



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Dimensionamiento de un sistema con recursos
energéticos renovables conectado a red en el Distrito
de Tarapoto, San Martín”**

Presentado Por:

Bach. Lizana Rivera, Cristian Ralph

Asesor:

Dr. Carranza Montenegro, Daniel

LAMBAYEQUE – PERÚ

Octubre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO

ELECTRICISTA

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CON
RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES
CONECTADO A RED EN EL DISTRITO DE TARAPOTO,
SAN MARTIN”**

Presentado Por:

Bach. CRISTIAN RALPH LIZANA RIVERA

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: MSC. ING. CARLOS CHAMBERGO LARREA

SECRETARIO: MSC. ING. AMADO AGUINAGA PAZ

MIEMBRO: ING. PERCY NIÑO VASQUEZ

ASESOR: DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

Lambayeque – Perú

Octubre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TITULO

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CON RECURSOS ENERGETICOS
RENOVABLES CONECTADO A RED EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, SAN
MARTIN”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

AUTOR: Bach. CRISTIAN RALPH LIZANA RIVERA

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

Octubre del 2019

1. DEDICATORIA

La presente Tesis esta dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanos y a mis sobrinos, por sus palabras y compañía, a mi hermano Darwin aunque no esté físicamente con nosotros, pero sé que desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien.

A mi enamorada por sus palabras y confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Bach. Cristian Ralph Lizana Rivera.

2. AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, a toda la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y los todos docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

A mis padres y hermanos, quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino.

Bach. Cristian Ralph Lizana Rivera.

3. RESUMEN

El objetivo general de la presente tesis fue dimensionar de un sistema con recursos energéticos renovables conectado a red en el distrito de Tarapoto perteneciente al departamento de San Martín. Se propuso un sistema fotovoltaico de autoconsumo sin inyección de energía a la red. Se obtuvo los datos de potencia de un analizador de redes modelo PQ Box de donde se obtuvo que la energía promedio diaria es de 16,16 kWh y la máxima demanda es de 1,1 kW. Se obtuvo los datos de irradiación solar usando el software METEONORM obteniendo que este varía entre 4,93 kWh/m²/día y 5,73 kWh/m²/día, por lo que el recurso solar resulta aplicable para la generación de energía eléctrica. Se dimensionó el sistema de autoconsumo fotovoltaico el cual estará conformado por 08 paneles fotovoltaicos de 320 Wp, 01 inversor de 2 kW, además de un analizador de red antivertido, la potencia instalada del generador fotovoltaico es de 2,56 kWp. Se calculó el costo total del sistema propuesto obteniéndose un valor de S/. 15 552,10, Se realizó la evaluación económica con una tasa de 12 % obteniéndose para un horizonte de 25 años un VAN de S/. 3 341,43 y la TIR de 14%.

Palabras clave: irradiación solar, modulo fotovoltaico, inversor.

4. ABSTRACT

The general objective of this thesis was to size a system with renewable energy resources connected to the network in the district of Tarapoto belonging to the department of San Martin. A self-consumption photovoltaic system without energy injection to the network was proposed. The power data of a PQ Box model network analyzer was obtained from which it was obtained that the average daily energy is 16,16 kWh and the maximum demand is 1,1 kW. The solar irradiation data was obtained using the METEONORM software, obtaining that this varies between 4,93 kWh / m² / day and 5,73 kWh / m² / day, so the solar resource is applicable for the generation of electrical energy. The photovoltaic self-consumption system was sized, which will be made up of 08 -320 Wp photovoltaic panels, 01 - 2 kW inverter, in addition to an anti-aging grid analyzer, the installed power of the photovoltaic generator is 2,56 kWp. total of the proposed system obtaining a value of S /. 15 552,10, The economic evaluation was carried out with a rate of 12%, obtaining for a 25-year horizon a NPV of S / .3 341,43 and the TIR of 14%.

Keywords: solar irradiation, photovoltaic module, inverter.

5. ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Delimitación de la Investigación	2
1.3.1. Delimitación espacial	2
1.3.2. Delimitación temporal	9
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	9
1.5. Limitaciones de la TESIS	10
1.6. Objetivos de la TESIS	10
1.6.1. Objetivo General	10
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	15
2.2.1. Energías renovables	15
2.2.2. Energía solar	17
2.2.3. Horas del sol pico (HSP)	26
2.2.4. Efecto fotovoltaico	27
2.2.5. Irradiancia solar	29
2.2.6. Irradiación solar	30
2.2.7. Sistema fotovoltaico	31
2.2.8. Sistema conectado a red	32

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	60
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	66
3.1. Tipo y diseño de investigación	66
3.2. Población y muestra	66
3.3. Hipótesis	66
3.4. Operacionalización de variables	66
3.5. Métodos y Técnicas de investigación	68
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	68
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	69
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	70
4.1. Propuesta de la investigación	70
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	71
5.1. Datos de Irradiación solar	71
5.2. Cálculo de consumo diario de energía eléctrica	72
5.3. Dimensionamiento y selección del sistema fotovoltaico	79
5.3.1. Sistema fotovoltaico de autoconsumo directo	79
5.4. Estudio de viabilidad técnica y económica	105
5.4.1. Costo total del sistema conectado a red	105
5.4.2. Determinación de los indicadores económicos	106
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	110
6.1. Conclusiones	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	114

6. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ubicación de lugar de estudio	3
Tabla N° 2: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante	39
Tabla N° 3: Operacionalización de Variables	67
Tabla N° 4: Data METEONORM	71
Tabla N° 5: Datos de consumo de energía eléctrica mensual	73
Tabla N° 6: consumo horario de energía eléctrica	78
Tabla N° 7: Energía eléctrica suministrada por ambas fuentes	79
Tabla N° 8: Energía suministrada por el generador fotovoltaico	81
Tabla N° 9: Costo del generador fotovoltaico en función de la potencia del panel fotovoltaico	83
Tabla N° 10: Temperatura máxima y mínimas mensuales	86
Tabla N° 11: característica del panel fotovoltaico seleccionado	88
Tabla N° 12: Coeficientes de temperatura del panel fotovoltaico	88
Tabla N° 13: Parámetros para la selección del inversor	92
Tabla N° 14: Conductores eléctricos NH - 80	96
Tabla N° 15: costo del suministro	105
Tabla N° 16: Costo total del sistema propuesto	105
Tabla N° 17: Variación mensual del precio del kWh	107
Tabla N° 18: Variación del costo del kW.h	108
Tabla N° 19: Flujo de caja	108

7. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de Tarapoto	3
Figura N° 2: Ubicación de la vivienda en estudio en Tarapoto	4
Figura N° 3: aeropuerto Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes	9
Figura N° 4: Energía solar	18
Figura N° 5: Planta solar de Google.	21
Figura N° 6: Módulos mono-PERC	22
Figura N° 7: Mapa solar del Perú	24
Figura N° 8: Horas solares pico	26
Figura N° 9: Gama de energía radiante	29
Figura N° 10: flujo energético entre el sol, la atmosfera y el suelo	30
Figura N° 11: Componentes de la radiación solar	31
Figura N° 12: Planta fotovoltaica conectado a red	33
Figura N° 13: Sistema fotovoltaico conectado a red en una vivienda	34
Figura N° 14: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico	37
Figura N° 15: tipos de paneles solares	38
Figura N° 16: Partes de un panel fotovoltaico	41
Figura N° 17: Panel fotovoltaico	42
Figura N° 18: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos	44
Figura N° 19: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos	45
Figura N° 20: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos	46
Figura N° 21: Curvas corrientes vs voltaje para diferentes irradiancias	47
Figura N° 22: Curvas corriente vs voltaje	48
Figura N° 23: Placa positiva y negativa de una batería	49
Figura N° 24: Inversor VICTRON ENERGY	53
Figura N° 25: Instalación de autoconsumo domestica sin acumulación	56
Figura N° 26: Estructura Fija	58
Figura N° 27: Instalación de Seguidor Solar	59
Figura N° 28: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar	59
Figura N° 29: Consumo de energía eléctrica mensual en el año 2018	75
Figura N° 30: Instalación del analizador de redes	76
Figura N° 31: Diagrama de carga de la data del analizador de redes - día 26 julio del 2019	77
Figura N° 32: Distribución del a energía eléctrica	80
Figura N° 33: Energía disponible en el generador fotovoltaico vs energía de autoconsumo	82
Figura N° 34: Estaciones meteorológicas SENAMHI	86
Figura N° 35: Características geométricas del panel fotovoltaico	94
Figura N° 36: Fusible de corriente continua DF ELECTRIC	102

8. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica, es un proceso que agota cada vez más los recursos naturales con los que contamos, ahora la tendencia de las empresas generadoras de energía buscan alternativas para la obtención del recurso de una manera mucho más limpia sin ser tan costosa y sobre todo cuidar los recursos que se encuentran en peligro de que se agoten. Esta es la razón por la cual tomamos la decisión de diseñar un sistema fotovoltaico conectado a red que suministre de energía eléctrica y así reducir el consumo de la energía eléctrica procedente de la energía convencional.

La tesis inicia en el primer capítulo con una descripción de la realidad problemática actual luego se redactan los objetivos específicos con la finalidad de lograr el objetivo general. En el siguiente capítulo, se presenta los estudios anteriores información tesis, proyectos relacionados con nuestro tema investigación que sustentan y avalan la tesis.

En el Capítulo III, se describe el marco metodológico; es decir el plan que se va desde la recopilación de datos, procesamiento hasta obtención de los resultados. Luego en el capítulo IV se describe la propuesta que va dar una solución a la realidad problemática existente.

En el Capítulo V se presenta los resultados obtenidos: el dimensionamiento y selección de equipos hasta el presupuesto.

En el Capítulo VI, se describe las conclusiones a las que se llegó de acuerdo a los objetivos específicos planteados inicialmente en este trabajo de investigación y por último se adjuntan los anexos.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

I.1. Realidad Problemática

El aumento de la demanda de energía eléctrica es un problema desde el punto de vista energético, como consecuencia se tiene aumento de los costos de la energía eléctrica, además hay que considerar las toneladas de CO₂ que se emiten al medio ambiente y que son los causantes del efecto invernadero. En el distrito de Tarapoto perteneciente al departamento de San Martín se propone utilizar la energía solar fotovoltaica como alternativa que pueda ser aprovechada para transformarla en energía eléctrica.

Esta tesis se propone el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables para dimensionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a red en el distrito de Tarapoto.

I.2. Formulación del Problema

¿Tendremos los suficientes recursos energéticos renovables para dimensionar un sistema conectado a red en el distrito de Tarapoto, San Martín?

I.3. Delimitación de la Investigación

I.3.1. Delimitación espacial

Para el desarrollo de esta tesis, se escogió como caso de estudio un usuario que desea implementar un sistema conectado a red con el uso de energías renovables, la vivienda se encuentra ubicada en el distrito de Tarapoto en el departamento de San Martín.

Tabla N° 1: Ubicación de lugar de estudio¹

Latitud	-6.4827027
Longitud	-76.3668447



Figura N° 1: Ubicación de Tarapoto²

¹ <https://www.google.com/maps/place/6%C2%B028'58.1%22S+76%C2%B022'01.1%22W/@-6.4827027,-76.3668447,299m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-6.482808!4d-76.366961>

² <https://www.iperu.org/distrito-de-tarapoto-provincia-de-san-martin>

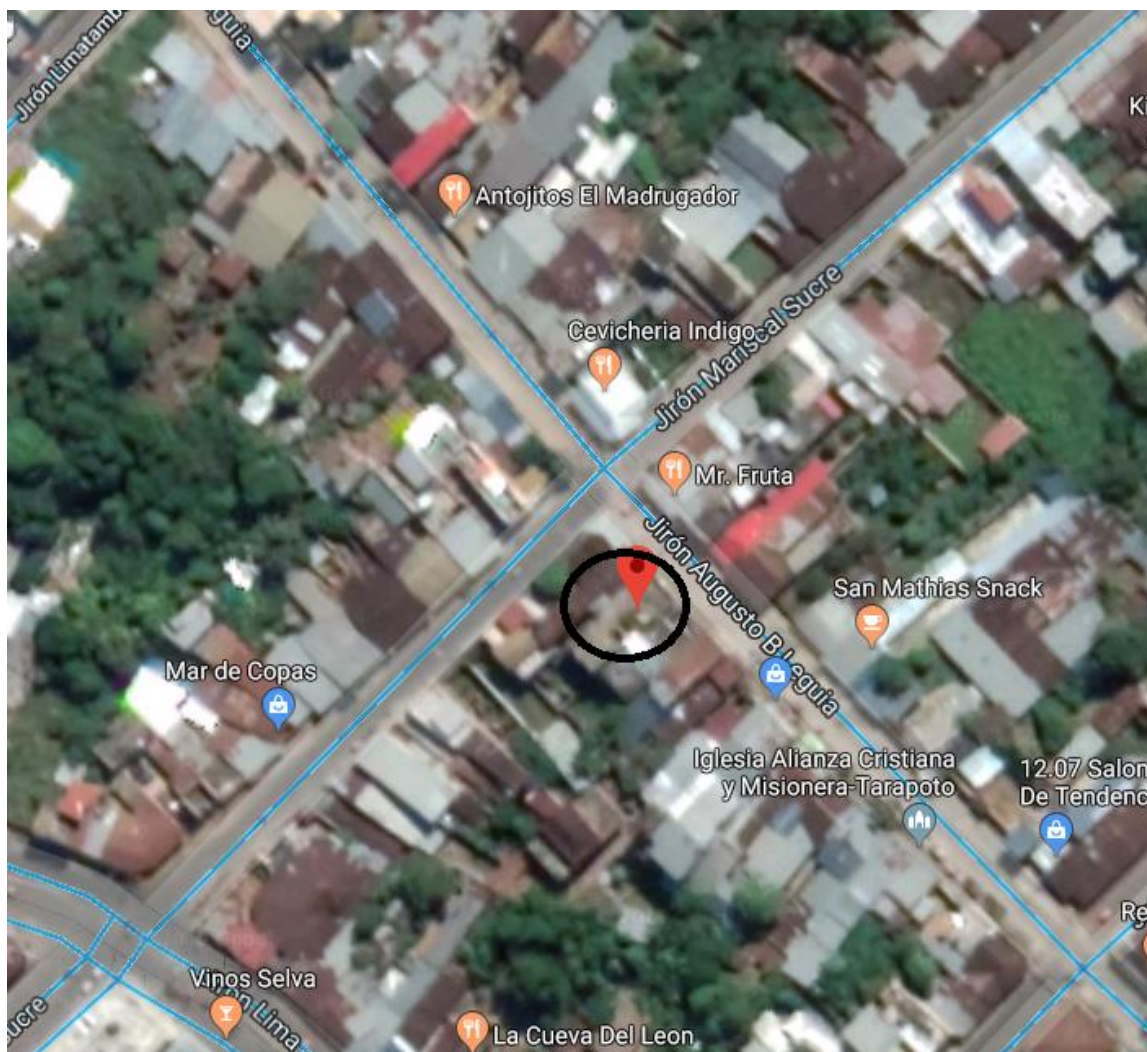


Figura N° 2: Ubicación de la vivienda en estudio en Tarapoto³

El distrito de Tarapoto⁴

Santa Cruz de los Motilonos de Tarapoto, conocida simplemente como Tarapoto es una ciudad de la selva norte del Perú, ubicada a una altitud de 250 msnm a orillas del río Shilcayo, tributario del Mayo.

³ Google maps

⁴ <https://es.wikipedia.org/wiki/Tarapoto>

Es uno de los principales centros turísticos y comerciales de la Amazonía peruana. Actualmente cuenta con una población de 149 875 (2015)² habitantes, siendo la ciudad más poblada y la más importante del departamento de San Martín, la vigésima del Perú en población y la tercera ciudad amazónica más grande y poblada después de Pucallpa e Iquitos.

La capital está ubicada en el distrito de Tarapoto y forma parte de la conurbación de los distritos de La Banda de Shilcayo, Morales, Cacatachi, Distrito de Juan Guerra. Asimismo, es conocida como la *Ciudad de las Palmeras*.

Historia

Sus inicios efectivos datan de las exploraciones que realizaron los Pocras y Hanan Chancas (antiguas culturas de la región Ayacucho) quienes al ser conquistados por el Imperio inca, encabezaron una revolución comandados por el caudillo Ancohallo, revuelta que, al ser derrotada, obligó a sus miembros tribales a huir de la terrible venganza inca, estableciéndose en los valles de los ríos Mayo y Cumbaza en el departamento de San Martín formando, eventualmente, la ciudad de Lamas, luego establecieron un satélite en el valle de los ríos Cumbaza y Shilcayo, teniendo como núcleo central la Laguna Suchiche (desezada en la colonia). En dicha laguna abundaba la palmera de nombre Taraputus o barriguda, nombre que luego usaría el obispo español para fundar la ciudad de Tarapoto en este establecimiento de cazadores y pescadores. Habitaban por entonces, cumbazas a la orilla de la quebrada Choclino y Amurarca (esta última en la actualidad ya no existe); Pinchis en la parte alta de la ciudad y en las márgenes derecha e izquierda del río Shilcayo; Sushiches o Sustuchiches residentes en el barrio de nombre, a orillas de la concha o laguna de suchiche; Muniches y Antables en el actual Barrio Huayco hasta la zona de Santa Rosa.

Se creía que Tarapoto fue fundada el 20 de agosto de 1782 por el obispo español Baltasar Jaime Martínez Compañón, sin embargo ahora sabemos que el poblado existía desde 1765, según el obispo relata en los documentos de viaje que se custodian en el Archivo General de la Nación de Colombia. Dichos documentos relatan que la formación de Tarapoto se inicia en 1765 cuando el ayuntamiento de la ciudad de Lamas emite un “Bando” (ordenanza) para trasladar la población al sitio llamado Tarapoto. Ese mismo año se trasladan familias enteras totalizando aproximadamente mil personas “al sitio nombrado Tarapoto, situada de la parte de allá del río de Cumbaza”. La visita del obispo a Tarapoto sucedió después de su llegada a Lamas (14 de agosto de 1782) y antes de la redacción de sus notas pastorales dejadas en el libro de bautismos de la iglesia parroquial de Lamas el 29 de agosto de 1782 donde expresa que ya había visitado Tarapoto. En ningún documento precisa fecha exacta y no se ha encontrado otros documentos que confirmen la fecha de su visita. Como se puede leer en los documentos de su viaje, el obispo promete crear el curato de Tarapoto, es decir asignar un cura para atender la feligresía de una población ya existente, sin embargo, eclesiásticamente Tarapoto siguió dependiendo de Lamas por unos años mas, como consta en los libros parroquiales Tarapoto⁴. Al parecer, para la época del traslado de parte de la población de Lamas a Tarapoto, este era un pequeño conglomerado de nativos residentes en su mayoría en el pequeño poblado de Cumbaza, la actual banda de Shilcayo, en la rivera de la quebrada del Choclino y otro a orillas de la cocha de Suchiche.

Desde el 14 de septiembre de 1906, la ciudad forma parte del departamento de San Martín.

Actualmente, Tarapoto es principal eje turístico y comercial de esta parte del nororiente peruano y es el centro de las redes terrestres y áreas en el nororiente peruano. Según el libro "Gobiernos Regionales" (1980) del Ingeniero politólogo Andrés Tinoco Rondan se menciona a Tarapoto como la ciudad eje para el proceso de regionalización transversal peruana. A treinta años del estudio mencionado, se ha logrado "su desarrollo natural" previsto.

Transporte⁵

Terrestres

Además de las arterias de la ciudad, Tarapoto se comunica con todos sus distritos y centros poblados mediante varias rutas, dependientes en su mayoría de la carretera Longitudinal de la Selva Norte. Esta carretera une a la mayoría de provincias, y a las principales ciudades: Tocache, Juanjuí, Bellavista, Picota, Aucayacu, Tingo María. Otra carretera importante es el Corredor Vial Interoceánica Norte que une a Tarapoto con Moyobamba, Rioja, Pedro Ruiz, Bagua Grande, Bagua, Jaén, Chamaya, Olmos, Piura y Chiclayo siendo la vía más rápida desde la selva norte hacia cualquier parte de la costa del país.

Actualmente, la carretera Fernando Belaunde Terry, concesionada por la empresa IIRSA Norte, une desde la ciudad de Olmos, en Lambayeque, hasta la ciudad de Yurimaguas, en Loreto, quedando Tarapoto entre los kilómetros 595 y 621 de dicha vía. Carretera Fernando Belaúnde Terry comunica directamente con Moyobamba, y la costa hacia el oeste y Juanjui hacia el sur, Huánuco y Brasil. Hacia el norte existe la carretera interoceánica que comunica

⁵ <https://es.wikipedia.org/wiki/Tarapoto>

con Yurimaguas (Puerto sobre el río Huallaga) haciendo de Tarapoto un punto importante de confluencia.

En el gobierno del expresidente Ollanta Humala, se asfaltó gran parte del tramo de la carretera longitudinal de la selva hacia las ciudades de Juanjui y Tocache, se prevé la culminación del asfaltado de la carretera a finales del 2018, interconectando la ciudad con los departamentos de Huanuco, Pasco, Junín, también a la longitudinal de la sierra, y a la carretera central, mediante esta carretera se logra un menor tiempo de conexión con la ciudad de Lima a menos de 21 horas.

Fluviales

Se puede llegar a Tarapoto mediante Yurimaguas (Puerto sobre el río Huallaga) desde Iquitos, existen también varios puertos fluviales pequeños como Shapaja, Picota, Bellavista; que interconectan los poblados ribereños de los principales ríos de la región como el río Huallaga.

Aéreo

La ciudad de Tarapoto está conectado por vía aérea a través del aeropuerto Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes. El aeropuerto brinda vuelos diarios a las ciudades de Lima, Pucallpa e Iquitos y vuelos regulares a Chiclayo, Trujillo y Leticia (Colombia) siendo uno de los aeropuertos con un importante flujo de carga y de pasajeros.

Sólo en el año 2017 según Mincetur, se llegó a un tráfico de pasajeros de 778 282 personas, siendo el sexto aeropuerto a nivel nacional, y una de mayor incremento porcentual a un 15,89%, influenciado por la actividad turística y comercial.



Figura N° 3: aeropuerto Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes⁶

I.3.2. Delimitación temporal

El tiempo que duró la investigación fue de 06 meses.

I.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación ambiental

Al implementar la presente investigación se generará energía eléctrica en base a la energía solar fotovoltaica, la cual es una fuente de energía limpia, renovable, infinita y no genera ruidos.

Justificación Científico

La presente tesis es importante porque promueve el uso de energías renovables como es el caso de la energía solar fotovoltaica para aplicarlos

⁶ <https://www.aeropuertos.net/aeropuerto-cadete-fap-guillermo-del-castillo-paredes/>

en aquellos lugares donde existe suministro de energía eléctrica y no solamente limitarnos a los sistemas aislados.

I.5. Limitaciones de la TESIS

En cuanto los recursos energéticos renovables en esta tesis se ha limitado a la aplicación de la energía solar fotovoltaica (debido a que la irradiación solar es mayor de $4,0 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$) y la velocidad del viento es menor de $3,4 \text{ m/s}$ (según las recomendaciones la velocidad del viento debe ser mayor a 5 m/s). Los datos de irradiación solar se han obtenido del software METEONORM, el atlas solar del SENAMHI.

I.6. Objetivos de la TESIS

I.6.1. Objetivo General

Dimensionar de un sistema con recursos energéticos renovables conectado a red en el distrito de Tarapoto perteneciente al departamento de San Martín.

I.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la energía eléctrica promedio diaria y máxima demanda.
- b) Obtener los datos de irradiación solar en el lugar de estudio.
- c) Dimensionar y seleccionar los equipos para el sistema propuesto.
- d) Calcular el presupuesto.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Según Sacher (2012) en su tesis titulado "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN PANELES FOTVOLTAICOS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LA FACULTAD DE INGENIERIA U.C.V." en el resumen explica que se plantea el estudio de factibilidad en la implementación de sistemas fotovoltaicos para reducir el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería U.C.V. considerándose a lo largo del presente trabajo especial de grado la conveniencia de que la luminaria interna sean de tubos fluorescentes de 40 W o la eventual sustitución a tubos led de 18 W. Para llevar a cabo el estudio previamente mencionado se destaca el dimensionamiento de sistemas FV conectados a la red de energía eléctrica estableciendo en cada uno de los edificios cuadros comparativos entre la cantidad de elementos necesarios para satisfacer la demanda de energía eléctrica en cada uno de los dos escenarios previamente planteados, permitiendo de esta manera analizar la opción que presente más ventajas relacionadas con la contribución de ahorro energético y la disminución de los costos de la inversión inicial.

Según Guerra (2013) en su tesis titulada "Estudio de factibilidad técnico/económica de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica para escuelas de Quinchao", expresa que, en localidades de difícil acceso, aisladas de la red eléctrica, es común el uso de generadores en base a motores Diésel para el abastecimiento de electricidad. Si bien ésta solución es fácil de

implementar, posee características que llevan a considerar otro tipo de soluciones. Las principales falencias de un generador Diésel para el abastecimiento de electricidad son: el alto costo de generación, asociado al costo directo de combustible y costos de mantenimiento del equipo, la disponibilidad de la electricidad y la emisión de contaminantes; en esta tesis se busca solucionar los problemas de generación eléctrica de trece escuelas de la comuna de Quinchao, perteneciente al archipiélago de Chiloé. Actualmente la generación eléctrica en estas escuelas se realiza mediante generadores Diésel, por lo que el concepto de disponibilidad se torna crítico, considerando que una falla en el equipo significa la suspensión de las jornadas escolares. Es por esto que se busca estudiar sistemas de generación eléctrica complementarios al sistema convencional, que funcionen con fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC) solar fotovoltaica y eólica.

Según Gutierrez y Olaya (2016) en su tesis titulado “ DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO SIN BATERÍAS CONECTADO A UNA RED DE DISTRIBUCION SECUNDARIA” En el desarrollo de su proyecto presenta el dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Sin Baterías Conectado a una Red de Distribución Secundaria con el cual se buscó determinar las condiciones y los elementos mínimos requeridos para establecer una conexión adecuada a la red. Lo anteriormente mencionado se llevó a cabo mediante el análisis de variables (radiación solar en Colombia, demanda residencial en Barranquilla y Bogotá, comportamiento y características de una red de distribución secundaria). Para resolver el planteamiento se realizó una simulación de flujo de carga de un circuito radial de 12 nodos y 39 usuarios residenciales estrato 6 y 4 respectivamente, alimentado por un transformador trifásico de 112,5 KVA.

Contexto Nacional

Es así como Serván (2014) en su tesis titulada “Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red” donde el objetivo principal del trabajo era desarrollar una metodología que permita realizar un análisis técnico económico de un sistema de generación de baja potencia, que utilice recursos energéticos renovables y que se encuentra conectado a la red eléctrica.

Como primer paso nos dice se debe determinar la demanda energética. Para el desarrollo de su tesis, se ha escogido como caso de estudio, un usuario que desea implementar el uso de fuentes energéticas renovables, como medio de abastecimiento energético para su vivienda ubicada en la playa de Cangrejos, perteneciente al distrito de Paita.

Posterior al cálculo de la demanda energética, se realizó un análisis en estado estacionario con la finalidad de evaluar el potencial energético disponible en la zona. Se Utilizó la data meteorológica de radiación solar y velocidad del viento, tomada en el lugar de emplazamiento del proyecto por el radar de la Universidad de Piura, luego se calculó el potencial solar y eólico disponibles y se procede a dimensionar correctamente el sistema para la demanda energética calculada previamente.

Luego se procedió a seleccionar los componentes principales que lo conforman, se realizan los cálculos para el dimensionamiento del cableado y protecciones eléctricas del sistema, y se selecciona el tipo de estructuras de soporte, así como la ubicación con mejores prestaciones dentro del área de emplazamiento. Camma (2017) en su tesis titulado “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED PÚBLICA EN LA CIUDAD DE PUNO” en su tesis se tiene como objetivo optar la descripción de

cada uno de los componentes y materiales con la utilización respectiva de cálculos paramétricos de radiación solar con ángulos de orientación e inclinación y los parámetros eléctricos de tensión, intensidad y potencia nominal del generador fotovoltaico con la búsqueda de algoritmos para cada una de sus variables de conversión lo cual nos permitirá monitorear el consumo de un generador fotovoltaico. Así mismo se hace énfasis en la necesidad de optar por una estrategia de 08 sistemas fotovoltaicos conectados a la red pública tanto monofásicos y trifásicos como un medio para alcanzar una evaluación y resultados de estudio sobre estructuras y/o soportes en tejados, azoteas, suelos y los factores de consumo eléctrico económicos del modelo como la previsión de cargas para viviendas y/o residencias propiamente mencionadas. Estos indicadores fueron empleados y comparados para mostrar la relación y diferencia entre distintas formas de desempeño de la instalación y evaluación, puesto que permiten observar la diferencia y el interés de instalar ya que hay formas en tomar decisiones entre una instalación normal monofásica y una trifásica conectadas a la red pública.

II.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

II.2.1. Energías renovables

El término, energía renovable, engloba una serie de fuentes de energía que en teoría se consideran inagotables a escala humana, ya que se producen de forma continua con el paso del tiempo. Estas fuentes son una alternativa a las otras llamadas convencionales (no renovables) y producen un impacto ambiental mínimo. Con la excepción de la geotermia, la totalidad de las energías renovables

derivan directa o indirectamente de la energía solar. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras; porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. También de éste procede la energía hidráulica, pues ordena el ciclo del agua y causa la evaporación que predispone la formación de nubes, y, por tanto, de las lluvias. Las plantas se alimentan del Sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer; toda esta materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente, pues conforma lo que es la energía solar y la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, la mayoría de veces se configura de forma distinta y separando cada una de ellas. (Joaquín Barrios, 2008)

Las energías renovables, a lo largo de la historia y hasta bien entrado el siglo XIX, han cubierto la práctica totalidad de las necesidades energéticas del hombre. Sólo en los últimos cien años han sido superadas, primero por el empleo del carbón, y a partir de 1950 por el petróleo y en menor medida por el gas natural.

La energía nuclear, con 441 centrales nucleares en 2003, con una potencia instalada de 360 GW, cubre una parte insignificante del consumo mundial, y a pesar de algunas previsiones optimistas, su papel será siempre marginal.

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía solar, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor, por James Watt, se fueron abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y

caprichosas, utilizándose cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en la que el escaso consumo, no hacía proveer un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. (Joaquin Barrios, 2008)

Hacia la década de años 1970, las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura, garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón, fueron llamadas energías alternativas. Actualmente, muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables.

Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

En la actualidad hay sistemas de energía renovable que utilizan más de una de ellas en su configuración. Esto depende de los recursos naturales al alcance, la tecnología disponible y las necesidades que se cubrirán. (Joaquin Barrios, 2008).

II.2.2. Energía solar⁷

⁷ (OSINERMING, s.f.)

La energía solar es una de las fuentes de la vida y el origen de la mayoría de las demás formas de energía conocidas. 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.



Figura N° 4: Energía solar

Fuente: (OSINERMINING, s.f.)

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.

Energía solar en el mundo

Según: Roca (2019) informa que: las nuevas instalaciones de solar fotovoltaica superarán la barrera de los 100 GW por primera vez en 2019, según el último informe de Wood Mackenzie, Global Solar PV Markets – Top 10 Trends to Watch in 2019.

Si bien 2018 fue un año plagado de incertidumbres, los analistas de WoodMac predicen que este año se instalarán 103 GW de nueva capacidad fotovoltaica, lo

que supone una mejora sobre los datos registrados en 2018. Apenas transcurridos unos días de 2019, ya se observan señales positivas en el mercado solar mundial. «Ya hemos visto claridad en las políticas en China y Arabia Saudita, precios altamente agresivos de almacenamiento solar en Hawai y planes más audaces para algunos de los proyectos fotovoltaicos más grandes del mundo en la India», dicen los autores.

Estas son, a juicio de los analistas de Wood Mackenzie las 10 tendencias clave de la energía solar fotovoltaica en 2019:

1.- El mercado mundial superará los 100 GW en 2019. El último pronóstico de Wood Mackenzie sitúa las nuevas instalaciones en los 103 GW. El mercado global continúa diversificándose. China perderá peso en el balance mundial del sector, al pasar del 55% en 2017 al 19% en 2023. Los 20 mercados fotovoltaicos más grandes del mundo representarán el 83% de la nueva demanda mundial hasta 2023, y los países que caminarán más rápido se concentrarán en Oriente Medio y el Mediterráneo (Arabia Saudita, Irán, Egipto e Italia)».

2.- La energía solar seguirá abaratándose y batiendo nuevos récords. Los analistas de Woodmac creen que los costos fotovoltaicos tienen recorrido para caer hasta 14 dólares / MWh. «La reciente acumulación de ofertas promedio en Egipto, Jordania y Emiratos Árabes Unidos por debajo de los 30 \$ / MWh sugieren que es probable que 2019 vea más precios a niveles similares».

3.- La revisión objetivos en numerosos países augura un crecimiento a largo plazo. En las primeras semanas de 2019 se han visto con claridad en las políticas y objetivos relacionados con la energía solar fotovoltaica en China y Arabia Saudita. Antes de estos anuncios, pronosticamos que estos serán el primero y octavo mayores instaladores de energía solar fotovoltaica hasta 2023, por lo que la

evolución de estos mercados es fundamental para la trayectoria de la demanda global».

4.- Es probable que el Reino Unido sea el único país en unirse al club de la fotovoltaica sin subsidios en 2019. “España, Portugal e Italia han estado a la vanguardia de la energía solar fotovoltaica a gran escala sin subsidios, con numerosos gigavatios en desarrollo. Este año veremos cómo se conecta a la red la primera oleada de esos proyectos. A medida que los costes continúen bajando, 2019 también será el año en que la tendencia se extienda más allá del sur de Europa».



Figura N° 5: Planta solar de Google.

Fuente: Roca (2019).

5.- Las corporaciones seguirán impulsando la energía solar con objetivos 100% renovables. “Las grandes corporaciones seguirán buscando ahorros y estableciendo objetivos voluntarios de energía renovable. El 56% de estos compradores corporativos son de los sectores de tecnología y datos. En el tercer trimestre de 2018, las adquisiciones corporativas han visto la mayor alza en la participación de mercado de cualquier segmento a gran escala, creciendo entre un 13% y un 15% en un solo trimestre».

6.- Cada vez más proyectos cambiarán de manos, especialmente en EEUU. La inversión en energía solar está en alza. “Realizamos un seguimiento de casi 21 GW de transacciones de activos fotovoltaicos a nivel mundial en 2018, un 38% más que el año anterior ... En EEUU, donde el 47% de todas las transacciones de activos solares tuvieron lugar en 2018, esperamos ver un aumento de la actividad buscando carteras de proyectos a gran escala en etapa inicial antes de la reducción del crédito fiscal a la inversión (ITC)».

7.- El almacenamiento solar a gran escala ‘explota’, pero sigue siendo una solución de nicho en mercados emergentes. » Se han propuesto siete proyectos en Hawaii que agregarían 262 MW de energía solar y más de 1 GWh de almacenamiento a un precio increíblemente bajo de 78 \$ / MWh. Wood Mackenzie estima actualmente que hay 1,4 GWh de almacenamiento de energía instalado en todo EEUU y pronostica que 8,8 GWh de capacidad de almacenamiento solar enfrente del contador serán instalados en EEUU para 2023, con una tasa de crecimiento del 82% a partir de 2018 y liderada por California, Arizona, Colorado y Hawai”.



Figura N° 6: Módulos mono-PERC

Fuente: Roca (2019)

8.- Las tecnologías de módulos mono-PERC y bifaciales harán que los precios bajen. “En 2019, el 41% de la capacidad mundial de fabricación de módulos se dedicará a la producción de mono PERC, frente al 36% en 2018. Este año también será el primero en el que veremos importantes instalaciones de módulos bifaciales. Para fines de 2019, a medida que los precios de los módulos combinados globales caigan por debajo de 0,25 \$ / Wdc, el CAPEX promedio mundial caerá a 0,95 \$ / Wdc».

9.- Un año decisivo para los ‘megaproyectos’. “Se prevé que 2019 será un año decisivo para el concepto de licitación de grandes volúmenes de capacidad a través de una única solicitud de propuestas (RFP). De acuerdo con el rastreador de proyectos fotovoltaicos a nivel mundial de Wood Mackenzie, hay más de 63 GW de capacidad de megaproyectos de desarrollador único (500 MW +) en la cartera mundial, de los cuales el 84% se compone de proyectos en fases previas a la construcción».

10.- Las grandes petroleras y gasistas apuestan por la energía solar. «2019 debería ver mayores esfuerzos por parte de las compañías de petróleo y gas para reducir sus propias emisiones, con la energía solar fotovoltaica bien situada para capitalizarlos. Desde las grandes eléctricas privadas hasta los fabricantes de baterías, las compañías de infraestructura de carga de vehículos eléctricos y las empresas de sistemas de energía solar rurales en el África subsahariana, las grandes empresas de petróleo y gas con visión de futuro se están moviendo hacia el espacio de la electricidad.

Energía solar en el Perú⁸

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.



Figura N° 7: Mapa solar del Perú

Fuente: Volt (2010)

⁸ PCPU (2017)

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.

Energía solar San Martín⁹

El Gobierno Regional san Martín a través de la Dirección Regional de Energía y Minas se realizó una reunión de trabajo en el auditorio de la Dirección Regional de Energía y Minas de San Martín (DREM-SM), que contó con la presencia del Gerente de Operaciones y Mantenimiento de ERGON PERÚ, empresa que adjudicó la instalación de paneles solares dentro del Programa de Masificación de sistemas fotovoltaicos que contrato el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el personal de la Dirección de Infraestructura Eléctrica de la DREM-SM, representantes de la Dirección Regional de Salud y representantes de la Dirección Regional de Educación, con el fin de exponer la instalación de paneles solares en los Centros de Salud (RER 2) y la instalación de paneles solares en Instituciones Educativas (RER 3), en centros poblados alejados y que aún no cuentan con el suministro eléctrico del sistema interconectado. En dicha reunión se explicó que los módulos fotovoltaicos para los Centros de Salud tendrán una capacidad de 600 W y para las Instituciones Educativas de 1200 W, el equipamiento que consta de los paneles solares, pararrayos, sistema de puesta a tierra, la casa de fuerza (batería, controlador, inversor e interruptores de protección)

⁹ (Guivin Mori, 2018)

y la caja de distribución en 220 V. El espacio requerido para la instalación de estos módulos fotovoltaicos es de 15 m² para los Centros de Salud y de 25 m² para las Instituciones Educativas. La instalación de estos módulos fotovoltaicos está prevista en el corto plazo, para lo cual se acordó que la Dirección Regional de Salud y la Dirección Regional de Educación alcanzarían la ubicación de sus respectivos locales ubicados en centros poblados alejados que aún no cuentan con el suministro eléctrico en forma continua en el breve plazo la cantidad prevista es aproximadamente 160 centros educativos y 50 centros de salud, dicha información será revisada y validada por la DREM-SM para ser enviada a la empresa ERGON PERÚ, que programara su instalación entre los meses de enero a febrero del año 2018.

II.2.3. Horas del sol pico (HSP)¹⁰

Las “**horas de sol pico**” que pueden definirse como el número de horas al día con una hipotética irradiancia de 1 000 W/m² que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día.

Una hora solar pico “HPS” equivale a 1 kWh/m² o, lo que es lo mismo, 3,6 MJ/m². Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1 000 W/m².

¹⁰ (SUNFIELDS, s.f.)

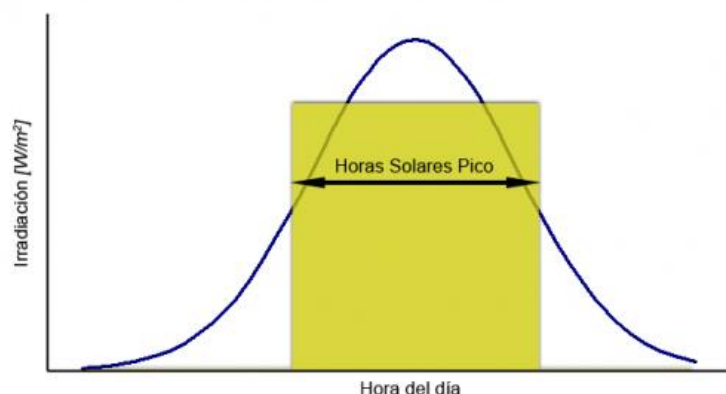


Figura N° 8: Horas solares pico

Fuente: (SUNFIELDS, s.f.)

Para calcular entonces el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 W/m^2 . Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

Por ejemplo, si tenemos una irradiación de $3,800 \text{ Wh/m}^2$, para pasarla a HSP, se divide entre $1\ 000 \text{ W/m}^2$, con lo que obtenemos 3,8 HPS.

II.2.4. Efecto fotovoltaico

La electricidad es un flujo de electrones, cargas negativas que rodean el núcleo atómico. Se comprobó que en algunos cristales se producía un flujo eléctrico por la incidencia de la luz. En 1905 Albert Einstein descubrió que, en algunos casos, los fotones golpeaban a los electrones de un material al incidir sobre él, hasta llegar a liberarlos de sus átomos, permitiéndoles circular libres en forma de

corriente eléctrica. La radiación electromagnética está compuesta por paquetes de energía o fotones. Cada fotón transporta una energía

$$E = h \cdot f$$

donde h es la constante de Planck y f la frecuencia del fotón en hertz.

El Efecto Fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. (Barbera, 2011) Para el aprovechamiento total solo es importante la llamada radiación térmica, en la que se incluye la ultravioleta (UV), visible (VIS) y la infrarroja (IR). Cuanto mayor es la temperatura mayor son los cambios:

- i. La intensidad de la emisión es mayor, la energía por metro cuadrado que abandona el cuerpo es más elevada, es decir mayor frecuencia.
- ii. El tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda. De esta forma tenemos que la energía radiante (fotones) se caracteriza por su longitud de onda, que es inversamente proporcional a la frecuencia, según la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ = longitud de onda de la luz. La unidad es el angstrom (Å)

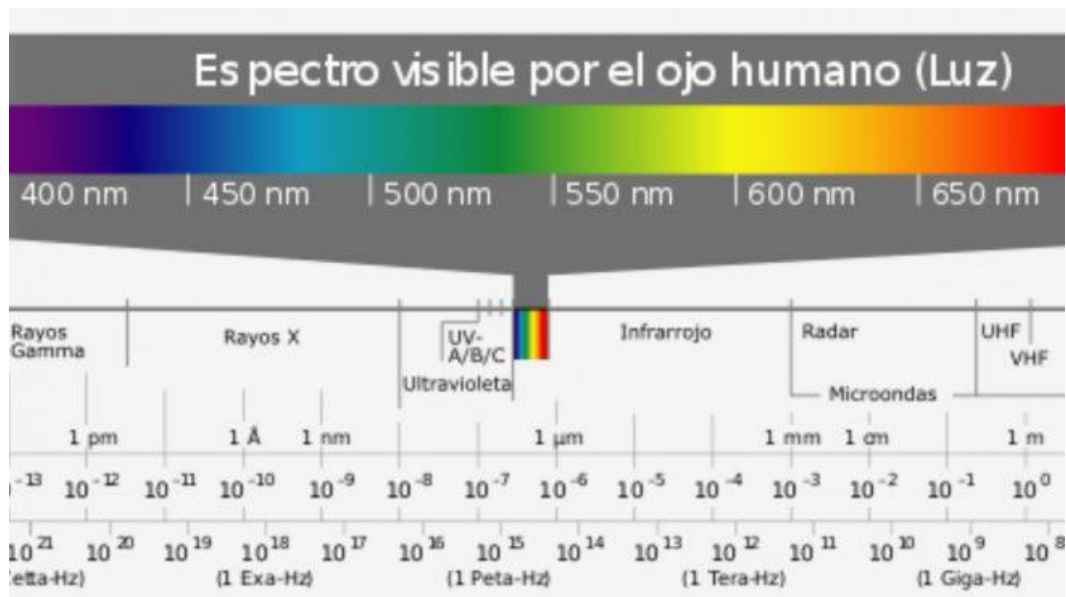


Figura N° 9: Gama de energía radiante¹¹

II.2.5. Irradiancia solar

La irradiancia solar es la intensidad de la radiación electromagnética solar incidente en una superficie de 1 metro cuadrado [kW/m^2]. Esta intensidad es igual a la integral de la potencia asociada a cada valor de la frecuencia del espectro de radiación solar. Al atravesar la atmósfera, la intensidad de la radiación solar decae porque es parcialmente reflejada y absorbida (sobre todo por el vapor de agua y el resto de gases atmosféricos). La radiación que logra atravesarla queda parcialmente difusa por el aire y las partículas sólidas en él suspendidas (ABB, 2011, pág. 5)

¹¹ <https://okdiario.com/curiosidades/descubre-que-espectro-electromagnetico-3751794>

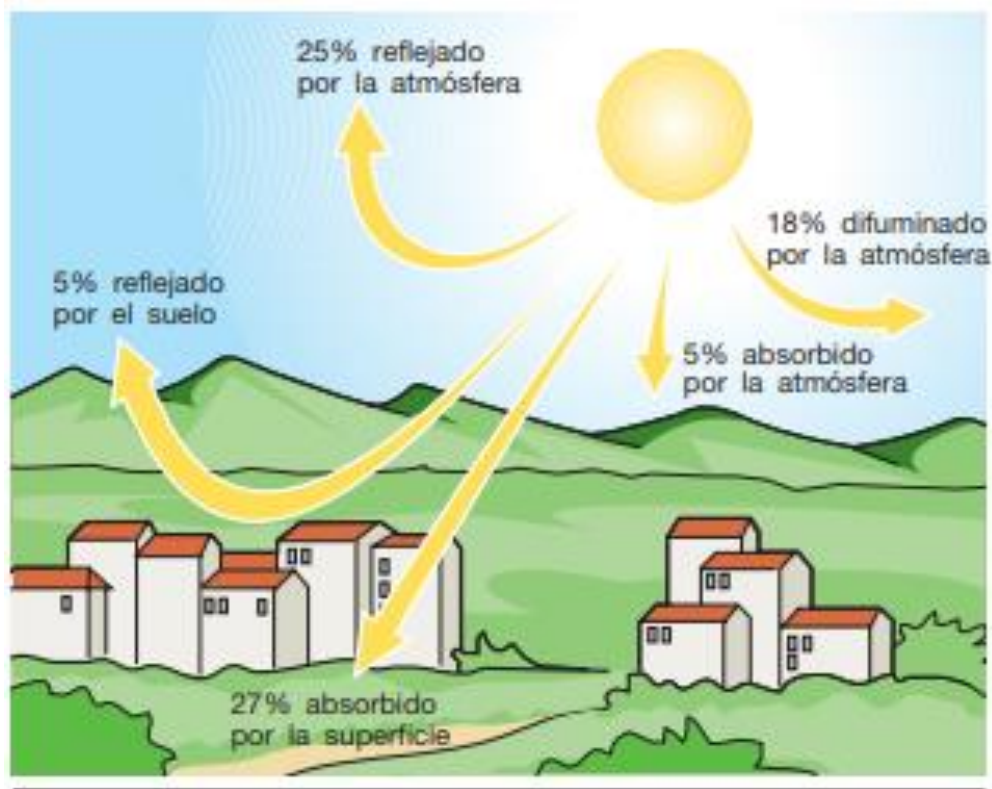


Figura N° 10: flujo energético entre el sol, la atmosfera y el suelo¹²

II.2.6. Irradiación solar

Irradiación solar es la integral de la irradiancia solar a lo largo de un periodo de tiempo determinado [kWh/m²]. Por tanto, la radiación que incide sobre una superficie horizontal está compuesta por radiación directa, relacionada con la irradiancia sobre la superficie, por radiación difusa, que llega a la superficie procedente de todo el firmamento y no de una parte específica del mismo, y por radiación reflejada en determinadas superficies del suelo y el entorno próximo (figura N° 11). En invierno el cielo está cubierto y la componente difusa es mayor que la directa.

¹² (ABB, 2011, pág. 5)

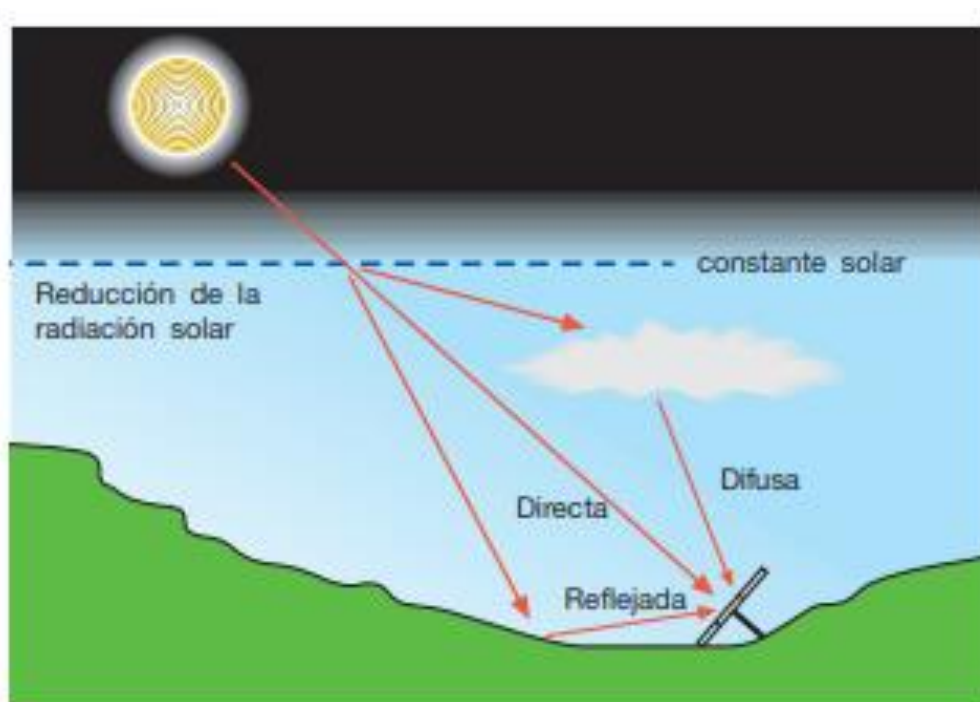


Figura N° 11: Componentes de la radiación solar¹³

II.2.7. Sistema fotovoltaico¹⁴

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias.

La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

¹³ (ABB, 2011, pág. 6)

¹⁴ <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>

Los dispositivos a través de los cuales se absorbe la energía solar son las celdas solares. Estos son elementos de los sistemas fotovoltaicos que tienen la capacidad de producir energía eléctrica al aprovechar la luz solar que incide en ellos. Las celdas solares se fabrican con materiales semiconductores, tales como el silicio, que tienen la función de recibir los fotones que viajan a través de los rayos solares. Una vez que los fotones que emite la radiación solar entran en contacto con los átomos presentes en las celdas solares, se liberan electrones que comienzan a circular a través del material semiconductor con el que se fabrican las celdas y se produce energía eléctrica.

Un sistema fotovoltaico puede ser “interconectado” que es lo más conveniente para residencias o negocios con acceso a la red eléctrica de la CFE.

Con este sistema la energía generada se inyecta a la red eléctrica y de allí se toma cuando uno la necesita. La otra opción es un sistema “isla” que permite el suministro de energía eléctrica en lugares inaccesibles para la red eléctrica. Estos sistemas son usados principalmente en casas de campo o en antenas de telecomunicación.

II.2.8. Sistema conectado a red

Los sistemas fotovoltaicos con conexión a red actualmente constituyen una de las aplicaciones que más atención está recibiendo, debido al gran uso que puede tener en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica.

A diferencia de los sistemas autónomos, los sistemas fotovoltaicos con conexión a red pueden no tener puntos de consumo eléctrico, es decir su única función puede ser solo la de inyectar energía eléctrica a la red, este tipo de instalaciones son comúnmente llamadas centrales fotovoltaicas o huertos solares, y por lo general no

están provistas de acumuladores eléctricos ya que la red absorbe instantáneamente la energía que producen. (Mesones Abanto, 2019)

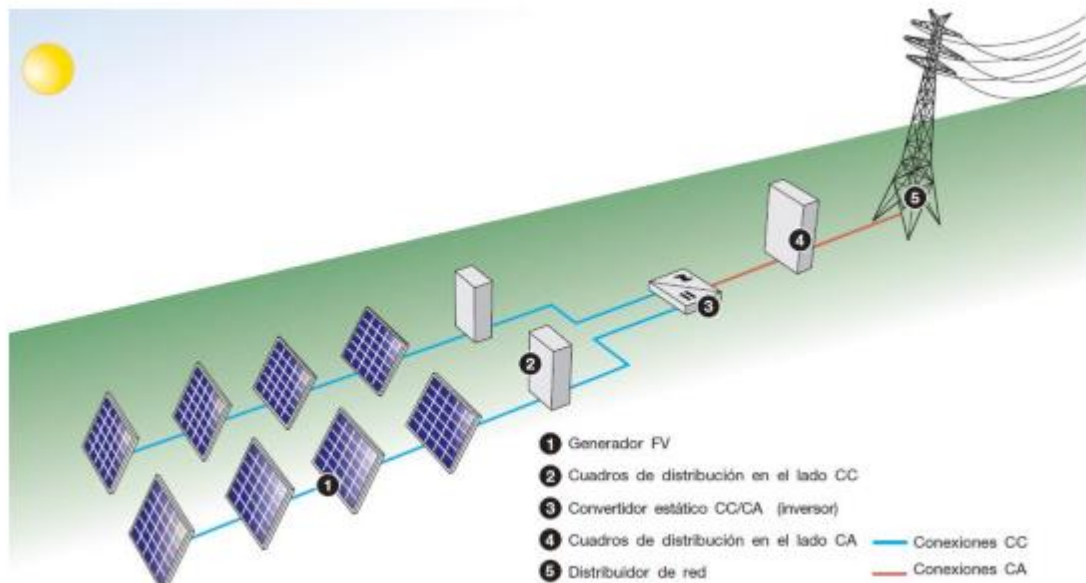


Figura N° 12: Planta fotovoltaica conectado a red¹⁵

Estas plantas (figura N° 12) ofrecen la ventaja de una generación distribuida en lugar de centralizada: de hecho, la energía producida cerca del área de consumo tiene un valor mayor que la producida en las grandes centrales tradicionales, al limitarse las pérdidas por transmisión y reducirse los costes en concepto de transporte y puesta en marcha de los sistemas eléctricos. Además, la producción energética en las horas de insolación permite que se reduzca los requisitos de la red durante el día, es decir, cuando la demanda es mayor (ABB, 2011)

¹⁵ (ABB, 2011, pág. 16)

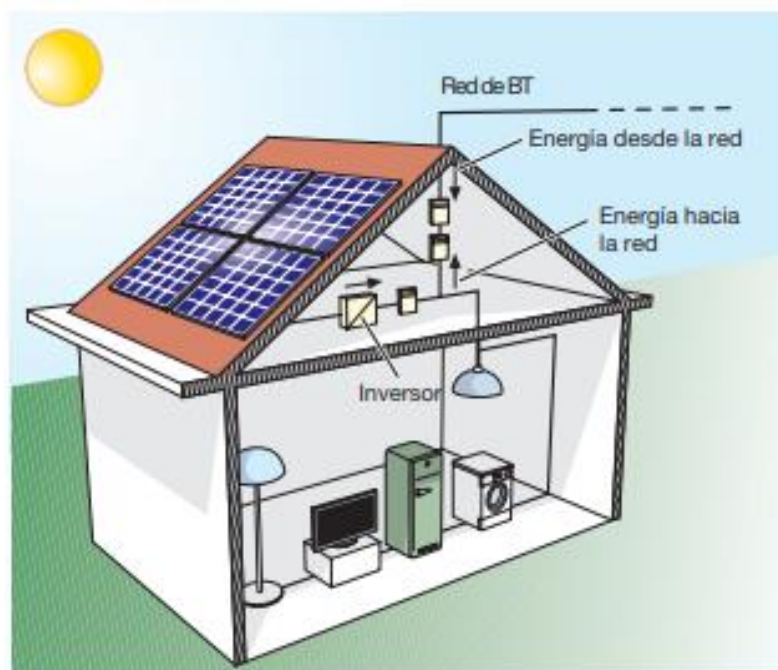


Figura N° 13: Sistema fotovoltaico conectado a red en una vivienda¹⁶

En los últimos años debido al descenso de los precios de los componentes necesarios para la instalación de un sistema fotovoltaico y la integración de estos en emplazamientos cercanos a la red eléctrica, aparece un nuevo termino relacionado con sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana potencia: el autoconsumo. (Mesones Abanto, 2019)

El termino autoconsumo se aplica cuando un usuario de un sistema de generación de energía eléctrica o en este caso energía fotovoltaica, es consumidor de una parte o del total de la energía que produce, independientemente si consume electricidad de otras fuentes como puede ser la red eléctrica convencional. Aunque un sistema eléctrico autónomo también es un sistema de autoconsumo, este término se suele utilizar para los sistemas fotovoltaicos con posibilidad de tener conexión a red (CENSOLAR 2016).

¹⁶ (ABB, 2011, pág. 16)

Desde el punto de vista funcional se pueden describir tres modalidades de autoconsumo: instantáneo, instantáneo con acumulación y sin limitación de energía. (Mesones Abanto, 2019)

II.2.8.1. Autoconsumo instantáneo

Son sistemas fotovoltaicos que pueden funcionar de forma autónoma y a la vez tienen la posibilidad de recibir energía eléctrica para alimentar todo o partes del consumo siempre y cuando este lo requiere, como por ejemplo en periodos de poca o nula radiación solar o cuando el consumo es demasiado elevado.

La peculiaridad de estos sistemas es que pueden recibir energía eléctrica de la red convencional, pero el sistema fotovoltaico no puede inyectar energía a la red. Por son llamados sistemas de autoconsumo instantáneo o también de inyección cero, donde se controla la entrada de energía de la red mediante dispositivos electrónicos. (Mesones Abanto, 2019)

II.2.8.2. Autoconsumo instantáneo con acumulación

Son sistemas parecidos a los anteriores, pero con la diferencia que estos poseen acumulación eléctrica gracias al uso de baterías. También son llamados sistemas fotovoltaicos semi aislados o sistemas asistidos, debido a que es idéntico a un sistema fotovoltaico aislado, pero con la diferencia que este posee una fuente auxiliar de energía eléctrica, siendo en este caso la propia red convencional. (Mesones Abanto, 2019)

A pesar de que estos sistemas tienen un elevado coste debido a los acumuladores eléctricos, este posee una ventaja respecto al anterior, en el cual el usuario puede

contratar una potencia de red menor, lo que disminuiría mucho más la tarifa cobrada por la compañía eléctrica local. (Mesones Abanto, 2019)

II.2.8.3. Autoconsumo sin limitación de energía

Son sistemas parecidos a los de autoconsumo instantáneo, pero están habilitados técnica y legalmente para inyectar energía a la red eléctrica, creando la posibilidad de obtener por ello una bonificación económica por parte de la compañía de electricidad local. Por ello estos tipos de sistemas son conocidos como de autoconsumo sin limitación de energía o de autoconsumo ilimitado.

Para el control de estos sistemas se necesitan de dispositivos fabricados únicamente con el propósito de activar y desactivar la inyección de energía a la red, los cuales pueden estar integrados dentro de los inversores u onduladores.

La función de estos sistemas es básicamente inyectar energía a la red en los momentos en que la energía consumida es menor a la generada, es decir se inyecta la energía sobrante en cada instante evitando que se pierda. La rentabilidad de este sistema dependerá si en el país de instalación existe la legislación necesaria que obligue a las compañías eléctricas a aceptar la generación de pequeños y medianos sistemas FV y recompensar por aquello. (Mesones Abanto, 2019).

II.2.8.4. Componentes de los sistemas fotovoltaicos conectados a red

a) panel solar o modulo fotovoltaico

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

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

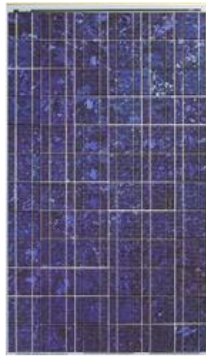


Figura N° 14: Fabricación de la célula y del módulo fotovoltaico¹⁷

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

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

¹⁷ <http://www.electricidad-gratuita.com/construccion-fabricacion-celdas-solares-fotovoltaica/>



Policristalino



Monocristalino



Película Delgada

Figura N° 15: tipos de paneles solares¹⁸

Potencia de la celda solar

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



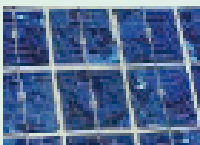
Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades

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

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

¹⁸ <https://solectricenergiasolar.wordpress.com/2013/11/25/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares/>

Tabla N° 2: Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se ob y dop
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual pero fases
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene forma un su

Fuente: (Díaz Corcobado, 2008)

Partes de un módulo fotovoltaico¹⁹

Cubierta de Vidrio Vidrio templado y antireflectante con cualidades de transmisión de luz a más de 90%, resistente a la abrasión e impactos de naturaleza "antibalas". Es importante esta cubierta porque reduce significativamente el reflejo, de manera que entra más luz en la célula solar, lo cual se traduce en una mayor conversión de potencia. Los fabricantes de paneles se decantan cada vez más por los revestimientos antirreflectantes y garantizan un óptimo equilibrio entre rendimiento óptico, resistencia y costes. Gracias a su aplicación por una sola cara, se consigue también una correspondencia perfecta entre el índice de refracción del aire y del vidrio, al mismo tiempo que se impide el desequilibrio entre el índice de refracción del vidrio y de la capa de EVA (etileno vinil acetato) que algunos usan como revestimientos en ambos lados.

Láminas de Plexiglás: Mucho más flexible que el vidrio templado pero considerado como "vidrio orgánico" porque son efectivamente láminas de vidrio polimerizado con resinas y compuestos acrílicos.

Tiene propiedades mecánicas de gran estabilidad a los agentes atmosféricos y químicos.

Marco de aluminio o de acero inoxidable: Se usan tornillos y anclajes para asegurar la rigidez del panel en sí. Yo he fabricado con marcos de madera tornillo totalmente seco para lograr también la rigidez exigida y sobre oda resistencia a la humedad del ambiente (en caso de madera).

¹⁹ <http://eliseosebastian.com/wp-content/uploads/2012/07/Componentes-de-Panel-Solar-Fotovoltaico.pdf>

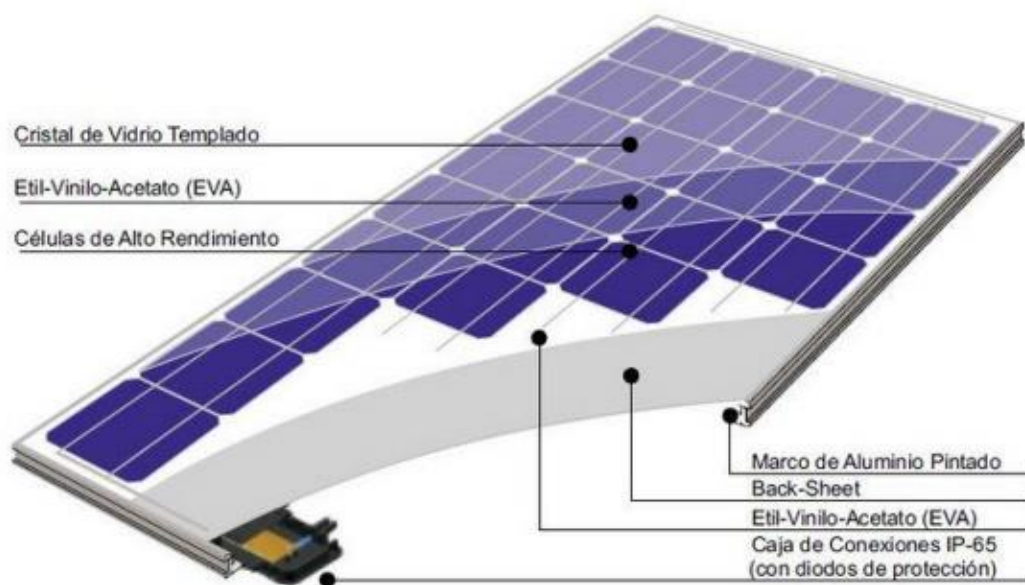


Figura N° 16: Partes de un panel fotovoltaico²⁰

Células Solares: El corazón del mismo módulo, la razón de su calidad coladas en filas y columnas, unos seguidos de otros en grupos por panel cuya cantidad varía ampliamente por la naturaleza y objetivos a rendir su energía desde un simple cargador de pilas de 1.5V hasta mega producciones tanto en forma independiente como formando parte de las redes eléctricas convencionales. Son "galletas" de cristal, variando su forma y tamaño. Comercialmente los más usados actualmente son los de 3"x6" y los de 6"x6" siendo su espesor al rededor de los 300 micrones (0.012 pulg aprox.) y resistencia frágil a los golpes. Las 'células solares' están hechas de un material químico que abunda en la corteza terrestre conocido como SILICIO cuyo símbolo conocido es "Si"

Plancha Base: Consisten en una simple estructura en forma de caja, en forma de fondo que puede ser de madera, de aluminio o de vidrio cuyo tamaño varía acorde al número y tamaño de células. Sobre esta plancha descansan las células pegadas

²⁰ <http://eliseosebastian.com/wp-content/uploads/2012/07/Componentes-de-Panel-Solar-Fotovoltaico.pdf>

perfectamente con silicona el mismo que es un perfecto sellador para evitar ingreso de aire, agua o partículas en suspensión incluso menores al tamaño M10 hacia el grupo de las células mencionadas. Hay costumbre de algunos hacedores de paneles fotovoltaicos usar como plancha base de panel, el vidrio con revestimiento de un material polímero termoplástico conocido como "goma EVA" (Etileno Vinil Acetato).



Figura N° 17: Panel fotovoltaico²¹

Salida línea a tierra: Estar preparado para adversidades atmosféricas sobre todo cuando se instalen más módulos de mayor potencia porque estamos sujetos a las derivaciones eléctricas. Obviamente se tiene que utilizar enchufes con tomas de tierra.

²¹ <http://eliseosebastian.com/wp-content/uploads/2012/07/Componentes-de-Panel-Solar-Fotovoltaico.pdf>

Caja de terminales Pequeña caja que va asegurada en la parte posterior del panel y cuenta con bornes de salida para la conexión del panel con otros como batería, regulador o carga directa de consumo. Es usado para corriente eléctrica derivada producida por el panel donde está asegurada y debe ser resistente a cambios de clima rigurosos.

Diodos de Protección Protectores de los paneles porque son los "guardianes" para que el flujo de corriente eléctrica se dirija sólo en una dirección, es decir a donde se le indique menos de retorno a las células solares o paneles propiamente.

Conexiones de módulos fotovoltaicos

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

Se pueden realizar tres tipos de conexiones en función de las necesidades que se detallan a continuación:

Conexión serie para elevar la tensión del generador.

Conexión paralela para elevar la intensidad de corriente del generador.

Conexión serie/paralela para elevar la tensión y la intensidad de corriente del generador.

Conexión de módulos Serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 18).

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

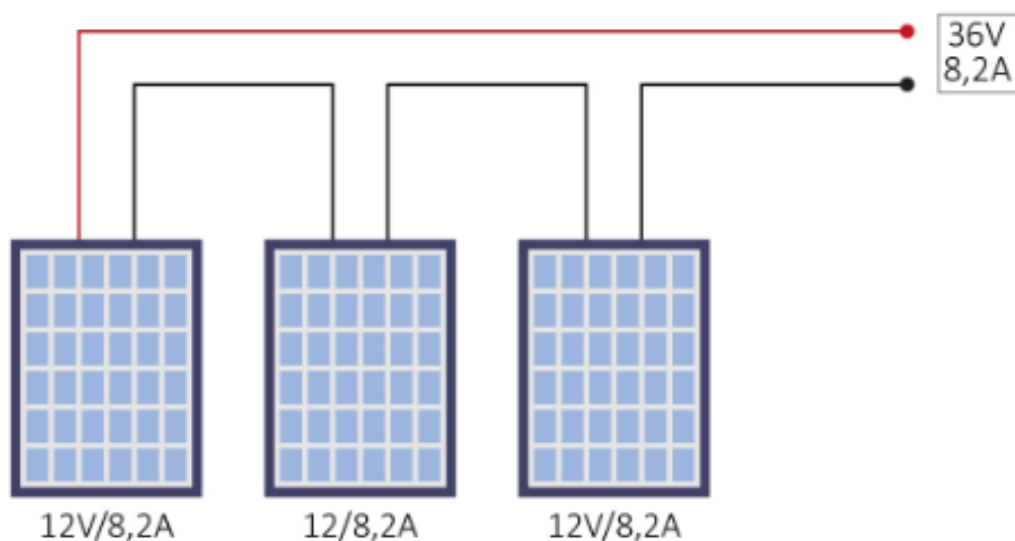


Figura N° 18: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos²²

Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 19

²² <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/conexion-de-las-placas-solares-tipos-y-puntos-a-tener-en-cuenta>

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

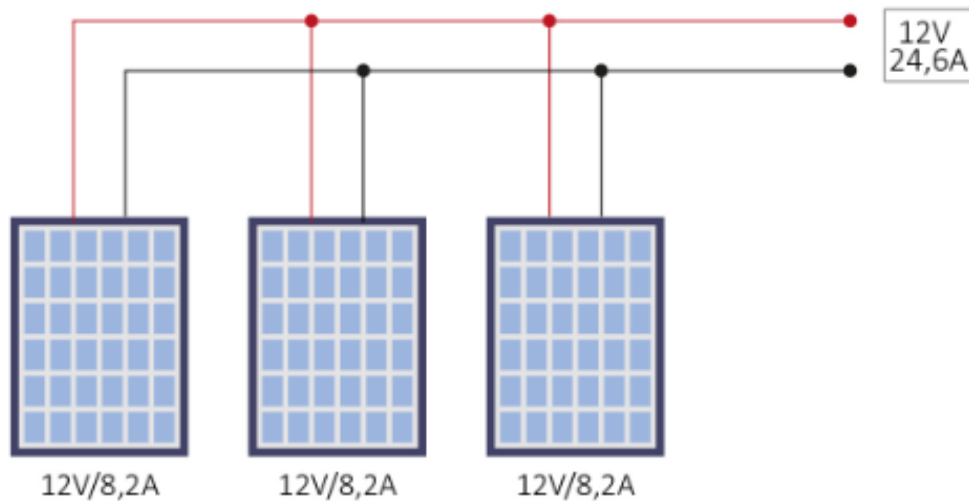


Figura N° 19: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos²³

Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo se obtiene sumando la tensión de los panees solares en serie y la corriente eléctrica se obtiene sumando la corriente eléctrica de cada rama de paneles (ver Figura N° 20).

²³ <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/conexion-de-las-placas-solares-tipos-y-puntos-a-tener-en-cuenta>

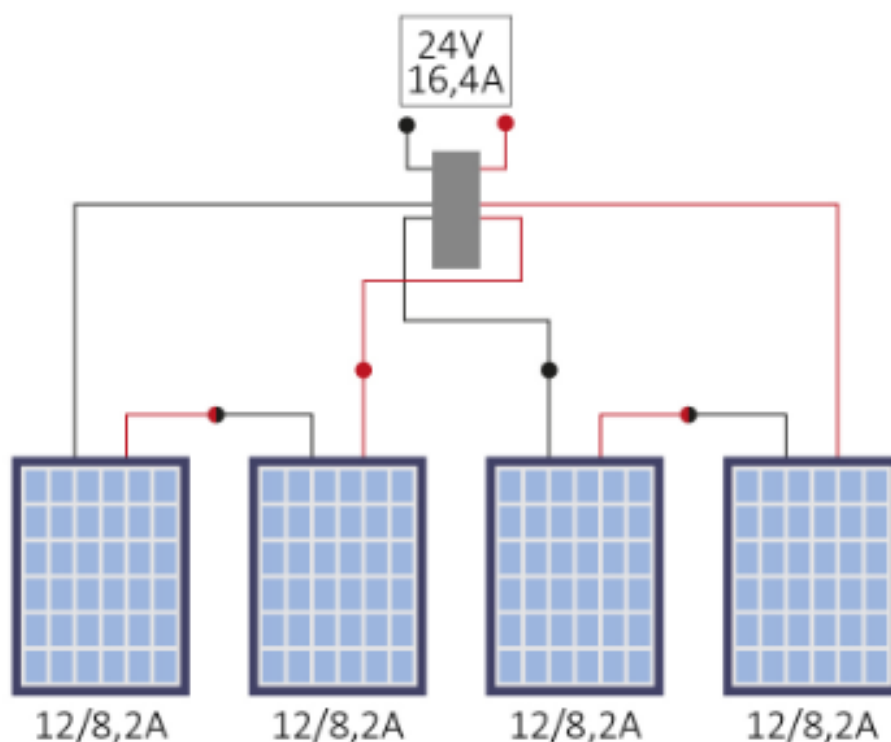


Figura N° 20: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos²⁴

Curvas características²⁵

a) Efecto de la intensidad de iluminación (Irradiancia)

La corriente que suministra un panel es proporcional a la intensidad de la radiación y la superficie de células del panel. Veamos un gráfico en diferentes irradiancias a temperatura constante, para mostrar cómo varía la intensidad, **a mayor radiación incidente, mayor intensidad.**

²⁴ <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/conexion-de-las-placas-solares-tipos-y-puntos-a-tener-en-cuenta>

²⁵ <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

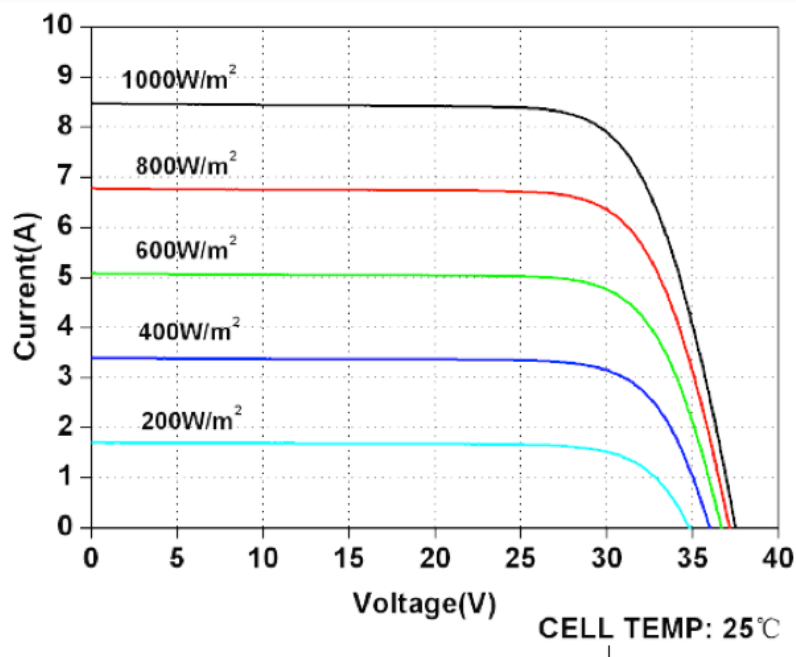


Figura N° 21: Curvas corrientes vs voltaje para diferentes irradiancias²⁶

Los paneles presentan unas pérdidas por aumento de la temperatura de operación, por norma general oscilan por cada 10°C de incremento en un 4%.

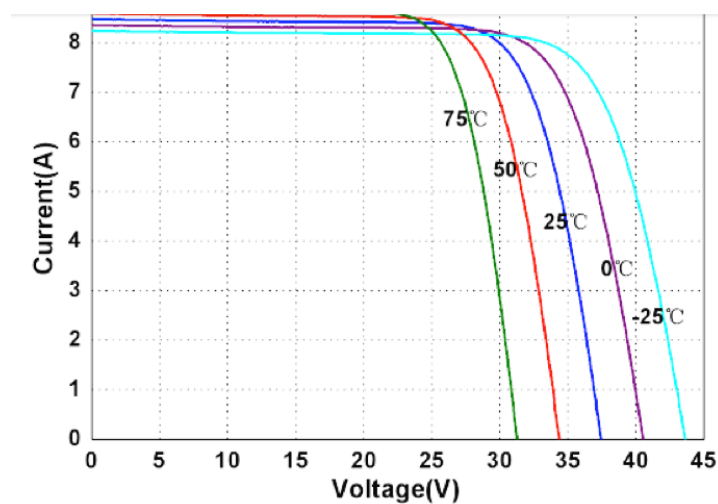


Figura N° 22: Curvas corriente vs voltaje²⁷

²⁶ <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

²⁷ <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

Así la tensión proporcionada por un panel varía en función de la temperatura. A mayor temperatura menor tensión. En la figura 22 que a continuación mostramos, se puede observar:

b) Baterías

El banco de baterías consta de un arreglo de las mismas conectadas en serie o en paralelo para conseguir una tensión y una corriente deseada respectivamente, para poder suplir la carga según sus características. (Sarria, 2012)

Una batería se compone de celdas, las cuales tienen dos placas, una positiva y una negativa, sumergidas en electrolito. El electrolito es una solución de agua con ácido sulfúrico. La construcción más frecuente de los electrodos es la placa plana. Cada placa positiva tiene un marco de plomo que contiene peróxido de plomo (PbO_2). La placa negativa contiene plomo metálico (Pb) esponjoso (Ver Figura N° 23).

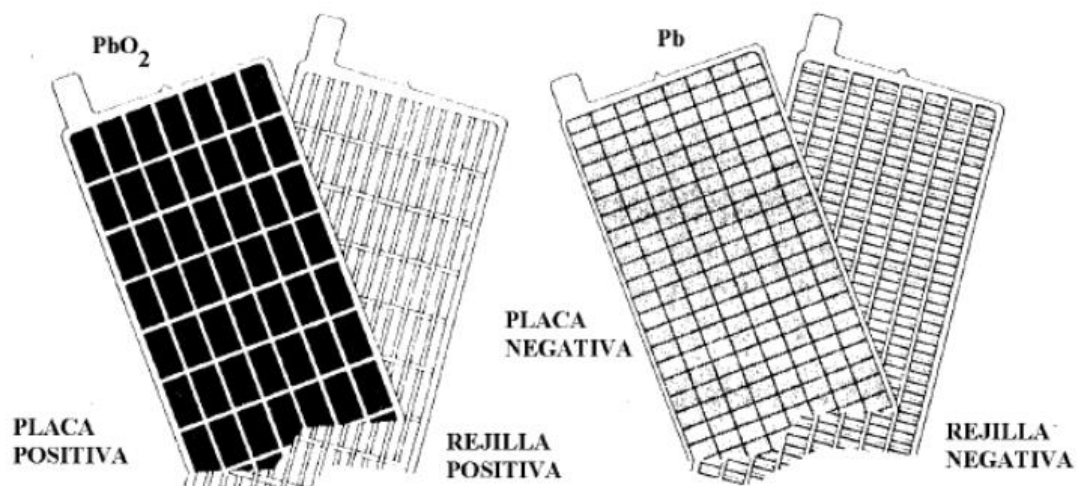


Figura N° 23: Placa positiva y negativa de una batería²⁸

Con el fin de suministrar corrientes elevadas, cada celda consiste de numerosas

²⁸ (Sarria, 2012)

placas positivas conectadas en paralelo al igual que placas negativas conectadas en paralelo. Las placas en cada celda están sumergidas en electrolito y un volumen igual de agua es la gravedad específica (SG). (Sarria, 2012)

Las razones por la que hay necesidad de utilizar un banco de baterías en un sistema fotovoltaico son:

Demanda de potencia en periodos sin sol.

Existen cargas que requieren altas corrientes de arranque (motores, compresores, etc.).

Demanda a voltaje constante.

Capacidad de almacenar energía generada en exceso a la demanda, reduciendo las pérdidas de energía.

Para utilizar una batería o un banco de baterías es necesario conocer²⁹:

Capacidad: es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperes-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga. Por ejemplo, una batería de 100Ah es capaz de suministrar 1A durante 100 horas.

Eficiencia de carga: es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la energía realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa que toda la energía empleada para la carga puede ser remplazada para la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja, es necesario dotarse de un mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.

²⁹ (Sarria, 2012)

Autodescarga: es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse. La rapidez de la descarga depende de la temperatura ambiente y el tipo de batería.

Profundidad de descarga: es el valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Como ejemplo, se tiene una batería de 100Ah y es sometida a una descarga de 20Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%.

Las baterías solares permiten una profundidad de descarga máxima de 80%, cientos de veces, a niveles de corriente moderados y por ello estas baterías se le denominan baterías de ciclo profundo. Estas baterías dedicadas al uso de sistemas solares tienen electrodos cuya fabricación consta de una aleación de antimonio lo que permite adherir una gran cantidad de material activo. Las celdas con mayor cantidad de material activo tienen una más larga duración y profundidad de descarga pero aumenta el coste y el peso de la batería.

Máximo número de ciclos: se considera que una batería de ciclo profundo ha completado todos los ciclos de carga y descarga cuando, al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga depende de la profundidad de descarga. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para una dada profundidad de descarga, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos. (Sarria, 2012)

c) Inversor ³⁰

El generador FV produce corriente continua. En sistemas fotovoltaicos autónomos para poder utilizar cargas en corriente alterna se necesita un dispositivo electrónico, denominado inversor, que convierta la corriente continua en corriente alterna. Habitualmente en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor está conectado a una batería, mientras en un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica el inversor está conectado directamente al generador fotovoltaico.

Las funciones principales de los inversores son: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. Los inversores que se pueden encontrar normalmente pueden ser monofásicos o trifásicos a 50 Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponibles, de unos pocos vatios hasta varios megavatios. Pueden operar conectados a baterías o directamente al generador FV y pueden estar conectados a diferentes consumos o inyectar energía en la red eléctrica. Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

De onda cuadrada.

De onda modificada o quasisenoidal.

De onda senoidal (muy parecida a la onda de la red eléctrica).

Los inversores de onda cuadrada son los más económicos. Se basan en un simple “chopeado” de la potencia DC de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión

³⁰ http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40%, y su rendimiento está en torno al 50- 60%. La potencia de sobrecarga es baja, del 10-20% de la potencia nominal. Su regulación de voltaje también es muy baja. Se suelen utilizar con pequeñas cargas inductivas o resistivas, aunque algunos tipos de cargas pueden no operan satisfactoriamente.

Los inversores senoidales tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada. En general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC, no presentando ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión. Algunos tipos de consumos electrónicos como los equipos de telecomunicaciones o instrumentación delicada pueden requerir su utilización. Los inversores que producen ondas senoidales se están imponiendo sobre el resto de inversores que están dejando de ser utilizados, incluso para las aplicaciones más simples.

Para cargas inductivas, como es el caso de los motores, la forma de la onda que llega al motor debe aproximarse lo más posible a una onda senoidal o a una onda PWM cuyos primeros armónicos se presenten a muy alta frecuencia, ya que el máximo rendimiento en el giro del motor se produce por el armónico fundamental a una frecuencia de 50 Hz. Cualquier otro armónico presente en la onda que llegue al motor no produce giro, sin embargo, disipa calor por efecto Joule como I^2R , lo que provoca calentamientos en las bobinas de cobre y cuerpo del motor y por tanto pérdidas de rendimiento. A menudo estos armónicos son los responsables de la degradación y destrucción de los aislamientos de las bobinas.



Figura N° 24: Inversor VICTRON ENERGY³¹

La regulación del valor eficaz de la tensión de salida en inversores autónomos suele realizarse mediante control PWM. Ya que la tensión DC de entrada al inversor varía, también lo hace la producción de corriente de carga y en consecuencia la tensión de apagado de los interruptores de los semiconductores que forman el inversor. Como consecuencia la duración de los pulsos de la onda de salida debe ser modulado (estrechándolo o ensanchándolo). En algunos inversores la regulación de la tensión de salida se realiza con ayuda de transformadores o regulando la tensión antes del inversor.

El funcionamiento general de un inversor está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia con un ciclo controlado de apertura y cierre

³¹ <https://www.prisolar.com/onda-sinusoidal-pura/322-inversor-victron-phoenix-24-3000.html>

generando ondas de pulsos variables (cuantos más pulsos menor distorsión armónica y mayor proximidad a la onda pura senoidal).

d) Cableado

El cableado en una instalación fotovoltaica comprende todos los conductores eléctricos que sean necesarios para su funcionamiento. Aunque parece algo evidente dentro de la instalación, este debe tener un correcto dimensionamiento para evitar pérdidas de energía y caídas de tensión. (Mesones Abanto, 2019)

Los cables utilizados deben tener el aislamiento adecuado, su selección dependerá de la aplicación y tipo de canales en los que será instalado. Para realizar los cálculos de selección se tendrá en cuenta el Código Nacional de Electricidad (CNE) y la Norma Técnica Peruana (NTP).

Debido a que el Código Nacional de Electricidad no hace referencia a instalaciones fotovoltaicas, para el cálculo de la caída de tensión tanto en los circuitos de corriente continua como en alterna se tendrá como referencia a la instrucción técnica complementaria ITC-BT-40 (española), que indica lo siguiente:

Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5% para la intensidad nominal.

Los conductores tanto en corriente continua como alterna deberán detener la sección suficiente para evitar caídas de tensión y sobre calentamientos. (Mesones Abanto, 2019)

e) Protecciones

Una cuestión importante y crucial, tanto el diseño de sistemas fotovoltaicos como en cualquier otra instalación eléctrica son los dispositivos de protección y seguridad que se va a instalar, ya que estos brindaran protección no solo a los equipos instalados sino a las personas encargadas del mantenimiento y operación de este. Para el cálculo se debe de tener en cuenta los tramos de corriente continua y de corriente alterna, ya que las protecciones deben ser distintas debido a la naturaleza de cada tramo y valor de corriente admisible en los conductores. (Mesones Abanto, 2019)

Las fallas más usuales en instalaciones son los cortocircuitos, que conlleva al paso de corrientes más elevadas a las normales, pero también se pueden producir fallas por valores elevados de tensión o frecuencia, sobrecalentamiento o inversión del flujo de potencia (Cornejo 2013).

El empleo de dispositivos de protección es de suma importancia ya que evita daños en personas y ayuda a los equipos del sistema para que tengan un mayor tiempo de vida útil. (Mesones Abanto, 2019)

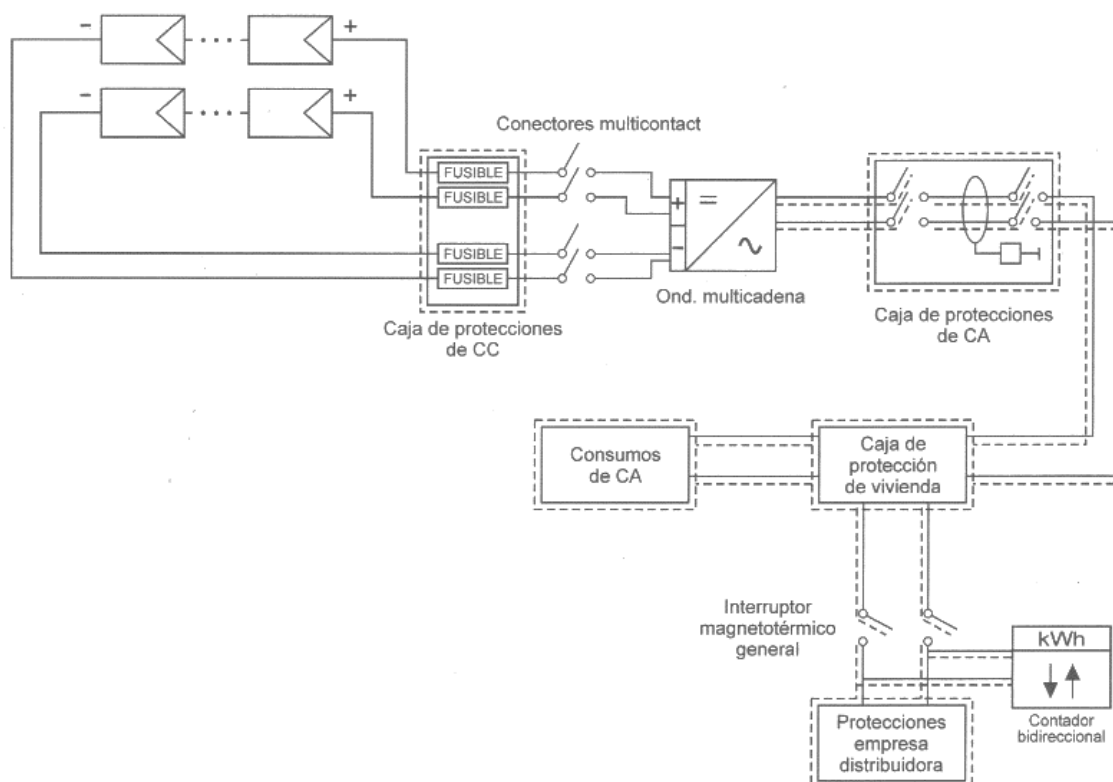


Figura N° 25: Instalación de autoconsumo domestica sin acumulación³²

f) Puesta a tierra

Un sistema de a puesta a tierra es importante no solo en una instalación fotovoltaica sino en todas las instalaciones eléctricas, ya que protege a equipos de tensiones transitorias y a las personas de contactos indirectos. (Mesones Abanto, 2019)

Los contactos indirectos se producen cuando las personas entran en contacto con una masa metálica, la cual esta puesta a tensión debido a un fallo de aislamiento. (Mesones Abanto, 2019)

Para el cálculo y diseño del sistema de puesta a tierra se hará uso de la Norma Técnica Peruana NTP 370.053: “Seguridad Eléctrica – Elección de Materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra. Conductores de Protección” y el Código nacional de Electricidad (CNE).

³² (Mesones Abanto, 2019) cita como fuente a CENSOLAR

La instalación de la puesta a tierra debe estar en óptimas condiciones para un correcto funcionamiento del sistema de protección, cumpliendo con lo estipulado en el CNE-Sección 60-Electrodos de puesta a tierra, el cual hace referencia a lo siguiente:

El valor de la resistencia a tierra debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser mayor a 25 Ω .

(Mesones Abanto, 2019)

g) **Montaje de paneles solares**³³

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

Sistema Fijo

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.

³³ (Valdiviezo Salas, 2014)



Figura N° 26: Estructura Fija³⁴

Seguidores Solares

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

1. Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
2. Seguidores doble eje

³⁴ (Valdiviezo Salas, 2014)



Figura N° 27: Instalación de Seguidor Solar³⁵



Figura N° 28: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar³⁶

³⁵ (Valdiviezo Salas, 2014)

³⁶ (Valdiviezo Salas, 2014)

II.3.

Definición conceptual de la terminología empleada.

Radiación o irradiación: Es la energía incidente, en un periodo de tiempo determinado sobre una superficie dada. Se obtiene como la integración de la Irradiancia en ese periodo y se mide en Wh/m^2 . En algunos textos se refieren al término Irradiación como Insolación.

Horas Solares Pico (HSP): Es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 .

Energía fotovoltaica: La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico, este fenómeno tiene lugar en la célula solar.

Célula fotovoltaica: La conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica.

Módulo o panel fotovoltaico: Un panel fotovoltaico es un conjunto interconectado de células solares y es el componente básico de un sistema fotovoltaico. De acuerdo con la tecnología utilizada en las células solares, los paneles fotovoltaicos están clasificados como monocristalinos, policristalinos y paneles solares amorfos, y estos últimos también se conocen como paneles de película delgada (Thin film) o capa fina.

Energía Solar: Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en la radiación electromagnética proveniente del sol.

Radiación Solar: Radiación emitida por el sol. De toda la radiación procedente del Sol, sólo una ínfima parte llega hasta la superficie de la Tierra. En la

atmósfera más externa a la Tierra nos podemos encontrar con radiaciones de 1400 W/m^2 , de los cuales, unos 1000 W/m^2 son las que llegan a nuestra superficie, en un día claro y sin perturbaciones

meteorológicas. En el caso de un día nublado podemos encontrar esta radiación significativamente mermada, pudiendo llegar a 500 W/m^2 .

Irradiancia: Es la magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra, mide la energía radiante por unidad de tiempo, es decir potencia, que incide sobre una superficie dada y se mide en W/m^2 .

Potencia Pico (Wp): potencia eléctrica suministrada por el módulo en condiciones estándar STC.

Standard Test Condition (STC): Condiciones estándar de medida para el análisis del comportamiento de los paneles solares a una radiación de 1.000 W/m^2 (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y temperatura de la célula a 25°C .

Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.

Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Eficiencia del panel: Es la relación entre la potencia eléctrica entregada por el panel solar y la potencia de la radiación que incide sobre él. La eficiencia de un panel fotovoltaico es generalmente medido en condiciones standard de ensayo (Standard Test Conditions o STC).

Nominal Operation Cell Temperature (NOCT): Temperatura de operación nominal de las células: radiación de 800 W/m^2 (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C y velocidad del viento de 1 m/s .

Generador fotovoltaico: Está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación. El elemento base es el módulo fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico: Es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable.

Performance Ratio: La eficiencia relativa del sistema es una medida que considera las pérdidas del sistema contabilizadas en comparación con la energía nominal del sistema. La energía nominal es calculada a partir de la irradiación de la superficie inclinada del módulo FV multiplicada por la eficiencia bajo condiciones estándares de medida.

Productividad Anual: es un valor de evaluación que da el rendimiento anual normalizado en función de la potencia instalada. En otras palabras, la productividad anual corresponde a las horas de funcionamiento del sistema a potencia nominal.

Estación meteorológica: Instalación equipada, donde se realizan mediciones pluviométricas, presión atmosférica, evaporación, temperatura, caudales, volúmenes y otros con fines estadísticos útiles para la operación de los sistemas hidráulicos.

Aerogenerador: Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

Amperio o ampere: Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Es la cantidad de electricidad que pasa por un conductor por un segundo. La corriente

está relacionada con la potencia expresada en watts o vatios de la siguiente forma $P \text{ (watts)} = I \text{ (amperes)} \times V \text{ (volts)}$.

Anemómetro: instrumento que se utiliza para medir la velocidad del viento. Sus señales son empleadas por el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando el viento alcance la velocidad de arranque. Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar desperfectos en el mismo.

Bridas: Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, soldada a los extremos de cada sección de la torre.

Buje: Centro del rotor donde se acoplan las palas.

Coeficiente de potencia: El coeficiente de potencia mide la eficiencia con la que el aerogenerador convierte la energía eólica en electricidad. Se obtiene dividiendo la potencia eléctrica disponible entre la potencia eólica de entrada.

Combustible fósil: Se considera combustible fósil al carbón, petróleo y el gas natural o sus derivados de ellos

Curva de potencia: Es un gráfico que indica cual será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades de viento.

Densidad de potencia: La densidad de potencia calcula la distribución de energía eólica a diferentes velocidades del viento. Se obtiene multiplicando la potencia de cada velocidad del viento por la probabilidad del viento de la gráfica de Weibull.

Densidad del aire: La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, esto es, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

Energía Cinética: La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada

Límite de Betz (*Betz limit*): Máximo valor del coeficiente de potencia alcanzable por el rotor de una aeroturbina. Fue establecido por el físico alemán Albert Betz en el año 1919 y su valor es el 59,3%.

Instalación fotovoltaica

Aquella que se disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio.

Acumulador: Se encargan de acumular la energía eléctrica generada por el sistema de generación fotovoltaico para poder disponer de ella en las horas del día que no luzca el sol. Las más recomendadas para este tipo de instalaciones son las estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 o 48 Vcc que sea adecuado en cada caso

Inversor

Equipo que transforme la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna para alimentar las cargas

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

Regulador: Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas

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

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

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

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

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

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

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

III.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada y el diseño es no experimental debido a que no se manipulan en forma deliberada ninguna de las variables dependientes e independientes y se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado, para luego analizarlos.

III.2. Población y muestra

La presente tesis ha sido aplicada a un usuario específico en el distrito de Tarapoto perteneciente al departamento de San Martín.

III.3. Hipótesis

Si se aprovechan los recursos energéticos (energía solar) entonces lograremos dimensionar un sistema conectado a red para autoconsumo eléctrico en el distrito Tarapoto departamento de San Martín.

III.4. Operacionalización de variables

X: Variable independiente:

Energía solar

Y: Variable dependiente:

Energía eléctrica

Tabla N° 3: Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional
Variable independiente Energía solar	La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad ³⁷ .	Dimensionamiento de sistema solar fotovoltaico conectado a red.
Variable dependiente Energía eléctrica	La energía eléctrica es aquella que se produce mediante el movimiento y cargas eléctricas (electrones) en el interior de los materiales que son conductores (por ejemplo, cables de cobre o metálicos). ³⁸	Calcular la energía eléctrica promedio proyectada

Fuente: Elaboración propia

³⁷ <https://twenergy.com/energia/energia-solar>

³⁸ <https://energiasae.com/electrica/>

III.5. Métodos y Técnicas de investigación

Las técnicas que se utilizaron fueron las siguientes:

a) La Entrevista: Es una técnica de recopilación de información mediante una conversación profesional, con la que además de adquirirse información acerca de lo que se investiga, tiene importancia desde el punto de vista educativo; los resultados a lograr en la misión dependen en gran medida del nivel de comunicación entre el investigador y los participantes en la misma³⁹.

b) Análisis de contenido

Consiste básicamente en la realización de una descripción objetiva, sistemática y eventualmente, cuantitativa de los contenidos extraídos de cualquier texto. Se obtuvo información de diferentes fuentes: textos, tesis, revistas, software, páginas web, el cual sirvió de base para elaborar el marco teórico.

III.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados en esta tesis son los siguientes:

En la técnica del análisis documental: Se han revisado diferentes tesis, libros, revistas, normas técnicas peruanas e internacionales relacionadas con los sistemas fotovoltaicos conectados a red, los cuales servirán de base para el marco teórico.

³⁹ <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>

En la técnica de la entrevista: Se utilizó un cuaderno de apuntes y lapicero para recopilar datos relevantes para el dimensionamiento del sistema conectado a red.

III.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Se recopiló información de los recibos por consumos de energía eléctrica para un periodo de un año, luego se seleccionamos paneles fotovoltaicos, el inversor y el banco de baterías. Consideraremos el mes crítico, usaremos hojas de cálculo en Excel 2019 luego, se elaborarán los planos en AUTOCAD. Haremos uso de la estadística descriptiva.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

IV.1. Propuesta de la investigación

Con la finalidad de reducir la facturación por consumo de energía eléctrica y ser más independientes de la energía proveniente de la concesionaria se propone un sistema de autoconsumo basado en un sistema solar fotovoltaica conectado a red y con inyección cero, equipado con lo siguiente.

a) Generador Fotovoltaico: Se considerará en paneles fotovoltaicos de reconocida marca por ejemplo ERA SOLAR, la selección de la potencia se realiza en base al número de paneles y costo unitario.

b) El inversor: La corriente eléctrica proveniente del generador fotovoltaico es en CD con la finalidad de transformar la corriente eléctrica en CD a AC y poder suministrarle a la carga los 220 V se utiliza el inversor el cual debe ser de una marca reconocida y potencia comercial.

c) Analizador de redes antivertido:

Este equipo es imprescindible porque es el que va a impedir que se inyecte potencia a red pública.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

V.1. Datos de Irradiación solar

Teniendo la ubicación en términos de latitud y longitud del predio utilizamos la base de datos del software METEONORM para obtener la disponibilidad de la energía solar promedio mensual.

Tabla N° 4: Data METEONORM⁴⁰

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	166	74	132	24.9	20.1	3.9	
Febrero	144	84	83	25.6	20.6	3.4	
Marzo	160	83	109	25.4	20.6	3.3	
Abril	157	65	130	24.3	19.8	3.7	
Mayo	163	60	151	22.9	18.6	4.1	
Junio	148	59	135	22.1	17.9	3.7	
Julio	155	59	147	22	17.7	3.6	
Agosto	168	73	138	22.3	17.7	3.7	
Setiembre	172	70	142	22.3	17.5	4.2	
Octubre	171	83	122	22.6	18	4.3	
Noviembre	158	75	122	23.1	18.5	4.1	
Diciembre	164	75	133	23.9	19.4	4.1	
Año	1925	860	1545	23.4	18.9	3.8	

⁴⁰ Software METEONORM

Tabla 1: Datos de irradiación solar según el software METEONORM⁴¹

Mes	Gh(kWh/m ²)	días del mes	Gh(kWh/m ² /día)
Enero	166	31	5,35
febrero	144	28	5,14
Marzo	160	31	5,16
Abril	157	30	5,23
Mayo	163	31	5,26
Junio	148	30	4,93
Julio	155	31	5,00
Agosto	168	31	5,42
Septiembre	172	30	5,73
Octubre	171	31	5,52
Noviembre	158	30	5,27
Diciembre	164	31	5,29

De la Tabla N° 5, se puede observar que la irradiación solar mínima en el lugar de estudio es de 4,93 kWh/m²/día. Este valor se consideró para el cálculo de la potencia del generador fotovoltaico y del número de paneles, por ser la condición más desfavorable

41

https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_06d48S_76d37W_57e2061b.txt

V.2. Cálculo de consumo diario de energía eléctrica

La unidad de vivienda en la cual el propietario el señor Montilla Vela Jaime (ANEXO 01, se adjunta el recibo de pago) está interesado en la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a red y tiene los siguientes datos de suministro:

Tarifa: BT5B

Tipo de C1.1: Monofásico aéreo

Tensión: 220 V

Numero de suministro: 200053835

Ubicación: JR AUGUSTO B. LEGUIA 967 - TARAPOTO-SAN MARTIN-SAN MARTIN

Concesionaria: ELECTRO ORIENTE S.A.

Área de Azotea: 120 m²

El consumo histórico de energía eléctrica mensual se elaboró la siguiente

Tabla N°5

Tabla N° 5: Datos de consumo de energía eléctrica mensual⁴²

CONTRATO	MES	TARIFA	CONSUMO kWh
200053835	201501	BT5R	337,00
200053835	201502	BT5R	357,00
200053835	201503	BT5R	348,00
200053835	201504	BT5R	399,00
200053835	201505	BT5R	356,00
200053835	201506	BT5R	402,00
200053835	201507	BT5R	385,00
200053835	201508	BT5R	422,00
200053835	201509	BT5R	495,00
200053835	201510	BT5R	465,00
200053835	201511	BT5R	421,00
200053835	201512	BT5R	462,00
200053835	201601	BT5R	399,00
200053835	201602	BT5R	444,00
200053835	201603	BT5R	371,00
200053835	201604	BT5R	400,00
200053835	201605	BT5R	347,00
200053835	201606	BT5R	334,00
200053835	201607	BT5R	315,00
200053835	201608	BT5R	349,00
200053835	201609	BT5R	355,00
200053835	201610	BT5R	348,00

⁴² Elaboración propia

200053835	201611	BT5R	341,00
200053835	201612	BT5R	362,00
200053835	201701	BT5R	370,00
200053835	201702	BT5R	344,00
200053835	201703	BT5R	265,00
200053835	201704	BT5R	365,00
200053835	201705	BT5R	336,00
200053835	201706	BT5R	361,00
200053835	201707	BT5R	323,00
200053835	201708	BT5R	372,00
200053835	201709	BT5R	366,00
200053835	201710	BT5R	367,00
200053835	201711	BT5R	399,00
200053835	201712	BT5R	389,00
CONTRATO	MES	TARIFA	CONSUMO kWh
200053835	201801	BT5R	353,00
200053835	201802	BT5R	421,00
200053835	201803	BT5R	295,00
200053835	201804	BT5R	328,00
200053835	201805	BT5R	338,00
200053835	201806	BT5R	333,00
200053835	201807	BT5R	360,00
200053835	201808	BT5R	332,00
200053835	201809	BT5R	297,00
200053835	201810	BT5R	314,00
200053835	201811	BT5R	238,00

200053835	201812	BT5R	239,00
200053835	201901	BT5R	266,00
200053835	201902	BT5R	343,00
200053835	201903	BT5R	315,00
200053835	201904	BT5R	365,00
200053835	201905	BT5R	323,00
200053835	201906	BT5R	312,00
200053835	201907	BT5R	271,00

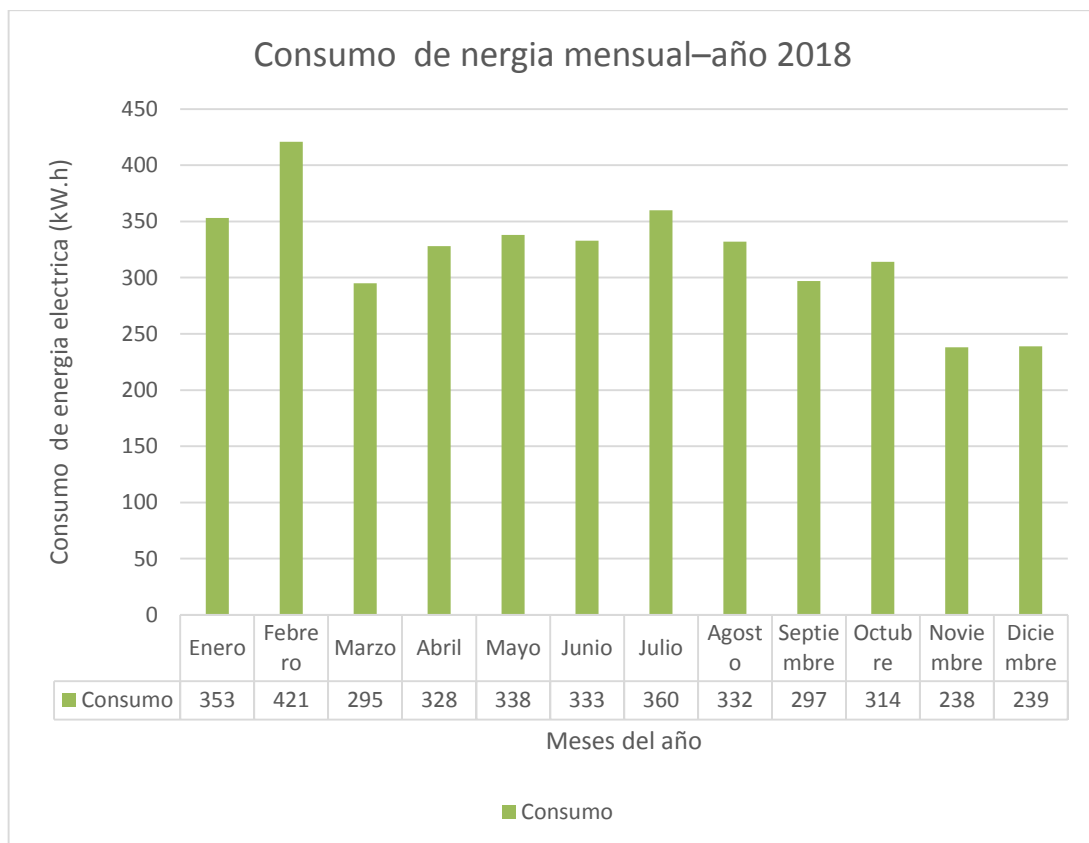


Figura N° 29: Consumo de energía eléctrica mensual⁴³ en el año 2018

⁴³ Elaboración propia

Con la finalidad de conocer el consumo de energía eléctrica diario se instaló un analizador de redes modelo PQ Box 100 (en el ANEXO 02 se muestra el certificado de calibración) por un periodo de 7 días, desde el día 23 de julio del 2019 hasta el día 01 de agosto del 2019 (En el ANEXO 03 está la data de potencia activa). Se ha considerado un día representativo que es el 26 de julio cuyo diagrama de carga se muestra a continuación.



Figura N° 30: Instalación del analizador de redes⁴⁴

⁴⁴ Elaboración propia

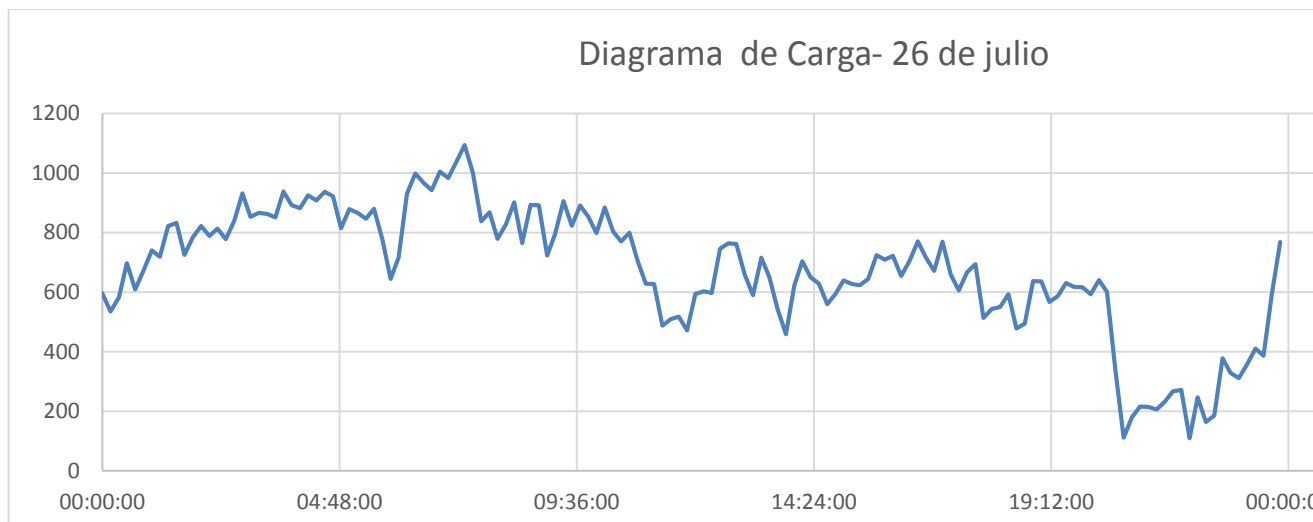


Figura N° 31: Diagrama de carga de la data del analizador de redes⁴⁵
 - día 26 julio del 2019

⁴⁵ Analizador de redes

De los datos del analizador de redes para el día 26 de julio se calculó la energía consumida por hora, el valor del consumo promedio diario es de 16,16 kW.h, energía que se distribuye a lo largo de todo el día tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla N° 6: consumo horario de energía eléctrica⁴⁶

Hora	Consumo kWh
1	0,63
2	0,78
3	0,83
4	0,88
5	0,90
6	0,80
7	0,95
8	0,95
9	0,84
10	0,84
11	0,78
12	0,54
13	0,68
14	0,60
15	0,63
16	0,67
17	0,71
18	0,63

⁴⁶ Elaboración propia

19	0,56
20	0,61
21	0,38
22	0,23
23	0,25
24	0,50
Total	16,16

El sistema fotovoltaico propuesto es de autoconsumo directo conectado a la red pública, pero sin inyección de potencia hacia ella.

V.3. Dimensionamiento y selección del sistema fotovoltaico

v.3.1. Sistema fotovoltaico de autoconsumo directo

Tabla N° 7: Energía eléctrica suministrada por ambas fuentes⁴⁷

Hora	Consumo kW.h	Energía de autoconsumo (kWh)	Energía de la Red eléctrica (kWh)
1	0,63		0,63
2	0,78		0,78
3	0,83		0,83
4	0,88		0,88
5	0,90		0,9
6	0,80		0,8
7	0,95		0,95
8	0,95	0,95	

⁴⁷ Elaboración propia

9	0,84	0,84	
10	0,84	0,84	
11	0,78	0,78	
12	0,54	0,54	
13	0,68	0,68	
14	0,60	0,60	
15	0,63	0,63	
16	0,67	0,67	
17	0,71	0,71	
18	0,63	0,63	
19	0,56		0,56
20	0,61		0,61
21	0,38		0,38
22	0,23		0,23
23	0,25		0,25
24	0,50		0,5
Total	16,16	7,87	8,3
Total (%)	100%	48,7%	51,3%

El generador fotovoltaico deberá cubrir la demanda del diagrama de carga durante las horas sol, la energía total durante las 8 a.m. y 6 p.m. que es de 7,87 kWh esta será la energía cubierta por el generador fotovoltaico y en las horas nocturnas será cubierta por la red eléctrica

De la Tabla N° 7 observamos que con el sistema de autoconsumo directo se cubrirá el 48,70 % de la energía diaria, mientras que la energía proveniente de la red eléctrica convencional es del 51,30 %.

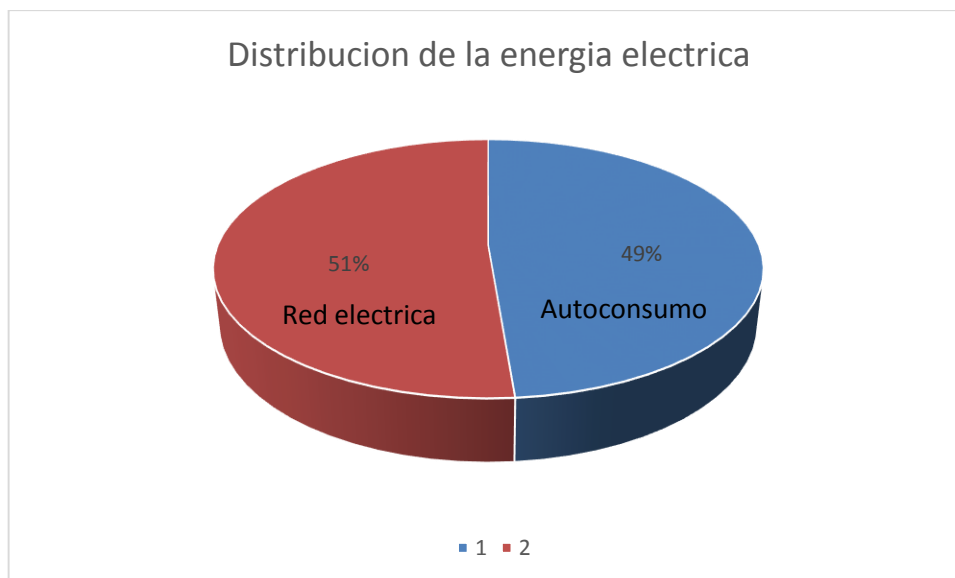


Figura N° 32: Distribución del a energía eléctrica⁴⁸

Consideraremos que la forma del diagrama de carga se va a repetir con una tasa de crecimiento de la energía del 1% anual (el propietario informa que tiene los equipos suficientes en su vivienda y que solo va a reemplazar los ya existentes), y una tasa de 0,5 % como pérdida de eficiencia anual de la instalación.

V.3.1.1. Potencia del generador fotovoltaico

Tabla N° 8: Energía suministrada por el generador fotovoltaico⁴⁹

Año	1	2	3	4	5	6	7
Energía proporcionada por los paneles	3988,47	3970,66	3952,86	3935,05	3917,25	3899,44	3881,64
Energía entregada a la carga	2871,88	2900,60	2929,32	2958,04	2986,76	3015,48	3044,19
Año	8	9	10	11	12	13	14

⁴⁸ Elaboración propia

⁴⁹ Elaboración propia

Energía proporcionada por los paneles	3863,83	3846,02	3828,22	3810,41	3792,61	3774,80	3757,00
Energía entregada a la carga	3072,91	3101,63	3130,35	3159,07	3187,79	3216,51	3245,23

Año	15	16	17	18	19	20	21
Energía proporcionada por los paneles	3739,19	3721,38	3703,58	3685,77	3667,97	3650,16	3632,36
Energía entregada a la carga	3273,95	3302,66	3331,38	3360,10	3388,82	3417,54	3446,26

Año	22	23	24	25
Energía proporcionada por los paneles	3614,55	3596,74	3578,94	3561,13
Energía entregada a la carga	3474,98	3503,70	3532,41	3561,13

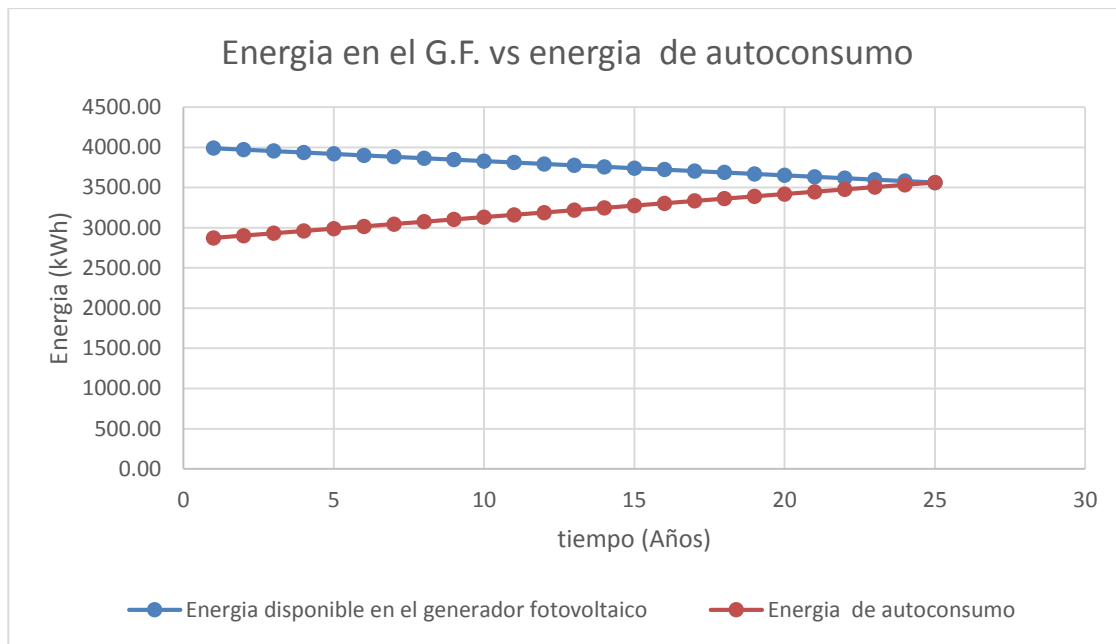


Figura N° 33: Energía disponible en el generador fotovoltaico vs energía de autoconsumo⁵⁰

V.3.1.2. Dimensionamiento y selección del generador fotovoltaico

De la Tabla N° 8 el generador fotovoltaico debe tener una potencia de tal manera que sea capaz de suministrar una energía de 3 988,47 kW para el año 1 de tal manera que pueda mantener el porcentaje de contribución de energía a la carga teniendo en cuenta la pérdida de eficiencia (ver Tabla N°8). En el año 1 la energía promedio diaria entregado de 7,87 kW.h (para 2 871,88 kWh) entonces la energía diaria requerida para el cálculo de los paneles es de: 10,93 kW.h

No toda la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico llega en su totalidad a la carga debido a las pérdidas entonces se considera un factor de

⁵⁰ Elaboración propia

rendimiento (F) con un global de funcionamiento⁵¹ (F) de 0,9 aplicando la siguiente ecuación

$$P_{\text{generador fotovoltaico}}(\text{kWp}) = \frac{\text{Energía}(\text{kWh})}{PR \times HSP} \dots (6)$$

$$P_{\text{generador fotovoltaico}}(\text{kWp}) = \frac{10,93 \text{ kWh}}{0,9 \times 4,93 \text{ h}} = 2,463 \text{ kWp}$$

Seleccionaremos el panel fotovoltaico ERA SOLAR de 320 Wp (ANEXO 04), en base a la cotización realizada en la página web de AutoSolar considerando el menor costo, que satisfaga la potencia requerida del generador fotovoltaico y que sea una marca reconocida.

Tabla N° 9: Costo del generador fotovoltaico en función de la potencia del panel fotovoltaico⁵²

Fabricante	potencia (Wp)	Costo (S/.)	Tensión nominal (V)	Nº módulos	Costo total (S/.)	potencia del generador fotovoltaico (kWp)
ERA SOLAR	50	159,70	12	50	7985,17	2,50
ERA SOLAR	100	280,00	12	25	7000,00	2,50
ERA SOLAR	200	428,85	12	13	5575,02	2,60
ERA SOLAR	320	664,38	24	8	5315,05	2,56
TALENSUN	325	729,17	24	8	5833,36	2,60
TAI Energy	20	104,17	12	124	12917,02	2,48
TAI Energy	80	258,50	12	31	8013,50	2,48

⁵¹ (Espieriz Crespo, 2015)

⁵² Elaboración propia a partir de costos en: <https://autosolar.pe/paneles-solares>

TAI Energy	100	361,11	12	25	9027,75	2,50
TAI Energy	150	484,69	12	17	8239,67	2,55
Jinko	270	631,94	24	10	6319,41	2,70

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos se utilizará la siguiente ecuación (25)

$$\text{Numero de paneles}(N_{MF}) = \frac{\text{Energia}(kWh)}{PR \times HSP \times Pot. \text{panel}}$$

$$\text{Numero de paneles}(N_{MF}) = \frac{10\,930\,Wh}{4,93h \times 0,9 \times 320(Wp)} = 7,70$$

El generador fotovoltaico estará conformado por 8 paneles.

V.3.1.3. Tensión y corriente en el punto de máxima potencia

Para la elección del inversor Uno de los puntos a considerar a la hora de la elección del inversor será que esté equipado con un dispositivo electrónico de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles para así obtener la máxima eficiencia energética del generador, por lo tanto se considerará que en condiciones normales de funcionamiento, se entregará la máxima potencia a una tensión dada en la hoja de características.

La tensión normal de funcionamiento o tensión de máxima potencia del generador fotovoltaico conociendo la disposición de los paneles en serie y paralelo a la cual deberá funcionar el inversor en condiciones normales, vendrá

dada al multiplicar la tensión del punto de máxima potencia ($V_{mmpP_{Panel}}$) de cada panel por el número de paneles en serie en cada ramal del generador:

$$V_{mmpTOTAL} = V_{mmpP_{Panel}} \times N_{paneles-serie} \dots (7)$$

Reemplazando tenemos lo siguiente:

$$V_{mmpTOTAL} = 37,65 \times 8 = 301,20 \text{ V}$$

La corriente eléctrica que suministrara el generador fotovoltaico se obtiene con la siguiente ecuación:

$$I_{mmpTOTAL} = I_{mmpP_{Panel}} \times N_{ramas-paralelo} \dots (8)$$

$$I_{mmpTOTAL} = 9,10 \times 1 = 9,10 \text{ A}$$

V.3.1.4. Consideraciones de las variaciones de temperatura

Como los valores de tensión y corriente dado por los fabricantes son para una temperatura ambiente estándar de 25°C, debemos adaptarlos para la temperatura del lugar donde realizará la instalación, para lo cual primeramente se debe recopilar información de la temperatura en el lugar de instalación.

La temperatura más alta es de 37,0°C y la temperatura más baja con 21°C (ver ANEXO 05). tal como se puede observar en la Tabla N° 10

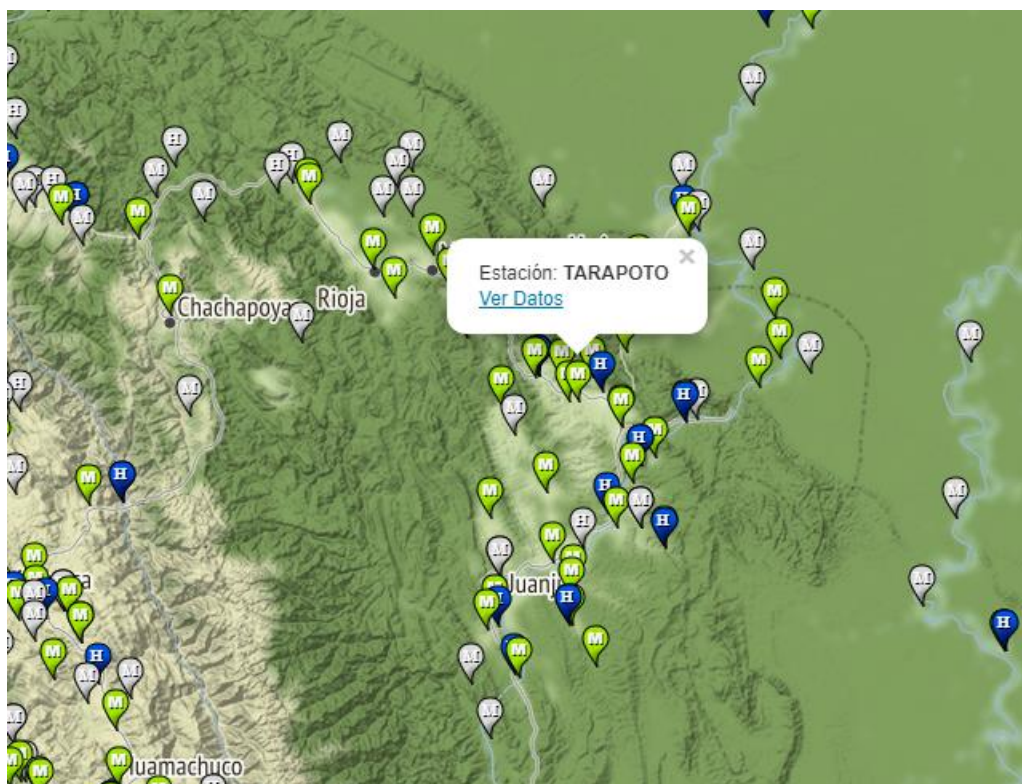
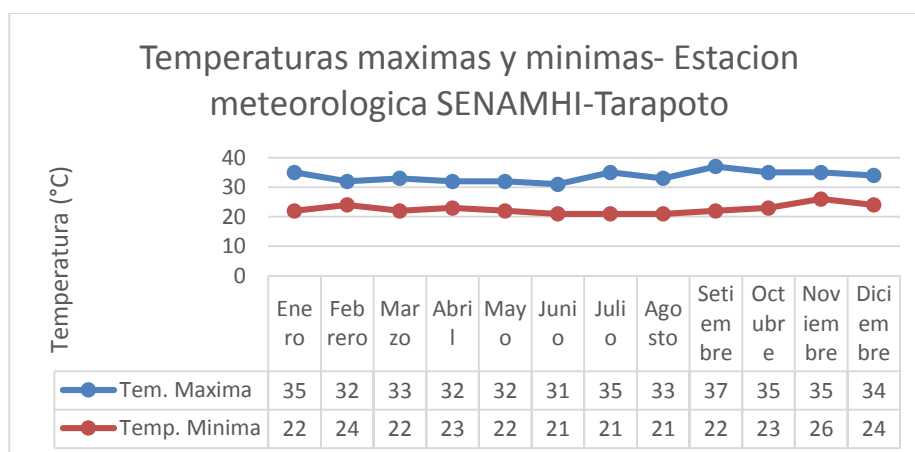


Figura N° 34: Estaciones meteorológicas SENAMHI⁵³

Tabla N° 10: Temperatura máxima y mínimas mensuales⁵⁴



⁵³ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

⁵⁴ Elaboración a partir de los datos del SENAMHI

La temperatura de trabajo que alcanzan las células de los paneles fotovoltaicos se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$T_p = T_a + \frac{(TONC - 20)}{800} \times I.. (9)$$

donde:

T_p : es la temperatura que alcanza la célula a una temperatura ambiente determinada.

T_a : es la temperatura ambiente del lugar donde están instalados los paneles solares.

TONC: es la temperatura nominal de la célula, definida como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a una irradiancia de $800\text{W}/\text{m}^2$ con distribución espectral AM 1,5 G, la temperatura ambiente es de 30°C y la velocidad del viento, de 1m/s . ($TONC = 45^\circ\text{C}$).

I es la irradiancia media dependiendo del periodo en el que se encuentre. En verano $I = 1\,000\text{W}/\text{m}^2$ y en invierno $I = 100\text{W}/\text{m}^2$

Datos del panel fotovoltaico

Tabla N° 11: característica del panel fotovoltaico seleccionado⁵⁵

ESPMC TYPE	300	305	310	315	320	325
Power Class	300W	305W	310W	315W	320W	325W
Max. Power Voltage (V_{mp})* at STC**	37V	37.15V	37.3V	37.5V	37.65V	37.8V
Max. Power Current (I_{mp}) at STC	8.1A	8.21A	8.31A	8.4A	8.5A	8.6A
Open Circuit Voltage (V_{oc}) at STC	44.8V	44.95V	45.1V	45.3V	45.45V	45.6V
Short Circuit Current (I_{sc}) at STC	8.7A	8.8A	8.9A	9A	9.1A	9.2A
Module Efficiency	15.5 %	15.7 %	16 %	16.2 %	16.5 %	16.8 %

Tabla N° 12: Coeficientes de temperatura del panel fotovoltaico⁵⁶

CHARACTERISTICS	
Max. System Voltage	1000V/DC
Temperature- I_{sc}	+0.08558%/°K
Temperature- V_{oc}	-0.29506%/°K
Temperature- I_{mp}	-0.38001%/°K
NOCT***	45°C
CERTIFICATES	

observamos que los coeficientes de temperaturas están expresados en porcentaje entonces:

⁵⁵ Anexo 04

⁵⁶ Anexo 04

- c) Coeficiente de temperatura de la tensión a circuito abierto del panel fotovoltaico

$$\alpha = \frac{\alpha(\%)}{100} \times V_{oc} \dots (10)$$

$$\alpha = \frac{-0,38001}{100} \times 45,45 = -0,1727 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

- d) Coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico

$$\beta = \frac{\beta(\%)}{100} \times I_{sc} \dots (11)$$

$$\beta = \frac{0,08558}{100} \times 9,10 = 0,007788 \text{ A}/^{\circ}\text{C}$$

Cálculo para la temperatura más alta T = 37,0°C:

Primero, calculamos la temperatura que alcanzaran las células del panel solar en el lugar de instalación será:

$$T_p = 37,0 + \frac{(45 - 20)}{800} \times 1000 = 68,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Calculamos la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$V_{oc(68,25 \text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{oc(25 \text{ }^{\circ}\text{C})} + \alpha(T - 25) \dots (12)$$

$$V_{oc(68,25 \text{ }^{\circ}\text{C})} = 45,45 - 0,1727 \times (68,25 - 25) = 37,98 \text{ V}$$

$$I_{sc(68,25 \text{ }^{\circ}\text{C})} = I_{sc(25 \text{ }^{\circ}\text{C})} + \beta(T - 25) \dots (13)$$

$$I_{sc(68,25 \text{ }^{\circ}\text{C})} = 9,10 + 0,007788 \times (68,25 - 25) = 9,44 \text{ A}$$

Por último, calcularemos los parámetros de tensión a máxima potencia. El coeficiente de temperatura a la tensión a máxima potencia se considera igual que el coeficiente de temperatura a la tensión de circuito abierto⁵⁷:

$$V_{mmp(68,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{mmp(25\text{ }^{\circ}\text{C})} - 0,1727x(T - 25)$$

$$V_{mmp(68,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = 37,65 - 0,1727x(68,25 - 25) = 30,18\text{ V}$$

Ahora calcularemos los parámetros para el generador fotovoltaico

$$V_{OC(68,25\text{ }^{\circ}\text{C})GF} = (37,98\text{ V})x8 = 303,84\text{ V}$$

$$I_{SC(68,25\text{ }^{\circ}\text{C})GF} = (9,44\text{ A})x1 = 9,44\text{ A}$$

$$V_{mmp(68,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = (30,18\text{ V})x8 = 241,44\text{ V}$$

Cálculo para la temperatura más baja T = 21 °C:

Primero, calculamos la temperatura que alcanzaran las células del panel solar en el lugar de instalación será:

$$T_p = 21,0 + \frac{(45 - 20)}{800} x 1000 = 52,25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Calculamos la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$V_{OC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{OC(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \alpha x(T - 25)$$

$$V_{OC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = 45,45 - 0,1727x(52,25 - 25) = 40,744\text{ V}$$

$$I_{SC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = I_{SC(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \beta x(T - 25)$$

$$I_{SC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = 9,10 + 0,007788x(52,25 - 25) = 9,31\text{ A}$$

⁵⁷ (Agustin Castejon, s.f.)

Por último, calcularemos los parámetros de tensión a máxima potencia.

$$V_{mmp(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{mmp(25\text{ }^{\circ}\text{C})} - 0,1727x(T - 25)$$

$$V_{mmp(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = 37,65 - 0,1727x(52,25 - 25) = 32,94\text{ V}$$

Ahora calcularemos los parámetros para el generador fotovoltaico

$$V_{OC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})GF} = (40,744\text{ V})x8 = 325,95\text{ V}$$

$$I_{SC(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})GF} = (9,31\text{ A})x1 = 9,31\text{ A}$$

$$V_{mmp(52,25\text{ }^{\circ}\text{C})} = (32,94\text{ V})x8 = 296,50\text{ V}$$

V.3.1.5. Selección del inversor

Para la selección del inversor entonces se tendrá en cuenta los resultados obtenidos en el ítem 5.2.1.4 que se resumen en la siguiente tabla N° 13

Tabla N° 13: Parámetros para la selección del inversor⁵⁸

	Tensión de máxima potencia (V)	Tensión a circuito abierto (V)	Corriente de cortocircuito (A)
37,0 °C	241,44	303,84	9,44
21,0 °C	296,50	325,95	9,31

Entonces:

El inversor deberá soportar un rango de tensiones MPPT de:

⁵⁸ Elaboración propia

241,44 V.....296,50 V.

Además, deberá soportar una tensión máxima de entrada 325,95 V.

La intensidad máxima que debe soportar el inversor es de 9,44 A

Seleccionaremos el inversor SOLARX Power X1-2.0, en cuya tabla de especificaciones técnicas del ANEXO 06 se tiene lo siguiente:

La tensión MPPT es de 55 V...380 V

La tensión máxima de entrada es de 400 V

La intensidad máxima es de 10 A

La potencia es de 2 000 VA

V.3.1.6. Inclinação de los paneles

Para determinar el ángulo de inclinación óptimo utilizaremos la siguiente ecuación

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\Phi|) \dots (14)$$

Donde:

Φ es la latitud del lugar

Reemplazando la latitud tenemos que el ángulo óptimo es de

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,48|)$$

$$\beta_{opt} = 8,17^\circ$$

La inclinación óptima es de 8,7°

V.3.1.7. Distancia entre paneles

Se es necesario dar una separación a los paneles fotovoltaicos con la finalidad de eliminar las sombras y facilitar el mantenimiento.

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61^\circ - \phi)} \dots (15)$$

$$h = L \operatorname{sen}(\beta) \dots (16)$$

$$D_{\min} = d + L \operatorname{cos}(\beta) \dots (17)$$

Como se tienen las medidas de los módulos fotovoltaicos, las cuales son 1956x992 mm.

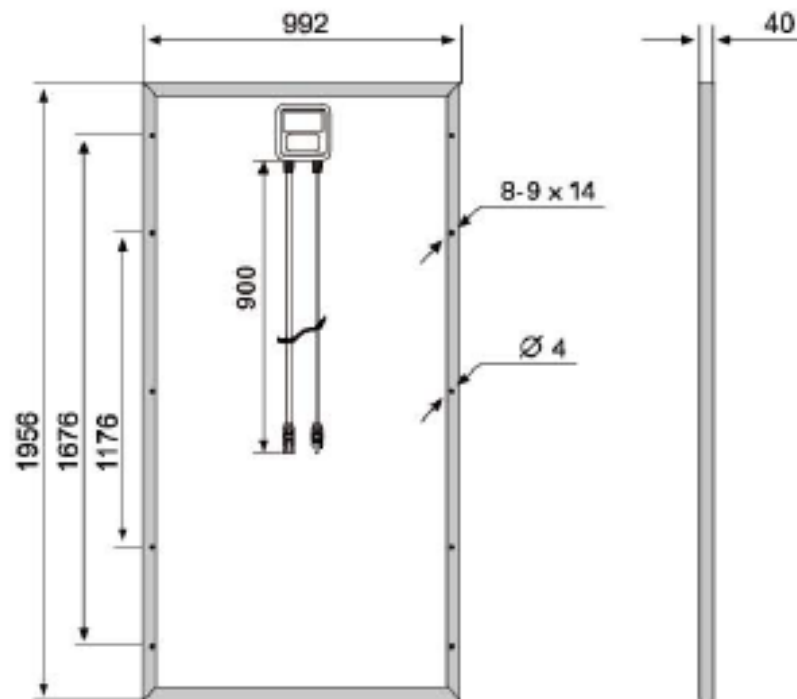


Figura N° 35: Características geométricas del panel fotovoltaico⁵⁹

⁵⁹ Anexo 04

Tenemos entonces:

$$\beta=8,7^{\circ}$$

$$\varnothing=-6,48^{\circ}$$

$$L: 1\,956. (mm)$$

Reemplazando los valores en las fórmulas:

$$h= 295,87\, mm$$

$$d=122,67\, mm$$

$$D_{min}= 2\,056,17\, mm.$$

V.3.1.8. Cálculo y selección de los conductores eléctricos

Se ha seleccionado conductores eléctricos de la marca INDECO del tipo NH-80 el cual tiene aislamiento de compuesto termoplástico no halogenado HFFR, es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libres de halógenos⁶⁰.

Tabla N° 14: Conductores eléctricos⁶¹ NH - 80

⁶⁰ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000418.pdf>

⁶¹ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000418.pdf>

TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

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

Se aplicará la siguiente fórmula para determinar la caída de tensión en los diversos tramos de nuestro sistema fotovoltaico:

$$\Delta V = \frac{V_T \times V_{caída\%}}{100} \dots (18)$$

Donde:

ΔV : Caída de tensión máxima por tramos. (V)

V_T : Tensión del sistema fotovoltaico. (V)

$V_{caída}$: Caída de tensión en porcentaje por tramo. (%)

Posteriormente calculamos la sección mínima del conductor, haciendo uso de las fórmulas mostradas a continuación:

$$R = \frac{\rho x L}{S} \dots (19)$$

Donde:

R: Resistencia en Ohmios. (Ω)

ρ : Resistividad. ($\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$)

L: Longitud. (m)

S: Sección del conductor. (mm^2)

σ : Conductividad. (Inverso resistividad)

ΔV : Caída de tensión. (V)

I: Intensidad de corriente eléctrica. (A)

A partir de lo mostrado anteriormente, se desprenden 2 igualdades para la resistencia:

$$S = 2x \frac{\rho x L x I}{\Delta V} \dots (20) \quad S = \frac{L x I}{\sigma x \Delta V} \dots (21)$$

El valor de la resistencia de los conductores de cobre y su valor para hilo estirado en frio es:

$$\rho = 0.01786 \, \Omega - \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$
$$S_{CABLE} = \frac{2xLxI_{MAX}}{56 x \Delta V} \dots (22)$$

Donde:

S_{CABLE} : Sección recomendada (mm^2)

L: Longitud. (m)

I_{MAX} : Corriente máxima por tramo. (A)

ΔV : Caída de tensión por tramo. (V)

a) Cálculo caído de tensión generador fotovoltaico - Caja de protecciones en CD

ΔV es la caída máxima de tensión permitida dentro de la conexión. Para nuestro estudio se tomará como referencia un porcentaje del 1,5 %.

$$V_{mmpptOTAL} = 37,65 \times 8 = 301,20 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{V_T \times V_{caida\%}}{100}$$

$$\Delta V = \frac{301,20 \times 1,5}{100}$$

$$\Delta V = 4,52 \text{ V}$$

$$I_{MAX} = 9,10 \text{ A}$$

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I_{MAX}}{56 \times \Delta V} = \frac{2 \times 25 \times 9,10}{56 \times 4,52} = 1,80 \text{ mm}^2$$

b) Caja de protecciones en CD al inversor

La caída máxima de tensión permitida dentro de la conexión. Para nuestro estudio se tomará como referencia un porcentaje del 1,5 %.

Es decir 4,52 V

$$I_{MAX} = 9,10 \text{ A}$$

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times 5 \times I_{MAX}}{56 \times \Delta V} = \frac{2 \times 5 \times 9,10}{56 \times 4,52} = 0,36 \text{ mm}^2$$

c) Inversor al tablero general de la carga

Comprende desde la conexión desde el inversor hasta el tablero general de la carga. Del inversor saldrán dos cables para una conexión monofásica hacia el tablero general. Para nuestro estudio se tomará como referencia un porcentaje del 2,5 % de caída de tensión según el

Código Nacional de Electricidad – Utilización en la sección 050-102.

Además, el voltaje a la salida del inversor debe ser el mismo proveniente de la red eléctrica de baja tensión, el cual es de 220 V.

Se tomará como referencia un porcentaje del 2,5 %. Para este tramo se considerará la potencia del inversor es de decir 2 000 W.

$$\Delta V = \frac{V_T \times V_{caida\%}}{100}$$

$$\Delta V = \frac{220 \times 2,5}{100}$$

$$\Delta V = 5,5 V$$

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times P}{56 \times V \times \Delta V} = \frac{2 \times 10 \times 2\,000}{56 \times 220 \times 5,5} = 0,59 \text{ mm}^2$$

Seleccionaremos el conductor NH -80 de 2,5 mm².

V.3.1.9. Protecciones

Para proporcionar seguridad tanto a los equipos que forman la instalación solar fotovoltaica como al personal encargado de su mantenimiento y correcta operación, es necesario instalar una serie de elementos de protección que aseguren una explotación correcta de la instalación. (Cornejo Lalupu, 2013)

El dispositivo de protección debe cumplir lo siguiente:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_C \leq 1.45 * I_Z$$

Donde:

- IB es la corriente de empleo o de utilización.

- I_N es la corriente nominal del dispositivo de protección.
- I_Z es la corriente máxima admisible por el elemento a proteger.
- I_C es la corriente convencional de funcionamiento del dispositivo de protección (fusión de los fusibles y disparo de los interruptores automáticos).

Protecciones de Corriente Continua

La interrupción de corrientes presenta mayores problemas con redes en corriente continua que en corriente alterna. En la corriente alterna existe un paso natural de la corriente por el cero en cada semiperiodo, al cual corresponde un apagado espontáneo del arco que se forma cuando se abre el circuito. En la corriente continua esto no sucede y, para extinguir el arco, es preciso que la corriente disminuya hasta anularse. Es necesario que la interrupción se realice gradualmente, sin bruscas anulaciones de la corriente que darían lugar a elevadas sobretensiones. (Cornejo Lalupu, 2013)

Fusibles:

Protegerán contra las sobre intensidades en la rama del generador fotovoltaico provocando la apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la admisible por los equipos o conductores de la instalación. (Cornejo Lalupu, 2013).

FUSIBLES CILINDRICOS INDUSTRIALES gG					
TAMAÑO	I_n	REFERENCIA		U (V)	PODER DE CC (kA)
	(A)	SIN indicador	CON indicador		
	0,5	420500	–	400	20
	1	420501	–	400	20
	2	420502	420602	400	20
	4	420504	420604	400	20
	6	420506	420606	400	20
	8	420508	420608	400	20
	10	420510	420610	400	20
	12	420512	420612	400	20
	16	420516	420616	400	20
	20	420720	420820	400	20

Figura N° 36: Fusible de corriente continua DF ELECTRIC⁶²

La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 2,5 mm², por lo que se tienen los siguientes parámetros:

- $I_B = 9,10 \text{ A}$
- $I_Z = 24 \text{ A}$

Entonces tenemos lo siguiente:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$9,10 \text{ A} \leq I_N \leq 24 \text{ A}$$

$$I_N = 10 \text{ A}$$

Además, se debe cumplir que: $IC \leq 1,45 * I_Z$:

$$IC = 1,6 * I_N = 1,6 * 10 = 16 \text{ A}$$

$$IC \leq 1,45 * I_Z \rightarrow 16 \text{ A} \leq 1,45 * 24 \text{ A} \rightarrow 16 \text{ A} \leq 21,75 \text{ A}$$

⁶² http://www.e-guassch.com/onlinedocs/catalogue/datasheets/fuses/slow%20acting/df/df_linea.pdf

Por consiguiente, se utilizarán fusibles de 10 A en el ramal de paneles conectados en serie del generador solar fotovoltaico.

Interruptor magnetotérmico:

todo magnetotérmico y fusible debe cumplir los siguientes requisitos:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

En la rama de paneles habrá un interruptor magnetotérmico. La sección del conductor que forma el ramal es de 1,5 mm², por lo que los parámetros a utilizar para el dimensionado del interruptor magnetotérmico serán:

$$I_B = 9,10 \text{ A}$$

$$I_Z = 24 \text{ A}$$

Por tanto, para que se cumpla la condición, como mínimo la corriente nominal del magnetotérmico será:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$9,10 \text{ A} \leq I_N \leq 24 \text{ A}$$

$$I_N = 10 \text{ A}$$

Por consiguiente, se utilizarán dos interruptores magnetotérmicos de **10 A** en el ramal del generador fotovoltaico.

Tramo del Inversor a la Red de baja tensión

Interruptor magnetotérmico (Interruptor general manual):

Para la elección del interruptor magnetotérmico se utilizarán las ecuaciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_C \leq 1,45 * I_Z$$

La sección de los conductores de este tramo es de 2,5 mm², por tanto la corriente máxima 24 A. El valor de la intensidad normal de funcionamiento que circulará por el tramo vendrá dado por la potencia máxima que el inversor puede entregar a la red, que es de 2 000W y la tensión a la cual se realizará la conexión, 220V, el factor de potencia proporcionado por las instalaciones solares fotovoltaicas debe ser igual a la unidad:

$$P = V * I * \cos\varphi \rightarrow P = V * I \rightarrow I = 2000/220 \rightarrow I = 9,10 A$$

El valor de la intensidad nominal del interruptor magnetotérmico a utilizar será:

$$IB \leq IN \leq IZ$$

$$9,10 A \leq IN \leq 24 A$$

El interruptor magnetotérmico tendrá una intensidad nominal de 10 A.

Interruptor diferencial:

Se ha seleccionado un interruptor diferencial de dos polos marca de 25 A con sensibilidad de 300 mA con In 25 A

V.4. Estudio de viabilidad técnica y económica

V.4.1. Costo total del sistema conectado a red

Tabla N° 15: costo del suministro⁶³

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
08 paneles fotovoltaicos ERA SOLAR de 320 Wp	664,38	5 318,40
01 inversor SOLARX Power X1-2.0	2 836,72	2 836,72
01 analizador de red antivertido	2 443,34	2 443,34

⁶³ Elaboración propia

Estructura de fijación para 08 módulos fotovoltaicos	953,68	953,68
Accesorios	200,00	200,00
Instalación y transporte	800,00	800,00
TOTAL		12 552,14

Tabla N° 16: Costo total del sistema propuesto⁶⁴

Descripción	Costo (S/.)
Costo de materiales y mano de obra	12 552,14
montaje	627,61
Subtotal	13 179,75
IGV	2 372,35
Total	15 552,10

V.4.2. Determinación de los indicadores económicos

a) Inversión:

La inversión inicial de S/. 15 552,10 se implementa el sistema de autoconsumo fotovoltaico.

b) Tasa de descuento:

Se considera una tasa del 12,0%

c) Horizonte del proyecto:

Para este proyecto se estima un horizonte de 25 años.

d) Flujo de caja proyectado:

El siguiente flujo de caja nos permitirá, ver los ingresos y egresos del proyecto para un horizonte de 25 años

Los ingresos estará dado por lo que se dejara de pagar a la concesionaria debido a la producción de energía por parte del sistema

⁶⁴ Elaboración propia

fotovoltaico, en la cual se ha considerado un incremento de la energía en 1% para el periodo de proyección

Los egresos esta dado por el mantenimiento además que la vida útil del inversor y del analizador de red antivertido monofásico es de 10 años, lo que significa que en el año 10 y el año 20 se hará un desembolso de: $1,18 \times (2\,836,72 + 2\,443,34) = S/.5\,719,86$.

Se ha considerado un aumento en el costo del kWh de 5,5% anual

Tabla N° 17: Variación mensual del precio del kWh⁶⁵

Mes	Emisión	Precio kWh
201701	5/01/2017	0,59
201702	5/02/2017	0,60
201703	5/03/2017	0,59
201704	5/04/2017	0,59
201705	5/05/2017	0,59
201706	5/06/2017	0,56
201707	5/07/2017	0,56
201708	5/08/2017	0,56
201709	5/09/2017	0,57
201710	5/10/2017	0,58
201711	5/11/2017	0,58
201712	5/12/2017	0,58
201801	5/01/2018	0,59

⁶⁵ ELECTRO ORIENTE S.A.

201802	5/02/2018	0,60
201803	5/03/2018	0,61
201804	5/04/2018	0,62
201805	5/05/2018	0,62
201806	5/06/2018	0,61
201807	5/07/2018	0,62
201808	5/08/2018	0,62
201809	5/09/2018	0,62
201810	5/10/2018	0,62
201811	5/11/2018	0,62
201812	5/12/2018	0,63
201901	5/01/2019	0,63
201902	5/02/2019	0,63
201903	5/03/2019	0,65
201904	5/04/2019	0,64
201905	5/05/2019	0,64
201906	5/06/2019	0,65
201907	5/07/2019	0,65

De la Tabla N° 17 , elaboramos la Tabla N° 18 calcular la variación porcentual anual promedio del precio del kWh

Tabla N° 18: Variación del costo⁶⁶ del kW.h

Año	Costo promedio del kWh	Variación porcentual
-----	------------------------	----------------------

⁶⁶ Elaboración propia

2017	0,58	
2018	0,62	6,40%
2019	0,64	4,70%
Promedio:		5,55%

Tabla N° 19: Flujo de caja⁶⁷

Año	Producción de energía (kW.h)	Costo S./Kw.h	Ingresos (S/.)	Mantenimiento y otros	flujo
					-15600
1	2871,88	0,640	1838,00	100	1738,00
2	2900,60	0,675	1958,49	100	1858,48562
3	2929,32	0,710	2080,99	100	1980,98862
4	3988,47	0,746	2973,80	100	2873,80295
5	2986,76	0,781	2332,06	100	2232,06003
6	3015,48	0,816	2460,63	100	2360,62844
7	3044,19	0,851	2591,22	100	2491,21865
8	3072,91	0,886	2723,83	100	2623,83067
9	3101,63	0,922	2858,46	100	2758,4645
10	3130,35	0,957	2995,12	100	2895,12013
11	3159,07	0,992	3133,80	5819,86	-2686,06
12	3187,79	1,027	3274,50	100	3174,4968
13	3216,51	1,062	3417,22	100	3317,21784
14	3245,23	1,098	3561,96	100	3461,96069
15	3273,95	1,133	3708,73	100	3608,72535

⁶⁷ Elaboración propia

16	3302,66	1,168	3857,51	100	3757,51181
17	3331,38	1,203	4008,32	100	3908,32007
18	3360,10	1,238	4161,15	100	4061,15014
19	3388,82	1,274	4316,00	100	4216,00201
20	3417,54	1,309	4472,88	100	4372,87569
21	3446,26	1,344	4631,77	5819,86	-1188,09
22	3474,98	1,379	4792,69	100	4692,68846
23	3503,70	1,414	4955,63	100	4855,62756
24	3532,41	1,450	5120,59	100	5020,58845
25	3561,13	1,485	5287,57	100	5187,57

De la Tabla N° 19 obtenemos el VAN=S/.3 341,43 y la TIR = 14 % por lo que el proyecto se acepta.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

VI.1. Conclusiones

- a) Se obtuvo los datos de potencia de un analizador de redes modelo PQ Box de donde se obtuvo que la energía promedio diaria es de 16,16 kWh y la máxima demanda es de 1,1 kW.
- b) Se obtuvo los datos de irradiación solar usando el software METEONORM obteniendo que este varía entre 4,93 kWh/m²/día y 5,73 kWh/m²/día, por lo que el recurso solar resulta aplicable para la generación de energía eléctrica.
- c) Se dimensiono el sistema de autoconsumo fotovoltaico el cual estará conformado por 08 paneles fotovoltaicos de 320 Wp, 01 inversor de 2 kW, además de un analizador de red antivertido, la potencia instalada del generador fotovoltaico es de 2,56 kWp.
- d) Se calculo el costo total del sistema propuesto obteniéndose un valor de S/. 15 552,10, Se realizo la evaluación económica con una tasa de 12 % obteniéndose para un horizonte de 25 años un VAN de S/.3 341,43 y la TIR de 14%.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ABB. (2011). *Cuaderno de aplicaciones practicas Nº 10 Plantas Fotovoltaicas*. Obtenido de https://library.e.abb.com/public/e703d99268365a43c125791f002ce826/1TXA007109G0701_CT10.pdf
- 2) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/323588505/LIBRO-Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas>
- 3) 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. (*Tesis de pregrado*). Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10955?show=full>
- 4) Barbera, D. (2011). Obtenido de Introduccion a la energia fotovoltaica: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
- 5) Baron Ortiz, Y. L. (2015). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO. (*Tesis de pregrado*). Bogota. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002153.pdf>
- 6) Camma Aoun, D. O. (2017). “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED PUBLICA EN LA CIUDAD DE PUNO. (*Tesis de pregrado*). Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8594>
- 7) Cornejo Lalupu, H. A. (2013). SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXION A RED DEL CENTRO MATERNO INFANTIL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA. (*Tesis de pregrado*). Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1762/IME_172.pdf
- 8) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/244826352/Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas>
- 9) Espierriz Crespo, M. (2015). ESTUDIO DEL DIMENSIONADO DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR. (*Tesis de pregrado*). Obtenido de https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19005/64006Espierriz_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 10) Guivin Mori, F. J. (2018). *SE INSTALARÁN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN CENTROS DE SALUD E INSTITUCIONES EDUCATIVAS NO*

CONECTADAS A RED EN LA REGIÓN SAN MARTÍN. Obtenido de San
Marín Gobierno Regional:
<https://regionsanmartin.gob.pe/Noticias?url=noticia&id=4789>

- 11) Gutierrez Henao, J. C., & Olaya Betancourt, O. L. (2016). DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO SIN BATERÍAS CONECTADO A UNA RED DE DISTRIBUCION SECUNDARIA. (*Tesis de pregrado*). Bogotá. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21080/42101005_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 12) Joachin Barrios, C. D. (2008). Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a la comunidad Buena Vista, San Marcos. (*Tesis de pregrado*). Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1079_Q.pdf
- 13) Llauca Chozo, A. J. (2016). "IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL RESTAURANTE EL CRUCEÑITO, UBICADO EN EL KM 901, CARRETERA LAMBAYEQUE – PIURA". (*Tesis de pregrado*). Lambayeque. Obtenido de <http://190.108.84.117/bitstream/handle/UNPRG/2671/BC-TES-TMP-1527.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 14) Mesones Abanto, P. F. (2019). Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el Restaurante el "Zarco" ubicado en la ciudad de Cajamarca. (*Tesis de pregrado*). Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/4310/BC-TES-TMP-3132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 15) OSINERMIN. (s.f.). *Energía solar*. Obtenido de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-solar/que-es-la-energia-solar>
- 16) PCPU. (2017). *El desarrollo de la energía solar en el Perú*. Obtenido de GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL: <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>
- 17) Roca, J. (2019). *10 tendencias del mercado fotovoltaico en 2019: se superarán los 100 GW por primera vez*. Obtenido de El periódico energético: <https://elperiodicodelaenergia.com/10-tendencias-del-mercado-fotovoltaico-en-2019-se-superaran-los-100-gw-por-primera-vez/>
- 18) Sánchez, B. (2012). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN PANELES FOTOVOLTAICOS PARA

REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN LA FACULTAD DE INGENIERIA U.C.V. (*Tesis de pregrado*). Caracas. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/4287/1/Tesis%20000020-2012.pdf>

- 19) Sarria, C. A. (2012). SIMULACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICO / BIOGÁS /PROPANO PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE UNA VIVIENDA USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL HOMER. (*Tesis de pregrado*). Santiago de Cali. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/7565/CB-0470365.pdf?sequence=1>
- 20) SUNFIELDS. (s.f.). *Conceptos fundamentales sobre energía solar fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- 21) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP. (*Tesis de pregrado*). Lima. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5447>
- 22) Volt, D. (2010). *Mapas de la radiacion solar del peru*. Obtenido de Atlas solar: <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar>

ANEXOS

ANEXO N°01. RECIBO POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

ANEXO N°02. CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL ANALIZADOR DE REDES

ANEXO N°03. DATOS DE POTENCIA ACTIVA DEL ANALIZADOR DE REDES

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL PANEL FOTOVOLTAICO ERA SOLAR DE 320 Wp

ANEXO N°05. TEMPERATURA MAXIMA Y MINIMA- SENAMHI

ANEXO N° 06. FICHA TECNICA DEL INVERSOR

ANEXO N° 07. FICHA TECNICA DEL CONDUCTOR NH 80

ANEXO N° 08. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED