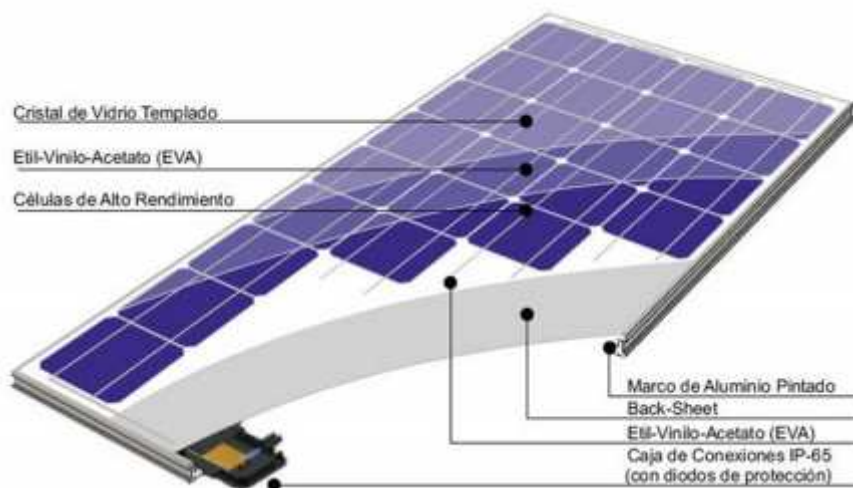


Figura N° 10: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico²⁴

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.

En la tabla N° 1, podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

Potencia de la celda solar

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 W o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de *panel solar*

²⁴ <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>

o *módulo fotovoltaico*, cuyos elementos y características acabamos de ver.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades

La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.

La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %
	Amorfo	16 %	< 10 %

Fuente: (Diaz Corcobado 2008)

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 satisfacen²⁵.

A. Conexión de módulos Serie

Si conectamos los paneles fotovoltaicos en serie, entonces conseguimos aumentar la tensión del generador fotovoltaico y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 11).

Puesto que 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° 11: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos²⁶

B. Conexión de módulos en paralelo

²⁵ (Castejon 1998)

²⁶ <http://www.gesby.net/gesby/classifieds/315/1592/conectar-paneles-solar-en-serie-y-paralelo>

Si conectamos los paneles fotovoltaicos en paralelo lo que obtenemos es aumentar la corriente generada y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 12

Puesto que 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).

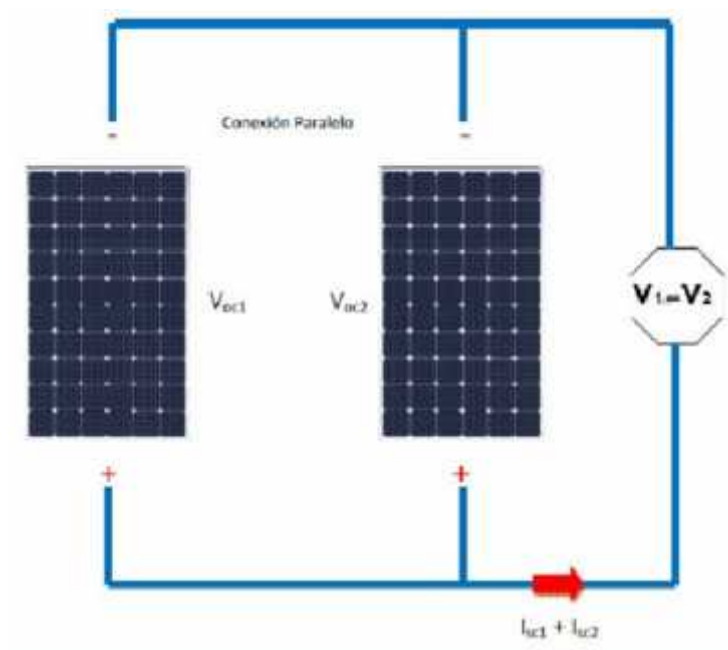


Figura N° 12: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos²⁷

C. Conexión de módulos en serie/paralelo

En esta situación la tensión del generador fotovoltaico es la tensión del panel fotovoltaico multiplicado por el número de módulos en serie y la corriente eléctrica de generador fotovoltaico se obtiene multiplicado por el número de ramas de módulos

²⁷ <http://www.gesby.net/gesby/classifieds/315/1592/conectar-paneles-solar-en-serie-y-paralelo>

PANELES SOLARES EN SERIE Y PARALELO

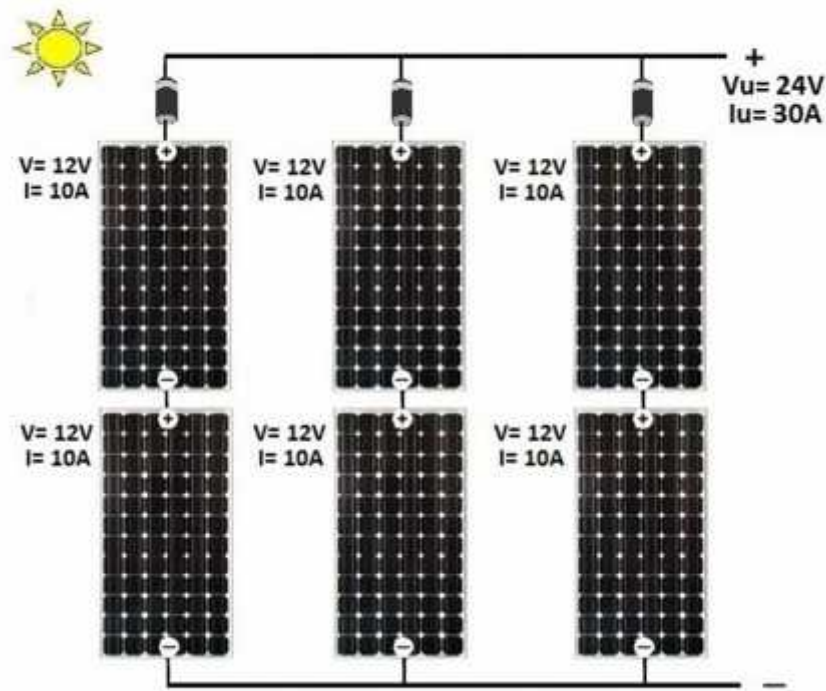


Figura N° 13: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos²⁸

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 12%.

a) Silicio Policristalino

Estas celdas se obtienen a partir de bloques de silicio puro en moldes especiales. En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal, formándose una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio monocristalino.

²⁸ <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

b) Silicio Amorfo

Estas celdas se obtienen mediante la deposición de capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%. Son, por consiguiente, los más baratos y menos duraderas. Son las utilizadas en calculadoras y aparatos por el estilo ya que la energía que proporcionan es muy baja (Muñoz Anticono 2005).

Funcionamiento de un panel fotovoltaico

Un panel solar FV al captar los rayos del sol, genera una corriente eléctrica, a una tensión determinada en sus bornes. Estos parámetros dependen de los siguientes factores:

La irradiación solar incidente sobre la superficie del panel.

La temperatura del panel.

La irradiación y temperatura son factores que dependen de las condiciones de instalación como el clima, latitud de la zona de instalación, características geográficas de la localidad, época del año y hora del día.

El material y tecnología empleada en la fabricación de las células FV.

La cantidad de células conectadas en serie y paralelo en el panel.

El material y tecnología empleados como la cantidad de células, son características de la marca y modelo de cada panel.

En los paneles solares también existen otros factores que influyen sobre las características eléctricas, de entre los cuales es importante mencionar los siguientes:

La corriente generada es proporcional a la irradiación solar.

La tensión generada es inversamente proporcional a la temperatura del panel. (Velasquez Cespedes 2012)

Todo módulo fotovoltaico tiene una curva típica para la potencia de salida en función de la corriente de carga. El panel FV no escapa a esta regla. La curva de un panel FV proporciona la relación mencionada, ya que asocia los valores de Corriente y Tensión para diferentes cargas. La potencia de salida para una determinada condición de trabajo está dada por el producto de los valores de corriente y tensión correspondientes, por lo tanto, la potencia será afectada al variar cualquiera de estas magnitudes.

La Figura 14 muestra la curva característica de funcionamiento Corriente v/s Tensión de un panel FV de 53 Watt (W). Cuando el circuito exterior no está conectado (corriente nula), la tensión de salida o de circuito abierto (V_{oc}) alcanza el valor máximo. Este máximo de tensión corresponde a una corriente nula. En cambio, cuando el voltaje de salida es nulo (cortocircuito) la corriente de salida alcanza su valor máximo (I_{sc}). Para ambos puntos la potencia de salida es nula. Consecuentemente, un cortocircuito entre los terminales de salida del panel no dañará al mismo. Entre estos dos valores, la potencia de salida alcanza el valor máximo

($P_{Max.}$). Los valores máximos de voltaje ($V_{Max.}$) y corriente ($I_{Max.}$) son los que generan la máxima potencia ($P_{Max.}$).

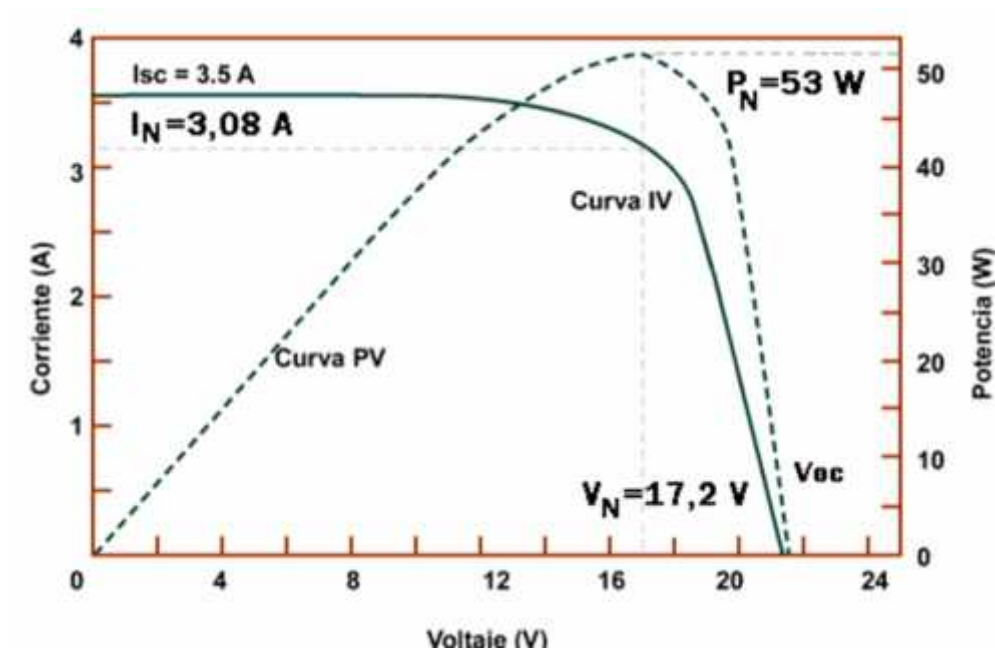


Figura N° 14: Curva característica de un panel fotovoltaico²⁹

La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva característica. Normalmente los paneles funcionan en puntos cercanos al de potencia nominal, dependiendo de la tensión de las baterías o de la carga resistiva conectada a sus terminales. La forma de la curva entre los puntos anteriores es una característica propia de cada panel, que se define como factor de forma (F.F).

²⁹ (Velasquez Cespedes 2012)

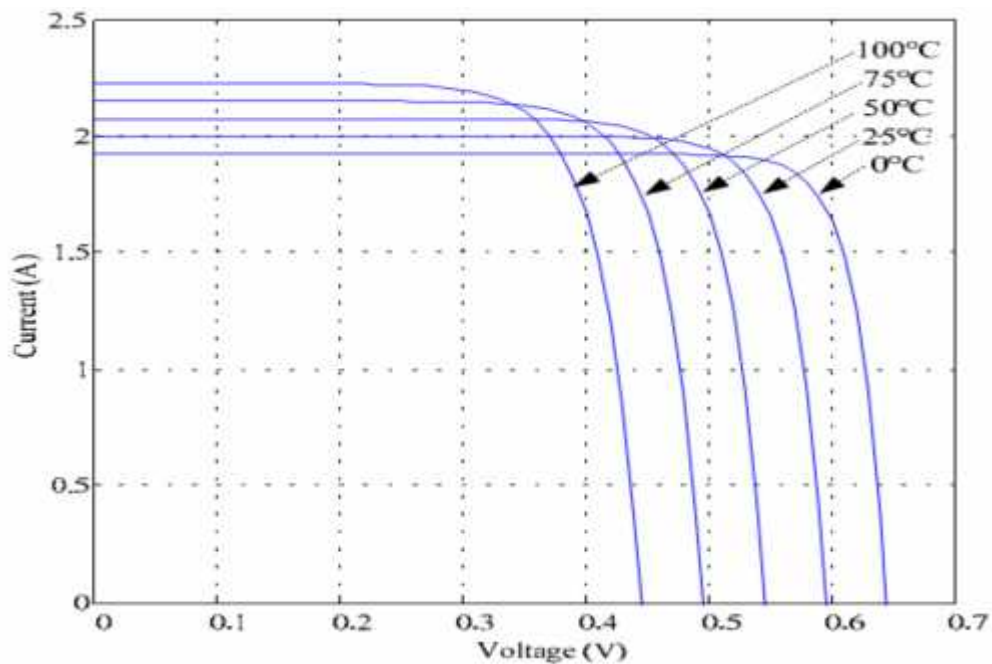


Figura N° 15: Influencia de la temperatura en la curva característica I-V de una celda fotovoltaica³⁰

En la Figura 15 se muestra que, al aumentar la temperatura, disminuye la

tensión y también la potencia entregada por el panel.

Si la tensión disminuye demasiado, esto influye en forma negativa en el proceso de carga de las baterías de una instalación FV. Esto se debe a que las baterías se cargan con tensiones iguales o superiores a su valor nominal. Por ejemplo, en el caso de paneles cuya tensión nominal (*Nom V*) es 16 (V) a 25 °C y se tiene baterías que se cargan a 15 (V), no existen problemas, pero si al aumentar la temperatura y consecuentemente disminuyese la tensión de los paneles, a un valor

³⁰ (Velasquez Cespedes 2012)

menor a 15 (V), existirán problemas en el proceso de carga debido al funcionamiento en condiciones anormales.

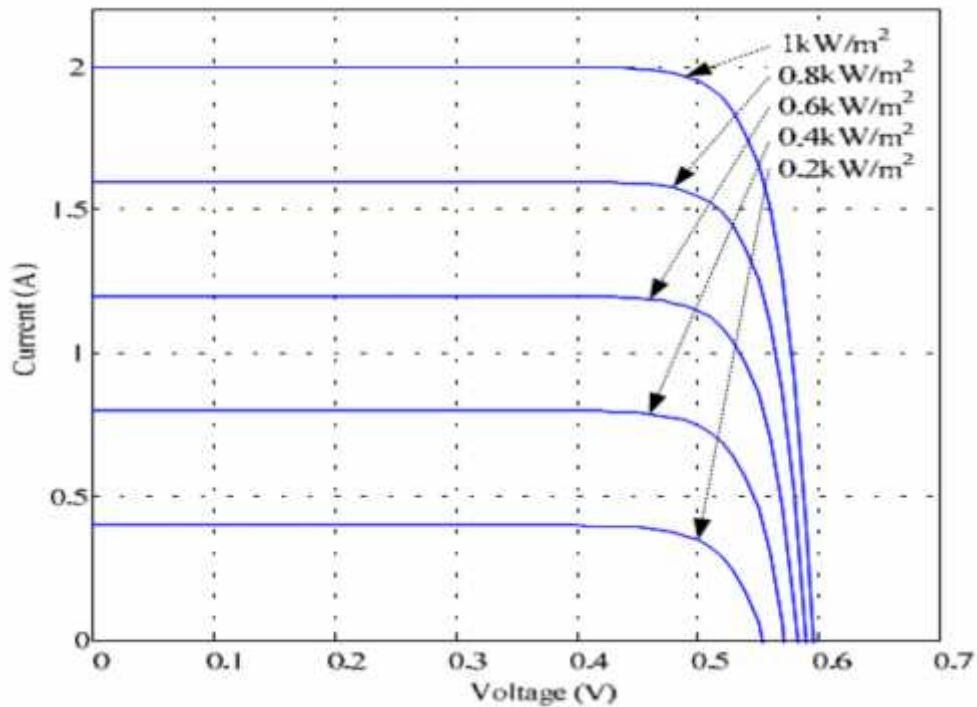


Figura N° 16: Influencia de la irradiación solar en la curva I-V de un panel fotovoltaico³¹

En la Figura 16 se presenta la influencia de la irradiación incidente sobre el panel. La corriente generada aumenta proporcionalmente a la irradiación sobre el panel, en cambio la tensión permanece prácticamente constante. Como la potencia nominal es el producto de la tensión nominal (V_{Nom}) por la corriente nominal (I_{Nom}), afirma que la potencia generada por el panel aumenta linealmente con la irradiación solar.

2.2.2.2. Subsistema de regulación

³¹ (Velazquez Cespedes 2012)

El regulador de carga (RDC) es un equipo electrónico cuya función es controlar el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos, las baterías y los elementos de consumo. También cumple con la tarea de proteger las baterías de sobrecargas y descargas profundas. Para preservar la vida de las baterías es necesario evitar estas situaciones (Cespedes Molano 2007).

El RDC controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la corriente ó intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores actuales introducen microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y capacidad de la batería, ver Figura 17.

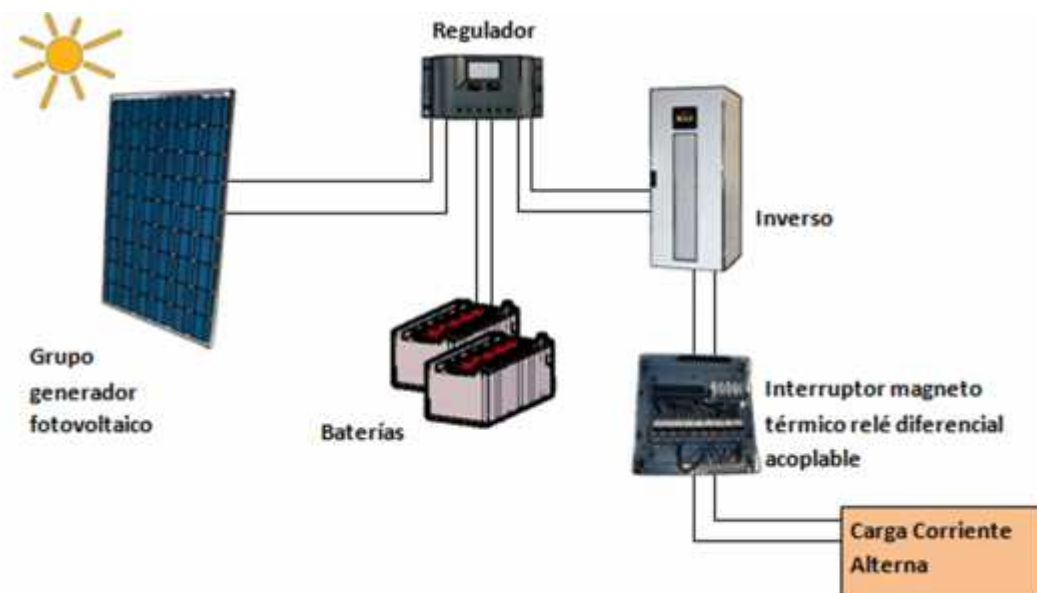


Figura N° 17: Ubicación del regulador de carga³²

Funcionamiento del regulador de carga

El RDC se basa en dos principios de funcionamiento, estos son:

Sobrecarga: Si las baterías se encuentran totalmente cargadas, el RDC, interrumpe automáticamente la corriente de carga, de manera que la tensión no sobrepase el voltaje o tensión máximo de carga definido por el fabricante de las baterías. Esta condición se puede ver afectada por la temperatura ambiente a la cual se encuentran las baterías, para evitar esto algunos RDC incorporan un sistema de compensación de temperatura.

Sobredescarga: Con el fin de evitar la descarga excesiva de las baterías, el RDC interrumpe la corriente de consumo automáticamente cuando alcanza el límite de descarga permitido por la batería. Tan

³² <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/37407508820/qu%C3%A9-hace-un-regulador-con-los-paneles>

pronto como la batería vuelva a recuperar el voltaje mínimo, el RDC, reconectará el sistema.

REGULADORES DE CARGA SOLARES



Figura N° 18: Regulador de carga³³

Características Eléctricas del Regulador de Carga³⁴

Las características eléctricas más relevantes de un RDC son:

Control de carga: Es la capacidad de variar la cantidad de potencia fluyendo entre los paneles FV y las baterías, a través del control de la corriente, en la medida que estas alcanzan la condición de plena carga.

Protección de corriente inversa: Es la capacidad de desconectar las baterías o utilizar diodos de bloqueo que impiden el flujo de corriente desde las baterías hacia los paneles FV en horas de la noche.

Desconexión por baja tensión: Es el sistema que desconecta las baterías del consumo cuando una tensión menor que la mínima es detectada por los circuitos electrónicos internos y su acción evita una descarga profunda de estas.

³³ <http://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

³⁴ (Cespedes Molano 2007)

Protección de sobrecorriente: Son los sistemas internos del controlador de carga que actúan cuando la corriente que ingresa y que sale del controlador, sobrepasa los valores nominales máximos de diseño.

Sistema de monitoreo: Son los instrumentos analógicos o digitales que incluye el RDC para vigilar los niveles de operación. Asimismo, puede incluir luces o elementos de alarma para indicar valores extremos, tensiones de desconexión para sobrecarga o descarga profunda de las baterías, o valores fuera de los rangos de operación normal.

Tensión de entrada (): Es la tensión de entrada, expresada en Volts (V), en corriente continua (CC) que debe aplicarse en su entrada para que el dispositivo opere correctamente. Generalmente la tensión de entrada es un rango de valores permitidos comprendidos entre un mínimo y un máximo.

Tensión de entrada nominal (): Es la tensión de entrada, expresada en Volts (V), para la cual fue diseñado el RDC. $Nom_{CC} V$

Tensión de salida (): Es la tensión que los RDC entregan en sus terminales de salida, hacia los consumos y hacia las baterías. $Out V$

Tensión de salida nominal (): Es la tensión continua de salida, expresado en Volts (V), en condiciones normales de operación. $Out_{Nom} V$

Corriente de entrada (): Es la corriente que ingresa al RDC, expresada en Amperes (A), que proviene de los paneles FV.

Corriente de salida (): Es la corriente de salida del RDC, expresada en Amperes (A), a tensión nominal con una carga conectada en sus terminales de salida.

2.2.2.3. Subsistema de adaptación de corriente³⁵

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.

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

[illegible]Figura N° 19: Inversores para sistemas fotovoltaicos³⁶

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).

³⁶ <https://www.tiendasolar.mx/productos/inversores-solares.html>

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

Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible que minimice las pérdidas. El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90 % y el 97 %. El valor del rendimiento depende mucho de la potencia de entrada, que deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente³⁷.

Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.

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.

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

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 IP65 para inversores instalados a la intemperie.

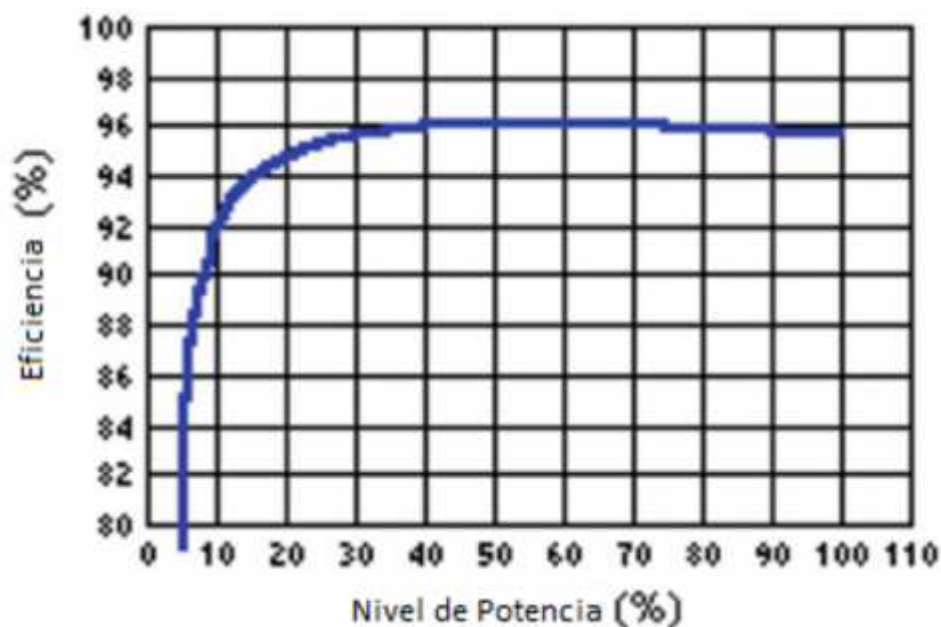


Figura N° 20: Curva típica de eficiencia del inversor³⁸

2.2.2.4. Subsistema de acumulación

El sistema de almacenaje y de respaldo de energía es una de las características más importantes de una instalación FV debido a que es necesario utilizar la energía generada a cualquier hora del día.

³⁸ Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.

Para ello se utilizan las baterías, construidas a partir de una celda compuesta de placas llamadas Ánodo-Cátodo y un electrolito capaz de recibir, almacenar y entregar energía. De este modo, grupos de celdas conectadas eléctricamente en serie y paralelo, protegidas del medio ambiente conforman una batería.

Funcionamiento de las baterías.

El funcionamiento de las baterías se puede describir mediante dos principios: la capacidad en Amperes-hora (Ah) y la profundidad de descarga.

La capacidad en (Ah) es simplemente el número de Amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga. En teoría una batería de 200 (Ah) podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, este no es el caso ya que algunas baterías, como las automotrices, están diseñadas para grandes descargas en periodos cortos. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada, la capacidad en (Ah) puede variar. Generalmente, si la batería es descargada a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor (Velazquez Cespedes 2012).

Otro factor que influye en la capacidad de la batería es la temperatura. A menor temperatura aumenta la capacidad, a

mayor temperatura disminuye la capacidad, no obstante, a mayor temperatura se incrementan las pérdidas evaporativas de la batería reduciéndose así el número de ciclos.

diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20%. De manera opuesta, las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo mismo éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética, siendo perfectas para aplicaciones fotovoltaicas. Su profundidad de descarga puede ser hasta del 80 % al 100 % aproximadamente (Velazquez Cespedes 2012).

Las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas y en automóviles son las de Plomo-ácido, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Así, por ejemplo, si las placas son de una aleación de plomo y antimonio, el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin que se dañen las placas, esto significa una mayor vida para la batería, y por lo tanto las baterías de Plomo-Antimonio-Ácido son de ciclo profundo. Por otra parte, el calcio aumenta la rigidez del plomo y reduce la auto descarga, sin embargo, la aleación

plomo calcio se ve dañada cuando las profundidades de descarga son mayores al 25 %, en consecuencia, las baterías Plomo-Calcio-Ácido son de ciclo ligero.

Como la diferencia entre el costo de las baterías solares y de automóviles es notoria, automáticamente nace la idea de optar por ésta última en un sistema fotovoltaico, ver Figura N° 21. Pero existen diferencias sustanciales, ya que la batería para automóviles fue diseñada para sostener corrientes elevadas por breves instantes (segundos) y el resto del tiempo está siendo cargada o permanece inactiva.



Figura N° 21: Baterías de uso fotovoltaico³⁹

En cambio, la batería solar ha sido diseñada para entregar corrientes moderadas, durante largos períodos (horas). Además de poseer una mayor profundidad de descarga.

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada Gel, en la que el electrolito o ácido se encuentra en estado gelatinoso.

³⁹ https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cuales-son-los-anyos-de-vida-de-cada-bateria-solar_1

Tienen la ventaja de que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Esta hermeticidad unida a una mayor eficiencia a bajas temperaturas (debido al tipo de electrolito) y la nula necesidad de mantención (agregado de agua) la convierten en la solución ideal para instalaciones marinas, de carreteras y de comunicaciones.

La batería de Níquel-Cadmio es otro tipo de batería solar que posee aún mejores características tales como: soportar cargas y descargas excesivas, así como una mayor profundidad de descarga cercana al 100 %, sin daño. Ostenta una mayor eficiencia a baja temperatura, soportando una alta combinación de temperatura y humedad ambiente. Aunque el costo de éstas es muy superior al de las otras baterías (aprox. 6 a 8 veces el de una Plomo-ácido), el costo a largo plazo es mucho menor que una batería Plomo-ácido debido a su larga vida útil y baja mantención. Usualmente se forman grupos de baterías conectadas en serie y paralelo constituyendo bancos de baterías con el objetivo de aumentar la capacidad de energía. Las conexiones en paralelo aumentan la intensidad de corriente y las en serie aumentan la tensión de salida (Velazquez Cespedes 2012).

A. Características Eléctricas de las Baterías

Las características eléctricas más relevantes de las baterías son las siguientes:

Carga: Es el proceso por el cual se convierte la energía eléctrica generada por

una fuente externa en energía química almacenada en la batería.

Descarga: Es la conversión de la energía química de una batería en la energía

eléctrica que se utiliza en un dispositivo de consumo eléctrico.

Ciclo: Cuando se refiere a las baterías, un ciclo es el proceso por el cual a partir de cierto nivel de energía almacenada la batería se descarga y posteriormente se carga hasta alcanzar el nivel original de energía.

Ciclos de vida: Es la cantidad de ciclos de carga y descarga, bajo condiciones determinadas, que una batería puede soportar antes de disminuir a las condiciones de capacidad que determinan el término de su vida útil.

Densidad de energía: Es la energía disponible de una batería por unidad de volumen (Wh/lts) o por unidad de peso (Wh/kg). El fabricante entrega este valor como característica inicial.

Densidad de potencia: Es la potencia disponible de una batería por unidad de volumen (W/lts) o de peso (W/kg). El fabricante entrega este valor como característica inicial.

Régimen de descarga: Valor de corriente que se extrae de la batería.

Normalmente se expresa como una fracción de la capacidad nominal de la batería o se referencia la cantidad de horas de duración de la descarga.

Días de reserva: Es la cantidad de días que una batería con carga completa puede satisfacer una determinada demanda de energía, a una cierta tasa de descarga.

Profundidad de descarga: Son los Amperes-hora (Ah) extraídos desde una batería con carga completa, expresados como el porcentaje de su capacidad nominal a una tasa de descarga específica.

Descarga profunda: Se habla de descarga profunda cuando la batería entrega una cantidad de energía de hasta un 80 % de su capacidad nominal, es decir mantiene un 20 % de su capacidad.

Descarga superficial: Es cuando la batería entrega una cantidad de energía hasta un 20 % de su capacidad nominal.

Tasa de descarga: Es la intensidad, en Amperes, en que la corriente eléctrica es entregada por la batería a una resistencia eléctrica conectada en sus bornes bajo condiciones específicas de operación.

Capacidad de energía: Es la energía, expresada en unidades de Ampereshora (Ah), que una batería puede entregar a una tasa de descarga especificada a partir de un nivel de carga completa hasta descarga completa. Es usual expresar esta capacidad en cantidad de Amperes-hora considerando tensiones

nominales en la batería, sea de 6, 12, 24, 48 Volts (V) según corresponda.

Horas de capacidad: Es el número de horas que una batería puede entregar una corriente constante antes de alcanzar un nivel de descarga específica (80%, 60%) partiendo de carga nominal.

Sobrecarga: Es la corriente que se continúa entregando a la batería después que ésta ha alcanzado su plena carga. Esta energía adicional produce daño a las baterías ya que se producen transformaciones electroquímicas que deterioran los componentes internos.

Capacidad nominal: Es un dato proporcionado por el fabricante que indica la cantidad de Amperes-hora que puede ser extraído desde la batería con plena carga a una tasa de descarga específica y a temperatura de operación nominal hasta que se alcanza el valor de descarga nominal.

Pérdidas de capacidad: Es el proceso por el cual la capacidad disponible de la batería disminuye por efectos de las reacciones químicas internas de sus componentes básicos. Esta pérdida de capacidad puede ser paulatina producto del envejecimiento de los componentes o de forma imprevista producto de una operación inapropiada (descarga completa, falla en mantenimiento ó cortocircuito en sus bornes).

Tensión en circuito abierto: Diferencia de potencial, expresada en Volt, que aparece en los bornes de una batería cuando se

encuentra en circuito abierto, esta tensión o voltaje depende del nivel de carga de la batería siendo mayor en la medida que tiene más carga.

Tensión nominal: Es la tensión que aparece en los terminales de la batería en condiciones de plena carga y con intensidad de corriente de descarga.

Tensión de descarga: Es la tensión que aparece en los terminales de la batería en condiciones de descarga o cuando se alcance un nivel de descarga determinado. Es recomendable que el fabricante proporcione el valor de la tensión en los bornes de salida en función del porcentaje de carga de la batería.

Baterías de ciclo profundo: Son aquellas que se fabrican especialmente para soportar descargas profundas sin sufrir deterioro en su conformación interna.

Baterías selladas: Son aquellas que constan de un sistema de protección que impide el derramamiento del electrolito.

2.2.2.5. Cables

Los sistemas fotovoltaicos, como toda instalación que queda permanente al aire libre, deben estar diseñadas para resistir las duras inclemencias meteorológicas (temperaturas ambientales extremas, radiación solar ultravioleta, humedad, resistencia a los impactos...) que condicionan la calidad de los materiales empleados.

Hasta hace relativamente poco, y debido a la falta de normalización al respecto, se utilizaba para el cableado y conexionado entre los paneles, de éstos con la caja del regulador de carga, de regulador al inversor, baterías, etc. muy comunes en cualquier otra instalación eléctrica, pero que para los usos en instalaciones fotovoltaicas ofrecen características limitadas. En efecto, el polietileno reticulado de la cubierta de los cables tipo THW-90, NYY, etc. Son conductores eléctricos convencionales, pero para aplicaciones más exigentes, como el caso de las instalaciones fotovoltaicas.

2.2.3. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico

- a) Primeramente, debemos calcular la potencia del generador fotovoltaico teniendo en cuenta la energía eléctrica proyectada, las horas solar pico y el factor considera un factor global de funcionamiento (**PR**)⁴⁰ de 0,6

Ecuación 1

$$P_{dgf} (kW) = \frac{E_e}{H}$$

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

Ecuación 2

⁴⁰ (Agustin Castejon s.f.)

$$N_{dp} = \frac{E_e}{H \cdot p} \quad (N_M)$$

Luego considerando una tensión de trabajo del sistema de corriente directa, podemos calcular el número de paneles en serie.

Ecuación 3

$$N_{sm} = V_{dt} / V_m$$

El número de ramas en paralelo de paneles se calculará con la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$N_{pm} = N_m / N_{ms}$$

Para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

Ecuación 5

$$C_T = (N_D \times E_e) / (P_{Dm} \times V_T)$$

Donde:

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

N_D = Número de días de autonomía =2.

E_e = Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

P_{Dm} = Profundidad máxima de descarga

V_T = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (48 V).

El número de baterías a conectarse en serie se obtiene de la siguiente ecuación.

Ecuación 6

$$N_{b \text{ en s}} = V_{ti \text{ d ti}} / V_T \text{ d l b}$$

Para calcular el número de ramas de baterías en paralelo en paralelo

Ecuación 7

$$N_{rc \text{ d b e p e}} = C_b / C_{d \text{ l b s e}}$$

Para el dimensionamiento del regulador calcularemos la corriente eléctrica mínima que debe tener el regulador con la siguiente ecuación

Ecuación 8

$$I_{m \text{ d r}} = 1,2 \text{ c d p} \times N_{pm}$$

Teniendo la corriente eléctrica del regular podemos calcular el número de reguladores para la instalación con la siguiente ecuación

Ecuación 9

$$N_{rc} = I_{m \text{ d r}} / I_r \text{ s e}$$

El número de ramas de paneles solares que se conectaran a cada regulador de obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$N_{rc \text{ d p s p r e}} = N_r / N_{rc \text{ d p}}$$

Para el cálculo de los inversores se considerará la siguiente ecuación

Ecuación 11

$$P_{deai} = \frac{P_{dli}}{R_{di}}$$

Para calcular el número de inversores

Ecuación 12

$$N_{di} = \frac{P_{deai}}{P_{di}}$$

Para el cálculo del cableado, primero calcular eso la corriente eléctrica por cada tramo de conductor

Ecuación 13

Para el tramo generador fotovoltaico – controlador, la corriente está dado por (I_{Mm}):

$$I_{Mm} = 1,25 \times I_{Cdp} \times N_{reep} \times r$$

Ecuación 14

Para el tramo controlador- inversor, la corriente eléctrica está dado por (I_{Mit}):

$$I_{Mit} = 1,25 \times P_{lin} / (V_{tdt} \times \eta_{di})$$

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

Ecuación 15

$$S_c = \frac{2 \times L \times I}{5 \times \Delta V}$$

Donde:

S_c = Sección mínima recomendada [m^2].

L = Longitud tramo [m].

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

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

Ecuación 16

Para determinar el Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares aremos uso de la siguiente ecuación:

$$\beta_o = 3,7 + (0,6 \times |\varphi|)$$

β_o :

β_o : Angulo de inclinación optimo

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

Es una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

Ecuación 17

Para determinar la distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos aremos uso de las siguientes formulas:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - W)} ; h = L \sin(S) ; D = d + L \cos(S)$$

Para el dimensionamiento de la red de distribución secundaria tenemos en los cálculos eléctricos la

Ecuación 18

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = KxIxLx10^{-3}$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Para los cálculos mecánicos de la red de distribución secundaria usaremos la ecuación de cambio de estado TRUXA

Ecuación 19

$$\tau_F^2 \left[\tau_F + Er(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \tau_i^2} - \tau_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2}$$

Donde:

σ_i : Esfuerzo admisible en la hipótesis inicial (Kg/mm²)

σ_F : Esfuerzo admisible en la hipótesis final (Kg/mm²)

W_{ri} : Peso resultante en la hipótesis inicial (Kg/m)

W_{rF} : Peso resultante en la hipótesis final (Kg/m)

t_i : Temperatura en la hipótesis inicial (°C)

t_F : Temperatura en la hipótesis final (°C)

σ : Coeficiente de dilatación lineal (°C⁻¹)

E : Módulo de elasticidad (Kg/mm²)

A : Sección (mm²)

L : Vano (m)

Para calcular el vano básico usaremos la siguiente ecuación

Ecuación 20

$$V \quad B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}}$$

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada⁴¹.

Capacidad nominal de batería

Cantidad de ampere horas que se puede obtener de una batería según las condiciones especificadas de descarga, tales como el voltaje mínimo (cut-off voltaje), temperatura y corriente.

Caja de conexión

Caja, protegida de la intemperie, donde se conectan los cables de los paneles, los protectores contra rayos, sobrecarga, etc. Normalmente ubicada en un lugar accesible, detrás del panel PV.

⁴¹ (Ixtebe Portabelle 2010)

Carga mínima

Pequeña carga que compensa la auto-descarga de las baterías con el fin de mantener las baterías con carga máxima.

Conjunto de paneles

Grupos de paneles en una instalación PV.

Conexión en paralelo

Método de interconexión de células o módulos donde los terminales positivos de todos los elementos están conectados entre si y los terminales negativos también. En este caso, se suma las corrientes de los elementos.

Conexión en serie

Método de interconexión de células o módulos donde el terminal positivo de un elemento está conectado al terminal negativo del próximo en la serie. En este caso, se suma los voltajes de los elementos.

Celda Solar

Es el elemento semiconductor más pequeño en un módulo fotovoltaico donde se produce energía eléctrica de la radiación solar incidente.

Ciclo vida Número de ciclos de carga-descarga tolerada por una batería bajo condiciones normalizadas hasta que el comportamiento no cumple con las especificaciones; por ejemplo, hasta la capacidad disminuye a 80% de su capacidad nominal.

Condiciones STC

Condiciones normalizados para el ensayo de paneles: Radiación solar de 1 000 W/m², temperatura de la célula fotovoltaica 25°C, Valor espectral = 1,5 AM. Cabe aclarar que la radiación es casi siempre inferior a 1 000 Watts/m², la temperatura frecuentemente excede los 25°C, mientras el valor espectral puede variar entre 0,7 (a gran altura sobre el nivel del mar) e valores muy grandes (al atardecer).

Conjunto de módulos

Los paneles o módulos PV que generan electricidad en un sistema PV. Corriente Alterna Corriente eléctrica con cambio frecuente del sentido de flujo, típicamente 50 o 60 ciclos por segundo (50 Hz en Argentina). La variación de la corriente es sinusoidal.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

Densidad de potencia incidente en una superficie o a energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m²

Irradiación

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

Generador fotovoltaico

Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.

Rama o serie fotovoltaica

Subconjunto de módulos conectados en serie o asociaciones serie paralelo con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

Potencia nominal del generador

Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Potencia instalada fotovoltaica o potencia nominal

Suma de potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de funcionamiento.

Célula solar o fotovoltaica

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Modulo o panel fotovoltaico

Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Arreglo solar: Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.

Caja de conexión: Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.

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

Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Constante solar: Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m^2 por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente $1,36 \text{ kW/m}^2$.

Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

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.

Curva I-V: Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.

Diodo de bloqueo: Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.

Diodo de bypass: Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.

Eficiencia de la celda: Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m^2 de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)

Interruptor: Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.

Módulo o módulo solar fotovoltaico: Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.

Potencia eléctrica: Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el megawatt (MW).

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

Tensión eléctrica: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)

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/m^2 , 25°C y 1,5 de masa de aire).

Silicio amorfo

Color negro, o marrón oscuro uniforme. Bajo costo, pero con menor eficiencia (entre 5-7%, independiente de la temperatura)

Silicio monocristalina

Color azul oscuro, levemente translucido. Alto costo, pero con mayor eficiencia (supera 13%) con valores menores cuando la temperatura supera 25°C .

Silicio Policristalino

Color normalmente azul oscuro veteado, levemente translucido: también disponible en marrón o gris veteado, etc. Precio menor que

monocristalino con menor eficiencia (11%) con valores menores cuando la temperatura supera 25 °C

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Para este examen de suficiencia se ha considerado siguiente:

El tipo de investigación Aplicada⁴²: En este tipo de investigación el énfasis del estudio está en la resolución práctica de problemas. Se centra específicamente en cómo se pueden llevar a la práctica las teorías generales. Su motivación va hacia la resolución de los problemas que se plantean en un momento dado.

⁴² <https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>

El diseño de la investigación es no experimental⁴³: La que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionadamente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

3.2. Población y muestra

Para el desarrollo del presente examen de suficiencia se tomará como población las 30 viviendas de uso doméstico, y 03 cargas de uso general: 01 Iglesia, 01 casa comunal, 01 centro de salud y 01 centro educativo nivel primario; con un total de 34 lotes

3.3. Hipótesis

Utilizando la energía fotovoltaica se logrará electrificar el caserío San Juan de Dios ubicado en el distrito de Callayuc, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

3.4. Operacionalización de las variables

X: Variable independiente: energía solar fotovoltaica

Y: Variable dependiente: Electrificación rural

⁴³ https://es.slideshare.net/conejo920/diseo-de-investigacion-no-experimental?from_action=save

Tabla N° 2: Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<p>Variable dependiente</p> <p>Electrificación rural</p>	<p>Proveer de electricidad un lugar⁴⁴.</p> <p>Hacer que algo funciones con electricidad.</p>	<p>Dimensionar el sistema fotovoltaico</p> <p>Dimensionar la red de distribución en Baja Tensión</p> <p>Metrado y presupuesto</p>	<p>Potencia de paneles solares (Wp), Capacidad de las baterías (A.h), Reguladores, Inversores, equipos de protección, conductores electricos. Dimensionamiento de la red de baja tensión.</p> <p>Metrado y presupuesto.</p>
<p>Variable Independiente</p> <p>Energía solar fotovoltaica</p>	<p>La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica⁴⁵.</p>	<p>Determinar la radiación solar promedio.</p>	<p>Radiación solar (Kw.h/m²)</p>

Fuente: elaboración propia

⁴⁴ https://www.google.com.pe/search?safe=active&ei=zzhwW66OCOSHggfE3JrYBw&q=que+significa+electrificar&oq=que+significa+electrificar&gs_l=psy-ab.3...2869.7579.0.7849.0.0.0.0.0.0.0.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.0.0....0.HsVefX-aZGw

⁴⁵ https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

En el presente examen de suficiencia 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 directa⁴⁶

“Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.

La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos” (WILSON 2000).

Es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar. Es indirecta cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de las observaciones realizadas anteriormente por otra persona. Tal ocurre cuando nos valemos de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc., relacionadas con lo que estamos investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes lo mismo que nosotros. (WILSON 2000).

“La observación participante es cuando para obtener los datos el investigador se incluye en el grupo, hecho o fenómeno observado,

⁴⁶ <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

para conseguir la información desde adentro. Observación no participante es aquella en la cual se recoge la información desde afuera, sin intervenir para nada en el grupo social, hecho o fenómeno investigado. Obviamente, La gran mayoría de las observaciones son no participantes” (WILSON 2000).

“ventajas de la observación: permite registrar hechos reales. Es la única técnica que hace posible el acopio de situaciones que no se pueden reproducir” (MENDOZA 2008)

“la observación participante permite adentrarse en las tareas cotidianas que los individuos desarrollan. Conocer más acerca de las expectativas de la gente, el investigador se desenvuelve con naturalidad dentro del grupo, es decir, se integra de lleno a las actividades que realizan sus componentes” (MORAN 2008)

b) La Entrevista⁴⁷

“Es un interrogatorio dirigido por un investigador (entrevistador), con el propósito de obtener información de un sujeto (entrevistado), en relación con uno o varios temas o aspecto específicos”. (MENDOZA 2008)

“Según la naturaleza de las preguntas y el control que ejerza el entrevistador, puede ser: entrevista dirigida el entrevistador plantea una serie de preguntas que requieren respuestas breves. Estas preguntas se elaboran previamente y es común que el entrevistador

⁴⁷ <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

registre las respuestas por escrito, junto a cada una de las cuestiones”. (MENDOZA 2008)

“La entrevista semidirigida incluye preguntas de carácter más amplio que las usadas en las de tipo dirigido, con lo cual se espera recabar más datos y obtener mayor participación del entrevistado”. (MENDOZA 2008)

“En la entrevista abierta de hecho se plantean sólo algunos temas o aspectos a acerca de los cuales el sujeto puede dar amplia información, de modo que éste habla la mayor parte de la sesión, en tanto que el entrevistador se limita a hacer alguna observación o a plantear otro aspecto”. (Mendoza 2008).

c) Análisis documental

Este instrumento de medición se utilizó para registrar la información de diferentes bibliografías sobre sistemas de generación eléctrica fotovoltaica.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Tabla N° 3: Técnicas e instrumentos utilizados

<i>TÉCNICA</i>	<i>INSTRUMENTO</i>
ENTREVISTA	La entrevista fue abierta
OBSERVACIÓN	Cuaderno de apuntes
ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Lista de chequeo

Fuente: elaboración propia del autor

De acuerdo a las técnicas utilizadas en la siguiente tabla N° 3, se muestra el instrumento.

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

En este ítem de las visitas realizadas se procesan los datos utilizando hojas de cálculo en Excel. Los datos de radiación solar se obtienen de tres fuentes confiables de las cuales la de la NASA nos da los valores promedios de radiación solar para 22 años. Para el dimensionamiento se considera el mes más crítico que es el mes de menor radiación solar, se seleccionan los equipos, se dimensiona la red de distribución secundaria en base a las normas DGE. Luego elaboramos los planos en AutoCAD 2016.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Lo que se propone para suministrar energía eléctrica al caserío San Juan de Dios es electrificarlo utilizando energía solar fotovoltaica

Un generador fotovoltaico que transformara la energía solar en energía eléctrica aprovechable para el caserío y la red de distribución de baja tensión la cual se encargará de distribuir la energía eléctrica a cada una de las viviendas.

1.1.1. Equipamiento de la propuesta

El sistema fotovoltaico estará conformado por:

24 paneles fotovoltaicos de la marca YINGLI SOLAR de 320 Wp

24 baterías de la marca RITAR de 200 A.h.

03 reguladores VICTRON ENERGY 150/100.

03 inversores de 48V- 2 000 W TBB CPI2000S

Conductores eléctricos para unir equipos y elementos de protección

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Demanda de energía eléctrica y potencia instalada

De las visitas al caserío San Juan de Dios se determinó que se tienen 30 viviendas de uso doméstico, y 04 cargas de uso general: 01 Iglesia, 01 casa comunal, 01 centro de salud y 01 centro educativo nivel primario; con un total de 34 lotes

5.1.1. Población y vivienda actual y proyección para el caserío San Juan de Dios

Teniendo en cuenta que la vida útil de los paneles fotovoltaicos es de 20 años entonces proyectaremos la población, con una determinada tasa de crecimiento que se termina según la siguiente tabla N° 4

Tabla N° 4: Tasa de crecimiento en el departamento de Cajamarca⁴⁸

Año	Tasa de crecimiento promedio anual (%)
1940	
1961	1,60 %
1972	1,80 %
1981	1,40 %
1993	1,70 %
2007	0,80 %
Promedio	1,46 %

consideramos el valor promedio: 1,46 %

⁴⁸ <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro19/cap01.pdf>

$$P_z = P_0(1 + i)^n \dots (7)$$

Donde:

P₀: Población actual (120 habitantes)

P₂₅: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,46%)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$P_z = 120 (1 + 0,0146)^2 = 127,1$$

Para determinar el número de viviendas se usará la siguiente ecuación:

La cual supone que la relación entre el número de personas por unidad de viviendas es constante.

$$N_z = N_0 \left(\frac{3}{1} \right) = 40$$

Luego el número de viviendas proyectados es de 40.

5.1.2. Energía promedio diaria (Wh/día)

5.1.2.1. Consumo de energía eléctrica para las unidades de vivienda

Tabla N° 5: Consumo de energía promedio diaria⁴⁹

Energía eléctrica promedio diaria para el Caserio San Juan de Dios				
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Horas Diarias de uso	Consumo diario promedio (Wh)
1. Unidad de vivienda: 40				
Lamparas	8	3	3	72
Radio	10	1	5	50
Carga de celular	5	3	1	15
Televisor	60	1	3	180
Sub total				317,00
2. Local comunal: 1				
Lamparas	8	2	3	48
Radio	10	1	4	40
Televisor	60	1	3	180
Carga de celular	5	1	2	10
Sub total				278,00
3. Iglesia: 1				
Lamparas	8	2	1	16
Radio	10	1	4	40
Carga de celular	5	1	2	10
Sub total				66,00
4. Centro de salud:1				
Lamparas	4	2	12	96
Radio	10	1	10	100
Televisor	60	1	8	480
Ventilador	40	1	10	400
Carga de celular	5	1	2	10
Sub total				1086,00
5. Centro educativo de nivel primaria: 1				
Lamparas	8	4	1	32
Radio	10	1	4	40
Televisor	60	1	1	60
Computadoras	100	10	2	2000
Carga de celular	5	1	2	10
Sub total				2142,00
Total				16252,00

⁴⁹ Fuente: elaboración propia del autor

5.1.2.2. Alumbrado de vías públicas

El número de puntos de iluminación (PI), se calculó según lo establecido en la norma DGE “Alumbrado de vías públicas en áreas rurales”, el mismo que se presenta a continuación.

a. Determinación del consumo de energía mensual por alumbrado público (CMAP):

$$C = K \dots (2)$$

Donde:

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW.h

KALP = Factor de AP en kW-h / usuario – mes. Dicho factor es el correspondiente al sector típico 4: KALP=3,3

NU = Número de usuarios de la localidad (50)

$$C = 9 \text{ k.h}$$

b. Cálculo del número de punto de iluminación (PI):

$$P = \frac{C}{N} \dots (2)$$

Donde:

PI = Puntos de iluminación.

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW-h.

NHMAP = Número de horas mensuales del servicio alumbrado público (horas/mes).

PPL = Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watts (60 W).

* La cantidad de Puntos de iluminación (PI) en caso de ser decimal se debe redondear al número inferior.

* El número de horas diarias de alumbrado público considerado debe estar comprendido entre 8 y 12 horas; mayormente 12 horas. (NHMAP = 12 x 30 = 360)

Reemplazando los datos en la siguiente formula obtenemos:

$$P = \frac{C}{N} \quad 4$$

El resumen de alumbrado público se muestra en la siguiente tabla:

La energía por alumbrado público lo obtenemos multiplicando la potencia por 12h de utilización obteniendo:

$$(0,24 \text{ k }) \times (12 \text{ h}) = 2,88 \text{ k } .h$$

5.1.2.3. Consumo de energía eléctrica promedio diario para el centro poblado San Juan de Dios

Entonces la energía promedia diaria para el caserío San Juan de Dios es de:

$$E_{p d p e c S J D D} = 16,25 \text{ k } .h + 2,88 \text{ k } .h = 19,13 \text{ k } .h$$

5.2. Radiación Solar en el caserío San Juan de Dios

Se ha consultado tres fuentes: El atlas solar del Perú, Consulta a la página web de la NASA y el uso del software Solarius Plus, cuyos datos se detallan a continuación:

Atlas de energía solar del Perú⁵⁰, del cual podemos obtener la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Cajamarca⁵¹, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,5 kWh/m²/día y 5 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m²/día.

Consultando página web de la Nasa: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi> , página web de la NASA brinda información de la radiación solar promedio mensual evaluado en un periodo de 22 años

Con los datos de la latitud y longitud donde se ubica el caserío San Juan de Dios (fuente: <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>).

Latitud: -6,04214666667

Longitud: -78,9592700000

⁵⁰ (SENAMHI 2003)

Tabla N° 6: Radiación solar en el caserío San Juan de Dios según la NASA

Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m ² /day)													
Lat -6.042 Lon -78.959	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.82	4.61	4.88	4.71	4.93	4.93	5.05	5.46	5.76	5.67	5.86	5.37	5.17

Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)													
Lat -6.042 Lon -78.959	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Minimum	-17	-14	-13	-10	-11	-17	-14	-12	-13	-14	-15	-13	
Maximum	20	14	18	11	12	11	10	12	11	13	14	23	

Parameter Definition

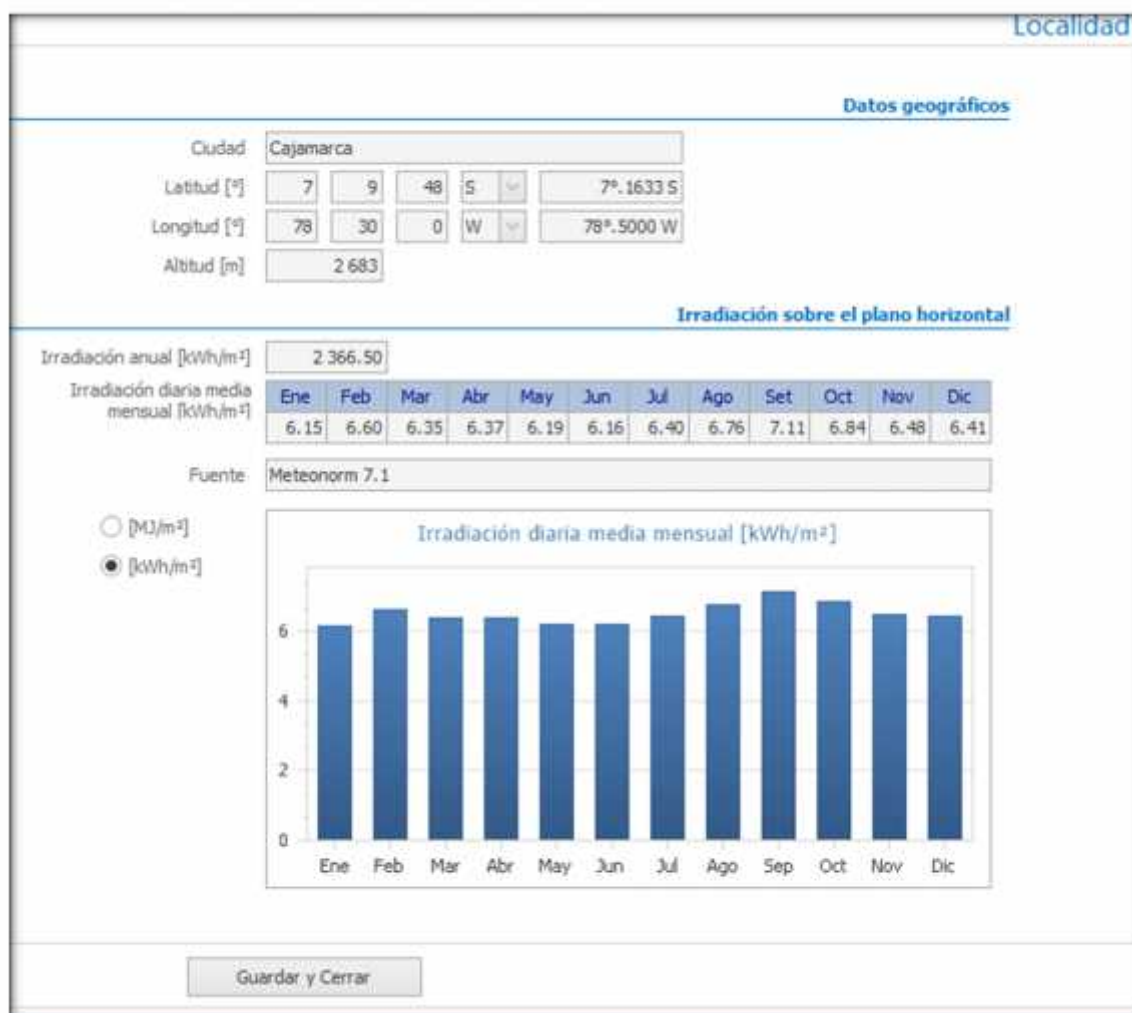
fuelle: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

La irradiación solar más desfavorable es en el mes de febrero con un valor de 4,61 kWh/m²/día.

Software Solarius plus

Haciendo uso del software Solarius Plus en la Tabla N° 7 se muestran los resultados. De donde se obtiene que el valor de la radiación solar más baja es de 6,15 kWh/m²/día

Tabla N° 7: Radiación solar en el departamento de Cajamarca con el software Solarius Plus



Fuente: Solarius plus

Comparando los resultados obtenidos de las tres fuentes tal como se muestra en la siguiente para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico la radiación solar es de: 4,61 kWh/m²/día

5.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

5.3.1. Dimensionado del sistema fotovoltaico

La potencia del generador fotovoltaico para para el caserío San Juan de Dios se realizó a la demanda de la carga proyectada a futuro, es decir: 19,13 kWh

Aplicando la **ecuación 1**, calculamos la potencia del generador fotovoltaico:

$$P_{dgf} = \frac{19,130 \left(\frac{k}{d} h \right)}{4,61 \times 0,6} = 6,916 \text{ k}$$

Para elección del panel solar FV se tiene en consideración tres puntos básicos:

Seleccionamos entre una marca reconocida y de potencia comerciable como es la marca YINGLI SOLAR

Tabla N° 8: Numero de paneles necesarios vs costos⁵²

Marca	potencia del modulo fotovoltaico	Costo del modulo fotovoltaico (Soles)	Tension del modulo fotovoltaico	modulos en serie	Ramas en paralelo	Total de modulos fotovoltaicos	costo total	potencia del generador fotovoltaico (kWp)
yingli solar	65	282,11	12	4	28	112	31596,32	7,28
yingli solar	100	434,03	12	4	18	72	31250,16	7,20
yingli solar	120	520,83	12	4	16	64	33333,12	7,68
yingli solar	150	629,33	12	4	12	48	30207,84	7,20
yingli solar	200	875,18	24	2	18	36	31506,48	7,20
yingli solar	320	1200,28	24	2	12	24	28806,72	7,68

De la tabla N° 8 seleccionamos los paneles fotovoltaicos de 320

Wp de la marca YINGLI SOLAR

Tabla N° 9: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

YGE 72 CELL SERIES 2

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)

Tipo de módulo			Y1xxxP-350 (xxxxP-xxx)					
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 _L	%	17.0	16.7	16.5	16.2	16	15.7
Tensión en P _{max}	V _{max}	V	37.4	37.3	37.0	36.8	36.3	36.1
Intensidad en P _{max}	I _{max}	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 1.5, ángulo de incidencia 36.7°.
Reducción media de la eficiencia relativa de 3.3% a 200 W/m² según la EN 60904-3.

fuente: catalogo YINGLI SOLAR⁵³ (ANEXO 01)

⁵² Elaboración propia del autor

⁵³ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-panel-Yingli-320W.pdf>

Tabla N° 10: Características mecánicas

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 SOLAR⁵⁴ (ANEXO 01)

Con la **ecuación 2**, se calculó el número de paneles solares mininos necesarios para generar una potencia de 6,92 kWp

$$N_{dp} \quad (N_m) = \frac{19\,130 \left(\frac{k}{d} \frac{h}{d} \right)}{4,61 \times 0,6 \times 320} = 21,61 \quad 22$$



Consideramos trabajar con una tensión de 48 V; la tensión de trabajo de los paneles solares es de 24 V, entonces Haciendo uso de la **Ecuación 3**, el número de paneles a conectar en serie:

$$N_{sm} = 48 / 24 = 2$$

⁵⁴ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-panel-Yingli-320W.pdf>

De la **Ecuación 4**, el número de ramas en paralelo es de:

$$N_{pm} = 2 / 2 = 1$$

Tabla N° 11: Resumen de los resultados de los paneles

Radiacion solar	Energia total requerida por la carga (kWh/dia)	Numero de paneles de 320 Wp	Energia generada por los paneles (kWh/dia)
4,61 kWh/m ² /día	31,883	24	35,405

Fuente: elaboración propia

Para el dimensionado del banco de baterías que almacena la energía generada por el arreglo fotovoltaico considerando las baterías de una capacidad de 200 Ah (Costos⁵⁵), el resultado se obtiene utilizando la **Ecuación 5**

$$C_T = (2 \times 19\,130) / (0,78 \times 48)$$

$$C_T = 1\,138,69 \text{ Ah}$$

Tabla N° 12: Capacidad de las baterías vs Costo⁵⁶

Marca	Capacidad (A.h)	Costo de la batería (S/.)	Tension de la batería	Baterias en serie	Ramas de baterias en paralelo	Total de baterias	Costo total (S/.)	Capacidad total (A.h)
RITAR	100	729,31	12	4	12	48	35006,88	1200
RITAR	150	1089,86	12	4	8	32	34875,52	1200
RITAR	200	1393,06	12	4	6	24	33433,44	1200
RITAR	260	2540,28	12	4	5	20	50805,60	1300

⁵⁵ <https://autosolar.pe/baterias-solares/ritar>

⁵⁶ Fuente: elaboración propia del autor



Figura N° 22: batería RITAR de 200 A.h (ANEXO 02)⁵⁷

De la **Ecuación 6**, el número de baterías en serie:

$$N_{b \text{ en s}} = \frac{4}{1} = 4$$

De la **Ecuación 7**, el número de ramas de baterías en paralelo:

$$N_{r \text{ de b p}} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \approx 6$$



En el dimensionamiento del regulador la corriente eléctrica mínima del regulador dado por la **Ecuación 8**.

$$I_{m \text{ d r}} = 1,2 \cdot 1 = 1,2 A$$

El número de reguladores para nuestra instalación considerando los

⁵⁷ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-1704411.pdf>

reguladores VICTRON ENERGY (ANEXO 03) con una capacidad de corriente de 60 A,

Tabla N° 13: Numero de controladores vs costo

Marca	Capacidad	Costo del controlador (S/.)	Numero de controladores	Costo total (S/.)
VICTRON ENERGY	45	2033,15	4	8132,60
VICTRON ENERGY	60	2259,04	3	6777,12
VICTRON ENERGY	100	3506,04	2	7012,08
VICTRON ENERGY	70	3533,31	2	7066,62
VICTRON ENERGY	85	3621,13	2	7242,26

Fuente: elaboración propia

lo obtenemos con la **Ecuación 9**

$$N_r = 1,7 / 6 = 2,3 \rightarrow 3$$



El número de ramas de módulos fotovoltaicos a conectarse a cada regulador se hará con la **ecuación 10**

$$N_{rc} = 1 / 3 = 4$$

$$4rc = 4 \times 3 = 12$$

Los inversores que se utilizarán en nuestra propuesta serán los inversores de onda pura 48V 2000W TBB CPI2000S (ver figura 23)

Para el cálculo de la potencia requerida por el inversor usaremos la siguiente ecuación:

Ecuación 11

$$P_{d l c} = \frac{E_e}{H} =$$

$$P_{d l c} = \frac{19,130}{4,61} = 4,20 \text{ k}$$

$$P_{d e a i} = \frac{4,20}{0,94} = 4,47 \text{ k}$$

Para determinar el número de inversores necesarios usaremos

Ecuación 12

$$N_{i1} = \frac{4,47 \text{ k}}{2,0 \text{ k}} = 2,24 \quad 3$$



Figura N° 23: Inversor de onda pura 48V 2000W TBB CPI2000S (anexo 04)⁵⁸

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

**Cálculo del conductor en el tramo campo fotovoltaico –
regulador ΔV 3 %**

Haciendo uso de la Ecuación 13 tenemos:

$$I_{M \text{ m}} = 1,25 \times 9,1 = 4,9 \text{ A}$$

Haciendo uso de la Ecuación 15 tenemos:

$$\begin{aligned} S_C &= 2 \times L \times I / (56 \times V) \\ S_C &= 2 \times 6 \times 45,90 / (56 \times 1,44) \\ S_C &= 6,83 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

De la Tabla N° 14, seleccionamos el conductor **10 m² N**

⁵⁸ <https://www.tutiendaenergetica.es/inversor-solar-48v-2000w-tbb>

Cálculo del conductor en el tramo regulador – batería $\Delta V = 1\%$

Haciendo uso de la Ecuación 13 tenemos:

$$I_{Mm} = 1,25 \times 9,1 = 4,9 \text{ A}$$

Haciendo uso de la Ecuación 15 tenemos:

$$\begin{aligned} S_C &= 2 \times L \times I / (56 \times V) \\ S_C &= 2 \times 3 \times 45,90 / (56 \times 0,48) \\ S_C &= 10,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

De la Tabla N° 14,seleccionamos el conductor **16 m² N**

Cálculo del conductor en el tramo regulador – inversor $\Delta V = 1\%$

$$I_{Mti} = 1,2 \times 4,9 = 5,4 \text{ A}$$

Haciendo uso de la Ecuación 15 tenemos:

$$\begin{aligned} S_C &= 2 \times L \times I / (56 \times V) \\ S_C &= 2 \times 3 \times 55,41 / (56 \times 0,48) \\ S_C &= 12,37 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

De la Tabla N° 14,seleccionamos el conductor **16 m² N**

Tabla N° 14: Características eléctricas de los conductores NYY



TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE	N° HILOS	ESPESORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
N° x mm²		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1,4	15,4	216	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

fuelle: Catalogo de INDECO⁵⁹ (ANEXO 05)

5.3.2. Protección contra sobreintensidades

5.3.2.1. Selección de elementos de protección: fusibles⁶⁰

En la protección contra sobreintensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos se empleará fusibles. Se utilizarán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo *gPV 1000V DC* de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca **DF Electric** (ANEXO 06)

Entonces, que para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$$

siendo,

⁵⁹ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>

⁶⁰ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

I_b la intensidad de corriente que recorre la línea.

I_n la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

I_{adm} es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.

Tabla N° 15: Selección de fusibles

Generador - fotovoltaico - Regulador	$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$ $45,90 \quad I_n \quad 0,9 \cdot (85)$ $45,90 \quad I_n \quad 76,5$ $I_n = 63 \text{ A}$
Regulador - Batería	$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$ $45,90 \quad I_n \quad 0,9 \cdot (112)$ $54,25 \quad I_n \quad 100,8$ $I_n = 63 \text{ A}$
Controlador - Inversor	$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$ $54,25 \quad I_n \quad 0,9 \cdot (112)$ $54,25 \quad I_n \quad 100,8$ $I_n = 63 \text{ A}$

5.3.2.2. Protección del inversor

Debido a que la salida del inversor es en corriente alterna, para las protecciones utilizaremos interruptores termomagnéticos e interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad.

$$I_M = \frac{P}{V} = \frac{1,20 \times 400}{(3 \times 220)} =$$

$$I_{M \text{ c}} = 7,64 \text{ A}$$

seleccionamos un interruptor termomagnético de 10 A

5.3.3. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares:

De la ecuación **16**, sabiendo que la latitud es de -: 6,04214666667°.

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 \times |-6,042|)$$

$$\beta_o = 8,144^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de 8,14° y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día, consideraremos 15° para evitar la acumulación de polvo y humedad.

5.3.3.1. 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.

$$h = L \cdot \sin.$$

Dónde:

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

L: longitud del módulo (m)

: inclinación del módulo (°)

$$h = 1,960 \times \sin (15^\circ)$$

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

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

$$d = h / \operatorname{Tg} (61^\circ - \varphi)$$

Dónde:

d: distancia mínima (m)

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

φ : latitud del lugar ($^\circ$)

$$d = 0.41 / \operatorname{Tg} (61^\circ - 6^\circ)$$

$$\mathbf{d = 0,14 \text{ m}}$$

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:

$$D_{\min} = d + L \cdot \cos \alpha$$

Dónde:

D: distancia mínima (m)

L: longitud del módulo (m)

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

$$D_{\min} = 0,14 + 1,960 \cdot \cos (15^\circ)$$

$$\mathbf{D_{\min} = 2,03 \text{ m}}$$

5.4. Sistema de distribución eléctrica en baja tensión: 220 V

La red de distribución de baja tensión tiene las siguientes características: serán íntegramente aéreas y de configuración topológica radial, para la definición del material de los soportes se usará la Norma suministro DGE (RD 025-2003-EM: Especificaciones Técnicas para el Suministro de Materiales y Equipos de Redes Secundarias para Electrificación Rural). Se considerará postes de concreto armado y conductores de aleación de aluminio tipo autoportante CAAI.

5.4.1.1. Características del sistema eléctrico

Para el desarrollo de los cálculos justificativos, se ha tomado en consideración las siguientes características eléctricas:

Redes Secundarias

Tensión de Servicio: 220V; 1Ø

Frecuencia: 60 Hz.

Sistema Adoptado: Aéreo, radial.

Conductores: CAAI

Alumbrado Público

Tensión de Servicio: 220 V, 1Ø

Frecuencia: 60 Hz.

Sistema Adoptado: Aéreo, radial.

Conductores: NLT 2x2,5 mm²

5.4.1. Cálculos eléctricos

5.4.1.1. Cálculo de caída de tensión

Considerando la norma RD 031-2003-EM: Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural. 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, por lo que, para un sistema de 220 V, la máxima caída de tensión será de 15,4 V.

Para la red de distribución secundaria se propone el conductor 2x16/25 (para los vanos con alumbrado público) y 1x16/25 (para los vanos sin alumbrado público)

Tabla N° 16: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados⁶¹

Cable	K(factor de caída de tensión)	Capacidad de corriente (A)
2X16/25	3,272	64
1X16/25	3,272	64

Capacidad de corriente

⁶¹ (RD 031-2003-EM 2003)

En la Tabla N° 16 la capacidad de corriente del cable de 64 A. De las características del inversor obtenemos que la corriente eléctrica de salida es de:

$$I_{M \text{ c}} = 2000 / (220 - 1)$$

$$I_{M \text{ c}} = 9,09 \text{ A} < 64 \text{ A ok}$$

Caída de tensión

A continuación, se muestra el cálculo de caída de tensión por cada circuito

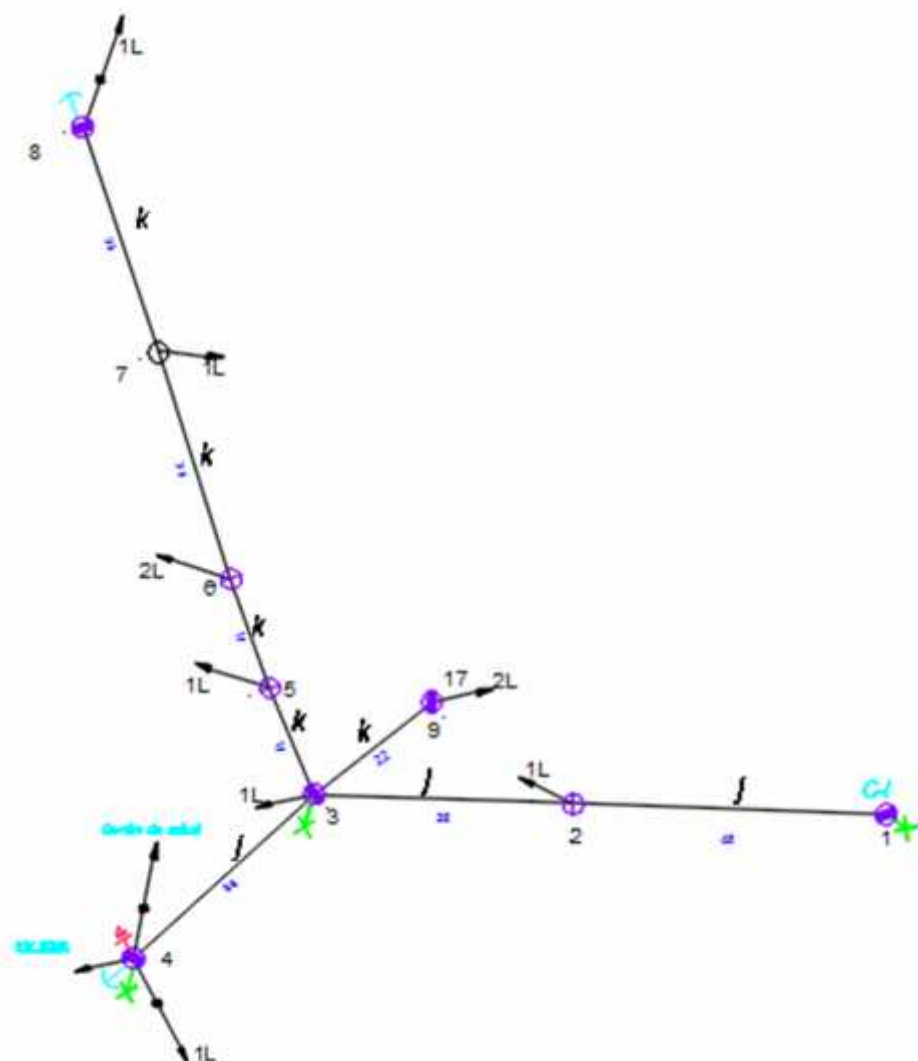


Figura N° 24: Diagrama de carga C-I

Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 17: Calculo de caída de tensión C-I

Punto	Servicio Particular					Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	Δ V	Σ Δ V	% de Δ V
	N° Lotes	Carga Especial	CORRIENTE [A]	POT. [W]	I [A]				S.P. [V]	Total [V]	
1			0,0	0,0	4,3	30,0	2x16+N25	3,272	0,42	0,42	0,19%
2	1		0,3	68,8	4,3	46,0	2x16+N25	3,272	0,64	1,06	0,48%
3	1		0,3	68,8	3,9	38,0	2x16+N25	3,272	0,49	1,55	0,70%
4	1	2	1,4	318,7	3,6	36,0	2x16+N26	3,272	0,43	1,98	0,90%
5	3		0,9	206,3	2,2	17,0	1x16+N25	3,272	0,12	2,10	0,95%
6	2		0,6	137,5	1,3	17,0	1x16+N25	3,272	0,07	2,17	0,99%
7	1		0,3	68,8	0,6	35,0	1x16+N25	3,272	0,07	2,24	1,02%
8	1		0,3	68,8	0,3	35,0	1x16+N25	3,272	0,04	2,28	1,04%
9	2		0,6	137,5	0,6	22,0	1x16+N25	3,272	0,04	2,02	0,92%

1,04% < 7% ok

Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 18: caída de tensión C-II

Punto	Servicio Particular					Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	Δ V	Σ Δ V	% de Δ V
	N° Lotes	Carga Especial	CORRIENTE [A]	POT. [W]	I [A]				S.P. [V]	Total [V]	
10	0		0,0	0,0	4,8	30,0	1x16+N25	3,272	0,48	0,48	0,22%
11	1	1	0,6	129,1	4,8	32,0	1x16+N25	3,272	0,51	0,98	0,45%
12	1		0,3	68,8	4,3	34,0	1x16+N25	3,272	0,47	1,46	0,66%
13	6	0	3,0	662,5	3,9	43,0	1x16+N25	3,272	0,56	2,01	0,92%
14			0,0	0,0	0,9	51,0	1x16+N25	3,272	0,16	2,17	0,99%
15	3		0,9	206,3	0,9	30,0	1x16+N25	3,272	0,09	2,26	1,03%
16			0,0	0,0	1,3	35,0	1x16+N25	3,272	0,14	2,16	0,98%
17	1		0,3	68,8	1,3	50,0	1x16+N25	3,272	0,20	2,36	1,07%
18	1		0,3	68,8	0,9	30,0	1x16+N25	3,272	0,09	2,45	1,11%
19	2		0,6	137,5	0,6	30,0	1x16+N25	3,272	0,06	2,51	1,14%
20	1		0,3	68,8	0,3	30,0	1x16+N25	3,272	0,03	2,48	1,13%

1,14% < 7% ok

Fuente: elaboración propia del autor

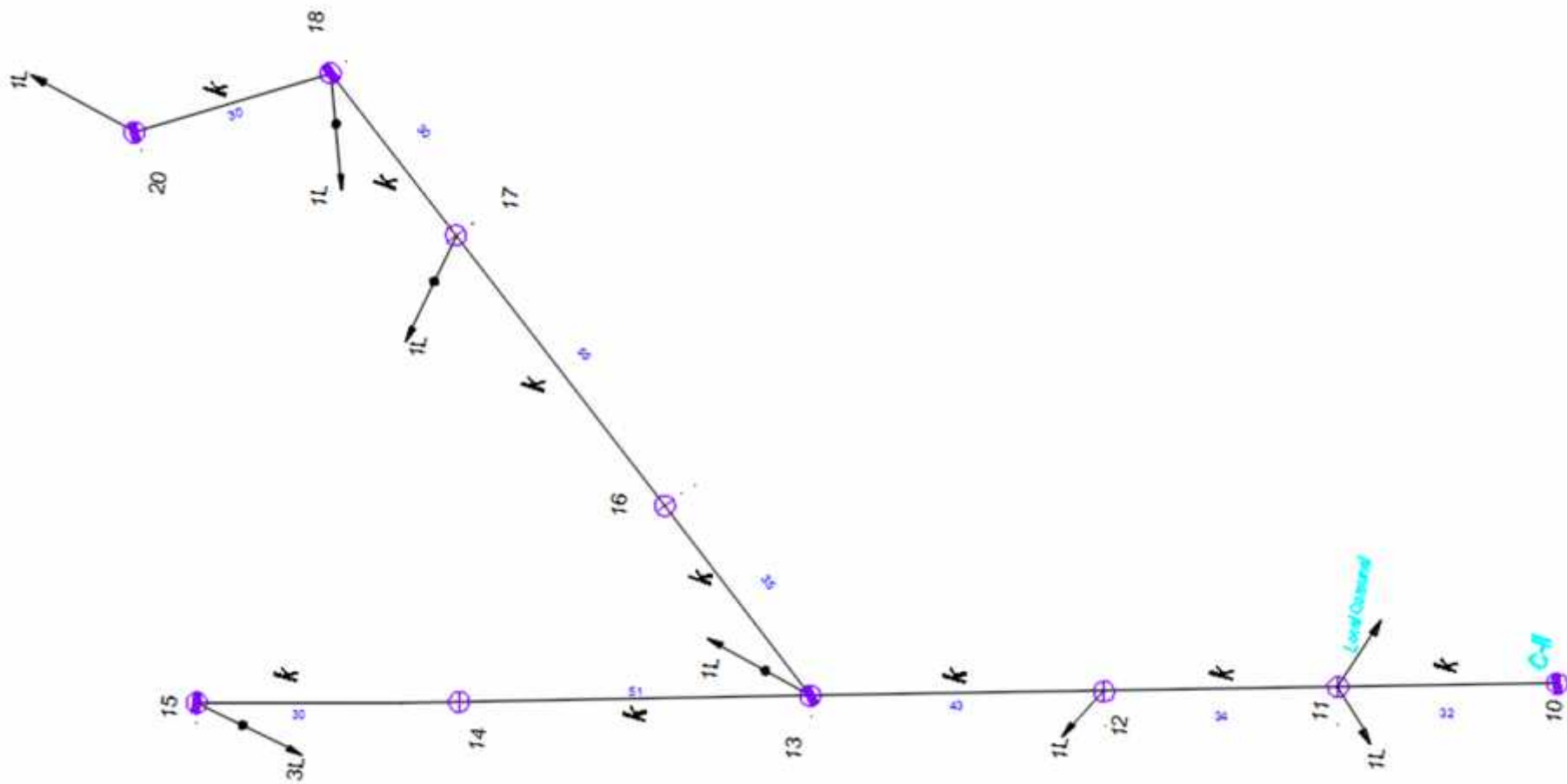


Figura N° 25: Diagrama de carga C-II

Fuente: elaboración propia del autor

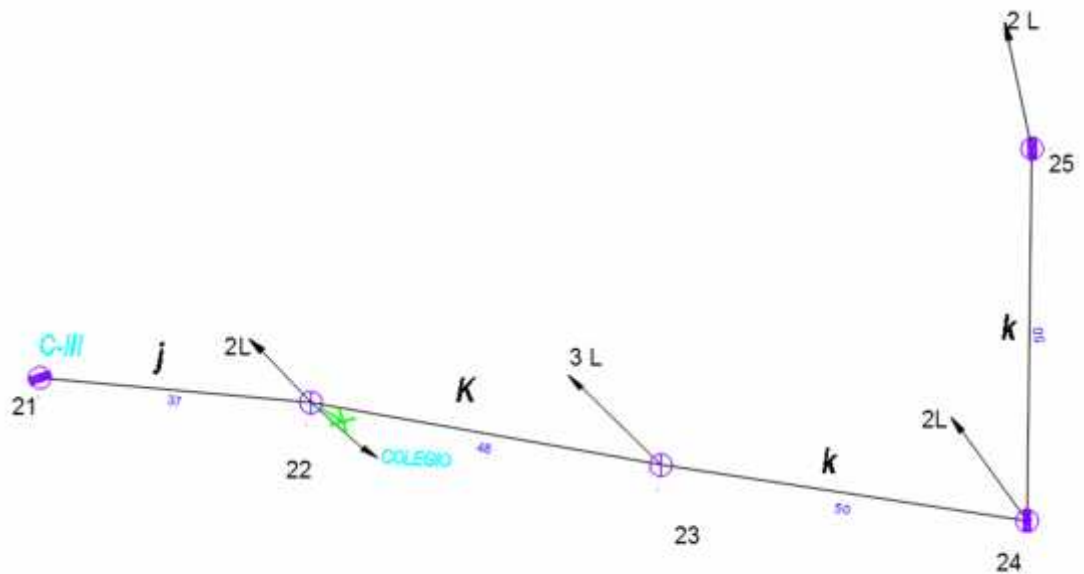


Figura N° 26: Diagrama de carga C-III

Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 19: Calculo de la caída de tensión C-III

Punto	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de Cond.	F.C.T.	Δ V		
	N° Lotes	Carga Especial	CORRIENTE [A]	POT. [W]	Σ I [A]				S.P. [V]	Total [V]	% de Δ V
21			0,0	0,0	6,1	30,0	2x16/25	3,272	0,59	0,59	0,27%
22	2	1	2,7	602,2	6,1	32,0	2x16/26	3,272	0,63	1,23	0,56%
23	3		0,9	206,3	3,3	34,0	1x16+N25	3,272	0,37	1,60	0,73%
24	2	0	1,8	387,4	2,4	43,0	1x16+N25	3,272	0,34	1,94	0,88%
25	2		0,6	137,5	0,6	51,0	1x16+N25	3,272	0,10	2,04	0,93%

0,93% < 7% ok

Fuente: elaboración propia

5.4.1.2. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 20: Distancias mínimas de seguridad 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

5.4.2. 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 N° 22

5.4.2.1. 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° 21: Hipótesis de estado⁶²

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>

5.4.2.2. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

- a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm², aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm².
- c) Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm².

⁶² C.N.E.

5.4.2.3. Cálculo de cambio de estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la **Ecuación 19** y teniendo en cuenta las características mecánicas de los conductores

Tabla N° 22: Características de los cables autoportantes

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm ²)	DIAM EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm ²)	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.

Haciendo uso de la ecuación (20)

$$V \quad B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}}$$

observamos en el plano (anexo 08) que existe entre las estructuras N° 28 y N° 29 un vano entre dos estructuras de anclaje con un valor de 50 m

Tabla N° 23: flecha para el vano básico⁶³

Vano (m)	50
HIP. I \dagger (Kg/mm ²) f (m)	8,34 0,59
HIP. II \dagger (Kg/mm ²) f (m)	5,44 0,37
HIP. III \dagger (Kg/mm ²) f (m)	2,82 0,71

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

Altura del poste:

Para postes con respecto al suelo se considera una distancia mínima de 5,50 m. La distancia del vértice del poste al inicio del gancho de suspensión será de 0,30 m

La flecha según los vanos y tipo de conductores.

La longitud de empotramiento será:

$$A \quad d \quad e = \frac{H}{1} + 0,2 \cdot (3)$$

La altura necesaria del poste será:

$$H = \frac{H}{1} + 0,2 + D_{m} + F_{m} + H_{c}$$

Donde:

H : Altura del poste en metros.

D_{min} : distancia mínima al terreno en metros.

F_{máx} : Flecha máxima en metros.

⁶³ Elaboración propia del autor

Hc : Distancia del punta del poste al conductor más bajo en metros.

Para: $D_{\min} = 5,5$ m. y $F_{\max} = 0,71$ m. Tenemos $H = 7,46$ m.

Por lo tanto, la utilización de postes de concreto de 8,00 m. de longitud se justifica.

Tabla N° 24: Características De Los Postes De Concreto Armado

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: Elaborado por el propio Autor

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° 23, observamos que para el vano básico de 50m el valor del esfuerzo máximo es de $8,34 \text{ kg/mm}^2$, que está muy por debajo del esfuerzo según el ítem ($17,60 \text{ kg/mm}^2$)

Por lo tanto, el conductor eléctrico 1x16/25 cumple con los requerimientos

mecánicos y eléctricos.

5.1. Metrado y presupuesto

5.1.1. Metrado y presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 25: valor referencial del suministro del sistema fotovoltaico

ítem	Descripción	Und.	Cant.	Costo unitario S/	Sub-Total S/
01	Módulo de paneles fotovoltaicos	Unid.			
	Panel fotovoltaico de 320Wp	Unid.	24	1 200,28	28 806,72
02	Sistema Controlador	Unid.			
	Controlador Blue Solar MPPT 150 I 60 Tr	Unid.	03	3 506,04	10 518,12
03	Sistema de almacenamiento	Unid.			
	Batería RITAR 12V 200 Ah	Unid.	24	2006,50	48 156,00
04	Inversor de Corriente	Unid.			
	Inversor 48V 2000 W	Unid.	03	3 264,88	9 794,64
05	Equipamiento Adicional	GLB.			
	Accesorios del SFV	Glb	1	500,00	500,00
06	Estructuras para 08 paneles	Unid	03	970,64	2 911,92
TOTAL					100 687,40

fuelle: elaboración propia

Tabla N° 26: Costo directo para el sistema fotovoltaico

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL, S/
1	Suministro de materiales	100 687, 40
2	Transporte de materiales	6 041,24
3	Montaje electromecánico	8 054,99
4	Costo directo	114 783,64

fuelle: elaboración propia

5.1.2. Presupuesto para electrificar el caserío Juan De Dios

Tabla N° 27: presupuesto para electrificar el caserío San Juan de Dios con energía fotovoltaica⁶⁴

ELECTRIFICACION UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA DEL CASERIO SAN JUAN DE DIOS UBICADO EN EL DISTRITO DE CALLAYUC -CUTERVO- CAJAMARCA		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	55 534,21
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	114 783,64
	TOTAL S/.	170 317,85
C	GASTOS GENERALES UTILIDADES	17 031,79
D		17 031,79
E	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	204 381,43
F	I.G.V. (S/.)	38 832,47
G	COSTO REFERENCIAL. (S/.)	243 213,90
H	CAPACITACION A LOS POBLADORES. (S/.)	2 000,00
PRESUPUESTO TOTAL (S/.)		245 213,90

⁶⁴ Elaboración propia del autor

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) La energía eléctrica promedio proyectada para el caserío San Juan es de:
19 130 Wh/día.
- b) Considerando 03 fuentes de radiación solar: El atlas de radiación solar del Perú se obtuvo un valor de radio solar de: considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m²/día. Usando la página web de la NASA el cual brinda los valores promedios de radiación solar para 22 años se obtuvo un valor de 4,61 kWh/m²/día. Del software Solarius Plus se obtuvo un valor de 6,15 kWh/m²/día. Se consideró el menor de ello es decir 4,61 kWh/m²/día
- c) El sistema fotovoltaico estará compuesto por 24 paneles fotovoltaicos de 320 Wp de potencia cada uno, 24 baterías RITAR de 200 A.h, 03 reguladores de carga 150/60 y 03 inversores de 2 000 W. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 7,68 kWp. En el ANEXO 07, se muestra el sistema fotovoltaico.
- d) Se dimensiono la red de distribución secundaria en base a las normas DGE de electrificación rural, se realizaron los cálculos eléctricos y mecánicos con el conductor 2x16/25 y 1x16/25, los cuales cumplen con los requerimientos, se elaboró el plano en baja tensión en 220 V, en el ANEXO 08.
- e) Se elaboró el Metrado del sistema fotovoltaico como de la red de distribución de baja tensión, en base al Metrado se elaboró el presupuesto

de la electrificación utilizando energía fotovoltaica obteniendo un total de:
S/. 245 213,90

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 2) Bardales Espino, Jose Leonardo. «“Estudio de Factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el Centro Poblado de Shungun Región Amazonas, 2016”.» Cajamarca, 2016.
- 3) Canales Ciudad, Carlos. «Guia solar fotovoltaica 2012.» 2012.
- 4) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 5) Chona Suarez, Raul Alexander. «DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA TRADICIONAL DE PANEL SOLAR DE PEQUEÑA ESCALA UBICADA EN BARRANQUILLA.» Barranquilla, 2013.
- 6) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 7) FOTOVOLTAICA, ENERGIA. «manual sobre tecnologias, proyecto e instalacao .» s.f.
- 8) Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.
- 9) Joachin Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.
- 10) Lima Solares, Job Lizardo. «Control electronico de un sistema de bombeo de agua accionado por energia solar.» 1997.
- 11) Llauce Chozo , Anthony Joel. «Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.
- 12) Maldonado Rodas, Eddi Alberth. «Paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en el departamento de quiché.» 2011.

- 13) Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.» Lambayeque, 2013.
- 14) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005.
- 15) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para ectrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005.
- 16) Odar Acuña, Jose Emmanuel. «“ELECTRIFICACIÓN RURAL FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO PAREDONES, DISTRITO DE CHONGOYAPE 2016”». Chiclayo, 2016.
- 17) Ponce Carrasco, Rafael Rodrigo Rodrigo, y Diego Augusto Rodriguez Dejo. «Determinacion de la huella del Carbono del Country Club el Bosque sede CHosica.» Lima, 2016.
- 18) Prado Mora, Carlos Roberto. «Diseño de un sistema electrico fotovotaico para una comunidad aislada.» Costa Rica, 2008.
- 19) RD 031-2003-EM. «Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural.» Lima, 2003.
- 20) SENAMHI. «Atlas de energia solar del Peru.» 2003.
- 21) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP.» Lima, 2014.
- 22) Velazquez Cespedes, Roberto Andres. «Proyecto de instalacion solar fotovoltaica en el departamento de Ingenieria Electrica de la Uniersidad Santiago de Chile.» tesis, Uniersidad de Santiago de Chile, Santiago-Chile, 2012.

ANEXOS

ANEXO N°01. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR

ANEXO N°05. CATALOGO DE CABLES NYY

ANEXO N°06. CATALOGO DE FUSIBLES

ANEXO N° 07. PLANO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 08. PLANO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

ANEXO N°09. PLANILLA DE METRADO DE LA RED SECUNDARIA

ANEXO N° 10. PRESUPUESTO DE LA RED SECUNDARIA

ANEXO N° 11. MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS