



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR
ELECTRICIDAD A VILLA HERMOSA, YAMBRASBAMBA,
BONGARA, AMAZONAS”**

Autor:

Bach. MINER YORBANDO DELGADO SÁNCHEZ

Asesor:

Msc. JONY VILLALOBOS CABRERA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR
ELECTRICIDAD A VILLA HERMOSA, YAMBRASBAMBA,
BONGARA, AMAZONAS”**

Autor:

Bach. MINER YORBANDO DELGADO SÁNCHEZ

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

SECRETARIO: Msc. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

MIEMBRO: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

ASESOR: Msc. JONY VILLALOBOS CABRERA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TITULO

**“ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD A VILLA
HERMOSA, YAMBRASBAMBA, BONGARA, AMAZONAS”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bach. MINER YORBANDO DELGADO SÁNCHEZ

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo del 2019

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios creador de todas las cosas, por darme la oportunidad de terminar mi carrera y seguir dándome la vida para poder compartir momentos dichosos con mi familia.

*A mi padre **Eladio Delgado Peralta**, por todo su amor, esfuerzo y sacrificio de trabajo, para ayudarme a forjar mi camino y así poder cumplir con mis metas, objetivos y ser una mejor persona.*

*A mi madre **Brisalina Sánchez Rafael**, por darme la vida, ser el amor y motivo de mi vida.*

*A mis hermanos **Dener Iván** y **Flor** que siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo en los momentos difíciles, muchas veces poniéndose en el papel de padres.*

A mi familia en general, por haberme brindado su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos.

Miner Yorbando Delgado Sánchez

AGRADECIMIENTO

*Agradezco primeramente a Dios por protegerme, guiarme y darme fuerzas para superar obstáculos, dificultades a lo largo de toda mi vida, a mis tíos **Napo Sánchez Rafael y Nelly Sánchez Rafael** por ser muy generosos hacia mi persona.*

*seguidamente agradecer especialmente a mi asesor quien es el **Msc. Jony Villalobos Cabrera** por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación y a los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica que compartieron sus conocimientos conmigo durante mi formación académica, para poder formarme profesionalmente, gracias a todos ustedes que DIOS les bendiga e ilumine siempre por el buen camino.*

Miner Yorbando Delgado Sánchez

RESUMEN

La presente tesis titulado: **“ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD A VILLA HERMOSA, YAMBRASBAMBA, BONGARA, AMAZONAS”** surge como una alternativa para suministrar de energía eléctrica no convencional al caserío Villa Hermosa él cuenta con 49 viviendas que alberga a 150 habitantes, además se encuentra alejado a 20 Km de las redes eléctricas convencionales, esta situación motiva a que los proyectos de electrificación rural no se realicen. Se espera que el proyecto de energía fotovoltaica, contribuya a mejorar las condiciones de vida de la población del Caserío Villa Hermosa. El tipo de investigación es **aplicada** Debido a que se hará uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar a solución de problemas de la realidad. Luego de recopilar datos y procesarlos se obtuvo que: La demanda de energía diaria proyectada para el caserío Villa Hermosa es de 30 227 Wh/día. La radiación es de radiación solar se ha obtenido un valor de 3,64 kWh/m²/día. El sistema fotovoltaico estará compuesto por 42 paneles fotovoltaicos de 330 Wp de la marca YINGLI SOLAR, 03 controladores 150/85 Blue Solar, 24 baterías de acumuladores Rolls de 503 Ah, 03 inversores 3 000 W, El generador fotovoltaico tiene 13,86 kWp. Se realizó el diseño del sistema de distribución en baja tensión en 220 V. El presupuesto para suministrar energía eléctrica en el caserío de Villa hermosa es de: S/. 346 229,19

Palabras clave: Generador fotovoltaico, inversor, controlador, panel fotovoltaico

ABSTRACT

The present thesis entitled: "PHOTOVOLTAIC ENERGY TO SUPPLY ELECTRICITY TO VILLA HERMOSA, YAMBRASBAMBA, BONGARA, AMAZONAS" arises as an alternative to supply conventional electricity to the Villa Hermosa hamlet it has 49 homes that houses 150 inhabitants, it is also remote 20 km away from conventional electricity grids, this situation means that rural electrification projects are not carried out. It is expected that the photovoltaic energy project will contribute to improve the living conditions of the Villa Hermosa village population. The type of research is applied because it will make use of the knowledge and theoretical bases of engineering to solve problems of reality. After collecting damages and processing them, it was obtained that: The projected daily energy demand for the Villa Hermosa hamlet is 30 227 Wh / day. The radiation is solar radiation has obtained a value of 3,64 kWh / m² / day. The photovoltaic system will be composed of 42 photovoltaic panels of 330 Wp of the brand YINGLI SOLAR, 03 controllers 150/85 Blue Solar, 24 batteries of accumulators Rolls of 503 Ah, 03 inverters 3000 W, The photovoltaic generator has 13,86 kWp. The design of the low voltage distribution system in 220 V was carried out. The budget to supply electricity to the town center Villa Hermosa is: S /. 346 229,19

Keywords: Photovoltaic generator, inverter, controller, photovoltaic panel

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
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	6
1.3. Delimitación de la Investigación	6
1.3.1. Delimitación espacial	6
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	9
1.5. Limitaciones de la TESIS	9
1.6. Objetivos de la TESIS	9
1.6.1. Objetivo General	9
1.6.2. Objetivo Específicos	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de Estudios	11
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	21
2.2.1. Suministro de energía eléctrica	21
2.2.2. Sistema eléctrico	21
2.2.3. Energías renovables	23
2.2.4. Energía Solar	25
2.2.5. Tipos de sistemas fotovoltaicos	35

2.2.6. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados.....	36
2.2.7. Sistema fotovoltaico centralizado.....	41
2.2.8. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico	41
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	49
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	53
3.1. Tipo y diseño de investigación	53
3.2. Población y muestra	53
3.2.1. Población.....	53
3.3. Hipótesis	53
3.4. Variables - Operacionalización.....	53
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	55
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	55
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos.....	56
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	57
4.1. Propuesta de la investigación	57
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	59
5.1. Energía promedio diaria para el caserio Villa Hermosa.....	59
5.2. Radiación Solar promedio en el caserío Villa Hermosa.....	65
5.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	68
5.3.1. Protección contra sobreintensidades	78
5.3.2. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares:	80
5.4. Sistema de distribución eléctrica en baja tensión: 220 V.....	82
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	87
6.1. Conclusiones	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de variables	54
Tabla N° 2: Tecnicas e instrumentos.....	56
Tabla N° 3: tasa de crecimiento para el departamento de Amazonas	59
Tabla N° 4: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular	61
Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica para el local comunal	61
Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica de la Institución Educativa	61
Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica en el centro de salud	63
Tabla N° 8: Consumo de energía eléctrica para alumbrado publico	64
Tabla N° 9: Consumo de energía promedio diario proyectado del caserío Villa Hermosa	65
Tabla N° 10: Radiación solar en el caserío Villa Hermosa- NASA.....	66
Tabla N° 11: Radiación solar en el caserío Villa Hermosa con el software Meteororm 7	67
Tabla N° 12: Radiación solar según software METEONORM	67
Tabla N° 13: Comparación de los datos de radiación.....	68
Tabla N° 14: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos	69
Tabla N° 15: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica .	76
Tabla N° 16: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo.....	76
Tabla N° 17: Características eléctricas de los conductores THW-90.....	77
Tabla N° 18: Selección de fusibles.....	78
Tabla N° 19: Costo directo sistema fotovoltaico	82
Tabla N° 20: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados	83
Tabla N° 21: Distancias mínimas de seguridad al terreno	83
Tabla N° 22: hipótesis para las diferentes condiciones	84
Tabla N° 23: Características de los cables autoportantes	85
Tabla N° 24: Presupuesto referencial total	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Distrito de Yambrasbamba donde se encuentra el caserío Villa Hermosa	8
Figura N° 2: Sistema eléctrico	23
Figura N° 3: Uso de paneles solares para obtener electricidad	25
Figura N° 4: Esquema de la distribución de la radiación solar	28
Figura N° 5: Mapa solar del Perú	31
Figura N° 6: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta	32
Figura N° 7: Piranómetro con banda de sombra	33
Figura N° 8: Piranómetro	34
Figura N° 9: Concepto de horas sol pico	35
Figura N° 10: Satélite espacial con paneles fotovoltaicos	37
Figura N° 11: Antena de telefonía alimentada por paneles fotovoltaicos	38
Figura N° 12: Sistema de bombeo de agua con paneles solares	39
Figura N° 13: Vivienda aislada alimentada mediante paneles fotovoltaicos ...	40
Figura N° 14: Alumbrado de calles mediante paneles solares.....	40
Figura N° 15: Esquema de un sistema fotovoltaico centralizado	41
Figura N° 16: Viviendas en el caserío Villa Hermosa	60
Figura N° 17: Institución educativa en el caserío Villa Hermosa.....	62
Figura N° 18: Con los alumnos de la institución Educativa.....	63
Figura N° 19: centro de salud en el caserío Villa Hermosa	64
Figura N° 20: batería ROLLS 12 CS 11 PS (ANEXO 03)	72
Figura N° 21: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano.....	80

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se realizó en el Caserío Villa Hermosa jurisdicción del distrito de Yambrasbamba, de la Provincia de Bongara, Departamento de Amazonas, debido que la Energía Eléctrica es un factor importante para el desarrollo y crecimiento económico, y que ayudarán al poblador a incrementar su capacidad de trabajo útil y productivo en base a fuentes de energía como la no convencional o energía renovable como la del sol que es una fuente limpia, abundante e inagotable.

El desarrollo de la presente tesis consta de seis capítulos los cuales se describen a continuación en forma breve.

En el Capítulo 1, Presentamos el problema de investigación, aquí se escribirá la realidad problemática del caserío Villa Hermosa, así como la justificación es importancia.

El Capítulo 2, se presente el Marco teórica el cual contiene la teoría relacionada con el desarrollo de la tesis, así como los estudios realizados a nivel internacional, nacional y local.

El Capítulo 3, se presente el Marco metodológico en donde se desarrolla la estrategia, el procedimiento para poder alcanzar a conocer los objetivos de la tesis.

En el Capítulo 4, Desarrollamos la propuesta.

En el Capítulo 5, Se desarrollan los cálculos del sistema fotovoltaico y la red de distribución secundaria.

En el capítulo 6, se redactan las conclusiones

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En Latinoamérica¹

Alrededor de 30 millones de latinoamericanos viven aún sin luz eléctrica, en una región donde se utiliza la mayor cantidad de energía renovable del mundo para generar electricidad, afirmaron expertos en Panamá.

Esta cifra representa **el 4 % de los 620 millones de personas que habitan en América Latina y el Caribe.**

“No están conectadas (a la red eléctrica) no porque no tengan dinero (...) No es un problema de precio de la energía, es un problema de dificultad (de llegar a algunas zonas) y de falta de planes energéticos de los países”, explicó Fernando César Ferreira, secretario Ejecutivo de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), durante la apertura de un foro que reúne a funcionarios, expertos y miembros de organismos internacionales para tratar sobre energía en el continente.

Según un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), **el 75 % de las personas que no tienen acceso a la electricidad se concentran en siete países: Haití (7,5 millones), Perú (3 millones), Argentina (2,1 millones), Bolivia (1,8 millones), Brasil y Colombia (1,7 millones cada uno) y Guatemala (1,6 millones).**

¹ <http://www.cubadebate.cu/noticias/2016/09/10/30-millones-de-latinos-viven-sin-acceso-a-luz-electrica/#.WtLlm4hubIU>

Por el contrario, Bahamas, Barbados, Brasil, Costa Rica, Uruguay, Paraguay y Venezuela han alcanzado el acceso por encima del 99 %.

Además, según el BID, el promedio de electrificación urbana en América Latina es del 99 %, mientras que la cobertura rural es de 82 %.

Sin embargo, “en Latinoamérica el 60% de la electricidad es generada por energías renovables, es la más alta tasa a nivel mundial”, dijo Ariel Yépez, jefe de la división de Energía del BID.

“Los retos generales son que los países (latinoamericanos) tengan matrices de energía más limpias”, pero “este esfuerzo debe ser conjunto con los países, organizaciones e instituciones porque no tenemos recursos abundantes”, añadió Ferreira.

Según el BID, **en la región todavía hay 87 millones de personas que cocinan con combustibles tradicionales como la madera y el carbón².**

En el Perú³

La producción nacional de energía eléctrica se incrementará 2,5 % en el presente año 2018, por la entrada en operación de varios proyectos de generación de capacidad mediana, estimó hoy el departamento de Estudios Económicos de Scotiabank.

"Para el 2018 estimamos que la producción de energía eléctrica se incremente alrededor de 2,5 %, acelerando ligeramente respecto al

²<http://www.cubadebate.cu/noticias/2016/09/10/30-millones-de-latinos-viven-sin-acceso-a-luz-electrica/#.WtLlm4hubIU>

³<http://www.eleconomistaamerica.pe/economia-eAm-peru/noticias/9065326/04/18/Produccion-de-energia-electrica-en-Peru-crecera-25-en-el-2018-.html>

crecimiento del 2017", afirmó la analista de Sectores Primarios de Scotiabank, Erika Manchego.

Señaló que esta recuperación en la producción eléctrica se debe al inicio de operaciones de los proyectos mineros de Ampliación de Toquepala de Southern Perú en el tercer trimestre del 2018 y de la Ampliación de Shougang en el cuarto trimestre de este año.

"Prevedemos que la demanda de electricidad vinculada a la demanda interna se recuperaría en línea con el mayor ritmo de crecimiento de la actividad económica -excluyendo la minería-, en particular de los sectores no primarios", dijo:

"En línea con la recuperación de la demanda de energía, estimamos que durante el 2018 empezarían a operar varios proyectos de generación de capacidad mediana", agregó.

Nuevos proyectos

Manchego sostuvo que mientras que en el 2017 los nuevos proyectos agregaron alrededor de 160 megavatios (MW) a la potencia instalada, para el 2018 se estima que ésta se incrementaría en cerca de 570 MW.

"Destacarán el aporte de las nuevas centrales solares, eólicas y de biomasa que aportarían cerca de 315 MW a la capacidad de generación del sector. Asimismo, prevemos que empezarían a operar pequeñas centrales de generación hidráulica agregando alrededor de 164 MW en total y la Ampliación de la C.T. Santo Domingo de Ollereros (Lima) con 90 MW adicionales", añadió.

La especialista destacó que recientemente la empresa Enel Green Power Perú inauguró la Central Solar (CS) Rubí en Moquegua que aportará 145 MW a la potencia.

"En los próximos meses iniciaría operaciones su Central Eólica Wayra I en Ica con capacidad para generar 126 MW. La inversión en ambos proyectos alcanza 331 millones de dólares", manifestó.

Energías renovables

Entre las energías renovables también destaca la Central Solar Intipampa en Moquegua de Engie Energía Perú que tendrá una potencia instalada de 40MW y empezaría a operar en el segundo trimestre del 2018.

Además, Manchego señaló que durante el segundo semestre del año empezarían a operar dos pequeñas centrales de generación en base a biomasa de la Empresa Concesionaria Energía Limpia en Lima y Callao.

Durante el 2018 la única termoeléctrica que empezaría a operar sería la ampliación de la Central Termoeléctrica Santo Domingo de Olleros (Lima) de Termochilca, cuya inversión total asciende a 181 millones de dólares y agregará una potencia de 90MW a los 210MW con los que cuenta actualmente la planta.

Entre las centrales de generación hidroeléctrica que iniciarían operaciones durante el 2018, destacan La Virgen (Junín) del grupo brasileño Alupar; Renovandes (Junín) de la Empresa de Generación Eléctrica Santa Ana, y Angel I, II y III (Puno) de la Generadora de Energía del Perú.

El caserío de Villa Hermosa, no cuenta con suministro de energía eléctrica convencional, este caserío cuenta con 49 viviendas que alberga a 150 habitantes, además se encuentra alejado a 20 Km de las redes eléctricas convencionales, esta situación motiva a que los proyectos de electrificación rural no se realicen.

Entonces necesitamos otras opciones para suministrar energía eléctrica y se propone utilizando la energía solar el cual es energía renovable, y que tiene como beneficios que no se va a producir gases de efecto invernadero ni otras omisiones y así poder reducir la contaminación del medio ambiente.

Se espera que el proyecto de energía fotovoltaica, contribuya a mejorar las condiciones de vida de la población del Caserío Villa Hermosa.

1.2. Formulación del Problema

¿Utilizando la energía fotovoltaica es posible suministrar de electricidad Caserío Villa Hermosa ubicado en el departamento de Amazonas?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial⁴

El Distrito **de Yambrasbamba** (ver figura N°1) es uno de los doce distritos de la Provincia de Bongará, ubicado en el Departamento de Amazonas, en el norte del Perú.

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

Limita:

Por el Norte con la provincia de Condorcanqui.

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

Por el Sur con el distrito de Corosha y el distrito de Florida.

Por el Oeste con la provincia de Utcubamba.

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

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

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

Las coordenadas en términos de latitud y longitud para el caserío Vila Hermosa son las siguientes⁵:

⁵ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Longitud: 77,7852316670

Latitud: -5,60300000000



Figura N° 1: Distrito de Yambrasbamba donde se encuentra el caserío Villa Hermosa

Fuente:

http://www.perutouristguide.com/jpg/01am/mapa_provincia_bongara.jpg

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación ambiental

Con la implementación de esta tesis se generará energía limpia debido a la utilización de la energía solar y esto contribuirá a la reducción de CO₂ que se genera debido al utilizar la energía convencional.

Justificación social

Con la ejecución de la tesis se suministrará a la población del servicio eléctrico, el cual contribuirá a una mejora social ya sea en educación, salud, transporte, comunicación, etc.

Justificación Científica

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

1.5. Limitaciones de la TESIS

En cuanto a la radiación solar nos limitaremos a los datos obtenidos de la NASA, el software METEONORM y el mapa de radiación solar del Perú.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema que suministre energía eléctrica al Caserío de Villa Hermosa en el distrito de Yambrasbamba provincia de Bongara perteneciente al departamento de Amazonas.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la energía promedio diaria requerida por el caserío Villa Hermosa.
- b) Obtener los datos de radiación solar existentes en el caserío Villa Hermosa.
- c) Dimensionar el sistema fotovoltaico
- d) Dimensionamiento de la red de distribución de energía en B.T.
- e) Determinar el monto total de la inversión para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico para el caserío Villa Hermosa.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Entre los trabajos de investigaciones en el marco de dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas en nuestro país como en los exteriores y que nos permiten identificar, comparaciones de tecnologías e inducir soluciones del problema a estudiar; cito a los siguientes autores, 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-Mira Flor Moropotente, Estelí". Este proyecto está dividido en dos fases: La primera fase es el diseño y/o dimensionado del sistema solar fotovoltaico, llevada a cabo en Alemania, en FH Bielefeld, Universidad de Ciencias Aplicadas y la segunda fase es el diseño de la Red de Distribución de la energía producida. como objetivo principal con dichas fases culminada es ejecutar este pequeño proyecto, que está dirigido a beneficiar a la comunidad de La Fortuna, proporcionando energía eléctrica con fuentes de energía renovable y así evitar daños al lugar que pertenece a un área protegida, con esto se espera mejorar la calidad de vida de las personas, proporcionándoles el servicio de energía eléctrica, con la energía que nos proporciona el sol, transformándola en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos, la cual está diseñada para generar 2,7 kWp a 11 viviendas y una iglesia a las que se les distribuirá la energía en la comunidad La Fortuna, que con el

tiempo cuya capacidad puede aumentar en base a la cantidad demandada de energía⁶.

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

Con esto se logra impulsar el uso de fuentes renovables de energía y se soluciona el problema del suministro de energía eléctrica. A través de un análisis sobre la disponibilidad de los recursos naturales en la zona (San Marcos) se realizó el diseño de un sistema solar fotovoltaico; previamente se efectuó la comparación y análisis de las ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, para esta aplicación, sistema aislado individual en una comunidad rural⁷.

Según **Roberto Andrés Velásquez Céspedes**⁸ en su tesis titulado: "Proyecto de instalación solar fotovoltaica en el departamento de ingeniería

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

⁷ Joachin Barrios, Carmencita De Los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía a la comunidad rural de Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.

⁸ (Velasquez Cespedes, 2012)

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

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

Según **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 fotovoltaica⁹.

(CAÑAR Darwin, 2014 pág. 57) en su trabajo de tesis de "Energía solar térmica para la generación de electricidad en Ecuador". Nos dice que el incremento del calentamiento global debido al uso de los combustibles fósiles (plantas convencionales de generación térmica, vehículos, etc.) contribuyen al deterioro del ambiente y la calidad de vida, a la vez que reducen las reservas energéticas. Frente a lo cual la industria necesita explotar nuevas fuentes de energía que sustituyan a los combustibles fósiles para evitar dicho deterioro, a fin de contribuir al desarrollo sostenible mundial.

Es preciso dar a conocer a la sociedad ecuatoriana las características y beneficios, entre ellos los relacionados a la sostenibilidad energética y ambiental, de la energía solar térmica y las zonas donde se cuenta con un

⁹ Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.

alto potencial de recurso solar para la posible explotación del mismo, a fin de impulsar la implementación de esta alternativa en el campo de la generación de electricidad en el Ecuador.

Frente a esta situación plantea determinar si la energía solar térmica es aplicable en el campo de la generación de electricidad en el Ecuador mediante el análisis del recurso solar, del impacto ambiental y de las características económicas y técnicas tomando en cuenta los criterios de cálculo, dimensionamiento y operación de una central termo solar determinada.

Contexto Nacional

Según **Bardales Espino José Leonardo** en su tesis titulado “Estudio de factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el centro poblado de Shungun región Amazonas, 2016”. En el resumen de la tesis nos dice que el centro poblado 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 **José Zegner Alva Silva**¹⁰ en su tesis titulado “ Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca, 2016” En este trabajo de tesis que fue elaborado en la ciudad de Cajamarca, durante los meses de abril hasta noviembre del año 2016, que tiene como principal objetivo realizar un estudio de factibilidad técnico económico de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca. En este trabajo se demuestra a través de las observaciones directas y encuestas que se utilizó, la necesidad de los habitantes de la comunidad que tienen por la falta de la energía eléctrica, que le sería de mucha utilidad para ayudar al desarrollo y mejorar la calidad de vida, que por la geografía que presenta su localidad, por la dispersión de sus casas entre sí y por el nivel de pobreza no es factible la inversión de las empresas proveedoras de electricidad, frente a eso con este trabajo se pretende dar una alternativa de solución para suministrar electricidad a través de un sistema fotovoltaico autónomo. El desarrollo se realizó con una investigación aplicada no experimental, la población es de 60 viviendas que en este caso fue igual a la muestra. Durante el desarrollo vimos el potencial energético que hay en la zona de estudio que es un elemento indispensable para realizar un sistema solar fotovoltaico, esto ayuda para

¹⁰ (Alva Silva, 2016)

el proyecto sea factible técnicamente ya que los elementos fotovoltaicos lo tenemos disponibles en el mercado local (Alva Silva, 2016).

Según **Delfor Flavio Muños Anticona**¹¹ en su trabajo de tesis de "Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización, análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural.

Así mismo **Héctor Raúl Avalos Vallejos**¹² en su tesis titulado. "Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016" en este estudio se obtuvo que:

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

¹¹ (Muñoz Anticona, 2005)

¹² Avalos Vallejos, H. R. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016*. Jaen.

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

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

Contexto Local

Según **Llauce Chozo Anthony Joel** en su tesis titulado “Implementación del 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 medio ambiente.

Para el desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la máxima demanda de energía eléctrica en el restaurant “El Cruceñito” propiedad del Sr. Orlando Santamaría 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 domicilios.

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

En este estudio el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo (en uso productivo se hizo el diseño de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua) frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con sistemas fotovoltaicos es de S/. 393 154,87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052,88 la cual es muy superior¹³

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.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Suministro de energía eléctrica

Es la dotación del servicio a las personas que necesitan del servicio, y esto comprende una serie de medios y elementos útiles para generarla, transportarla y distribuir dicha energía, a este conjunto de actividades se la llama sistema eléctrico (Adanaque Sanchez, 2016)

2.2.2. Sistema eléctrico¹⁴

En determinadas ocasiones nos ponemos a pensar y nos preguntamos ¿qué es lo que hace posible que podamos disponer de luz en nuestra casa, comercio o fábrica?

Parece una pregunta sencilla, pero detrás de una acción tan simple como la de accionar un interruptor existe un complejo entramado de elementos, mecanismos y empresas orientado a abastecer nuestra necesidad.

Como éste va a ser el primer artículo del blog, parece conveniente realizar una pequeña descripción de **qué entendemos como Sistema Eléctrico, cuál es su estructura y su fin.**

La electricidad que recibimos en nuestras viviendas, locales y fábricas nos llega en forma de corriente alterna. por lo que, en todo momento:

¹⁴ <http://mifactoradeluz.com/como-se-estructura-el-sistema-electrico/>

Generación = Demanda de energía eléctrica

Dado que, salvo en contados casos, la producción de energía eléctrica está alejada de los centros de consumo, hay que interconectar de la forma más eficiente posible esa generación con el consumo, es decir, tenemos que “llevar”, transportar la electricidad, y hay que hacerlo de forma instantánea.

Entonces el **Sistema Eléctrico está conformado por todos los medios, elementos e instalaciones necesarios para producir electricidad y suministrarla a los consumidores** y se divide en las siguientes categorías:

Generación

La generación es el **proceso de conversión de una energía primaria**, como puede ser la energía potencial del agua en un embalse, la fuerza del viento, la radiación solar, la combustión, etc. **en energía eléctrica** y se lleva a cabo en lo que conocemos como centrales de producción o generación.

Transporte

Las centrales, por su propia estructura, sistema, tamaño y disposición de los recursos primarios, **no están cerca de los principales puntos de consumo**. Es por ello que surge la necesidad de **transportar la energía largas distancias**, desde donde se produce hasta donde se consume.

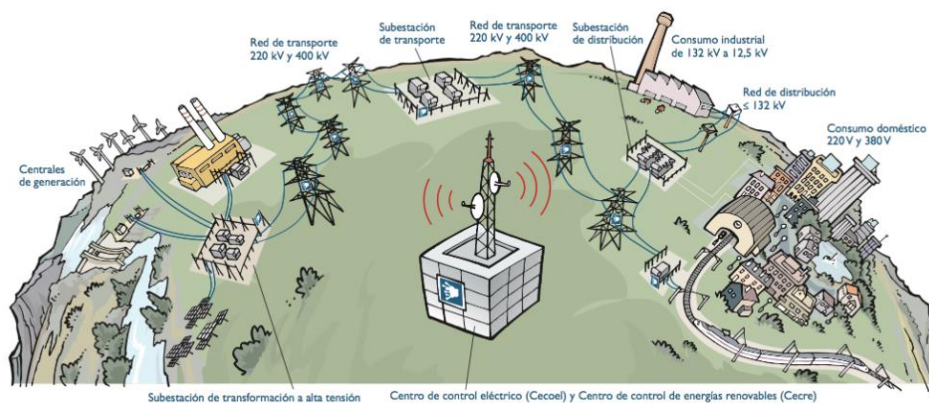


Figura N° 2: Sistema eléctrico

Fuente: <http://mifactoradeluz.com/como-se-estructura-el-sistema-electrico/>

2.2.3. Energías renovables¹⁵

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales.

En consideración su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las Energías Renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales. Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicos, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas.

¹⁵ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

El aprovechamiento de las fuentes de energía renovable por el hombre es muy antiguo. Desde muchos siglos antes de nuestra era, energías renovables como la solar, eólica e hidráulica eran aprovechadas por el hombre en sus actividades domésticas, agrícolas, artesanales y comerciales. Esta situación prevaleció hasta la llegada de la Primera Revolución Industrial del Siglo XVIII, cuando las energías renovables debieron ceder su lugar a los recursos fósiles como el petróleo y el carbón que en ese momento se ofrecían como fuentes energéticas abundantes y baratas. La revolución industrial desencadenó también los cambios sociales y económicos que dieron lugar al posterior desarrollo la gran industria hidroeléctrica considerada hoy como fuente energética renovable convencional.

Respecto al ámbito nacional debe destacarse que el Perú ha sido tradicionalmente un país cuya generación eléctrica se ha sustentado en fuentes renovables. Esto significa que nuestro desarrollo energético contribuye desde tiempo atrás a la reducción del efecto invernadero que hoy agobia al planeta, con un desarrollo que se sustenta mayoritariamente en fuentes limpias de energía. Hasta el año 2002, la electricidad generada con centrales hidroeléctricas representó el 85% del total de energía generada en el país. Con la llegada del Gas de Camisea la participación de las hidroeléctricas disminuyó hasta llegar al 61% en el año 2008.

En la actualidad, cuando la disponibilidad de recursos fósiles juega un rol determinante en el suministro energético global y nacional, y cuando

los factores medio ambientales aparecen entre las preocupaciones principales de la sociedad contemporánea, las Energías Renovables resurgen con éxito creciente en todas las latitudes del planeta, alentadas por los apremios del suministro energético y la presencia de marcos normativos favorables.

En este contexto, en mayo de 2008, el Estado Peruano emitió el Decreto Legislativo 1002 que promueve la inversión para la generación de electricidad con el uso de Recursos Energéticos Renovables ('RER', en adelante), tales como la energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, la biomasa y las pequeñas hidroeléctricas con una capacidad instalada de hasta 20 MW.

2.2.4. Energía Solar¹⁶



Figura N° 3: Uso de paneles solares para obtener electricidad

¹⁶ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

Fuente:

<http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

La energía solar es una de las fuentes de la vida y el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad que consume toda la humanidad. De ahí que la radiación solar, recogida de forma adecuada con paneles solares, puede transformarse en otras formas de energía.

Mediante el empleo de colectores solares la energía solar puede transformarse en energía térmica. A su vez, con el empleo de paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos demandan tecnologías diferentes que no tienen nada que ver una con la otra. De mismo modo, en las centrales térmicas solares, la energía térmica captada por los colectores solares puede utilizarse para generar electricidad.

Se distinguen dos formas de radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar ocasionados por las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que concentración de la luz difusa no es posible por provenir de múltiples direcciones. Sin embargo, ambas radiaciones son aprovechables.

En cuanto a los receptores se pueden diferenciar los receptores activos y receptores pasivos. Los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol -llamados seguidores- y captar mejor la radiación directa. Los pasivos, en tanto, no son capaces de realizar este seguimiento.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, tienen lugar los sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas que se registran en el transporte de energía, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40 % del total, y la dependencia energética.

En un día soleado, **el Sol irradia alrededor de 1 kW/m²** sobre la superficie de la Tierra. Los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia promedio del 14%, de modo que se obtendrían aproximadamente 140 W/m². (ver Figura N° 4). Sin embargo, no todos los días son soleados, por lo que el aprovechamiento efectivo es menor. A latitudes medias y septentrionales, tomando en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, en promedio, llegan a la superficie terrestre 100 W/m² en invierno y 250 W/m² en verano.

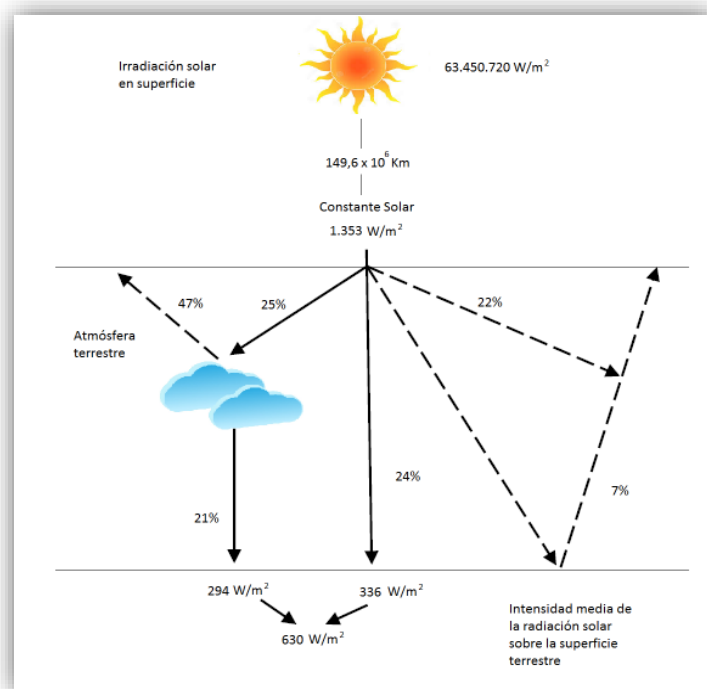


Figura N° 4: Esquema de la distribución de la radiación solar¹⁷

2.2.4.1. Energía Solar en el Perú¹⁸

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. 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 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° 5). (Valdiviezo Salas, 2014).

¹⁷ Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014

¹⁸ <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar. 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 doméstico 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 la potabilización de agua en aquellas zonas que lo requieran. (Valdiviezo Salas, 2014)

Las aplicaciones de la energía solar van 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 (Valdiviezo Salas, 2014).

No cabe duda de que las opciones de uso de la energía solar son grandes. Lamentablemente, aún existe desconocimiento de aquellos sectores que pueden aprovecharlo más intensamente. Desarrollar este subsector energético sería crucial ya que es una de las mejores opciones para cambiar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero (Valdiviezo Salas, 2014).



Figura N° 5: Mapa solar del Perú¹⁹

¹⁹ (SENAMHI 2003)

2.2.4.2. Medición de radiación Solar

Existen varios Instrumentos para medir los parámetros.

Medida de radiación directa: Se realiza con un instrumento denominado pirheliómetro (ver figura N° 6). 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.



Figura N° 6: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta²⁰

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. (ver figura N° 7) 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.

²⁰ <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/pirheliometro-80217.html>



Figura N° 7. Piranómetro con banda de sombra²¹

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 (ver figura N° 8). Es un instrumento sencillo que no requiere la incorporación de mecanismos de seguimiento solar.

²¹ <http://www.kippzonen.es/Product/235/Espira-de-Sombra-CM121B-C>



Figura N° 8: Piranómetro²²

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

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

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la siguiente figura N° 9. (Valdiviezo Salas 2014).

²² (Sanchez Quiroga, 2012)

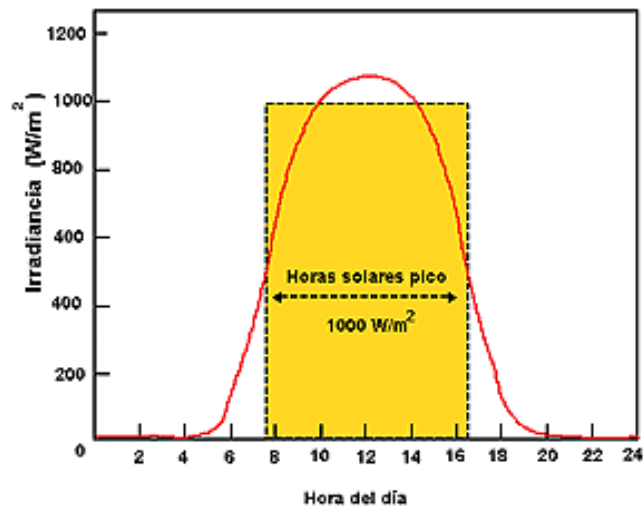


Figura N° 9: Concepto de horas sol pico²³

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

2.2.5. Tipos de sistemas fotovoltaicos

2.2.5.1. Sistemas fotovoltaicos conectados a red

2.2.5.2. Sistemas fotovoltaico aislados

Para David Sánchez Quiroga (Sanchez Quiroga, 2012)

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. Como los paneles sólo producen energía en las horas de Sol y la energía se necesita durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación. Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume, en tiempo real para acumularla y posteriormente poder utilizarla cuando no se esté generando. La cantidad de energía que se necesita acumular

²³ <http://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/promedio-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>

se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad, de tal manera que, en una zona donde haya muchos días soleados al año, habrá que acumular poca energía, esto es, cuanto más largo es el periodo sin luz, hay que acumular más energía. (Sanchez Quiroga, 2012)

El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

La demanda energética en los meses más desfavorables.

Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación. Conviene utilizar electrodomésticos e iluminación de bajo consumo, para que de esta manera el sistema sea más económico. Actualmente existe una gran variedad de productos de bajo consumo. (Sanchez Quiroga, 2012, pág. 8)

2.2.6. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica para Sánchez Quiroga (Sanchez Quiroga, 2012) son:

a) Aplicaciones Espaciales: Desde los orígenes de la aventura espacial los satélites y naves espaciales han utilizado paneles solares fotovoltaicos para alimentar sus equipos electrónicos (ver figura 10).



Figura N° 10: Satélite espacial con paneles fotovoltaicos

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

Sector de gran consumo: Calculadoras, relojes, etc.

b) Telecomunicaciones: Existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica y fiable (ver figura N° 11). Son ejemplos característicos: repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc...

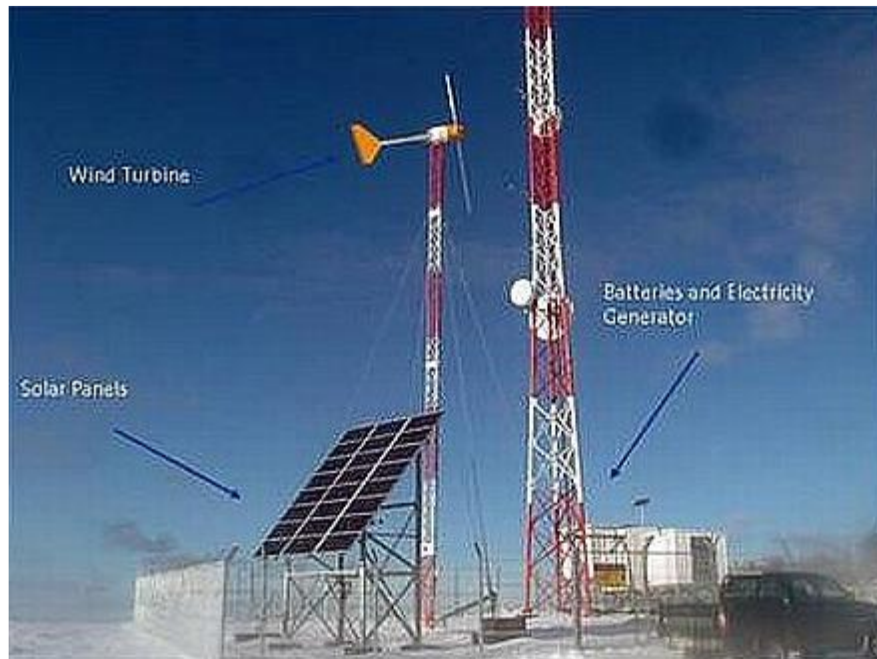


Figura N° 11: Antena de telefonía alimentada por paneles fotovoltaicos

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

c) Señalización: La señalización marítima y terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos en balizamiento de aeropuertos, señalización de carreteras y puertos, etc...

d) Bombeo: Al estar los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy adecuada. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las necesidades ya que, en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce (ver figura N° 12).



Figura N° 12: Sistema de bombeo de agua con paneles solares

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

e) Zonas protegidas: En parajes naturales, donde por motivos de protección ambiental se recomienda no instalar tendidos eléctricos aéreos, en ocasiones, resulta más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles.

f) Electrificación de viviendas aisladas: La distancia del punto de consumo a la red eléctrica puede hacer, en muchos casos, más rentable esta aplicación debido no solo al coste del instalar el tendido eléctrico sino también a la calidad del suministro eléctrico al evitarse cortes de electricidad, muy frecuentes en lugares aislados (ver figura N° 13).



Figura N° 13: Vivienda aislada alimentada mediante paneles fotovoltaicos

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

g) Alumbrado de calles y carreteras: La posibilidad de utilizar sistemas de iluminación autónomos (ver figura N° 14) de fácil instalación y mínima obra civil hace que sea una solución adecuada en muchas ocasiones. (Sanchez Quiroga, 2012)



Figura N° 14: Alumbrado de calles mediante paneles solares

Fuente: (Sanchez Quiroga, 2012)

h) Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas: Cuando hay que electrificar una pequeña población rural aislada, la solución más idónea es instalar un sistema centralizado que gestione y distribuya la energía de los habitantes de la pequeña población.

2.2.7. Sistema fotovoltaico centralizado

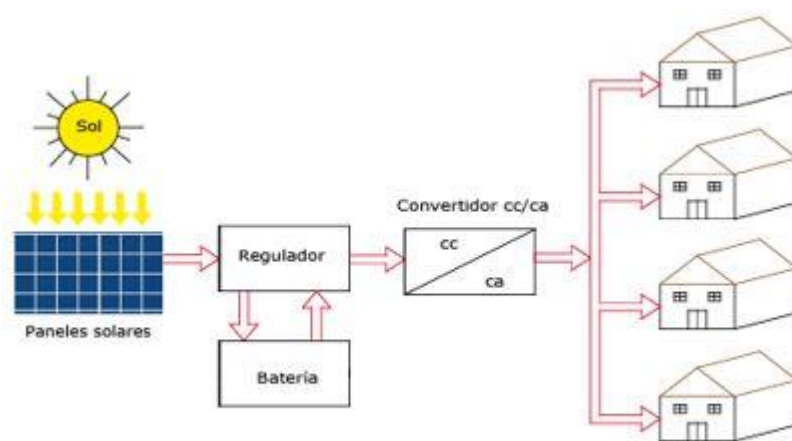


Figura N° 15: Esquema de un sistema fotovoltaico centralizado²⁴

2.2.8. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico

Primero teniendo los datos de población y vivienda lo proyectamos siguiendo la siguiente ecuación:

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

Po: Población actual

P₂₅ : Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional

²⁴<https://www.tmsmx.com/informacion/sistema-fotovoltaico/aislado>

Luego calculamos la energía promedio diaria para las unidades de vivienda, iglesia, local comunal, centro de salud, alumbrado público, etc. que demanda la carga la cual designaremos con:

$$E_{elec}$$

Enseguida , 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 funcionamiento²⁵ (**PR**) de 0,6

$$Potencia\ del\ generador\ fotovoltaico(kWp) = \frac{E_{elec}}{HSP \times PR} \dots (2)$$

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

$$Numero\ de\ paneles(N_{MF}) = \frac{E_{elec}}{HSP \times PR \times Potencia\ panel(Wp)} \dots (3)$$

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

$$N_{Smf} = V_{de\ trabajo} / V_{modulof} \dots (4)$$

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

$$N_{Pmf} = N_{modulos} / N_{modulos\ en\ serie} \dots (5)$$

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

²⁵ (Agustin Castejon)

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{D\ max} \times V_T \times n_{inv} \times n_{rb}) \dots (6)$$

Donde:

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

N_D = Número de días de autonomía.

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

$P_{D\ max}$ = Profundidad máxima de descarga.

V_T = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico.

n_{inv} : eficiencia del inversor

n_{rb} : eficiencia del conjunto regulador batería.

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

$$N_{baterias\ en\ serie} = V_{tension\ de\ trabajo} / V_{Tension\ de\ la\ bateria} \dots (7)$$

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

$$N_{ramas\ de\ baterias\ paralelo.} = C_{banco} / C_{de\ la\ bateria\ seleccionada} \dots (8)$$

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

$$I_{minimo\ del\ regular} = 1,25 \times I_{Cortocircuito\ del\ panel} \times N_{P\ mf} \dots (9)$$

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

$$N_{reguladores} = I_{\text{minimo del regulador}} / I_{\text{regulador seleccionado}} \dots (10)$$

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

$$N_{\text{ramas de paneles solares por regulador}} = N_{\text{reguladores}} / N_{\text{ramas de paneles}} \dots (11)$$

Para el cálculo de los inversores se considerará la siguiente ecuación

$$Potencia \text{ de entrada al inversor} = \frac{Potencia \text{ de la carga}}{Rendimiento \text{ del inversor}} \dots (12)$$

Para calcular el número de inversores

$$N_{\text{inversores}} = \frac{Potencia \text{ de entrada del inversor}}{Potencia \text{ del inversor seleccionado}} \dots (13)$$

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

Para el tramo generador fotovoltaico – controlador, la corriente está dado por ($I_{MAX\ mf}$):

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas en paral. x regulador}} \dots (14)$$

Para el tramo controlador- inversor, la corriente eléctrica está dado por ($I_{MAX\ inv}$):

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{\text{inversor}} / (V_{\text{tension de trabajo}} \times \eta_{\text{inversor}}) \dots (15)$$

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

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots (16)$$

Donde:

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

L = Longitud tramo [m].

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

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

Para la protección de los equipos por medio de fusibles se usará la siguiente relación

marca **DF Electric**, para la selección hay que considerar la siguiente relación:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \times I_{adm} \dots (17)$$

siendo,

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

Para la protección del inversor utilizaremos la siguiente ecuación:

$$I_{MAX \text{ carga}} = \frac{P_{cargas}}{V_{salida \text{ del inversor}}} \dots (18)$$

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

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\phi|).. (19)$$

donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación optimo

$|\phi|$: 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:

Para determinar la distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos aremos uso de las siguientes formulas (20):

$$d = \frac{h}{tg(61^\circ - \phi)} ; h = Lsen(\beta) ; D = d + Lcos(\beta)(20)$$

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

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta v = KxLxIx10^{-3} ... (21)$$

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

$$\sigma_F^2 \left[\sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \dots(22)$$

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)

La carga Unitaria Resultante del Conductor.

$$W_r = \sqrt{W_c^2 + W_v^2} \dots(23) \quad \text{Donde:} \quad W_v = \frac{d * P_v}{1000} \dots(24)$$

P_v : Presión del viento (Kg/m²)

d : Diámetro del conductor (mm)

W_c : Peso propio del conductor (Kg/m)

Flecha del Conductor.

$$f = \frac{W_r * L^2}{8A\sigma} \dots(25)$$

W_r : Peso resultante del conductor (Kg/m).

L : Vano (m).

A : Sección del conductor (mm²).

σ^2 :Esfuerzo en la hipótesis considerada (Kg/mm²).

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.

$$V_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \dots(26)$$

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Acumulador: Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

Amperio-hora: Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

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

Diodo de bloqueo: Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.

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

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

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

Concentrador: Dispositivo que, mediante distintos sistemas, concentra la radiación solar sobre las células fotovoltaicas.

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

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

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

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

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

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

Electrolito: En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.

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

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

Generador: Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones.

Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

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

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

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

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

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Temperatura a la que trabaja una célula en un módulo bajo las Condiciones de Operación Estándar, que es de 20° Centígrados de temperatura ambiente, irradiación de 0.8 kW/m² y velocidad media del viento de 1 m/s, con el viento orientado en paralelo al plano de la estructura y todos los lados de la estructura totalmente expuestos al viento.

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.

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

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

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

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

Sistema Aislado o Remoto: Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es **aplicada** Debido a que se hará uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar a solución de problemas de la realidad.

El diseño de la investigación es **descriptivo**: Porque se describe las características de los equipos seleccionados y las variables en estudio (radiación solar y energía solar) a través tal y como se presentan en la realidad.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Para el desarrollo de la tesis la población es igual a la muestra y es el caserío Villa Hermosa.

3.3. Hipótesis

Utilizando la energía solar fotovoltaica se logrará suministrar electricidad al caserío Villa Hermosa ubicado en el departamento de Amazonas.

3.4. Variables - Operacionalización

Tabla N° 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
energía solar fotovoltaica	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 fotovoltaica, ²⁶ o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina ²⁶	Equipos necesarios para obtener la transformación de energía solar en eléctrica Radiación solar	Dimensionamiento de generador fotovoltaico (kWp). Dimensionamiento de las baterías (A.h), controladores (A), inversores (W) elementos de protección.
Suministro de energía eléctrica	El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección ²⁷ .	Estudio de la demanda de energía eléctrica promedio diaria	Calculo de la demanda de energía eléctrica (kW)
		Distribución de energía eléctrica a los usuarios	Dimensionamiento del sistema de distribución en baja tensión

Fuente: elaboración propia

²⁶ https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

²⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

En esta tesis el método 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 directa

Con esta técnica conoceremos el estado en que se encuentra el caserío Villa Hermosa, ya sea en diferentes aspectos como social, económico, y ambiental. Conoceremos el número total de viviendas y cargas especiales que existen en el caserío.

b) La Entrevista

Esta técnica se utilizó especialmente para recopilar información de los habitantes para conocer su requerimiento de energía eléctrica y además conocer su situación actual.

c) Análisis de contenido

se utilizó para recopilar la información de diferentes bibliografías sobre sistemas fotovoltaicos: libros, revistas, tesis, páginas web, etc. Que sirvió de base para elaborar el marco teórico.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 2: Tecnicas e instrumentos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación directa	Cuaderno de apuntes, fichas de campo, fotografías.
Análisis de contenido	Libros, tesis, revistas, páginas web de internet
Entrevista	Cuaderno de apuntes, lapicero.

Fuente: elaboración propia

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

La información obtenida en el presente trabajo de investigación, como son datos de irradiación solar obtenida de las diferentes fuentes se procesa considerando el mes critico es decir el mes con menor irradiación solar que es el valor que vamos a utilizar para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

De la entrevista realizada a los habitantes de las viviendas se ha obtenido como resultado que la carga es casi uniforme esto debido por lo que se ha considerado un valor promedio para las carga y máxima demanda de las viviendas.

Los datos recopilados se han organizado en tablas y gráficas de barras utilizando el MS Excel 2016.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Con la finalidad de suministrar electricidad al caserío Villa Hermosa se propone un sistema fotovoltaico aislado centralizado más la red de distribución de energía eléctrica así poder hacer llegar la energía eléctrica a cada una de las viviendas.

Se propone Este sistema, el cual estará conformado por los siguientes equipos y/o componentes:

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

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

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

d) El convertidor o inversor: Se propone trabajar con inversores de la marca VICTRON ENERGY, el número de inversores se calculará en base a la potencia de la carga.

e) Sistema de distribución en 220 V:

Se propone el uso de la red de distribución secundaria, el conductor eléctrico se calculará teniendo en cuenta la capacidad de corriente y la caída de tensión, además se propone el uso de postes de concreto armado centrifugado, para determinar la altura del poste se tendrá en cuenta la distancia mínima de seguridad del punto más bajo del conductor al suelo, así como también la flecha máxima y la profundidad de empotramiento. Con respecto a los armados se considera la norma del ministerio de energía y minas.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Energía promedio diaria para el caserío Villa Hermosa

El número de viviendas del caserío Villa Hermosa es de 49, y el número de habitantes es de 150, cuenta además con 01 local comunal, 01 iglesia, 01 centro de salud.

Ahora considerando que los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil de 20 años entonces tenemos que proyectar esa energía

Tabla N° 3: tasa de crecimiento para el departamento de Amazonas

AMAZONAS: POBLACIÓN TOTAL Y TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL, 1940 - 2007

Año	Total	Incremento Intercensal	Incremento Anual	Tasa de Crecimiento Promedio Anual %
1940	89 560			
1961	129 003	39 443	1 878	1,8
1972	212 959	83 956	7 632	4,7
1981	268 121	55 162	6 129	2,6
1993	354 171	86 050	7 171	2,3
2007	411 011	56 840	4 060	1,0

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.

Fuente:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib00838/Libro01/cap01.pdf

De la tabla N° 3, obteniendo el valor promedio de las tasas de crecimiento obtenemos un valor de: 2,48 %, la proyección poblacional para 20 años esto debido a la vida útil de los paneles fotovoltaicos, usaremos la ecuación (1)

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

Donde:

P₀: Población actual (150 habitantes)

P₂₀: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (2,48%)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$P_{20} = 150(1 + 0,0248)^{20} \approx 245 \text{ personas}$$

El número de viviendas proyectados es de 80

Ahora determinaremos la energía promedio diaria proyectada



Figura N° 16: Viviendas en el caserío Villa Hermosa

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 4: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular

ITEM	Uso comun	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
VIVIENDA PARTICULAR					
1	Lampara(sala)	8	1	4	32
2	Lampara(dormitorio)	8	1	3	24
3	Lampara(cocina)	8	1	3	24
4	Carga de celular	5	2	2	20
5	Radio	10	1	3	30
6	Televisor	60	1	3	180
TOTAL, CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA (Wh) POR VIVIENDA					310,00

fuentes: elaboración propia

Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica para el local comunal

ITEM	RECEPTOR	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
LOCAL COMUNAL					
1	Lampara	8	2	2	32
2	Radio	10	1	4	40
3	Carga de celular	5	1	2	10
TOTAL, CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA (Wh) LOCAL COMUNAL					82

fuentes: elaboración propia

Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica de la Institución Educativa

ITEM	RECEPTOR	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
INSTITUCION EDUCATIVA					
1	Lampara	8	8	1	64
2	Carga de celular	5	1	3	15
3	Radio	10	1	4	40
TOTAL CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA (Wh) INSTITUCION EDUCATIVA					119

Fuente: elaboración propia



Figura N° 17: Institución educativa en el caserío Villa Hermosa

Fuente: elaboración propia



Figura N° 18: Con los alumnos de la institución Educativa

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica en el centro de salud

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
CENTRO DE SALUD						
1	Foco ahorrador	220 V c.a.	8	2	8	128
2	Radio	220 V c.a.	12	1	4	48
3	Carga de celular	220 V c.a.	5	1	2	10
TOTAL CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA (Wh)						186

Fuente: elaboración propia



Figura N° 19: centro de salud en el caserío Villa Hermosa

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 8: Consumo de energía eléctrica para alumbrado publico

Numero de viviendas	CMAP (Kwh)	PPL	Numero de lamparas	FS	POT. alumbrado (KW)
49	161,7	60	7	1	0,42

fuentes: elaboración propia

De las tablas anteriores, elaboramos la tabla N° 9 para hallar el consumo de energía eléctrica total que tiene un valor de 30 227 kWh

Tabla N° 9: Consumo de energía promedio diario proyectado del caserío Villa Hermosa

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	ENERGIA (Wh)	CANTIDAD	Energía diaria (Wh)
CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA TOTAL CASERIO VILLA HERMOSA					
1	viviendas	220 V c.a.	310,00	80	24800
2	Institucion Educativa	220 V c.a.	119	1	119
3	Centro de salud	221 V c.a.	186	1	186
4	Local Comunal	220 V c.a.	82	1	82
5	Alumbrado	221 V c.a.	720	7	5040
total					30227

fuelle: elaboración propia

5.2. Radiación Solar promedio en el caserío Villa Hermosa

Con la finalidad de obtener la radiación solar para el caserío Villa Hermosa se ha consultado 3 fuentes como son: Consulta a la página web de la NASA, El atlas solar del Perú y el uso del software METEONORM 7, cuyos datos se detallan a continuación:

Atlas de energía solar del Perú: De este documento se obtuvo un intervalo en el cual varia la radiación solar , para el departamento de Amazonas²⁸, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 3,5 kWh/m²/día y 4 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 3,75 kWh/m²/día.

²⁸ SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.

Consultando: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi> , página web de la NASA la cual brinda información de la radiación solar promedio mensual evaluado en un periodo de 22 años , ingresando los datos de latitud y longitud obtenemos la siguiente tabla

Tabla N° 10: Radiación solar en el caserío Villa Hermosa- NASA

Northern boundary
-5
Western boundary Center Eastern boundary
-78 Latitude -5.5 -77
 Longitude -77.5
Southern boundary
-6

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

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat -5.603 Lon -77.785	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	3.74	3.64	3.81	3.89	3.94	3.85	4.01	4.30	4.51	4.51	4.61	4.19	4.08

Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)

Lat -5.603 Lon -77.785	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Minimum	-22	-22	-25	-18	-13	-13	-13	-8	-13	-14	-20	-19
Maximum	28	27	23	18	13	18	11	12	20	15	17	31

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 3,64 kWh/m²/día.

Software Meteonorm 7

En la tabla N° 11 son los datos obtenidos del Software los cuales tienen que ser procesados para obtener la tabla N° 12 el cual sería el valor de la radiación solar promedio es, de donde observamos que el valor más crítico es de 4,94 kWh/m²/día

Tabla N° 11: Radiación solar en el caserío Villa Hermosa con el software Meteonorm 7

Caserio Villa Hermosa

 Radiación	 Temperatura	 Precipitación	 Duración de la insolación				
 Radiación global diaria		 Temperatura diaria	 Tabla de datos				
	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s	
Enero	153	72	117	19	12.3	3.8	
Febrero	141	76	94	20.1	13.5	3.2	
Marzo	165	73	130	20.1	13.5	3.1	
Abril	167	65	151	18.5	12.5	3.5	
Mayo	169	61	163	16.1	10.8	4	
Junio	159	60	158	14.2	9.6	3.6	
Julio	165	58	168	13.7	9.3	3.6	
Agosto	172	63	162	13.5	9	3.8	
Setiembre	177	72	153	13.6	8.9	4.2	
Octubre	174	69	150	14.1	9.3	4.3	
Noviembre	163	64	150	15	9.9	4.2	
Diciembre	162	71	141	16.9	11.3	4.1	
Año	1966	803	1738	16.2	10.8	3.8	

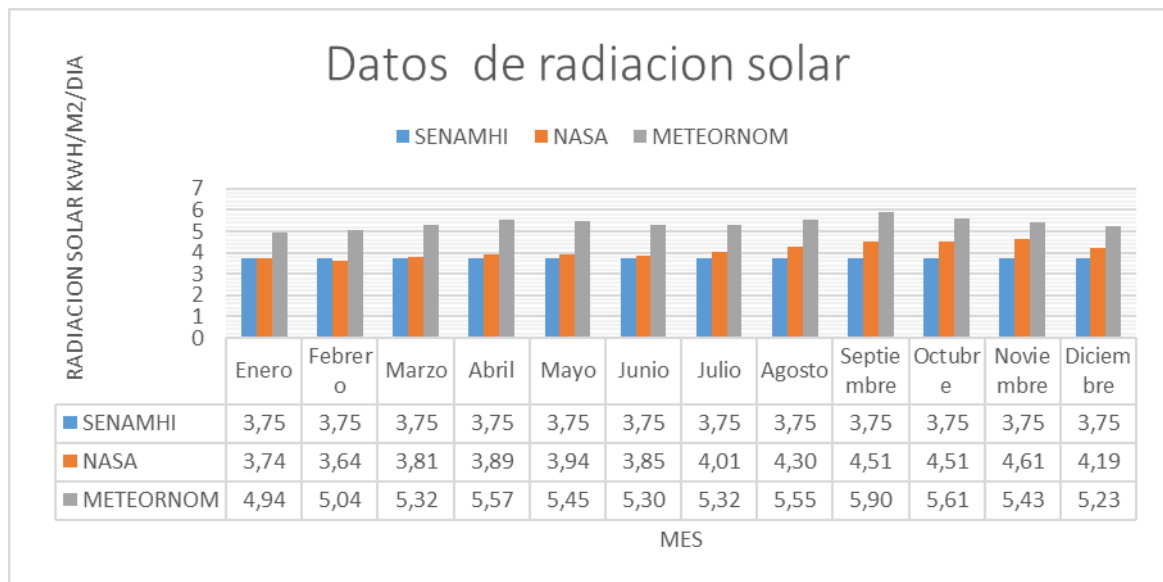
Fuente: Software Meteonorm 7

Tabla N° 12: Radiación solar según software METEONORM

Mes	Gh(kWh/m ²)	dias del mes	Gh(kWh/m ² /dia)
Enero	153	31	4,94
febrero	141	28	5,04
Marzo	165	31	5,32
Abril	167	30	5,57
Mayo	169	31	5,45
Junio	159	30	5,30
Julio	165	31	5,32
Agosto	172	31	5,55
Septiembre	177	30	5,90
Octubre	174	31	5,61
Noviembre	163	30	5,43
Diciembre	162	31	5,23

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 13: Comparación de los datos de radiación



Fuente: elaboración propia

De la tabla N° 13, concluimos que la radiación solar para el caserío Villa Hermosa es de 3,64 kWh/m²/día.

5.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Selección de los paneles fotovoltaicos

En el caso de los paneles solares YINGLI SOLAR de 330 Wp cuyas características eléctricas se muestran en la siguiente tabla

Tabla N° 14: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)								
Tipo de módulo			YLxxxP-35b (xxx=P _{max})					
Potencia de salida	P _{max}	W	330	325	320	315	310	305
Tolerancias de potencia de salida	ΔP _{max}	W	0 / + 5					
Eficiencia del módulo	η _m	%	17.0	16.7	16.5	16.2	16	15.7
Tensión en P _{max}	V _{mpp}	V	37.4	37.3	37.0	36.8	36.3	36.1
Intensidad en P _{max}	I _{mpp}	A	8.84	8.72	8.64	8.56	8.53	8.45
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	46.4	46.3	46.0	45.7	45.6	45.4
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	9.29	9.24	9.18	9.12	8.99	8.93

STC: 1000 W/m² de irradiación, 25°C de temperatura de célula, espectro AM 1.5g conforme a la EN 60904-3.
Reducción media de la eficiencia relativa de 3,3% a 200 W/m² según la EN 60904-1.

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

Datos relevantes para el dimensionado

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

Consumo de energía eléctrica proyectado: 30,227 kWh

Radiación solar: 3,64 kWh/m²/día

Días de autonomía: 3

Rendimiento de la batería: 95%

Rendimiento del inversor: 94%

Rendimiento de los conductores eléctricos: 97%

Voltaje del sistema: 48 V

Para calcular la potencia del generador fotovoltaico usamos la ecuación (2):

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

Reemplazando:

$$\text{Potencia del generador fotovoltaico} = \frac{30,227 \left(\frac{kWh}{dia}\right)}{3,64 \times 0,6} = 13,840 kWp$$

De la ecuación (3) el número de paneles fotovoltaicos necesarios para generar una potencia de 13,840 kWp.

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

$$\text{Numero de paneles}(N_{mf}) = \frac{30,227 \left(\frac{kWh}{dia}\right)}{3,64 \times 0,6 \times 330} = 41,90 \approx 42$$

De donde se obtiene que:

Se utilizaran 42 modulos fotovoltaicos de 330 Wp

Como la tensión de trabajo de los paneles solares es de 24 V y la tensión del sistema va a ser de 48 V, entonces Haciendo uso de la ecuación (4) para saber el número de paneles fotovoltaicos a conectarse en serie:

$$N_{paneles-serie} = V_{de trabajo} / V_{modulof}$$

Reemplazando

$$N_{paneles-serie} = 48 / 24 = 2$$

Al conectar dos módulos en serie entonces tendremos ramas de dos módulos las cuales van a ser conectadas en paralelo para el cual usaremos la ecuación (5)

$$N_{ramas-paralelo} = N_{paneles} / N_{paneles-serie}$$

Reemplazando:

$$N_{ramas-paralelo} = 42 / 2 = 21$$

En conclusión, tendremos 21 ramas de paneles solares

Para el dimensionado del banco de baterías que almacena la energía generada por el arreglo fotovoltaico considerando las baterías de una capacidad de 503 Ah, el resultado se obtiene utilizando la ecuación (6)

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{D\ max} \times V_T \times n_{inv} \times n_{rb})$$

Donde:

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

N_D = Número de días de autonomía =3.

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

$P_{D\ max}$ = Profundidad máxima de descarga: 0,8

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

n_{inv} : eficiencia del inversor (0,94)

n_{rb} : eficiencia del conjunto regulador batería (0,90)

$$C_T = (3 \times 30\,227) / (0,80 \times 48 \times 0,94 \times 0,90)$$

$$C_T = 2\,791,35 \text{ Ah}$$



Figura N° 20: batería ROLLS 12 CS 11 PS (ANEXO 03)²⁹

El número de baterías que conectaremos en serie lo obtenemos usando la ecuación (7):

$$N_{\text{baterías-serie}} = V_{\text{tension de trabajo}} / V_{\text{Tension de la batería.}}$$

Reemplazando datos:

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

El número de ramas de baterías en paralelo lo calculamos de la siguiente ecuación (8):

$$N_{\text{ramas de baterías paralelo.}} = C_{\text{banco}} / C_{\text{de la batería seleccionada}}$$

²⁹ <http://webosolar.com/store/es/baterias-ciclo-porfundo/996-bateria-surrette-rolls-12-cs-11p-ciclo-profundo-12v-503ah.html>

Entonces reemplazando tenemos que el número de ramas de baterías en paralelo:

$$N_{\text{ramas de baterías paralelo.}} = \frac{2791,35}{503} = 5,55 \approx 6$$

Luego el número total de baterías es de 24

Para determinar la corriente eléctrica mínima que circulara por el regulador hacemos uso de la ecuación (9)

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas-paralelo}}$$

Reemplazando

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times 9,29 \times 21 = 234,86 \text{ A}$$

El número de reguladores para nuestra instalación considerando los reguladores BLUE SOLAR 150/85 (ANEXO 04) con una capacidad de corriente de 85 A

Teniendo la corriente eléctrica del regular podemos calcular el número de reguladores para la instalación con la ecuación (10)

$$N_{\text{reguladores}} = I_{\text{minimo del regulador}} / I_{\text{regulador seleccionado}}$$

$$N_{\text{reguladores}} = 234,86 / 85 = 2,76 \approx 3$$

Se usaran 3 reguladores BLUE SOLAR 150/85

El número de ramas de paneles solares que se conectarán a cada regulador lo obtenemos usando la ecuación (11)

$$N_{\text{ramas de paneles solares por regulador}} = N_{\text{reguladores}} / N_{\text{ramas de paneles}} \cdot (11)$$

Para el cálculo de la potencia requerida por el inversor usaremos la ecuación (12):

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{\text{Potencia de la carga}}{\text{Rendimiento del inversor}}$$

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{8,304}{0,95} = 8,74 \text{ kW}$$

Para determinar el número de inversores necesarios y proponiendo inversores de la marca VICTRON ENERGY de 3 kW tenemos lo siguiente, usando la ecuación (13):

$$N_{\text{inversores}} = \frac{\text{Potencia de entrada del inversor}}{\text{Potencia del inversor seleccionado}}$$

$$N_{\text{inversores}} = \frac{8,74 \text{ kW}}{3,0 \text{ kW}} = 2,91 \approx 3$$

Se usaran 3 inversores VICTRON ENERGY de 3 kW

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

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

Haciendo uso de la Ecuación (14) tenemos:

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{Cortocircuito\ del\ panel} \times N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador}$$

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 9,29 \times 7 = 81,29\ A$$

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

Haciendo uso de la Ecuación (15) tenemos:

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

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times 3\ 000 / (48 \times 0,94) = 83,11\ A$$

Ahora consideraremos las caídas de tensión máximas en cada tramo:

- a) Para el tramo generador fotovoltaico- controlador se recomienda una caída de tensión entre 1% a 3%, en este caso se ha considerado el 3% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 1,44 V
- b) Para el tramo regulador- baterías se recomienda una caída de tensión máxima de 1% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 0,48 V

- c) Para el tramo baterías - inversor se recomienda una caída de tensión máxima de 1% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 0,48 V

Tabla N° 15: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica

Subsistema	Caída tensión Máxima
Paneles – Regulador	3%
Regulador – Baterías	1%

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

Para el cálculo de la sección mínima del conductor usando la ecuación (16) tenemos lo siguiente:

Tabla N° 16: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo

Generador fotovoltaico - Regulador	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 8 \times 81,29 / (56 \times 1,44)$ $S_{CABLE} = 16,13 \text{ mm}^2$
Regulador -Batería	$: S_{CABLE} = 2 \times L \times I_{MAX} / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 3 \times (81,29) / (56 \times 0,48)$ $S_{CABLE} = 18,15 \text{ mm}^2$
Regulador - Inversor	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I_{MAX} / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 3 \times (83,11) / (56 \times 0,48)$ $S_{CABLE} = 18,55 \text{ mm}^2$

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 17: Características eléctricas de los conductores THW-90

SECCIONES EN MM2						
DATOS CONSTRUCTIVOS Y ELÉCTRICOS						
Sección Nominal mm²	Número de Hilos Nº	Espesor de Aislación mm	Diámetro Exterior mm	Peso Aproximado Kg / Km	Capacidad de Corriente (*) Amperios	
					Aire	Ducto
CONDUCTOR SÓLIDO						
2,5	1	0,80	3,5	30	35	25
4	1	0,80	4,0	45	50	35
6	1	0,80	4,5	65	60	45
10	1	1,10	6,0	110	90	65
CONDUCTOR CABLEADO						
2,5	7	0,80	4,0	32	35	25
4	7	0,80	4,5	47	50	35
6	7	0,80	5,0	66	60	45
10	7	1,10	6,5	112	90	65
16	7	1,50	8,5	182	120	80
25	7	1,50	9,5	272	160	105
35	7	1,50	11,0	365	190	130
50	19	2,00	14,0	590	245	165
70	19	2,00	15,0	718	305	200
95	19	2,00	17,0	970	370	240
120	37	2,40	20,0	1233	430	275
150	37	2,40	21,0	1496	500	315
185	37	2,40	23,0	1844	570	355
240	61	2,40	26,0	2371	675	415
300	61	2,80	29,0	3038	780	470
400	61	2,80	32,0	3915	935	555
500	61	2,80	36,0	4865	1055	615

fuelle: <http://www.ceper.com.pe/pdf/43/thw-90.pdf> (ANEXO 06)

De la Tabla N° 16 y Tabla N° 17, Seleccionamos el conductor

25 mm²THW-90

5.3.1. Protección contra sobreintensidades

5.3.1.1. Selección de elementos de protección: fusibles³⁰

Para la protección contra sobreintensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos se utilizarán fusibles, usaremos la relación (17), de donde obtenemos

Tabla N° 18: Selección de fusibles

Generador - fotovoltaico - Regulador	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $81,29 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (160)$ $81,29 \leq I_n \leq 144$ $I_n = 100 \text{ A}$
Regulador- Batería	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $81,29 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (160)$ $81,29 \leq I_n \leq 144$ $I_n = 100 \text{ A}$
Batería- Inversor	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $83,11 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (160)$ $83,115 \leq I_n \leq 144$ $I_n = 100 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia

³⁰ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

5.3.1.2. Protección del inversor

Con el uso de interruptores termomagnéticos bipolares que utilizando la ecuación (18) tendrá un valor de 15 A.

Además, usaremos un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad.

5.3.1.3. Sistema de puesta a tierra³¹

La toma de tierra es un elemento fundamental de cualquier instalación eléctrica. Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión español: “Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados” (Instrucción Técnica Complementaria 18). Por lo tanto, las tomas de tierra protegen tanto a los equipos como a las personas de diferencias de potencial peligrosas. Los objetivos de un sistema de puesta a tierra en baja tensión son los siguientes: · Proveer seguridad a las personas limitando la tensión de contacto. · Proteger las instalaciones dando un camino de baja impedancia. · Mejorar la calidad de la señal minimizando el ruido electromagnético. Establecer un potencial de referencia equipotencializando el sistema.

La sección mínima de la línea principal de tierra es de 16mm² según el C.N.E.

³¹ https://at3w.com/upload/ficheros/importancia_de_una_toma_de_tierra_adecuada.pdf

5.3.2. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares:

Haciendo uso de la ecuación (19), y teniendo como dato la latitud que es de: $-5,603^\circ$.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-5,603^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 7,57^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de $7,57^\circ$ y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día, consideraremos 10°

Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos

Haciendo uso de las ecuaciones (20)

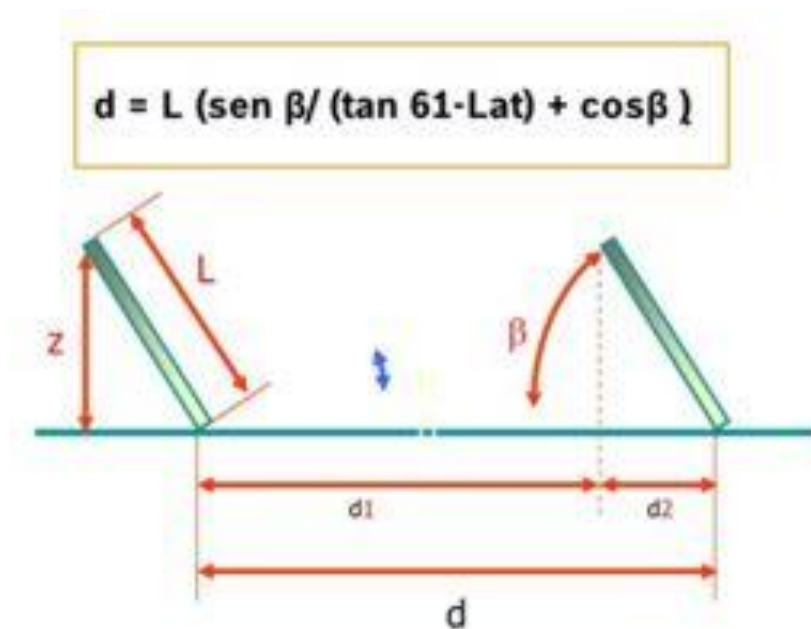


Figura N° 21: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano³²

³² <http://eliseosebastian.com/distancia-entre-paneles-fotovoltaicos/>

L= 1995 mm

$\beta=10^\circ$ $\Phi=-5,603^\circ$

Reemplazando en las fórmulas anteriores tenemos:

h=399,66 mm

d=142,68 mm

D=2 068,96 mm

5.4. Presupuesto del sistema fotovoltaico

ítem	Descripción	Und.	Cant.	Costo unitario S/	Sub-Total S/
01	Módulo de paneles fotovoltaicos	Unid.			
	Panel fotovoltaico de 330Wp	Unid.	42	1 200,28	50 411,76
02	Sistema Controlador	Unid.			
	Controlador Blue Solar MPPT 150 I 85 Tr	Unid.	3	3 621,13	10 863,39
03	Sistema de almacenamiento	Unid.			
	Batería Plomo ácido 12V 503 Ah ROLLS 12 CS 11P	Unid.	24	3 415,00	81 960,00
04	Inversor de Corriente	Unid.			
	Inversor 48V 3000 W VICTRON ENERGY	Unid.	3	5 585,94	16 748,82
05	Equipamiento Adicional	GLB.			
	Accesorios del SFV	Glb	1	500,00	500,00
TOTAL					160 483,97

Tabla N° 19: Costo directo sistema fotovoltaico

RESUMEN DEL VALOR REFERENCIAL - SISTEMA FOTOVOLTAICO		
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRARA ELECTRICIDAD A VILLA HERMOSA YAMBRASBAMBA-BONGARA-AMAZONAS"		
RESUMEN GENERAL SISTEMA FOTOVOLTAICO		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	160 483,97
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	11 233,88
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	8 024,20
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	179 742,05

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

5.5.1. Cálculo de caída de tensión

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, para nuestro caso Sistema 220 V: Máxima caída tensión 15,4 V.

Como el sistema de distribución va ser monofásico en 220 V, se ha considerado el conductor 2x16/25 y 1x16/25, en los tramos que tengan alumbrado público y no respectivamente.

Tabla N° 20: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados

Configuración del Cable	K (Factor de caída de tensión)	Capacidad de corriente (A)
2x16/25	3,272	64
1x16/25	3,272	64

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

según la Tabla N° 20 la capacidad de corriente del cable de 64 A. De la potencia del inversor obtenemos la corriente eléctrica de diseño:

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = 3\ 000 / (220 * 1)$$

$$I_{MAX\ carga} = 13,64\ A < 64\ A$$

5.5.1.1. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 21: 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 (m)	6,5	5,5	4	5,5
A lo largo (m)	5,5	5	4	4,5

Fuente: C.N.E.

5.5.1.2. 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° 25

5.5.1.3. Hipótesis de estado

Para los cálculos mecánicos del conductor se hacen uso de las siguientes hipótesis (Tabla N° 22)

Tabla N° 22: hipótesis para las diferentes condiciones

<u>HIPÓTESIS I : ESFUERZO MÁXIMO</u>			<u>Aplicación</u>
Temperatura	5	°C	Máximo esfuerzo conductores
Velocidad del viento	80	km/h	Máximo: 60% de Esfuerzo de rotura final
Manguito de hielo	0	mm	
<u>HIPÓTESIS II: ESTADO INICIAL</u>			<u>Aplicación</u>
Temperatura	15	°C	18% de Esf. Rotura
Velocidad del viento	0	km/h	7% de Esf. Rotura
Manguito de hielo	0	mm	
<u>HIPÓTESIS III: FLECHA MÁXIMA</u>			<u>Aplicación</u>
Temperatura	40	°C	Máxima flecha por máxima
Velocidad del viento	0	km/h	Temperatura
Manguito de hielo	0	mm	Condición de Mínima flecha

Fuente: C.N.E.

5.5.1.4. 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.

5.5.1.5. Cálculo de cambio de estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la **Ecuación**

19

Tabla N° 23: 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

5.6. Presupuesto del sistema fotovoltaico y red de distribución eléctrica

Del ítem 5.4 y del ANEXO

Tabla N° 24: Presupuesto referencial total

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRARA ELECTRICIDAD A VILLA HERMOSA YAMBRASBAMBA-BONGARA-AMAZONAS"		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	84 756,96
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	179 742,05
	TOTAL S/.	264 499,00
G	GASTOS GENERALES	13 224,95
H	UTILIDADES	13 224,95
I	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	290 948,90
J	I.G.V. (S/.)	55 280,29
	COSTO TOTAL INLUIDO I.G.V. (S/.)	346 229,19

Fuente: elaboración propia

Del presupuesto total y con la finalidad de saber cuál sería la inversión inicial para cada uno de los beneficiarios obtenemos $S/. 346\,229,19/49 = S/. 7\,065,90$ el cual será financiado con ayuda de la municipalidad.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) La demanda de energía diaria proyectada para el caserío Villa Hermosa es de 30 227 Wh/día.
- b) Para la radiación solar se ha obtenido un valor de 3,64 kWh/m²/día
- c) El sistema fotovoltaico estará compuesto por 42 paneles fotovoltaicos de 330 Wp de la marca YINGLI SOLAR, 03 controladores 150/85 Blue Solar, 24 baterías de acumuladores Rolls de 503 Ah, 03 inversores de 3000 W, El generador fotovoltaico tiene 13,86 kWp.
- d) Se realizó el diseño del sistema de distribución en baja tensión en 220 V, en el ANEXO 09.
- e) El presupuesto para suministrar energía eléctrica el centro poblado Villa hermosa es de: S/. 346 229,19

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogota.
- 2) Adanaque Sanchez, J. L. (2016). *Estudio de factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el centro poblado de Shungun región Amazonas, 2016*. Cajamarca.
- 3) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 4) Alva Silva, J. Z. (2016). *Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca, 2016*. Cajamarca.
- 5) Avalos Vallejos, H. R. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016*. Jaen.
- 6) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 7) Celemin Cuellar, M. A. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio de Ortega-Tolima*. Colombia.
- 8) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 9) Energia Innovadora. (2017). *Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
- 10) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 11) Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.
- 12) Llauce Chozo , A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.
- 13) Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía*

eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el Km 901, carretera Lambayeque – Piura. Lambayeque.

- 14) Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 15) Paredes Rubio, A. R. (2001). *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*. Mexico.
- 16) Perez Garrido, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. Chile.
- 17) Perez Garrido, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. Chile.
- 18) Sanchez Quiroga, D. (2012). *Sistema de energia solar fotovoltaica aislada para vivienda unifamiliar aislada*. Leganes.
- 19) SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 20) solar, G. d. (2016). *Guia de la energia solar*. 2006.
- 21) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.
- 22) Velasquez Céspedes, R. A. (2012). *Proyecto de instalación solar fotovoltaica en el departamento de ingeniería eléctrica de la universidad de Santiago de Chile*. Santiago de Chile.

ANEXOS

ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN LA REGIÓN AMAZONAS

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS YINGLI SOLAR DE 330 Wp

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS ROLLS DE 12 V-503 Ah

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LAS CONTROLADORES 150/85

ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DE LOS INVERSORES SELECCIONADOS

ANEXO N°06. CATALOGO DE CABLES THW-90

ANEXO N° 07. PLANO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 08. METRADO Y PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

ANEXO N° 09. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA