



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 fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers”.

Autor:

Bach. Niño Ruiz, José Antonio

Asesor:

Lic. Gutierrez Atoche, Egberto Serafin

Lambayeque - Perú
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 fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers”.

Aprobado por el jurado examinador

PRESIDENTE	: M.Sc.Ing. Segundo Abelardo Horna Torres
SECRETARIO	: M.Sc.Ing. Amado Aguinaga Paz
MIEMBRO	: M.Sc.Ing. Fredy Dávila Hurtado
ASESOR	: Lic. Gutierrez Atoche Egberto Serafin

**Lambayeque-Perú
2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA TESIS

“Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers”.

CONTENIDOS	:
CAPITULO I	: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II	: MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III	: MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV	: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN
CAPITULO V	: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO VI	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
CAPITULO VII	: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.
CAPITULO VIII	: ANEXOS

Autor:

Bach. Niño Ruiz, José Antonio

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

**Lambayeque-Perú
2019**

DEDICATORIA

A Dios primeramente por guiarme e iluminarme en cada paso que daba.

A mis padres, en especial a mi madre Maria Ruiz Ramos por su sacrificio, dedicación, cariño y sobre todo por los valores brindados.

Mi madre es el motivo para seguir a delante y poder cumplir esta meta.

A mis hermanas Jackeline y Cynthia por estar conmigo siempre aconsejándome y brindándome su apoyo constante.

Esta meta no es solo mío si no de todas las personas que me acompañaron en esta gran etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme lograr esta meta y sobre todo por guiarme en el camino correcto.

A mi asesor, Lic. Gutiérrez Atoche Egberto por su tiempo y sus consejos a lo largo de esta etapa. Gracias a su experiencia, paciencia, la elaboración de esta tesis se pudo llevar a cabo.

A todos los ingenieros y compañeros de la facultad de Ing. Mecánica y Eléctrica. que siempre me brindaron su apoyo a lo largo de mi vida universitaria.

RESUMEN

El presente proyecto muestra el dimensionamiento y selección para un sistema solar fotovoltaico conectado a la red con inyección 0 para la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS ubicado en la Carretera Antigua Panamericana Norte KM 38 CPM la Viña, distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque. Desarrollado con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica para la empresa de manera que se aproveche las fuentes de energía renovable en este caso la energía generada por el sol, contribuyendo con el medio ambiente para evitar el consumo de combustibles fósiles.

el análisis del potencial solar fue determinado a partir de los datos de NASA, ATLAS SOLAR DEL PERU y SENAMHI, con cuyos datos se logra determinar la cantidad de energía anual que producirá nuestra instalación fotovoltaica.

finalmente, podemos determinar la viabilidad económica del proyecto mediante un análisis económico con las variables valor actual neto (VAN), tasa interna de Rentabilidad (TIR) y el Periodo de recuperación (PR).

Palabras claves

sistema solar fotovoltaico, potencial solar, solar.

ABSTRACT

The present project shows the sizing and selection for a photovoltaic solar system connected to the grid with injection 0 for the company EXOTIC PRODUCERS AND PACKAGERS located in the Highway Panamericana Norte Norte KM 38 CPM la Viña, district of Jayanca, department of Lambayeque. Developed in order to reduce the consumption of electric energy for the company so as to take advantage of renewable energy sources in this case the energy generated by the sun, contributing to the environment to avoid the consumption of fossil fuels. The analysis of the solar potential was determined from the data of NASA, ATLAS SOLAR DEL PERÚ and SENAMHI, with our data we will be able to determine the amount of annual energy that our photovoltaic installation will produce. Finally, we can determine the economic viability of the project through an economic analysis with the variables Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and the Recovery Period (PR).

Key words:

Photovoltaic solar system, solar potential, solar.

INDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
INDICE	8
INDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE FIGURAS	11
INTRODUCCION	12
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1. Ubicación política.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS	17
1.5. LIMITACIONES DE LA TESIS	17
1.6. OBJETIVOS DE LA TESIS	18
1.6.1. Objetivo general.....	18
1.6.2. Objetivos específicos	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS	19
2.1.1. Contexto Internacional.....	19
2.1.2. Contexto Nacional	20
2.1.3. Contexto Local.....	21
2.2. DESARROLLO DE LA TEMÁTICA CORRESPONDIENTE AL TEMA DESARROLLADO	22
2.2.1. Radiación solar	22
2.2.1.1. Unidades de medida de la radiación solar.....	22
2.2.1.2. Constante solar	23
2.2.1.3. Tipos de radiación solar	23
2.2.1.4. Horas de sol pico (H.S.P.)	24
2.2.2. Energía fotovoltaica	24
2.2.3. Sistema fotovoltaico	26
2.2.3.1. Componentes básicos de un sistema fotovoltaico aislado.	26
2.2.3.2. Clasificación de un sistema fotovoltaico.....	27
2.2.4. Modulo fotovoltaico.....	30
2.2.5. Conexionado de módulos	31
2.2.6. Inclinação de módulos fotovoltaicos	34
2.2.7. Estructura de soporte	35
2.2.8. El regulador	36
2.2.9. El inversor.....	38
2.2.10. Acumulador o baterías.....	39
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	40
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.3. HIPÓTESIS.....	40

3.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	41
3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	42
3.6.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	42
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE DATOS	44
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN		45
4.1.	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.	45
4.2.	UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN	45
4.2.1.	Ubicación política.....	45
4.2.2.	Ubicación Geográfica	46
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....		48
5.1.	ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.	48
5.2.	EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.	52
5.2.1.	Método de Hargreaves y samani.	53
5.2.2.	Cálculo de la radiación horaria mensual: ²⁸	53
5.2.3.	Energía fotovoltaica generada: ²⁸	54
5.3.	COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	57
5.3.1.	Paneles Fotovoltáicos.....	57
5.3.2.	Orientación de los paneles.	57
5.3.3.	Inclinación de los paneles.....	58
5.3.4.	Distancia entre paneles.	58
5.3.5.	Cálculo del número de paneles.	59
5.3.6.	Estructura de soporte.	60
5.3.7.	Inversor.....	60
5.3.7.1.	Tensión y corriente en el punto de máxima potencia.....	61
5.3.7.2.	Corrección de la tensión y corriente debido a la temperatura.	62
5.3.7.3.	Corrección de la tensión de máxima potencia.	66
5.3.8.	Inversor Elegido.....	68
5.3.9.	Cableado	69
5.3.9.1.	Selección del tipo de cable.	72
5.3.10.	Puesta a tierra.	73
5.3.11.	Protecciones.....	74
5.3.11.1.	Protecciones en corriente continua.....	75
5.3.11.2.	Protecciones en CA:.....	77
5.4.	ENERGÍA ANUAL GENERADA	78
5.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	78
5.5.1.	Presupuesto de la instalación.....	79
5.5.2.	Valor actual neto (VAN):	80
5.5.3.	Tasa interna de retorno (TIR):	80
5.5.4.	Periodo de recuperación.....	81
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		83
6.1.	CONCLUSIONES.....	83
6.2.	RECOMENDACIONES.....	84
CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		85
CAPITULO VIII: ANEXOS		87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variables	41
Tabla 2: Potencia de equipos eléctricos.....	49
Tabla 3: Potencia promedio mensual.	50
Tabla 4: Estación Meteorológica	52
Tabla 5: Irradiación global horizontal (kWh/m ² /día).....	54
Tabla 6:Temperatura media promedio en Jayanca.	55
Tabla 7: Irradiación global horizontal (kWh/m ² /día) 2018	55
Tabla 8: Irradiación horaria mensual corregida 2018.....	56
Tabla 9: Energía fotovoltaica generada.	57
Tabla 10:Temperatura máxima y mínima en Jayanca 2018	62
Tabla 11: Resumen para la elección del inversor	68
Tabla 12:Características de entrada del inversor SIRO K100.....	68
Tabla 13: Tramos del sistema fotovoltaico.	70
Tabla 14:Sección del conductor en los tramos de la instalación fotovoltaica.	71
Tabla 15: Sección de conductores seleccionados.....	72
Tabla 16:Tabla de datos técnicos NH-80.....	72
Tabla 17: Energía fotovoltaica generada.	78
Tabla 18: Presupuesto.....	79
Tabla 19: Datos para evaluar la rentabilidad.....	81
Tabla 20:Flujo de caja.	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS	16
Figura 2: Tipos de radiación.....	24
Figura 3: Efecto fotovoltaico.....	25
Figura 4:Componentes básicos de un sistema fotovoltaico	27
Figura 5: Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.	28
Figura 6:Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	29
Figura 7:Esquema de un sistema hibrido	30
Figura 8:Características de un panel solar.	31
Figura 9: Conexión de paneles en serie.	32
Figura 10:Conexión de paneles en paralelo.	34
Figura 11: Estructura soporte fija.	35
Figura 12:Estructura de soporte móvil.	36
Figura 13:Regulador de carga.	37
Figura 14: Esquema general de una instalación autónoma con inversor.	38
Figura 15:Acumulador o batería.....	39
Figura 16:Ubicación Política.....	46
Figura 17: Ubicación del sistema solar fotovoltaico.	47
Figura 18: EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS	47
Figura 19: Energía consumida mensual.	48
Figura 20: Diagrama de carga mensual.....	51
Figura 21: Ubicación de la estación meteorológica.	52
Figura 22: Distancia entre filas de paneles.....	59
Figura 23: Dimensiones del panel BAUER ENERGY	60
Figura 24:Tem. de célula.....	67
Figura 25:Imagen del sistema FV	70

INTRODUCCION

En la actualidad el consumo de energía eléctrica ha aumentado y con ello el consumo de combustible fósiles, ocasionando un impacto en el medio ambiente este puede verse reflejado a través de diversas consecuencias como son: el calentamiento global, la desertización, sequia, etc.

Esto da lugar a que busquemos nuevas alternativas de solución, como en este caso son el uso de energías limpias, energías que no contaminan; energías renovables.

Por ello que en el Perú la política nacional energética tiene como uno de sus 9 objetivos “Contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética”, por ello que es esencial el uso de energías no convencionales para promover el cuidado del medio ambiente, a través de la generación de energía eléctrica.

En la industria y en la sociedad el uso de la energía eléctrica es fundamental tanto para su desarrollo económico y social del país, debido a esto es de gran importancia estudios de generación de energía eléctrica a través de fuentes no convencionales.

por ello que el presente estudio busca la generación de energía eléctrica a través del diseño de un sistema fotovoltaico, el cual estará conectado a la red con inyección 0, en la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS ubicado en la Carretera Antigua Panamericana Norte KM 38 CPM la Viña, distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque.

En los capítulos siguientes, se diseña el sistema fotovoltaico, haciendo uso de metodología para la evaluación de la potencial solar en la zona de emplazamiento, también se dimensionan los componentes para la instalación.

Por último, se verifica la viabilidad económica a través de las variables económicas la rentabilidad económica. se mostrará también la energía generada en un año y algunas recomendaciones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

El aumento de la población y la utilización de nuevas tecnologías aumenta la demanda eléctrica mundial y esto de la mano con el crecimiento de la huella de carbono a causa de la utilización de combustibles fósiles para su generación.

Por ello en países europeos como Alemania, Holanda, España y otros donde el uso de turbinas eólicas en instalación de parques eólicos está en su máximo desarrollo, puesto que cuentan con las características geográficas y condiciones climáticas adecuadas.

Para el caso del uso de celdas fotovoltaicas tenemos tres mercados más importantes China, Estados Unidos e India, que suponen alrededor del 70% de la demanda mundial de energía solar.¹

Mostrando también un avance en cuanto a normativa técnica y tarifaria en los países antes mencionados, las cuales muestran especificaciones concretas que deben cumplir las tecnologías de generación distribuida para que estas accedan a las redes del sistema eléctrico.

En cuanto al Perú actualmente la producción de energía eléctrica mediante fuentes renovables presenta una presencia muy limitada en el SEIN, en agosto del 2018 la energía generada mediante plantas eólicas y solares fue de 2.3% y 3.3% respectivamente. Sobre la potencia instalada en el 2017 encontramos que las plantas eólicas y solares representaron: 2.03% y 0.8% respectivamente.

¹ José A. R.(2018) Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: China, India y EEUU arrasan.
Recuperado de : <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

También podemos encontrar que el Sistema eléctrico interconectado nacional - SEIN, concentra las plantas de generación en la zona centro (53%) esto ocasiona un desaprovechamiento de recursos renovables en la zona norte (8%) y sur (39%). Cuyas cifras nos muestran la falta diversificación de la matriz energética uno de los objetivos de la política nacional energética.

El Perú cuenta con una variada topografía, clima y alto potencial de energía renovable, siendo entre estas eólica, solar e hidráulica. Con el paso del tiempo el precio del petróleo ha ido en aumento y las consecuencias de la quema de hidrocarburos han tenido el calentamiento global, para lo cual el gobierno del Perú y el Ministerio de Energía y Minas está promoviendo la diversificación de la matriz energética en el País.²

Se tiene conocimiento de que el nivel de recurso eólico y solar en el Perú no es tan elevado como en otros países; no obstante, a lo largo de toda la costa existen zonas con potencial eólico y solar elevado, como por ejemplo Piura, Arequipa, Morrope, Pimentel, entre otros.

Por todo lo anterior planteado se plantea la necesidad de analizar de forma detalla las posibles soluciones siendo una de ellas desde el aspecto de rentabilidad la generación de energía no convencional aprovechando los recursos renovables aun no explotados en nuestro país.

1.2. Formulación del problema

El uso de energía eléctrica en el sector industrial es fundamental y cada vez mayor con el uso de nuevas tecnologías, las cuales facilitan el proceso productivo. Por lo tanto, se busca el uso de generación eléctrica mediante

² (Minem. (2008). Atlas eólico del Perú, p.4)

medios no convencionales desde el punto de vista económico y ambiental, es la mejor alternativa.

Por tal motivo se planteó: ¿El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa exotic's producers & packers?

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Ubicación política

Empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS, Carretera Antigua Panamericana Norte KM 38 CPM la Viña, distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque.



Figura 1: Ubicación de la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS

Fuente: Google earth

1.4. Justificación e Importancia de la Tesis

El aumento de la demanda eléctrica en el Perú es sinónimo de desarrollo, por ello se buscan nuevas estrategias para poder abastecer el incremento de esta demanda, como el uso de energías no convencionales. El uso de esta tecnología al estar cerca a los centros de consumo hace que los costos de transmisión y distribución se eviten. Volviéndose esta aún más atractiva y rentable.

Con la implementación de un sistema fotovoltaico se disminuirá los daños al medio ambiente, disminuyendo indirectamente el consumo de combustibles fósiles utilizados para la generación de energía eléctrica.

Promoverá una conciencia ambiental al utilizar energía no convencional, preocupándonos así por el futuro del medio ambiente, haciendo que otras empresas tomen la iniciativa siendo este método de bajo índice de mantenimiento, rentable y probado en otros países.

Disminuirá el consumo de energía eléctrica convencional promoviendo y aprovechando el potencial de los recursos renovables de la zona del proyecto.

Este tipo de estudios son importantes porque permiten ver alternativas de solución para la generación de energía eléctrica y a la vez que esta pueda llegar cada vez más lejos.

1.5. Limitaciones de la Tesis

Escasa bibliografía sobre el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

Por otra parte, con respecto a los datos de radiación solar la falta de estaciones meteorológicas profesionales, por ellos nos hemos limitado a

usar la base de datos de NASA, ATLAS SOLAR del SENAMHI; siendo esta la fuente más próxima.

1.6. Objetivos de la Tesis

1.6.1. Objetivo general

Proponer el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa exotic's producers & packers

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar el potencial solar en la zona de ubicación de la empresa.
- Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.
- Análisis de rentabilidad del sistema fotovoltaico para determinar el uso parcial o total del mismo.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. Contexto Internacional

Según Iván Alejandro López Zumarán (2013) en su tesis titulado “ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ÁREA DEL ESTACIONAMIENTO DEL CIERMAD”. En esta tesis se plantea el uso de la energía solar para mejorar la eficiencia energética del centro. En sus conclusiones manifiesta lo siguiente: Con la instalación se amortizará parte del consumo energético del CIERMAD, en específico la iluminación de exteriores ya que se prevé será de 35.620 kW.³

Se definen conceptos importantes y fundamentos teóricos acerca de equipos que utilizan en la instalación fotovoltaica, utiliza bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. Además, este tipo de estudios permite dar mayor confianza al uso de fuentes alternativas de energía eléctrica como es la fotovoltaica dando en este estudio una rentabilidad aceptable.

Según Gustavo G.G, Juan C.Z.M y Édison F.E.P (2014) en su tesis titulada “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN LA COMUNA PUERTO ROMA DE LA ISLA MONDRAGÓN DEL GOLFO DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DE GUAYAS”. En esta tesis se plantea analizar diseñar e implementar un sistema que permita la utilización de la energía solar para suplir una de las necesidades

³ Ivan A.L.Z (2013). Estudio de viabilidad y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el área de estacionamiento del ciernad, Chihuahua ,México.

básicas en la comuna Puerto Roma, de la Isla Mondragón. En sus conclusiones manifiesta lo siguiente: se implementó el sistema de la utilización de la energía solar en una comuna de la localidad.⁴

La significancia del trabajo mencionado es que muestra resultados de la implementación del sistema de energía solar en tiempo real, dando así mayor valor a los resultados obtenidos en su estudio, esto prueba nuevamente que el uso de nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica en este caso la energía solar, garantizan tener una rentabilidad aceptable, además de tener un impacto ambiental totalmente necesario para disminuir la contaminación ambiental por el consumo de energía convencionales.

2.1.2. Contexto Nacional

Paul.S.A.M Y Edwinds.A.F.M (2016). "DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR -CHIMBOTE PERÚ". En esta tesis se plantea dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo en la plataforma de descarga de la pesquera Exalmar Chimbote para reducir el consumo de combustible. En sus conclusiones manifiesta lo siguiente:⁵

Se determinó la disminución del consumo o su equivalente 2,4 Gal /h de Diesel B5 del GG.EE. FG Wilson P40-3S, lo cual significa un costo de anuales que se dejaron de gastar con la implementación de este proyecto.

⁴ Según Gustavo G.G, Juan C.Z.M y Édison F.E.P (2014). Estudio, Diseño E Implementación De Un Sistema De Energía Solar En La Comuna Puerto Roma De La Isla Mondragón Del Golfo De Guayaquil, Provincia De Guayas. Guayaquil, Ecuador.

⁵ Paul.S.A.M Y Edwinds.A.F.M (2016). "Dimensionamiento De Un Sistema Fotovoltaico Autónomo Para Reducir El Consumo De Combustible En La Plataforma De Descarga De La Pesquera Exalmar -Chimbote Perú" (p.94). nuevo Chimbote, Perú.

Con la instalación del sistema fotovoltaico se obtiene una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero que son: 17,96 Ton de CO₂; 0,729 Ton de CH₄; 0,145 Ton de N₂O al año que se dejarán de emitir al medio ambiente.

Se realizó la evaluación técnico-económica del proyecto obteniendo los siguientes valores: un tiempo de retorno de la inversión de 3,42 años, un TIR de 26 % y finalmente un VAN de S/. 47 007,82 lo cual es un VAN > 0 que es lo que demuestra que el proyecto es viable.

Las conclusiones anteriormente mencionadas muestran, el impacto tanto en la rentabilidad, ambiental y confiabilidad que tiene una instalación fotovoltaica.

2.1.3. Contexto Local

JONY V.C. (2014). "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE". En esta tesis se plantea: Establecer un Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Fotovoltaica como instrumento de Planificación Técnica Económica para localidades remotas no-electrificadas, las cuales quedan fuera del plan de electrificación por ampliación de redes convencionales, que defina las medidas para electrificación rural sostenible con dicha energía renovable y transferencia técnica de promoción de la electrificación en base a dicho Plan Maestro. En sus conclusiones manifiesta lo siguiente: El presente Plan Maestro permitirá suministrar con servicio eléctrico sostenible, mediante energía fotovoltaica reduciendo a largo plazo el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, mejorando la calidad de vida a un total de 127 localidades beneficiadas, incluyendo un

total de 2006 conexiones, con una inversión total de S/. 12 116 870,28 nuevos Soles.⁶

En el anterior proyecto se muestra un plan maestro en el cual una de las localidades a la cual se ve beneficiada es Jayanca, promoviendo así el uso de energías no convencionales para poder electrificar lugares lejanos, esto a su vez beneficia el medio ambiente.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Radiación solar

La radiación solar es la energía electromagnética emitida por los procesos de fusión del hidrógeno contenido en el sol; dicha energía no alcanza la superficie terrestre de modo constante, su cantidad varía durante el día, de estación a estación y depende de la nubosidad, del ángulo de incidencia y de la reflectancia de las superficies. La radiación que un metro cuadrado de una superficie horizontal recibe es conocida como radiación global y es el resultado de la suma de la radiación directa, de la radiación dispersa o difusa y de la radiación reflejada.⁷

2.2.1.1. Unidades de medida de la radiación solar⁸

La radiación solar, se mide en unidades de energía por tiempo y por área, que alcanza la superficie terrestre. A esta magnitud se la denomina Irradiancia, y está representada por la letra ($I = E/t \cdot A$). La relación entre la Energía y el tiempo es la potencia ($P = E/t$).

⁶ JONY V.C. (2014). Plan Maestro De Electrificación Rural Con Energía Fotovoltaica En La Región Lambayeque, Lambayeque, Perú. (p.11,40).

⁷ <http://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar>

⁸ <http://www.mundorespuestas.com/2013/04/en-que-unidades-se-mide-la-radiacion.html>

Por lo tanto: La unidad para la potencia es el Watio [W] y para el área es el metro cuadrado [m²], por lo que la irradiancia se mide en: $I=W/m^2$

2.2.1.2. Constante solar

Se define como constante solar a la cantidad de energía solar (W/m²) que incide perpendicularmente en la cima de la atmósfera (extraterrestre) a la distancia media Tierra-Sol. Su valor medio es de 1367.7 W/m² pero este puede variar ligeramente, 0.1% a 0.2%, respecto de su valor central.

2.2.1.3. Tipos de radiación solar

Existen tres tipos de Radiación solar, difusa, directa y reflejada y a su vez la radiación global que es la suma de las tres. La radiación directa es la que llega directamente del sol, mientras que la radiación difusa es el efecto generado cuando la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera de la Tierra se dispersa de su dirección original a causa de moléculas en la atmósfera. Del total de luz removida por dispersión en la atmósfera (aproximadamente un 25% de la radiación incidente), cerca de dos tercios finalmente llegan a la tierra como radiación difusa) y la reflejada, como su nombre indica, es aquella reflejada por la superficie terrestre. La radiación directa existe solo cuando el sol es visible. En invierno la radiación difusa es mucho mayor en porcentaje y en base anual, es equivalente al 55% de la global.

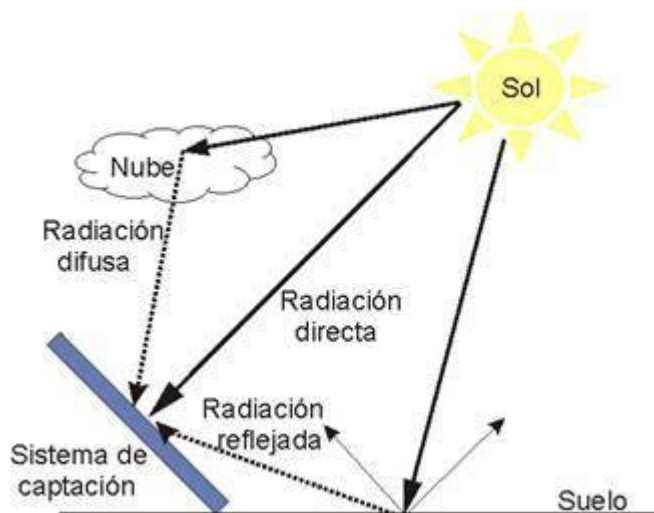


Figura 2: Tipos de radiación
Fuente:⁹

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

Al calcular la producción de un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta las horas solar pico. Las cuales se definen como el número de horas al día con una irradiancia ficticia de 1000 W/m^2 . Este valor va directamente relacionado con la capacidad que nos va a generar un panel solar al día.

Por ejemplo: Cuando se compra un panel nos pone la potencia en Wattio pico (Wp), en este caso será de 300 W a manera de ejemplo; es la energía será obtenida del panel después de irradiarle una energía de 1000 W/m^2 .

O sea que, si el sol estuviera dando ahora mismo 1000 W/m^2 , la placa daría 300 W.

2.2.2. Energía fotovoltaica¹⁰

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y renovable que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones,

⁹ <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

¹⁰ <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

generando una corriente eléctrica. Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18% y un 20% de media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16% y el 17,5%. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8% y un 9%) pero también un precio menor.



Figura 3: Efecto fotovoltaico.

Fuente:¹¹

¹¹ <https://www.areatecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica.htm>

2.2.3. Sistema fotovoltaico ¹²

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.

2.2.3.1. Componentes básicos de un sistema fotovoltaico aislado.

Entre los componentes básicos de un sistema fotovoltaico tenemos:

- **Módulos solares.**
- **Controlador de carga.**
- **Baterías.**
- **Inversor.**

¹² <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>

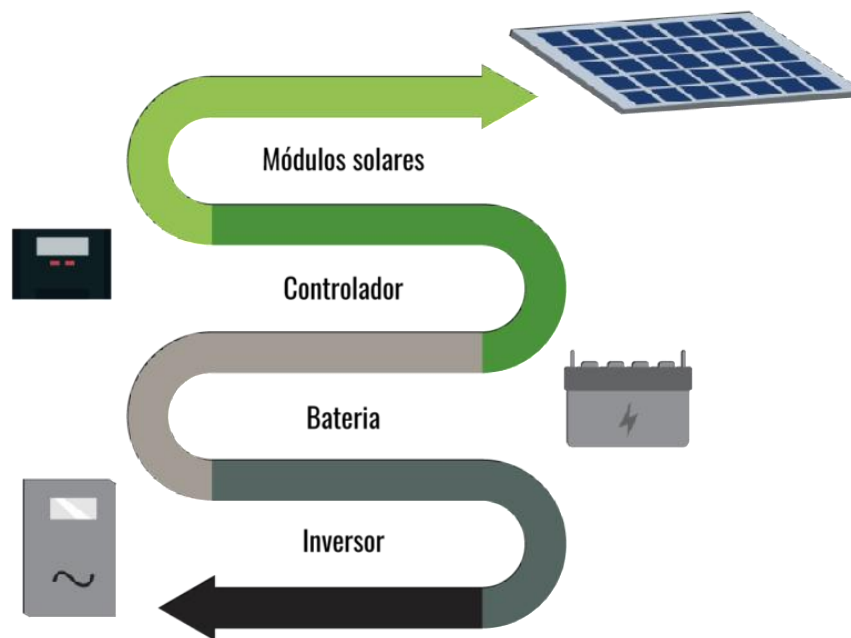


Figura 4: Componentes básicos de un sistema fotovoltaico
Fuente:¹³

2.2.3.2. Clasificación de un sistema fotovoltaico¹⁴

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de la mismas: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; esta última, de gran superficie, se está utilizando como superficie de terminación e imagen en el edificio.

¹³ <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>

¹⁴ https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D14982%2526SID%253D530%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D14974,00.html

Instalaciones aisladas de la red

Se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

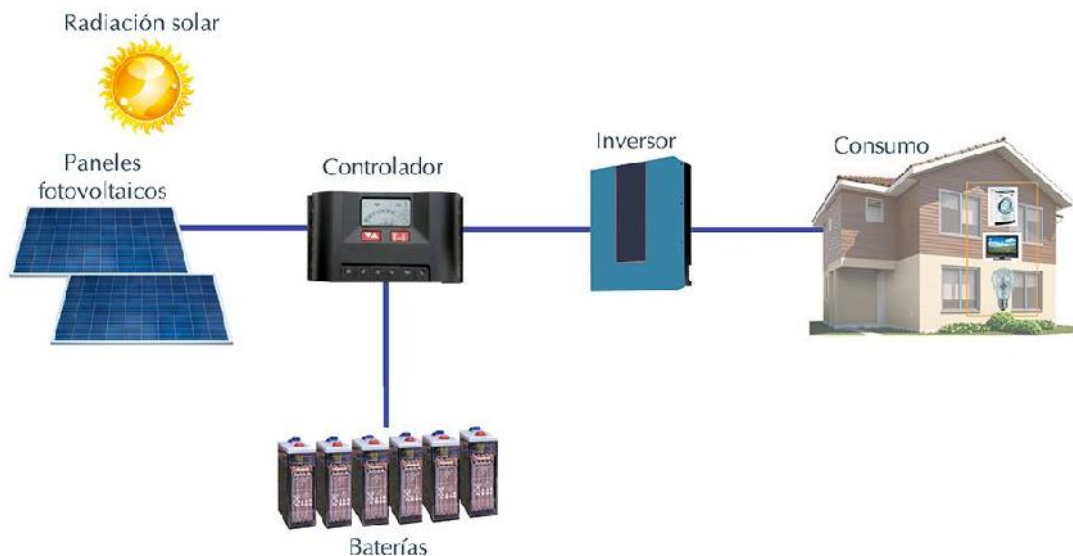


Figura 5: Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.
Fuente:¹⁵

- **El sistema centralizado**

Consiste en un único gran sistema que cubre las necesidades de un conjunto de usuarios. La ventaja es disminuir los costos del sistema manteniendo la calidad del suministro.

- **El sistema descentralizado**

Consiste en la instalación de un sistema individual completo en cada vivienda para cubrir sus necesidades; al contrario del anterior, este tiene un mayor costo.

¹⁵ <https://bester.energy/blog/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/>

Instalaciones conectadas a la red

En este caso, la red pública actúa como un disipador de energía infinita y acepta toda la energía disponible del sistema fotovoltaico, tanto de centrales fotovoltaicas como de los instalados en viviendas y edificios. Este sistema requiere de condiciones de funcionamiento diferentes a la solución aislada, no necesita de subsistema de almacenamiento, y el sistema de regulación cumple la función de indicar al inversor de energía la disponibilidad en cada momento en los paneles (el punto de máxima potencia); este sistema conlleva, además, un beneficio económico: "huertos solares".

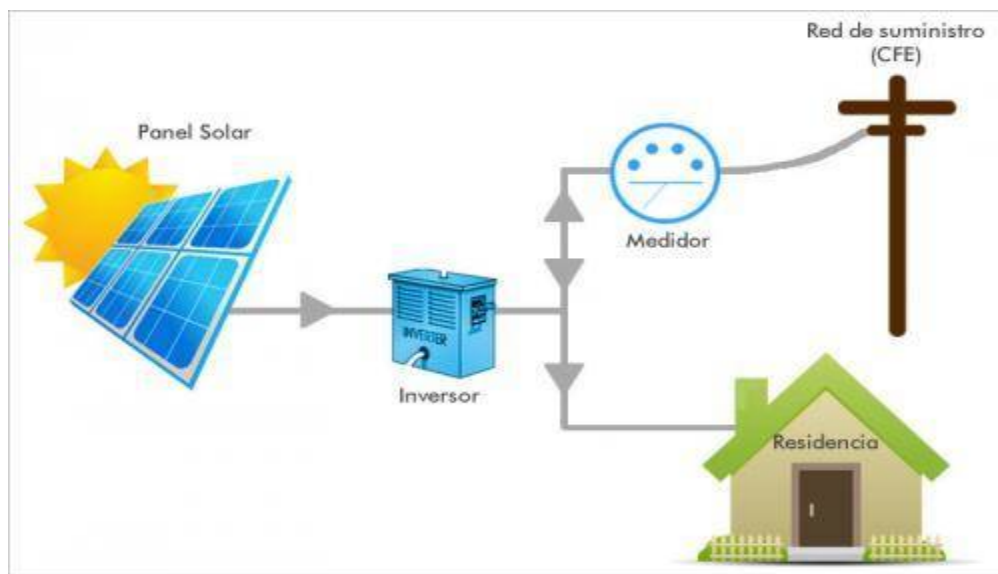


Figura 6: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.
Fuente:¹⁶

Instalaciones Híbridas

Son aquellas que combinan los módulos fotovoltaicos con una o más fuentes energéticas auxiliares, como pueden ser los aerogeneradores, o los motores Diesel. Este sistema es más fiable

¹⁶ <https://ccee.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/equipos-que-conforman-un-sistema-interconectado-a-la-red>

que los anteriores, ya que, al disminuir la captación y generación de electricidad del sistema fotovoltaico, el suministro no se ve comprometido al ser complementado por otro tipo de generación ya sea renovable o no renovable.

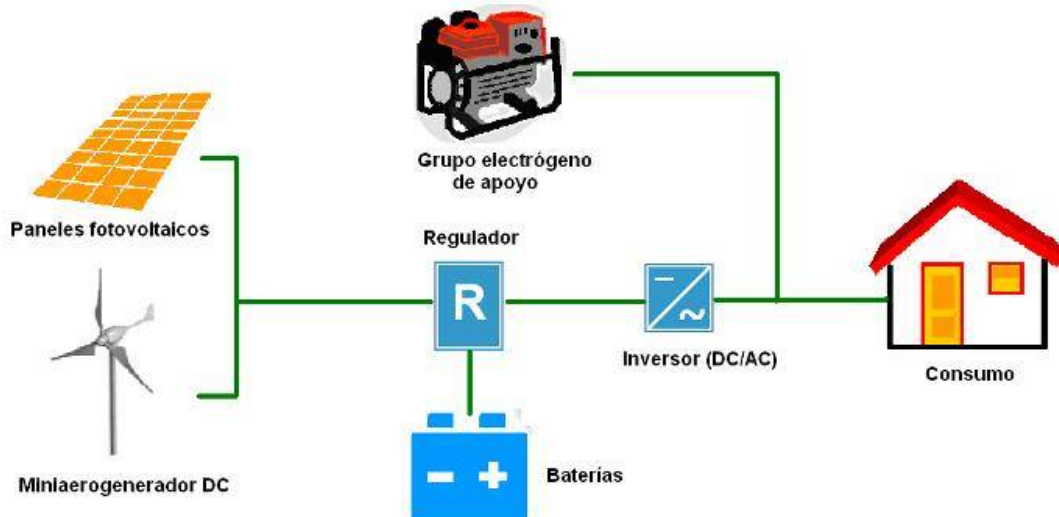


Figura 7: Esquema de un sistema híbrido

Fuente:¹⁷

2.2.4. Módulo fotovoltaico.

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

¹⁷ <https://www.barloventorecursos.com/es/destacados/micro-renova-calculo-energetico-y-operacion-de-sistemas-hibridos-de-pequena-potencia>

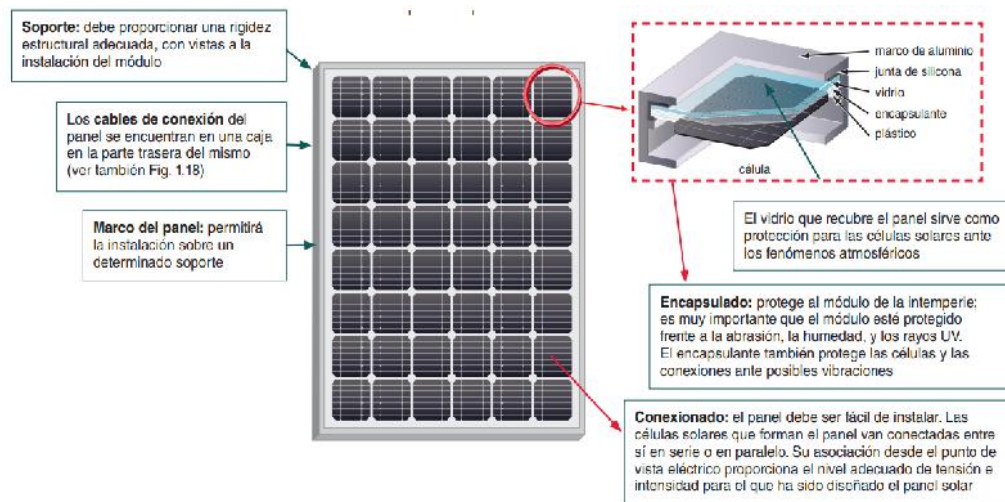


Figura 8: Características de un panel solar.

Fuente: Artículo sobre los componentes en instalaciones fotovoltaicas PDF (España)

2.2.5. Conexiónado de módulos¹⁸

En todo sistema solar que se componga de más de un panel siempre surgen las dudas de cómo se conectan los mismos al resto de la instalación. Es muy tentador conectar todos los paneles uno después de otro con el fragmento de cable y el conector que incluyen ya que encaja perfectamente. Tenemos que tener en cuenta que si no atendemos a los requerimientos de la instalación, el regulador de carga se puede estropear o bien no hará bien su trabajo por no tener el rango requerido de voltaje o pasarnos de intensidad.

¹⁸ <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>

- **Conexión en serie:**

Es el método de conexión más sencillo, únicamente hay que conectar el terminal positivo del primer panel con el negativo del siguiente panel. Podemos apreciar que encajan a la perfección y el resultado es que nos queda un terminal negativo en un extremo y un terminal positivo en el panel que está al final de la serie. Éstos son los que debemos conectar a la entrada del regulador de carga. En esta situación sumamos el Voltaje y mantenemos la Intensidad como podremos ver en el dibujo adjunto. Hay que tener en cuenta que nunca hay que superar el voltaje para el que está diseñado el regulador de carga o el inversor de red al que conectemos esta serie de paneles. Es el método de conexión utilizado para usar paneles de menor voltaje en una instalación que requiere una mayor tensión. Por ejemplo, paneles de 12V en kits de **24V o de 48V y sobre todo en conexiones a red.**

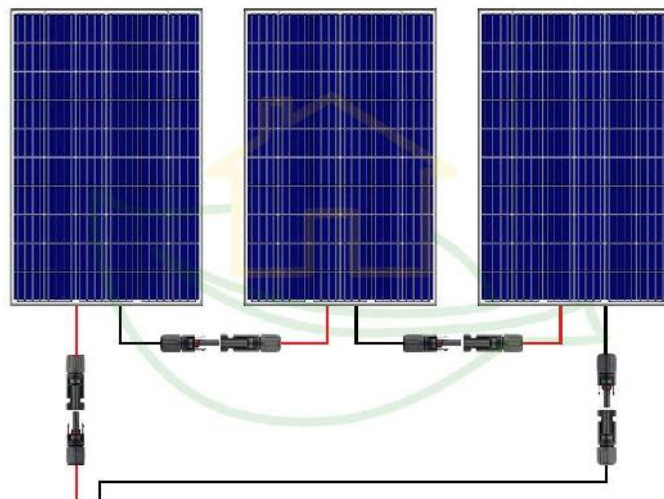


Figura 9: Conexión de paneles en serie.

Fuente: ¹⁹

¹⁹ <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>

Ejemplo:

3 paneles Solares de 320W y 24V (V_{mp} : 36.8V y 8.7A)

La serie produce 960W a 110.4V y 8.7A. Para la limitación en el regulador hay que tener en cuenta el Voc que es de 45.3V por panel. La serie genera 135.9V, muy próximo a los 145V que soportan la mayoría de MPPT del mercado.

• Conexión en paralelo:

En la conexión en paralelo necesitamos de una serie de componentes adicionales para realizar una conexión estanca y duradera. Para instalaciones pequeñas de 2 o 3 paneles pueden interesar los conectores MC4 con sendas entradas para hacer los paralelos, pero por mayor compatibilidad y posibilidades de ampliación recomendamos los repartidores de corriente que podemos situar en la estructura bajo los paneles y dentro de una caja estanca. Este repartidor nos permite hacer paralelos de hasta 12 paneles con únicamente un destornillador y pelando un poco el cable. Esta conexión no incrementa el voltaje de salida de los paneles y únicamente suma intensidades. Es el tipo de conexión requerida cuando en paneles tenemos la misma tensión que en baterías y el controlador de carga PWM. Consiste en juntar todos los cables positivos que provienen de todas las placas y por otro lado juntar todos los negativos. Los cables que agrupan todos los paneles son los que hay que conectar a la entrada del regulador de carga y para ello hay que utilizar un cable de mayor sección puesto que la superior intensidad nos obliga a ello.

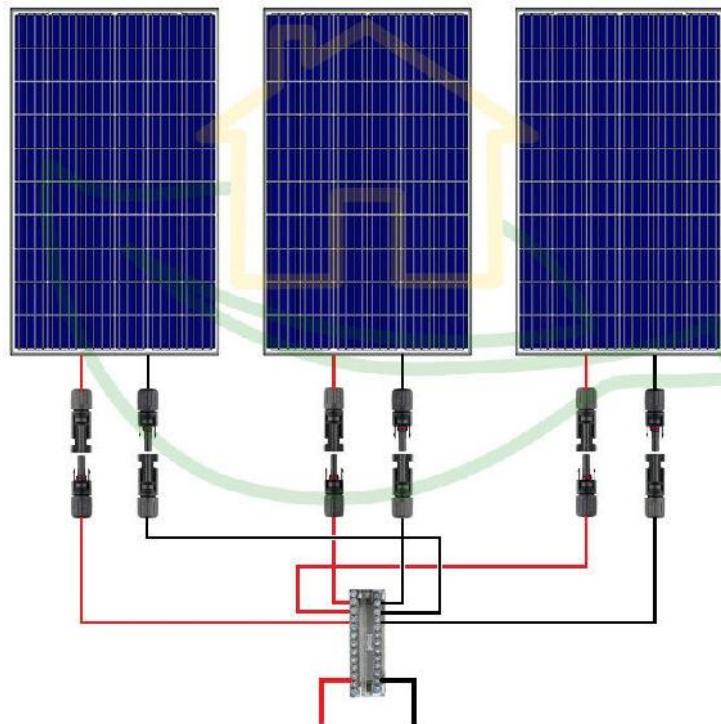


Figura 10: Conexión de paneles en paralelo.

Fuente: ²⁰

Ejemplo:

3 paneles Solares de 200W a 12V y 11.13A de corriente

El paralelo produce 600W a 12V con 33.39A.

2.2.6. Inclinação de módulos fotovoltaicos²¹

En el Perú, la irradiación promedio es una de las más altas del mundo.

Muchos de los paneles solares se colocan inclinados para recoger mejor la irradiación solar, la cantidad óptima de energía se recoge cuando el panel está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de la latitud.

El ángulo debería ser de por lo menos 15° para asegurar que el agua de las lluvias discurra fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo. A latitudes

²⁰ <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>

²¹ JAMES P.C.G.(2019).ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL SELECCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO UTILIZANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DESTINADO A RIEGO, CONSUMO HUMANO Y ANIMAL, EN LA LOCALIDAD DE LA CARRECILLA, DISTRITO DE PUCALÁ.Lambayeque,Perú.

mayores ($> 30^\circ$ norte o sur) los paneles están inclinados más sobre el ángulo de latitud para tratar de nivelar las fluctuaciones por estaciones.

2.2.7. Estructura de soporte²²

Los módulos fotovoltaicos precisan estructuras **estables, rígidas y durables** que soporten el desgaste climatológico, la fuerza del viento, el peso de la nieve y otras condiciones igualmente adversas. Por eso los soportes para placas solares son una pieza fundamental para las instalaciones solares fotovoltaicas, que sin embargo suele ser bastante denostadas.

Tipos de soportes para módulos fotovoltaicos

- **Estructuras fijas:** muy utilizadas en el ámbito de los módulos fotovoltaicos planos. Dotan a los paneles de ángulos fijos, determinados por la latitud del lugar, que maximizan la eficiencia de la instalación. Existen modelos para tejado, pared, suelo, poste e inclusive con integración arquitectónica.



Figura 11: Estructura soporte fija.

Fuente:²³

²² <http://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

²³ <http://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

- **Estructuras móviles:** su concepción es bastante distinta, gracias a uno o dos ejes móviles consiguen aumentar la captación solar de los módulos fotovoltaicos realizando un seguimiento del Sol (una forma similar al proceder de los girasoles, por ejemplo). Obviamente esta movilidad requiere de un consumo eléctrico y su mayor complejidad mecánica también conlleva más operaciones de mantenimiento.



Figura 12: Estructura de soporte móvil.

Fuente:²⁴

2.2.8. El regulador²⁵

Se encarga de conectar y desconectar el panel fotovoltaico, dependiendo de si la batería está cargada o descargada. Además, deja al panel fotovoltaico en circuito abierto cuando debe desconectarlo. Es usado en sistemas aislados de la red.

Los reguladores deben cumplir estas funciones:

- Limitar la carga de la batería.

²⁴ <http://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

²⁵ Texto Base para formación ocupacional en Instalación de Sistemas Fotovoltaico Domiciliarios (SENCICO).

- Tener protecciones contra: sobre intensidad, polaridad inversa, corto circuito, y diodo de bloqueo, el cual previene la descarga de la batería durante la noche.
- Indicadores (LED's) o una pantalla que informa sobre el estado de carga de la batería.
- Controlar la descarga, para que la batería no se descargue totalmente y se dañe.

El regulador contribuye a disminuir la descarga de la batería para que no se dañe. Mantiene el nivel de carga normalmente no menor al 40% de su capacidad de carga.



Figura 13:Regulador de carga.

Fuente:²⁴

2.2.9. El inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 220 V ,380 de valor eficaz y una frecuencia de 60 Hz.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

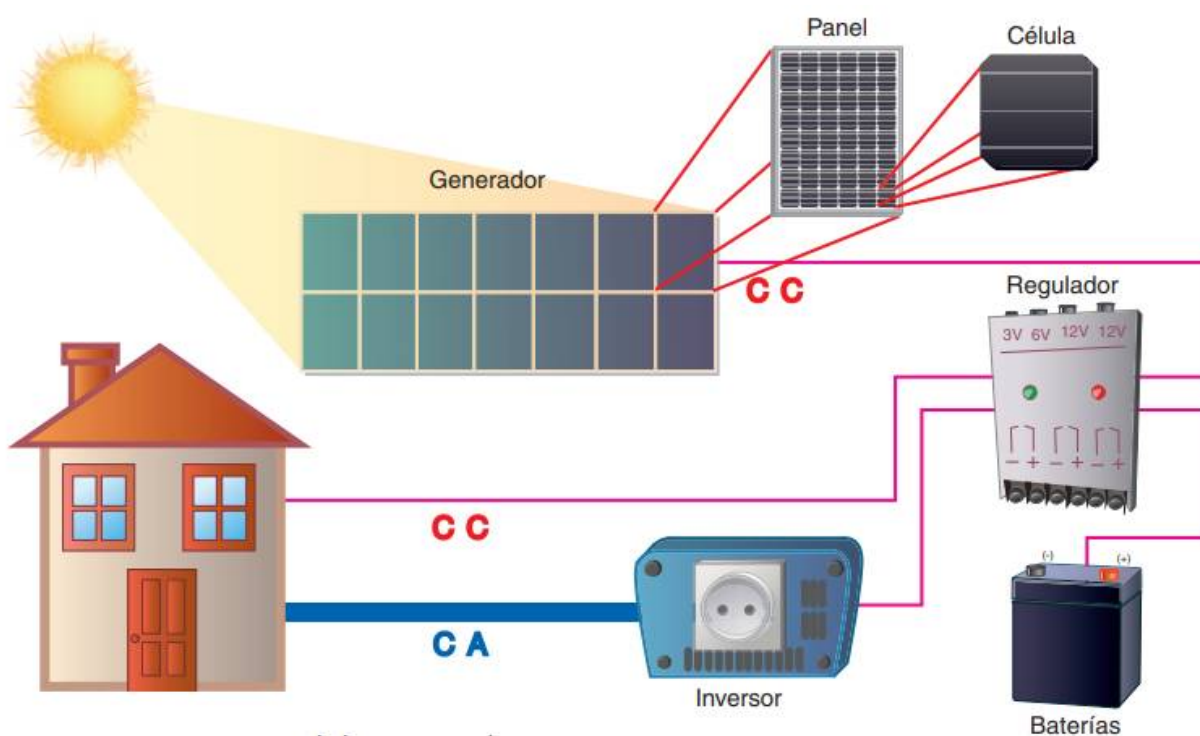


Figura 14: Esquema general de una instalación autónoma con inversor.
Fuente: Artículo sobre los componentes en instalaciones fotovoltaicas PDF (España)

2.2.10. Acumulador o baterías²⁶

Las baterías en un sistema de energía solar fotovoltaica es la de acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de Sol para poderla utilizar durante la noche o en días nublados.

El uso de baterías también permite proveer una intensidad de corriente superior que la que puede ofrecer un panel fotovoltaico en funcionamiento. Este sería el caso si se utilizaran varios aparatos eléctricos en un mismo instante.

Una batería consta de pequeños acumuladores eléctricos de 2V integrados en el mismo elemento; tiene corriente continua a 6, 12, 24 o 48V. El acumulador es la celda que almacena energía a través de un proceso electroquímico. De este modo, cuando hablamos de una batería de 12V, estamos hablando de un conjunto en serie de 6 celdas de plomo-ácido de 2V cada una.



Figura 15:Acumulador o batería.

Fuente:²⁵

²⁶ <https://solar-energia.net/definiciones/baterias.html>

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Diseño descriptivo:

De la base de datos de la NASA, SENAMHI y ATLAS SOLAR DEL PERU (datos de irradiación) se obtienen valores necesarios para evaluar el potencial solar del distrito de Jayanca donde se encuentra ubicada la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS, permitiendo así poder determinar la energía capaz de generar en la zona de emplazamiento. De esta manera se obtendrán los valores necesarios para el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, teniendo en cuenta examinar el consumo energético por parte de la empresa donde se realizará la instalación.

3.2. Población y muestra

Para nuestro caso de estudio “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL EN LA EMPRESA EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS” (distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque) se identificó la muestra igual a la población siendo esta la EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS, por lo que no se aplica ninguna técnica de muestreo.

3.3. Hipótesis

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el consumo eléctrico en la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS ubicada en el distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque.

3.4. Operacionalización de las variables

- Variable independiente:

Sistema fotovoltaico.

- Variable dependiente:

Disminuir el consumo de energía.

Tabla 1. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN	TÉCNICA	INDICADOR
INDEPENDIENTE	DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.	Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.	-Revisión bibliográfica.	-Determinar la energía promedio diaria. -Características de los componentes del sistema fotovoltaico. Presupuesto
DEPENDIENTE	DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA.	Consiste en la optimización del consumo energético.	-Revisión bibliográfica. -Observación. -Análisis documental.	-Determinar máxima demanda de consumo de energía. -VAN -TIR -Eficiencia

Fuente: Elaboración propia

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Método de investigación: deductivo

Técnicas de investigación:

- **Análisis de documentos:**

Mediante este proceso se logra analizar el consumo de energía y obtener la máxima de demanda de la empresa, obteniendo la potencia el cual es uno de los parámetros fundamentales para poder dimensionar el sistema fotovoltaico. Los documentos son proporcionados por la empresa.

- **Observación**

Se observa y se toma información para su posterior análisis de, siendo este un elemento fundamental de todo proceso investigativo, para apoyo del investigador.

- **Revisión bibliográfica**

Se realiza una exhaustiva búsqueda de información, tanto en tesis, artículos científicos, proyectos, ensayos, etc. Buscando la mayor información posible para validar conceptos, fórmulas de diseño, teorías. Con el propósito de complementar nuestra investigación y proporcionar una información de mayor calidad.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

- **Entrevista**

En lo que se refiere a la entrevista, viene a ser una conversación entre un investigador y una persona que responde una serie de preguntas, las cuales, están orientadas a obtener la información exigida por los objetivos específicos de un estudio. Es importante manifestar, que la entrevista puede ser: formal, en las que respuestas se obtienen de manera

estructurada; o informal en la que no existe una estructuración sistemática de las preguntas.

En ese mismo orden de ideas se puede indicar que existen una serie de condiciones, que deben cumplirse para lograr que una entrevista cumpla sus objetivos. En primera instancia, el entrevistado debe tener la información requerida para que pueda contestar la pregunta. En segundo lugar, el entrevistado debe tener alguna motivación que lo mueva responder, tanto amena como verdaderamente.

- **Diarios de campo**

Un diario de campo es un instrumento de recolección de datos usado especialmente en las actividades de investigación. Tras el registro de los datos, la información se somete a evaluaciones e interpretaciones. Su nombre se debe a que el registro de los hechos se efectúa directamente en el espacio físico donde acontecen.

Los datos recopilados a través del diario de campo son de diversa índole. Puede tratarse de memorias, relatos de viajes, ideas, fragmentos de conversaciones, esquemas, mapas y transcripciones. Lo recolectado tiene naturaleza objetiva, pero el diario es en sí mismo subjetivo.

Lo anterior se debe a que el formato usado para su elaboración depende en gran medida del estilo del investigador y de sus objetivos. Así pues, las relaciones descritas en un diario de campo son la realidad, pero vista a través de los ojos del investigador.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de datos

Es parte fundamental de la investigación, ya que consiste en el tratamiento de datos recopilados anteriormente.

Para poder dimensionar el sistema fotovoltaico según los parámetros dados, nos basamos en datos de: radiación solar máxima y mínima, máxima demanda eléctrica de la empresa, cuyo objetivo del presente tratamiento estadístico es generar tablas y gráficos para mostrar valores de los parámetros de diseño haciendo uso de Ms Excel 2016.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de investigación.

Con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS se propone el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

Para dicha propuesta se seleccionarán una serie de equipos los cuales cumplen funciones importantes para que el sistema fotovoltaico funcione correctamente como: paneles solares, inversor, equipos de protección, entre otros.

Se procede a la recolección de datos de radiación solar de fuentes: NASA, ATLAS SOLAR DEL PERÚ y SENAMHI; se aplicarán métodos para poder determinar la estimación de energía anual generada por nuestro sistema.

para evaluar la rentabilidad económica se procede a determinar las variables VAN, TIR y PR a través de un flujo de caja

4.2. Ubicación de la instalación

4.2.1. Ubicación política

Departamento: Lambayeque

Provincia: Lambayeque

Distrito: Jayanca

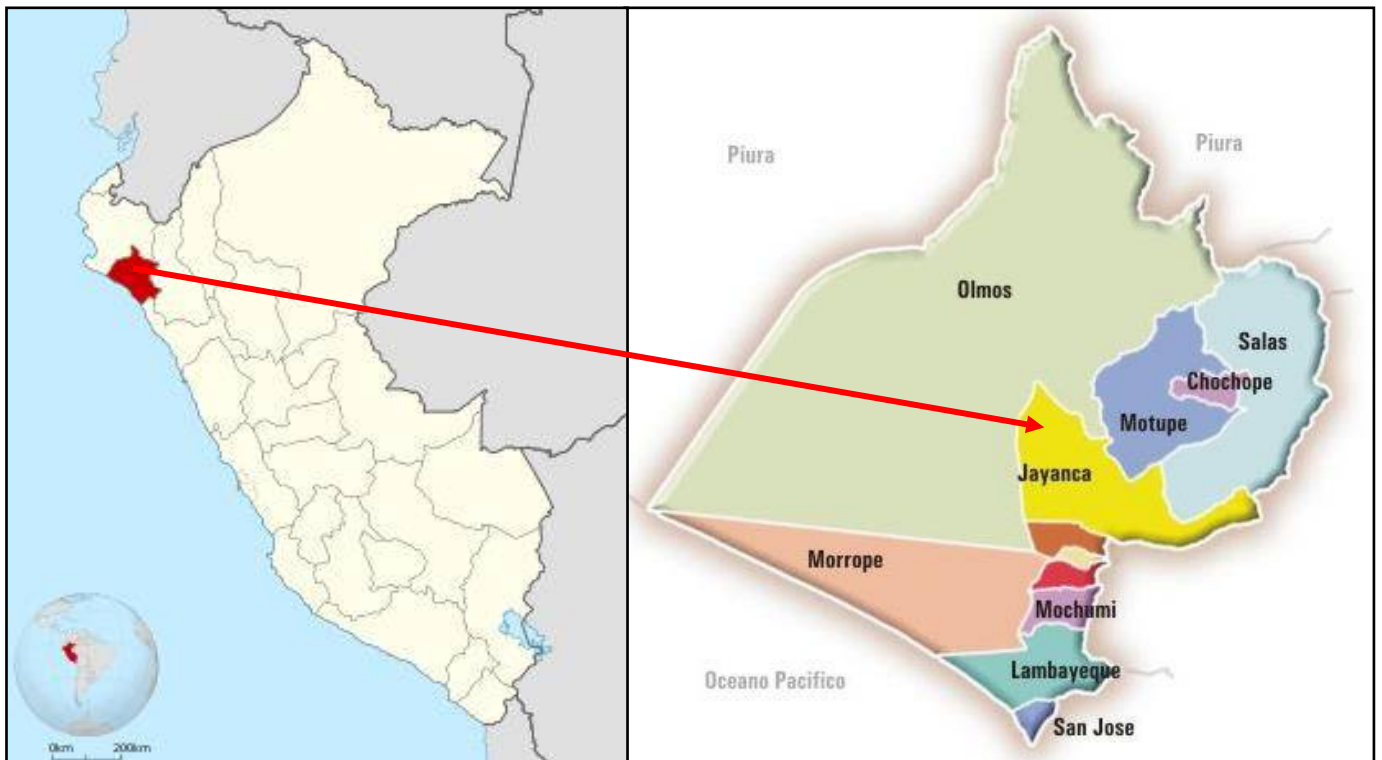


Figura 16: Ubicación Política.

Fuente:²⁷

4.2.2. Ubicación Geográfica

La instalación fotovoltaica se plantea realizarla en el techo de la empresa, lugar donde no tendrá pérdidas energéticas causadas por sombras, debido a las que las condiciones actuales en las que se encuentra no presentan ningún obstáculo. Las coordenadas geográficas son:

latitud: - 6°.19'53.73" m

longitud: -79°46'7.29"m

Altura: 77 m

²⁷ https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/monografia-sobre-el-distrito-de-chochope-lambayeque-peru_12xk56



Figura 17: Ubicación del sistema solar fotovoltaico.

Fuente: Google earth



Figura 18: EXOTIC'S PRODUCERS & PACKERS

Fuente: Google earth

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Estimación de la potencia de la instalación fotovoltaica.

Este parámetro es fundamental para comenzar a dimensionar un sistema fotovoltaico, debido a que se debe dimensionar buscando cubrir la mayor incidencia en la demanda. Por lo cual se procede a analizar la potencia consumida por la carga de la empresa, mediante los datos obtenidos en esta investigación.

Se procede a hacer una verificación de las características de los equipos para poder estimar la potencia total y un diagrama de carga mensual teniendo datos de recibos por consumo de energía (ENSA).

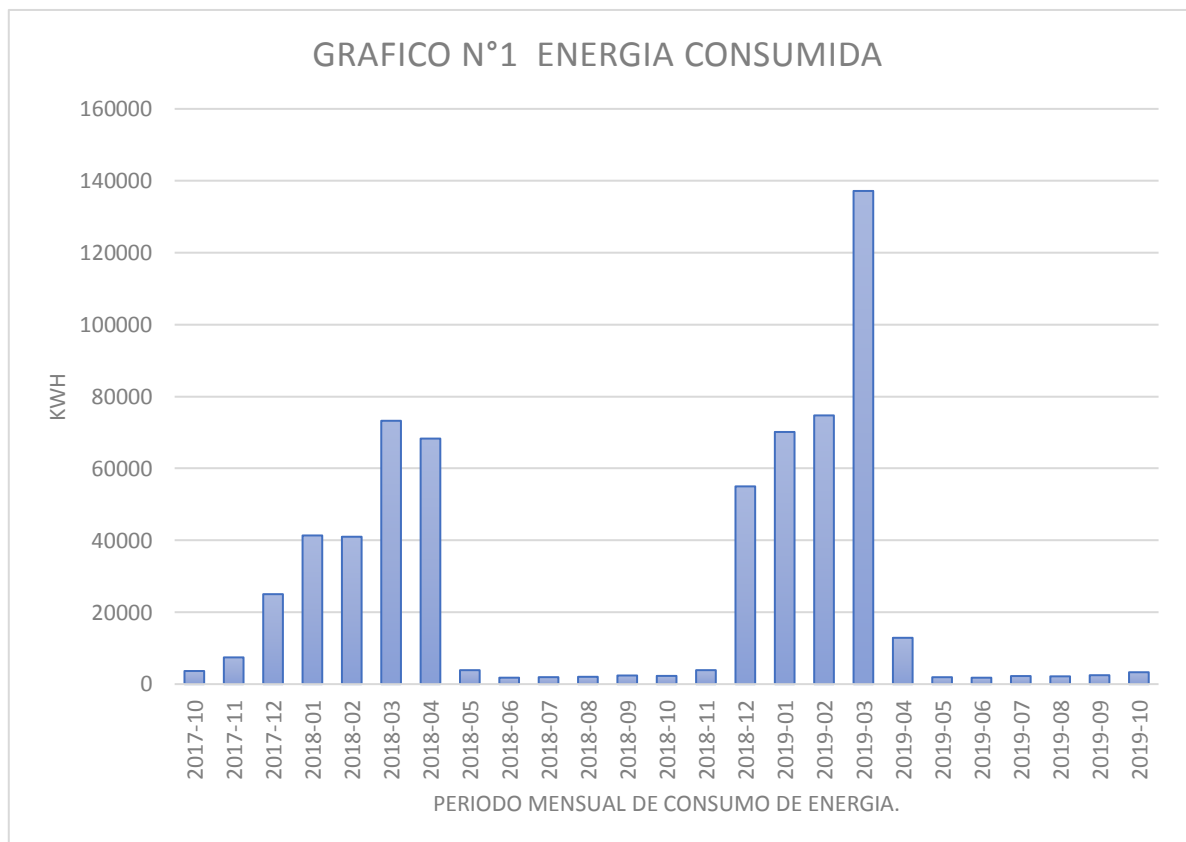


Figura 19: Energía consumida mensual.

Fuente: Elaboración propia.

En el grafico n°1 se da a conocer como varia el consumo de energía durante el año, notando así el elevado consumo de energía eléctrica que presenta la empresa.

Tabla 2: Potencia de equipos eléctricos.

CUADRO DE POTENCIAS	kW
TRANSPORTADOR ELEVADOR	0.37
VOLCADOR DE JABAS	0.75
TINA DE DESINFECCIÓN	10.86
TRATAMIENTO TÉRMICO	29.7
LAVADORA / SECADORA	6.07
MESA SELECCIÓN	2.57
ENCERADORA	7.07
TUNEL DE SECADO	6.61
CALIBRADORA 01	6.61
CALIBRADORA 02	6.06
LINEA DE CALIBRADOR	72.6
TUNEL 01	105.59
TUNEL 02	105.59
TUNEL 03	105.59
POTENCIA TOTAL DE TUNELES	316.76
CAMARA 01	56.2
CAMARA 02	56.2
POTENCIA TOTAL CAMARAS	112.4
BOMBA SUMERGIBLE	11
BOMBAS CENTRIFUGAS	8.51
POTENCIA TOTAL ABASTECIMIENTO AGUA	19.51
ILUMINACION INTERIOR PLANTA	7.63
AREA EMPAQUE EUROPA	2.3
RECEPCION DE JABAS	0.5
AREA PASADIZO	0.25
AREA ALMACENES	0.4
CAMARAS	2.16
TUNELES	0.86
PASILLO Y DESPACHO	0.43
OFICINAS	0.72
ILUMINACION EXTERIOR PLANTA	2.1
POTENCIA TOTAL ILUMINACION	17.35
POTENCIA TOTAL EN kW	538.62

Fuente: Elaboración propia.

El presente cuadro n°2 tiene como finalidad mostrar la estimación de la potencia de todos los equipos para poder de esta manera hallar la potencia total estimada. Teniendo en cuenta las características de los equipos detalladas en sus placas. Finalmente se procede a graficar un diagrama de carga mensual teniendo en cuenta datos de los recibos por consumo, obteniendo el dato la potencia promedio mensual de cada mes.

Tabla 3: Potencia promedio mensual.

PERIODO	KW
2017-10	87.6726
2017-11	139.018
2017-12	177.3453
2018-01	221.5998
2018-02	298.4542
2018-03	365.4724
2018-04	365.4724
2018-05	365.4724
2018-06	365.4724
2018-07	365.4724
2018-08	357.5633
2018-09	202.7453
2018-10	66.0363
2018-11	73.7636
2018-12	237.5271
2019-01	388.0178
2019-02	392.5633
2019-03	398.436
2019-04	398.436
2019-05	398.436
2019-06	398.436
2019-07	398.436
2019-08	319.9997
2019-09	135.5999
2019-10	149.1271

Fuente: Elaboración propia.

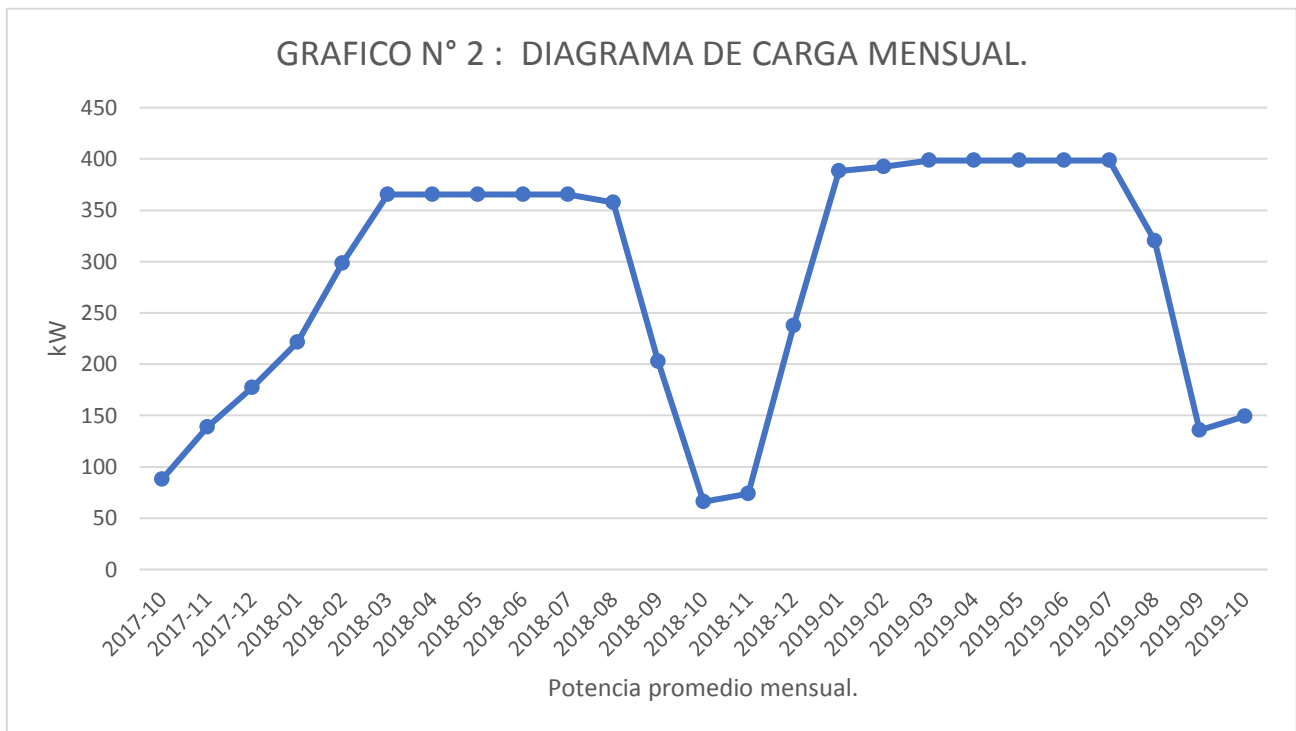


Figura 20: Diagrama de carga mensual.

Fuente: Elaboración propia

Haciendo un análisis de todos los gráficos y tablas mostradas anteriormente se puede proponer una potencia para la dimensión del sistema fotovoltaico, siendo esta la que logre disminuir la demanda actual.

Dicha potencia será seleccionada teniendo en cuenta que la potencia de la empresa es variable, lo cual podemos comprobarlo en el grafico n°2, el cual muestra como varia la potencia a lo largo del año, por este motivo se optara por dimensionar el sistema con una potencia de 100 kW, consiguiendo así la mínima potencia de consumo para temporadas de no producción de la empresa.

Este sistema pretende ser de tipo autoconsumo instantáneo por lo que la demanda faltante será abastecida por la red, buscando que el sistema cubra la demanda base dentro de los periodos de no producción de la fábrica y esto facilite la viabilidad económica del proyecto volviéndolo así rentable para el cliente.

5.2. Evaluación de la radiación solar.

Para evaluar la radiación solar en la zona del emplazamiento procedemos a la recopilación de data solar, por los cual tenemos 3 fuentes: Atlas de energía solar del Perú, la base de datos de la NASA y SENAMHI; ya que Jayanca cuenta con una estación meteorológica en funcionamiento.

Tabla 4: Estación Meteorológica

JAYANCA (LA VIÑA)	
Departamento:	LAMBAYEQUE
Provincia:	LAMBAYEQUE
Distrito:	JAYANCA
Latitud:	-6°19'53.73"
Longitud:	-79°46'7.29"
Altitud:	78 msnm.
Tipo:	Convencional - Meteorológica
Código:	106047

Fuente: SENAMHI.

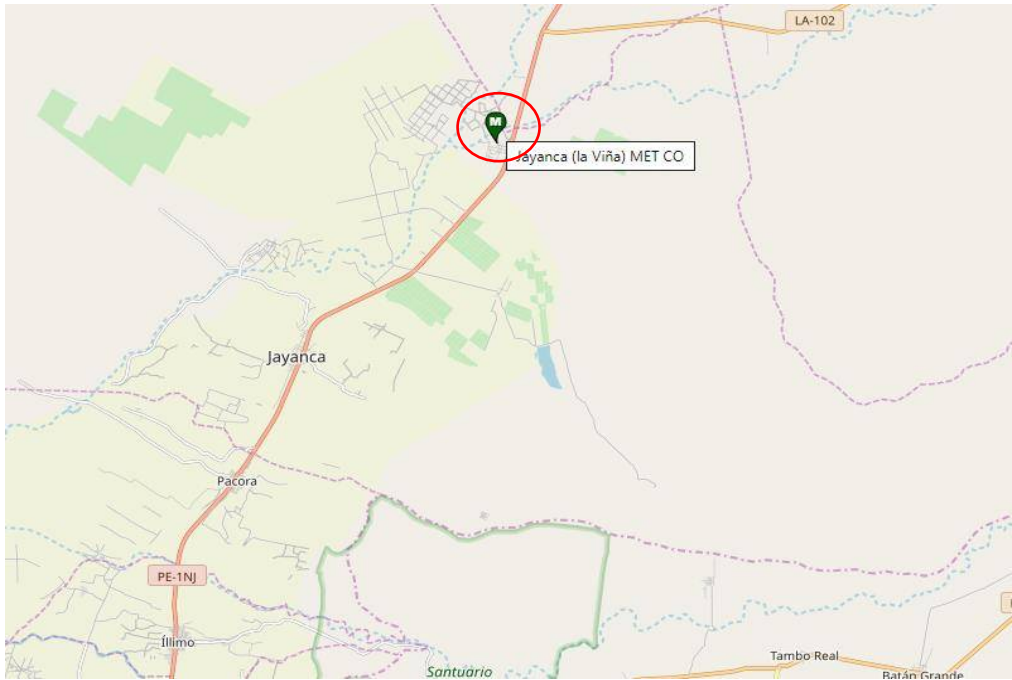


Figura 21: Ubicación de la estación meteorológica.

Fuente: SENAMHI.

Antes de mostrar la tabla final de la irradiación global horizontal (kWh/m2/día), procedemos a mostrar los métodos por los cuales logramos estos resultados.

5.2.1. Método de Hargreaves y samani.²⁸

Obtención de la radiación solar incidente (R_s):

$$R_s = R_0 \times KT \times (t_{max} - t_{min})^{0.5} \dots (1)$$

Donde:

R_s : Radiación solar incidente.

R_0 : Radiación solar extraterrestre. (a partir del anexo 1)

KT : coeficiente.

t_{max} : temperatura diaria máxima.

t_{min} : temperatura diaria mínima.

5.2.2. Cálculo de la radiación horaria mensual:²⁸

Se determina la distribución horaria de la irradiación, para cada mes con la siguiente ecuación:

$$Hinc(w) = Hinc * \tau(a + b \cos w) \dots (2)$$

Por lo que vemos el $Hinc$ depende de distintas variables que se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$\tau: \left(\frac{\pi}{24}\right) * (\cos w - \cos w_s) / \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) * (w_s * \cos w_s) - \sin w_s\right] \dots (3)$$

$$a = 0.409 - 0.5016 \sin(w_s + 60) \dots (4)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin(w_s + 60) \dots (5)$$

Donde:

τ, a, b : constantes que dependen del ángulo horario

²⁸ CenSolar, "Sistemas de Conversión eléctrica-Tomo5", pp. 23-66, (2016)

W: ángulo horario

W_s : ángulo horario de salida del mes

5.2.3. Energía fotovoltaica generada:²⁸

Según determinamos la energía generado con la ecuación:

$$E_{fv} = \sum P * R * H_{inc}(w) \dots (6)$$

Donde:

P: Potencia instalada

R: rendimiento

H_{inc} : Energía incidente con un ángulo de inclinación de la superficie

El método de Hargreaves y samani fue utilizado para poder hallar la radiación solar incidente en los datos proporcionados por senamhi, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5: Irradiación global horizontal (kWh/m²/día).

ENERO	8.09
FEBRERO	7.31
MARZO	6.96
ABRIL	6.19
MAYO	5.17
JUNIO	4.66
JULIO	4.70
AGOSTO	5.74
SEPTIEMBRE	6.98
OCTUBRE	7.85
NOVIEMBRE	7.99
DICIEMBRE	8.28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Temperatura media promedio en Jayanca.

TEMPERATURA MEDIA PROMEDIO MENSUAL	
ENERO	20.18
FEBRERO	20.70
MARZO	20.25
ABRIL	19.47
MAYO	17.95
JUNIO	14.19
JULIO	15.38
AGOSTO	15.43
SEPTIEMBRE	14.50
OCTUBRE	16.77
NOVIEMBRE	15.23
DICIEMBRE	16.56

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, mostramos los valores de radiación solar incidente de NASA, ATLAS SOLAR DEL PERU (Anexo N°2) valor promedio anual y SENAMHI.

Tabla 7: Irradiación global horizontal (kWh/m²/día) 2018

MESES	NASA	ATLAS SOLAR DEL PERU	SENAMHI	VALOR PROMEDIO
ENERO	6.34	5.5	8.09	6.64
FEBRERO	5.96	5.5	7.31	6.26
MARZO	6.2	5.5	6.96	6.22
ABRIL	6.24	5.5	6.19	5.98
MAYO	5.93	5.5	5.17	5.53
JUNIO	6.04	5.5	4.66	5.40
JULIO	5.84	5.5	4.70	5.35
AGOSTO	5.57	5.5	5.74	5.60
SEPTIEMBRE	6.22	5.5	6.98	6.23
OCTUBRE	6.6	5.5	7.85	6.65
NOVIEMBRE	7.04	5.5	7.99	6.84
DICIEMBRE	6.77	5.5	8.28	6.85

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber obtenido los datos de las 3 fuentes se procede a sacar un valor promedio de las 3 fuentes, tal y como se muestra en la tabla n° 7. Para

luego proceder a corregir este valor con las ecuaciones mostradas en el punto 5.2. 2.. Esta corrección se hace con el fin de tener un valor con menor margen de error de la irradiación horaria mensual y así poder calcular la energía fotovoltaica generada.

Tabla 8: Irradiación horaria mensual corregida 2018.

MESES	Valor promedio	Hiinc(w)	NUMEROS DE DIAS DEL MES
ENERO	6.64	6.56	31
FEBRERO	6.26	6.18	28
MARZO	6.22	6.14	31
ABRIL	5.98	5.90	30
MAYO	5.53	5.46	31
JUNIO	5.40	5.33	30
JULIO	5.35	5.28	31
AGOSTO	5.60	5.53	31
SEPTIEMBRE	6.23	6.15	30
OCTUBRE	6.65	6.62	31
NOVIEMBRE	6.84	6.81	30
DICIEMBRE	6.85	6.81	31

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar una ligera variación en los datos de irradiación corregida ($H_{iinc}(w)$), con estos valores más aproximados a la realidad se procede a realizar el cálculo de la generación de Energía fotovoltaica generada a través del apartado 5.2.3.

Datos:

Potencia instalada: 100 kW

Rendimiento de la instalación: 0.8 [7] el cual es un valor promedio del rendimiento de una instalación fotovoltaica.

Tabla 9: Energía fotovoltaica generada.

MES	Hiinc(w)	NUMEROS DEL DIAS DEL MES	ENERGÍA FOTOVOLTAICA GENERADA
ENERO	6.56	31	16269.8
FEBRERO	6.18	28	13838.2
MARZO	6.14	31	15232.0
ABRIL	5.90	30	14164.9
MAYO	5.46	31	13552.3
JUNIO	5.33	30	12794.5
JULIO	5.28	31	13092.1
AGOSTO	5.53	31	13723.3
SEPTIEMBRE	6.15	30	14768.5
OCTUBRE	6.62	31	16408.0
NOVIEMBRE	6.81	30	16341.7
DICIEMBRE	6.81	31	16900.6
		MWh/AÑO	177.1

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Componentes del sistema fotovoltaico.

5.3.1. Paneles Fotovoltáicos.

Los paneles solares serán un total de 270 unidades, de marca BAUER ENERGY, monocristalino de 370 watts. Las características del panel se muestran en el Anexo 3.

5.3.2. Orientación de los paneles.

Para asegurar el funcionamiento adecuado de los paneles solares, esté debe estar orientado de manera que se pueda aprovechar la mayor cantidad de radiación.

El panel siempre debe orientarse hacia el Ecuador, que en el caso de Perú esta hacia el norte según la EM80 INSTALACION CON ENERGIA SOLAR.

5.3.3. Inclinação de los paneles.

A la hora de diseñar un sistema fotovoltaico se tiene que tener en cuenta mucho el ángulo de inclinación de los paneles, este siempre debe de ser lo más favorable para la instalación. Para obtener la inclinación optima de los paneles debemos tener en cuenta la latitud, para ello utilizamos la siguiente ecuación.

$$l_{OP} = 3.7 + 0.69 * (latitud)...(7)$$

$$l_{OP} = 3.7 + 0.69 * (6.4)$$

$$l_{OP} = 8.11^{\circ}$$

El valor de 8.11° sería el valor ideal, pero según la normativa EM80 INSTALACION CON ENERGIA SOLAR. Los paneles solares deben ser instalados entre 10° y 30° , debido a que los paneles necesitan cierta inclinación mínima para que, en el caso de lluvias, estas puedan seguir su curso limpiando al panel y no haciendo que este se dañe debido a el estancamiento de agua.

Por lo tanto, la inclinación del panel será **10°** .

5.3.4. Distancia entre paneles.²⁹

La distancia mínima de separación entre filas de paneles figura 22, depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado esté el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas. La distancia mínima se calcula con la fórmula 9.

²⁹ Cornejo, Héctor. «Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de Piura.» Universidad de Piura. (Tesis de pregrado). Piura, 2013.

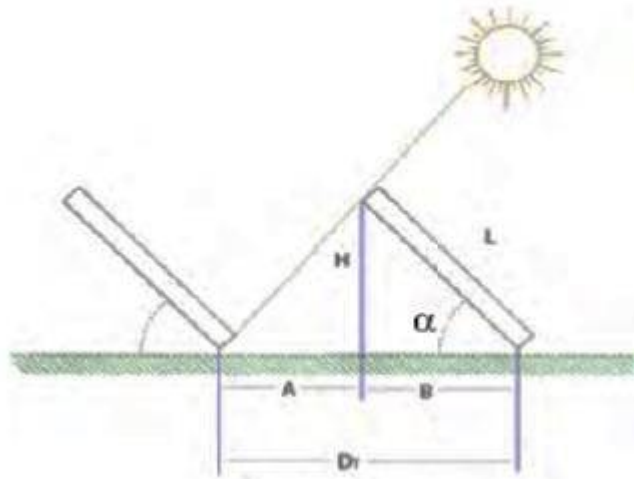


Figura 22: Distancia entre filas de paneles.

Fuente: ²⁸

$$H = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23.5^\circ \dots (8)$$

$$D_{min} = L * (\text{Cos} \alpha + \text{Sen} \alpha / \text{Tg} H) \dots (9)$$

A fin de evitar que las sombras afecten los módulos solares, es aconsejable, si tenemos espacio aumentar al menos en un 20% la distancia mínima.

$$D_{min} = 2.5 \text{ m}$$

5.3.5. Cálculo del número de paneles.

El número de paneles utilizados en esta instalación dependerá netamente de la potencia de instalación, debido a que el sistema dimensionada será del tipo autoconsumo instantáneo.

Para determinar el número de paneles procedemos a dividir la potencia de la instalación 100000 W entre, la potencia nominal del panel solar 370 w (BAUER ENERGY), obteniendo así una cantidad de 270 paneles necesarios para la instalación.

La distribución es de la siguiente manera se proyecta a 15 filas, de 17 paneles conectados en serie, finalmente las ramas se conectan el paralelo. Las dimensiones de los paneles se muestran a continuación.

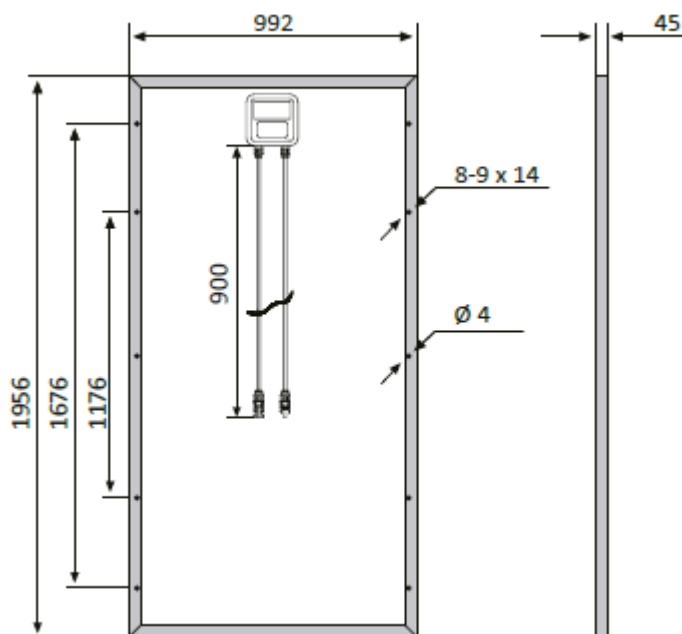


Figura 23: Dimensiones del panel BAUER ENERGY

Fuente: BAUER ENERGY

5.3.6. Estructura de soporte.

La estructura soporte de la instalación debe estar adecuada según la inclinación y separación entre paneles calculada anteriormente. Estas consideraciones logran aumentar la eficiencia de la instalación fotovoltaica.

5.3.7. Inversor.

El inversor es uno de los elementos más importantes de la instalación fotovoltaica, debido a que la energía generada por los paneles es corriente continua, este equipo es utilizado para poder transformar la CC a CA, por ello al seleccionar el inversor se tiene en cuenta parámetros como:

- Tensión y corriente en el punto de máxima potencia.
- Corriente de cortocircuito
- La eficiencia deberá ser lo más alta posible para minimizar las pérdidas
- Forma de onda, debe tener las mismas características que la de la red.

Además, el dispositivo debe estar equipado con un seguidor electrónico del punto máximo de potencia (MPPT), para mayor eficiencia energética.

5.3.7.1. Tensión y corriente en el punto de máxima potencia.

Para poder seleccionar el inversor primero debemos conocer parámetros importantes como la tensión de máxima potencia del generador y la corriente de la potencia del generador fotovoltaico.

Para poder calcular la tensión de máxima potencia del generador, para lo cual multiplicaremos el número de paneles solares conectados en serie con la tensión de máxima potencia (V_{mpp}) de cada panel solar.

$$V_{mpp_{TOTAL}} = V_{mpp} * N_s \dots (10)$$

$$V_{mpp_{TOTAL}} = 40.1 * 17$$

$$V_{mpp_{TOTAL}} = 681.7 \text{ V}$$

De la misma manera la corriente suministrada en el punto de máxima potencia del generador vendrá dada al multiplicar la corriente de punto de máxima potencia (I_{mpp}) de cada panel solar por el número de paneles en paralelo:

$$I_{mpp_{TOTAL}} = I_{mpp} * N_p \dots (11)$$

$$I_{mpp_{TOTAL}} = 9.23 * 15$$

$$I_{mpp_{TOTAL}} = 138.45 \text{ A}$$

5.3.7.2. Corrección de la tensión y corriente debido a la temperatura.³⁰

Se consideran temperaturas en la zona como 33°C como máxima en verano y en invierno 15 °C como mínima (figura 24). Teniendo en cuenta que la temperatura ambiente que consideran los fabricantes es de 25 °C, debemos adaptarlos a estas temperaturas.

Tabla 10: Temperatura máxima y mínima en Jayanca 2018

	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura min. (°C)	20.2	20.9	20.7	19.8	18.6	17	16.1	15	16.2	16.3	16.90	18.3
Temperatura máx. (°C)	30.8	31.7	33	30.5	28.5	26.5	25.5	25.2	25.2	26.2	27.4	30.3

Fuente: Senamhi

Primero, se procede a calcular la temperatura de trabajo de las células fotovoltaicas con la siguiente ecuación.

$$T_p = T_a + \frac{(T_{ONC}-20)*I}{800} \dots (12)$$

Donde:

- T_p es la temperatura que alcanzara la célula del panel en el lugar de la instalación.
- T_a es la temperatura ambiente del lugar donde serán instalado el sistema fotovoltaico.
- T_{ONC} es la temperatura nominal de la célula cuando es sometida a una irradiancia de 800 W/m², distribución espectral de AM 1,5 G, temperatura ambiente de 20°C y velocidad de viento de 1 m/s.
- I es la irradiancia medida, la cual dependerá del periodo en que se encuentre ($I=1000\text{W/m}^2$).

³⁰ Mesones, Pedro. “Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante “El Zarco” ubicado en la Ciudad de Cajamarca”. Iambayeque, 2019.

Segundo, para calcular la tensión de circuito abierto que se medirá a la salida del panel solar, se hará uso del coeficiente de temperatura (V_{OC}) proporcionado por el fabricante, mediante la siguiente ecuación:

$$V_{OC(X^{\circ}C)} = V_{OC(25^{\circ}C)} + \Delta T * V_{OC(T)} \dots (13)$$

Donde:

- $V_{OC} (X^{\circ}C)$ es la tensión de circuito abierto del panel solar a temperatura ambiente en el lugar de instalación.
- $V_{OC} (25^{\circ}C)$ es la tensión de circuito abierto que da el fabricante del panel solar a temperatura estándar ($V_{OC} (25^{\circ}C) = 48.3 \text{ V}$).
- ΔT es la variación de temperatura entre las condiciones estándar dadas por el fabricante y la del lugar donde será la instalación.
- $\Delta V_{OC} (T)$ es el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel ($\Delta V_{OC} (T) = -0.38038\%/^{\circ}K$).

Tercero, se calcula la corriente de cortocircuito, la cual se medirá a la salida del panel solar, haciendo uso del coeficiente de temperatura para la corriente de cortocircuito (I_{SC}) proporcionado por el fabricante, mediante la siguiente ecuación:

$$I_{SC(X^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T * I_{SC(T)} \dots (14)$$

Donde:

- $I_{SC} (X^{\circ}C)$ es la corriente de cortocircuito del panel solar a temperatura ambiente en el lugar de instalación.
- $I_{SC} (25^{\circ}C)$ es la corriente de cortocircuito que da el fabricante del panel solar a temperatura estándar ($I_{SC} (25^{\circ}C) = 9.95A$).

- ΔT es la variación de temperatura entre las condiciones estándar dadas por el fabricante y la del lugar donde será la instalación.

- $\Delta I_{SC(T)}$ es el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel ($\Delta I_{SC(T)} = 0.02973\%/^{\circ}K$).

Teniendo en cuenta las ecuaciones mostradas procedemos a aplicarlas con las temperaturas de $33^{\circ}C$ y $15^{\circ}C$.

Caculo para la temperatura más alta $T = 33^{\circ}C$

1. Temperatura alcanzada en las células del panel solar en el lugar de la instalación:

$$T_p = T_a + \frac{(T_{ONC} - 20) * I}{800} \dots (12)$$

$$T_p = 33 + \frac{(45 - 20) * 1000}{800}$$

$$T_p = 64.25^{\circ}C$$

2. Calculamos la tensión de circuito abierto a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$V_{oc(33|C)} = V_{oc(25^{\circ}C)} + \Delta T * V_{oc(T)} \dots (13)$$

$$V_{oc(33)} = 48.3 + (33 - 25) * (-0.38038)$$

$$V_{oc(33)} = 45.25 V$$

3. Tercero, calculamos la corriente de cortocircuito a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$I_{SC(33^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T * I_{SC(T)} \dots (14)$$

$$I_{SC(33^{\circ}C)} = 9.95 + (33 - 25) * 0.02973$$

$$I_{SC(33^{\circ}C)} = 10.18 A$$

Finalmente, para determinar la tensión de circuito abierto que tendrá nuestro inversor, se procede a multiplicar la tensión de circuito abierto a la temperatura ambiente de 33 °C de nuestro generador por la cantidad del número de paneles en serie.

$$V_{oc(33^{\circ}C)INVERSOR} = V_{oc(33^{\circ}C)} * N_s \dots (15)$$

$$V_{oc(33^{\circ}C)INVERSOR} = 45.25 * 17$$

$$V_{oc(33^{\circ}C)INVERSOR} = 769.25 \text{ V}$$

De la misma manera para determinar la corriente de cortocircuito, se procede a multiplicar la corriente de cortocircuito a temperatura ambiente de 33 °C de nuestro generador por la cantidad de paneles en paralelo:

$$I_{sc(33^{\circ}C)INVERSOR} = I_{sc(33^{\circ}C)} * N_p \dots (16)$$

$$I_{sc(33^{\circ}C)INVERSOR} = 10.18 * 15$$

$$I_{sc(33^{\circ}C)INVERSOR} = 152.7 \text{ A}$$

Caculo para la temperatura más baja T= 15 °C

1. Temperatura alcanzada en las células del panel solar en el lugar de la instalación:

$$T_p = T_a + \frac{(T_{ONC} - 20) * I}{800} \dots (12)$$

$$T_p = 33 + \frac{(45 - 15) * 1000}{800}$$

$$T_p = 46.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. Calculamos la tensión de circuito abierto a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$V_{oc(15^{\circ}C)} = V_{oc(25^{\circ}C)} + \Delta T * V_{oc(T)} \dots (13)$$

$$V_{oc(15^{\circ}C)} = 48.3 + (25 - 15) * (-0.38038)$$

$$V_{oc(15^{\circ}C)} = 44.49 \text{ V}$$

3. Tercero, calculamos la corriente de cortocircuito a la salida del panel solar con la temperatura ambiente del lugar de instalación:

$$I_{SC(15^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T * I_{SC(T)} \dots (14)$$

$$I_{SC(15^{\circ}C)} = 9.95 + (25 - 15) * 0.02973$$

$$I_{SC(15^{\circ}C)} = 10.24 \text{ A}$$

Finalmente, para determinar la tensión de circuito abierto que tendrá nuestro inversor, se procede a multiplicar la tensión de circuito abierto a la temperatura ambiente de 15 °C de nuestro generador por la cantidad del número de paneles en serie.

$$V_{oc(15^{\circ}C)INVERSOR} = V_{oc(33^{\circ}C)} * N_S \dots (10)$$

$$V_{oc(15^{\circ}C)INVERSOR} = 44.49 * 17$$

$$V_{oc(15^{\circ}C)INVERSOR} = 756.33 \text{ V}$$

De la misma manera para determinar la corriente de cortocircuito, se procede a multiplicar la corriente de cortocircuito a temperatura ambiente de 15 °C de nuestro generador por la cantidad de paneles en paralelo:

$$I_{SC(15^{\circ}C)INVERSOR} = I_{SC(33^{\circ}C)} * N_P \dots (11)$$

$$I_{SC(15^{\circ}C)INVERSOR} = 10.24 * 15$$

$$I_{SC(15^{\circ}C)INVERSOR} = 153.6 \text{ A}$$

5.3.7.3. Corrección de la tensión de máxima potencia.³⁰

Por último, antes de seleccionar un inversor se debe tener en cuenta los valores de tensión máxima de potencia en la instalación a temperatura ambiente.

Para obtener estos parámetros primero se debe conocer la variación por temperatura del voltaje de máxima potencia, usaremos la siguiente ecuación:

$$V_{mpp(T)} = 0.83 * \Delta V_{OC(T)} \text{ ..(17)}$$

$$V_{mpp(T)} = 0.83 * (-0.57402)$$

$$V_{mpp(T)} = -0.4764\%$$

Procedemos a obtener las tensiones que alcanzaron los módulos en su punto máximo de potencia, es decir cuando está a temperatura ambiente para nuestro caso será:

Temperatura ambiente	Temperatura de la célula fotovoltaica
33°C	64.25°C
15°C	46.25°C

Figura 24: Tem. de célula.

Fuente: elaboración propia

Se usan las siguientes ecuaciones:

$$V_{mpp(33^{\circ}C)} = V_{mpp(25)} + \Delta T * \Delta V_{mpp(T)} \text{ ..(18)}$$

$$V_{mpp(33^{\circ}C)} = 40.1 + (64.25 - 25) * (-0.4764)$$

$$V_{mpp(33^{\circ}C)} = 21.40 \text{ V}$$

$$V_{mpp(15^{\circ}C)} = V_{mpp(25)} + \Delta T * \Delta V_{mpp(T)} \text{ ..(18)}$$

$$V_{mpp(15^{\circ}C)} = 40.1 + (46.25 - 25) * (-0.4764)$$

$$V_{mpp(15^{\circ}C)} = 29.98 \text{ V}$$

Finalmente obtendremos el rango de tensiones de máxima potencia que deberá soportar el inversor. Multiplicaremos los valores de tensión de máxima potencia por los paneles en serie:

$$V_{mpp(33^{\circ}C)} = V_{mpp(33^{\circ}C)} * N_s = 21.49 * 17 = 365.38 \text{ V}$$

$$V_{mpp(15^{\circ}C)} = V_{mpp(15^{\circ}C)} * N_s = 29.98 * 17 = 509.66 \text{ V}$$

5.3.8. Inversor Elegido.

Debemos tener en cuenta los siguientes parámetros anteriormente hallados:

Tabla 11: Resumen para la elección del inversor

Temperatura durante el año(T)	Tensión de máxima potencia (Vmpp)	Tensión de circuito abierto (Voc)	Corriente de corto circuito (Isc)
Máxima Temperatura (33°C)	365.38 V	759.25 V	152.7 A
Mínima Temperatura (15°C)	509.66 V	756.33 V	153.6 A

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los valores de tensión y corriente, se ha elegido el inversor SIRIO k100 cuyas especificaciones se muestran en el anexo N° 4. A continuación, mostramos algunas características del inversor.

Tabla 12: Características de entrada del inversor SIRO K100

Potencia de corriente máxima con $\cos \varphi = 1$	100kw
Tensión de entrada máxima en circuito abierto	800 V
Rango de tensión mpp	330-700 V
Tensión asignada de entrada	330-700 V
Corriente de entrada máxima	320 A
Número de entradas de MPPT	1

Fuente: FICHA TECNICA SIRO K100.

5.3.9. Cableado

A lo largo de la instalación fotovoltaica utilizaremos distintas secciones de cable, dependiendo de la variación de los parámetros para la selección de las secciones.

El tipo de cable que se utilizará será del tipo NH-80(06/1KV), el cual es recomendable por ser libre de halógenos. Para el cálculo debemos de tener en cuenta ciertos parámetros:

- La corriente admisible por el conductor debe ser superior a la máxima corriente que circule por él.
- La caída de tensión máxima que produzca el cable cuando circule corriente por él debe ser menor a la permisible. Para instalaciones fotovoltaicas con conexión a red se debe tener en cuenta que la caída de tensión en la parte de corriente continua no debe exceder el 1,5% (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía 2011) y en la corriente alterna no exceda el 2%.
- La conductividad del conductor de cobre el cual es usado para nuestro estudio es de $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

Para el cálculo de la sección del conductor en el tramo de corriente continua, se usará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I_{cc}}{C * u} \dots (17)$$

Donde:

- **S** es la sección teórica del conductor en $[\text{mm}^2]$.
- **L** es la longitud del conductor $[\text{m}]$.
- **I_{cc}** es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles $[\text{A}]$.

- **u** es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%. $u=15\% \cdot \text{máxima tensión permitida}$.
- **C** es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

Debido al elevado amperaje en los tramos 3,4,5 se seleccionará en la sección del conductor respecto al amperaje correspondiente de cada tramo.

Tabla 13: Tramos del sistema fotovoltaico.

Tramos de cableado de la instalación fotovoltaica.	
Tramo 1	Generador FV a Caja de protecciones cc.
Tramo 2	Caja de protecciones cc al Inversor.
Tramo 3	Inversor a la caja de protecciones de ca
Tramo 4	Caja de protecciones de CA a tablero general de la carga.

Fuente: elaboración propia

A continuación, mostramos la imagen referencial y los tramos de los cuales se calculará la sección del conductor.

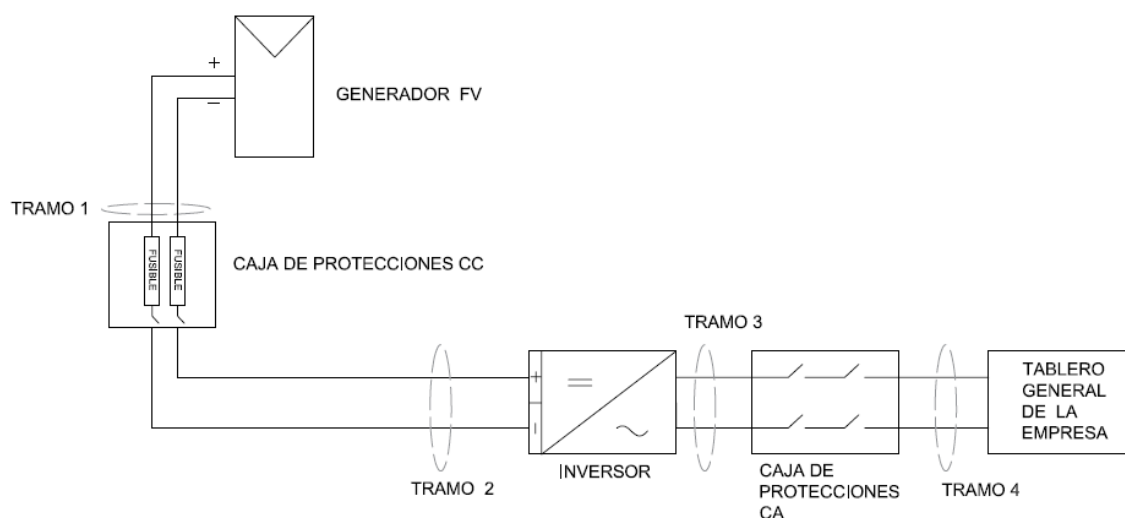


Figura 25: Imagen del sistema FV

Fuente: elaboración propia

Tabla 14: Sección del conductor en los tramos de la instalación fotovoltaica.

Tramo 1: Generador FV a Caja de protecciones cc.					
L(m)	I_{cc}	u (1.5%)	U(V)	C m/Ω*mm².	Sección del conductor (mm)
65	9.95	0.015	681.7	56	2.259
Tramo 2: Caja de protecciones cc al Inversor.					
L(m)	I_{cc}	u (1.5%)	U(V)	C m/Ω*mm².	Amperaje en el tramo
16.5	149.25	0.015	681.7	56	152.7
Tramo 3: Inversor a la caja de protecciones de ca					
L(m)	P(w)	u(V)2%	U(V)	C m/Ω*mm².	Amperaje en el tramo
2	100000	8.8	440	56	182
Tramo 4: Caja de protecciones de CA a tablero general de la carga.					
L(m)	P(w)	u(V)2%	U(V)	C m/Ω*mm².	Amperaje en el tramo
2	100000	8.8	440	56	182

Fuente: elaboración propia

En la tabla N°13 se muestran los datos y el resultado de las secciones del conductor para el tramo 1 de la instalación, esta sección fue hallada con la ecuación 17, pero para el resto de los tramos el amperaje es demasiado alto que con lleva a darnos un una sección del cable demasiado pequeña si utilizamos la ecuación número 17 , por lo que la sección del cable de los tramos 3,4,5 ; se seleccionaran respecto al amperaje el cual se muestra en la tabla N° 13 por cada tramo , el amperaje del tramo 2, fue determinado mediante la máxima corriente de los paneles en paralelo ya determinada anterior mente y máxima corriente en la salida del inversor por datos de su característica determinan el amperaje correspondiente a el tramo 3 y 4.

5.3.9.1. Selección del tipo de cable.

Con los valores anteriormente hallados se procede a realizar la selección de los conductores mediante la tabla de datos técnicos NH-80. Teniendo en cuenta que el conductor debe soportar la corriente que circule por este. Por lo tanto, se seleccionará respecto al amperaje hallado anterior mente.

Tabla 15: Sección de conductores seleccionados.

SECCION (MM2)	LONGITUD (M)	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (A)	AMPERAJE EN DUCTO DEL CONDUCTOR
4	65	9.95	31
70	5	149.25	165
150	2	182	264
150	2	182	264

Fuente: elaboración propia

Tabla 16:Tabla de datos técnicos NH-80

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	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

Fuente: INDECO S.A

5.3.10. Puesta a tierra.

La puesta a tierra en una instalación eléctrica es muy importante debido a que protege a la instalación y también de posibles accidentes a quienes operan con ella.

Según el Código Nacional de electricidad – Utilización en su sección 060, la puesta a tierra debe tener las características necesarias para los siguientes propósitos:

- Proteger y cuidar la vida e integridad física de las personas de las consecuencias que puede ocasionar una descarga eléctrica, y evitar daños a la propiedad, enlazando a tierra las partes metálicas normalmente no energizadas de las instalaciones, equipos, artefactos, etc.
- Limitar las tensiones en los circuitos cuando queden expuestos a tensiones superiores a las que han sido diseñados.
- En general, para limitar la tensión de fase a tierra a 250 V, o menos, en aquellos circuitos de corriente alterna que alimentan a sistemas de alambrado interior.
- Limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas en aquellos circuitos que están expuestos a estos fenómenos.
- Facilitar la operación de equipos y sistemas eléctricos.

Para nuestra instalación FV se conectará a tierra todas las partes metálicas dentro del sistema, soportes de paneles, tableros, la longitud del cableado a para poder aterrizar el sistema descrito anteriormente es de 70m, el cable a usar será INDECO NH.80 DE 1.5 mm² de sección.

Se debe tener en cuenta que el valor de la resistencia de la puesta 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 (Ministerio de Energía y minas 2006).

5.3.11. Protecciones.

Desde el punto de vista eléctrico las protecciones son primordiales para que el sistema pueda ser seguro y pueda ser manipulable sin estar en peligro, es por eso que en esta instalación fotovoltaica seleccionaremos componentes que puedan proteger a la instalación y a las personas que la manipulen; facilitando así a la conexión y desconexión por tramos, al igual que como en el cálculo de conductores.

Debemos calcular las protecciones tanto como para componentes que trabajan a corriente continua, como para los que trabajan a corriente alterna.

Aunque los parámetros en la corriente continua son distintos para la corriente alterna, al momento de seleccionar estos se tendrá en cuenta el mismo criterio. Donde la corriente que activa al dispositivo de protección debe ser mayor a la corriente que circulara por el conductor y menor a la soportada por el cable. La relación que deben tener los dispositivos de protección se muestra a continuación:³¹

$$I_U \leq I_N \leq I_M \dots (18)$$

³¹ Mesones, Pedro. “Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante “El Zarco” ubicado en la Ciudad de Cajamarca”. lambayeque, 2019.

Donde:

- I_U es la corriente de utilización que circulara por el conductor.
- I_N es la corriente nominal de activación del dispositivo de protección.
- I_M es la corriente máxima admisible el conductor.

5.3.11.1. Protecciones en corriente continua³²

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.

Fusibles:

El arreglo de fusibles correspondiente será 1 fusibles para cada conductor proveniente de una rama de la instalación fotovoltaica en este caso serán 30 fusibles, debido a que son 15 ramas por 2 cables uno positivo y otro negativo correspondientemente de cada ramal.

Los parámetros para la selección son:

- $I_U = I_{mpp} \text{ modulo} = 9.95$
- $I_M = I_{max} \text{ admissible} = 31$

³² Cornejo, Héctor. «Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de Piura.» Universidad de Piura. (Tesis de pregrado). Piura, 2013.

Entonces nuestra relación será para la selección de la corriente nominal del elemento de protección será:

$$I_u \leq I_N \leq I_M$$

$$9.95 \leq I_N \leq 31$$

$$I_N = 20A$$

Se utilizarán fusibles de 20 a de la marca autosolar con una tensión de operación de 1kV cc.

Interruptor termomagnético.

Es aquel dispositivo que protege de las sobretensiones y cierra el circuito automáticamente cuando las detecta protegiendo la instalación y al conductor si sobrepasa el valor nominal

Se selecciona de la misma manera que del fusible, serán conectados interruptor por cada ramal.

Los parámetros para la selección son:

- $I_u = I_{mpp} \text{ modulo} = 9.95$
- $I_M = I_{max} \text{ admissible} = 31$

Entonces nuestra relación será para la selección de la corriente nominal del elemento de protección será:

$$I_u \leq I_N \leq I_M$$

$$9.95 \leq I_N \leq 31$$

$$I_N = 20A$$

Por lo tanto se selecciona el Termomagnético 20A IC60N ABB

5.3.11.2. Protecciones en CA:

Para las protecciones en corriente alterna se tendrá el mismo criterio que para corriente continua, estas protecciones serán ubicadas después del inversor; lo cual serán utilizados para la protección de todos los componentes que funcionen a corriente alterna.

interruptor termomagnético:

Seguiremos la misma metodología de selección que para el caso anterior.

- $I_u = I_{mpp} \text{ modulo} = 182 \text{ A}$
- $I_M = I_{max \text{ admissible}} = 264 \text{ A}$

Entonces nuestra relación será para la selección de la corriente nominal del elemento de protección será:

$$I_u \leq I_N \leq I_M$$

$$182 \text{ A} \leq I_N \leq 264 \text{ A}$$

$$I_N = 250 \text{ A}$$

interruptor termomagnético que se escogió fue un T3 marca ABB de 250 a ca.

Interruptor diferencial:

Es un dispositivo electromecánico que se instala en las instalaciones eléctricas de corriente alterna con el fin de proteger a las personas de accidentes provocados por el contacto con partes activas de la instalación (contacto directo) o con elementos sometidos a potencial debido , a una derivación por falta de aislamiento de partes activas de la instalación.

Este dispositivo debe ser mayor o igual al amperaje escogido en el interruptor termogénico hallado anteriormente. Por lo tanto, se logró seleccionar un dispositivo del mismo rango del otro dispositivo de

protección siendo este un interruptor diferencial de la marca ABB de 250

A.

5.4. Energía Anual Generada

habiendo ya realizado el cálculo energía generada anualmente en la tabla N° 9, teniendo en cuenta que siendo esta 177,1 Mwh/año.

Se tomo como rendimiento de la instalación a un 80% siendo este valor el más repetitivo en los estudios para instalaciones fotovoltaicos.

Tabla 17: Energía fotovoltaica generada.

MES	Hiinc(w)	NUMEROS DEL DIAS DEL MES	ENERGÍA FOTOVOLTAICA GENERADA
ENERO	6.56	31	16269.8
FEBRERO	6.18	28	13838.2
MARZO	6.14	31	15232.0
ABRIL	5.90	30	14164.9
MAYO	5.46	31	13552.3
JUNIO	5.33	30	12794.5
JULIO	5.28	31	13092.1
AGOSTO	5.53	31	13723.3
SEPTIEMBRE	6.15	30	14768.5
OCTUBRE	6.62	31	16408.0
NOVIEMBRE	6.81	30	16341.7
DICIEMBRE	6.81	31	16900.6
		MWh/AÑO	177.1

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Análisis Económico

Para analizar la rentabilidad económica del proyecto se realiza un análisis a través de las variables económicas como: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el periodo de recuperación (PR).

5.5.1. Presupuesto de la instalación.

Se muestra a continuación el presupuesto de la instalación, en el cual se da a conocer los precios de los equipos anteriormente seleccionados y las cantidades.

Tabla 18: Presupuesto.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL(S/.)
1	Generador fotovoltaico				282620
1.1	Panel solar 370 w BAUER ENERGY	270	und	750	202500
1.2	Estructura de soporte para panel solar	270	und	56	15120
1.3	Inversor SIRIO K100	1	und	65000	65000
2	Protecciones				4100
2.1	Fusible 20A 1kW	30	und	20	600
2.2	Porta fusible	30	und	10	300
2.3	Interruptor termomagnético cc 20 A IC60N ABB	15	und	120	1800
2.4	Interruptor termomagnético T3 ABB 250 A	1	und	550	550
2.5	Interruptor diferencial ABB 250 A	1	und	600	600
2.6	Caja de protecciones cc	1	und	100	100
2.7	Tablero de protecciones ca	1	und	150	150
3	Cableado				517
3.1	Cable NH-80 4mm2	65	m	1.5	97.5
3.2	Cable NH-80 70 mm2	5	m	26.7	133.5
3.3	Cable NH-80 150	4	m	71.5	286
COSTO DIRECTO (S/.)					287237
Gastos generales (7%)					20106.6
Utilidades (10%)					2010.7
TOTAL, PRESUPUESTO(S/.)					309354.2

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. Valor actual neto (VAN):

El VAN de un proyecto de inversión es la suma algebraica de los valores equivalentes de todos los flujos de caja parciales, actualizados al inicio del proyecto.

$$VAN = -FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} \dots \dots ()$$

Siendo:

- VAN: Valor actual neto.
- FC_0 : Inversión inicial del proyecto.
- FC_i : Flujo de caja anual.
- r: Tasa de rentabilidad o tasa de descuento.
- n: Numero de años para el estudio de la rentabilidad.
- i: año actual.

$VAN > 0 \rightarrow$ el proyecto es rentable.

$VAN = 0 \rightarrow$ alcanzaremos el punto de equilibrio, es decir, que no obtendremos ni pérdidas ni ganancias.

$VAN < 0 \rightarrow$ el proyecto no es rentable.

5.5.3. Tasa interna de retorno (TIR):

Este segundo criterio de valoración de rentabilidad lo que nos proporciona es la tasa que hace nulo el VAN; es decir, la tasa de interés que iguala la inversión inicial con los flujos de caja futuros esperados durante la duración del proyecto.

$$VAN = 0 \rightarrow -FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} = 0 \dots \dots ()$$

5.5.4. Periodo de recuperación.

Este tercer criterio de valoración de rentabilidad de inversión lo que nos proporciona es la duración mínima del proyecto para poder recuperar la inversión inicial a través de los sucesivos flujos de caja que nos vayan proporcionando a lo largo de su vida.

A continuación, se muestran los resultados del VAN, TIR y PR se obtienen a partir de la tabla del flujo de caja anual elaborada a partir de la energía producida anualmente y los costos de energía facturados en kWh consumida.

Tabla 19: Datos para evaluar la rentabilidad.

DATOS PARA EL CALCULO DE LA RENTABILIDAD	
INVERSION ESTIMADA	S/. 309,354.25
COSTO DE LA ENERGIA SEGÚN EL PLIEGO TARIFARIO EN MT3	S/. 0.204
POTENCIA DE ENERGIA SOLAR INSTALADA kW	100
AÑOS DE ESTUDIO	20
INFLACION	3.3%
TASA DE DESCUENTO	12%
MANTENIMIENTO y OTROS	S/. 500.00

Fuente: Elaboración propia.

Donde el precio global por inspección cobrado por el personal sería de S/. 166 y como esto se realizará de manera trimestral, anualmente el costo de mantenimiento ascenderá a S/. 500,00 lo cual se irá incrementando con el paso de los años. **(Mesones, Pedro, Lambayeque 2019)**

Tabla 20:Flujo de caja.

Año	Precio (S/.kWh)	Producción estimada (kWh)	Ingresos (S/.)	Mantenimiento y otros.	Flujo de Caja (S/.)
0	0.2284		-		-309,354.25
1	0.2359	177100.00	41784.48	516.5	41,267.98
2	0.2437	175683.20	42818.06	533.5	42,284.51
3	0.2518	174277.73	43877.21	551.2	43,326.06
4	0.2601	172883.51	44962.55	569.3	44,393.21
5	0.2687	171500.44	46074.75	588.1	45,486.62
6	0.2775	170128.44	47214.45	607.5	46,606.92
7	0.2867	168767.41	48382.35	627.6	47,754.76
8	0.2961	167417.27	49579.13	648.3	48,930.84
9	0.3059	166077.94	50805.52	669.7	50,135.84
10	0.3160	164749.31	52062.25	691.8	51,370.46
11	0.3264	163431.32	53350.06	714.6	52,635.44
12	0.3372	162123.87	54669.73	738.2	53,931.53
13	0.3483	160826.88	56022.04	762.6	55,259.48
14	0.3598	159540.26	57407.80	787.7	56,620.07
15	0.3717	158263.94	58827.84	813.7	58,014.12
16	0.3840	156997.83	60283.00	840.6	59,442.43
17	0.3966	155741.85	61774.16	868.3	60,905.85
18	0.4097	154495.91	63302.21	897.0	62,405.24
19	0.4233	153259.94	64868.05	926.6	63,941.49
20	0.4372	152033.86	66472.63	957.1	65,515.49

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, después de hacer un análisis económico a través del flujo de caja se presentan los resultados de las variables económicas, siendo el VAN positivo, el TIR mayor a la tasa de descuento y el PR no mayor a 7 años, podemos aceptar que el proyecto tiene una viabilidad económica.

RESULTADOS	
VAN	S/. 44,981.85
TIR	14%
PR	7 años

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.CONCLUSIONES

- A partir de las fuentes NASA, ATLAS SOLAR DEL PERU y SENAMHI se logró determinar el potencial solar en la zona donde se ubica la empresa, teniendo un valor promedio irradiación solar horizontal de 6.13 Kwh/m² mediante el método de "Hargreaves y Samani".
- La instalación fotovoltaica dimensionada funcionará con 270 Paneles solares de 370 w de la marca BAUER ENERGY y será monitoreado a través de un inversor SIRIO K100 el cual cuenta con un modo en la selección de su programación conectado a la red. A demás contara con una potencia de 100 kW teniendo en cuenta que el sistema es de autoconsumo instantáneo y con 0 inyección a la red; donde los picos que superen la potencia serán abastecidos por la red
- Después de un análisis económico podemos determinar que la inversión para esta instalación es de S/. 309,354.25, a pesar del elevado costo de la instalación las variables económicas son positivas, las cuales son un valor actual neto (VAN) de S/. 44,981.85 y una tasa interna de rentabilidad (TIR) de 14%.
- La instalación del sistema resulta rentable a largo plazo, después de determinar el periodo de retorno de la inversión es de 07 años, donde al finalizar este tiempo la instalación nos permitirá ahorrar los costos por consumo de energía eléctrica.

6.2.RECOMENDACIONES

- Para un dimensionamiento a mayor escala teniendo en cuenta que el presente proyecto es viable económicamente, se recomienda instalar una estación meteorológica profesional en dicha zona para tener datos con mayor exactitud y esto pueda ayudar a que los cálculos sean más exactos, para poder dimensionar un sistema fotovoltaico de mayor escala.
- Se recomienda evaluar estudios de rentabilidad de instalaciones fotovoltaicas en otras partes del Perú para poder generar un historial de investigación en los cuales puedan promover la inversión de este tipo de energía en el país.

CAPITULO VII: REFERECIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] RECUPERADO DE <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>
- [2] ivan A.L.Z (2013).” Estudio de viabilidad y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el área de estacionamiento del ciernmad”
- [3] Según Gustavo G.G, Juan C.Z.M y Édison F.E.P (2014) en su tesis titulada “Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla mondragón del golfo de guayaquil, provincia de guayas”.
- [4] Paul.S.A.M Y Edwinds.A.F.M (2016). “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para reducir el consumo de combustible en la plataforma de descarga de la pesquera exalmar -chimbote Perú” (p.94)
- [5] JONY V.C.(2014)“PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE”. (p.11,40)
- [6] CenSolar, “Sistemas de Conversión eléctrica-Tomo5”, pp. 23-66, (2016)
- [7] Luis Vilariño, Javier Vilariño, Cristina Arenas ,Germán,Núñez ,Higinio F. Menéndez “Rendimiento global de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica”, universidad alfonso x el sabio,(revista)2014.
- [8] J. Niño.R, M. Sosa.S(2018). “Viabilidad y ubicación optima de un parque hibrido (eolico-solar) en la zona costera de Lambayeque”.
- [9] Mesones, Pedro. “Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante “El Zarco” ubicado en la Ciudad de Cajamarca”. lambayeque,2019.
- [10] Cornejo, Héctor. «Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de Piura.» Universidad de Piura. (Tesis de pregrado). Piura, 2013.

[11]CENSOLAR. Instalaciones de energía solar. Sevilla: Promotora General de Estudios, S.A., 2016.

[12]José A. R.(2018) Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: China, India y EEUU arrasan. Recuperado de: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

CAPITULO VIII: ANEXOS

ANEXO 1:

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m ⁻² ·día ⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m ⁻² ·día ⁻¹)													
Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8

ANEXO 2



ANEXO 3



PANEL SOLAR 370W 72 CÉLULAS MONOCRISTALINO

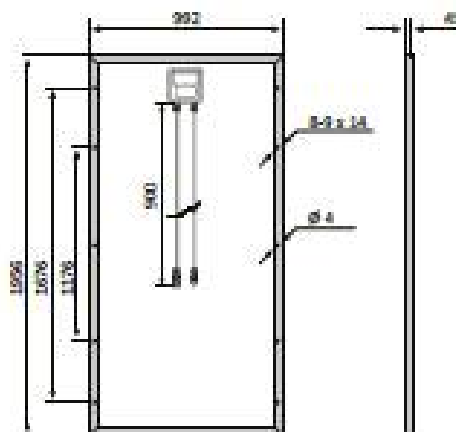
BSP370M

Características

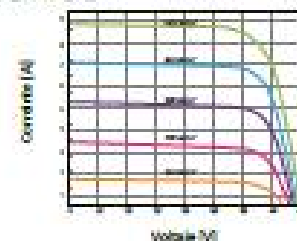
Tamaño del módulo	1956 x 992 x 45 mm
Células	72 piezas monocristalinas (156 x 156 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	370W
Cable	90cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	48.3V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.95A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	40.1V
Intensidad a máxima potencia (Im)	9.23A
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.02973%
Coefficiente temperatura – Voc	-0.38038%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.57402%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	19%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	21.5 kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años



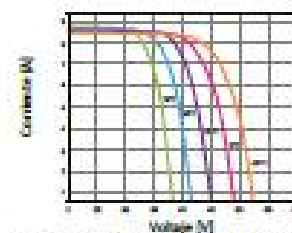
Esquemas



Curvas



Características de los módulos a temperaturas constantes de 25°C y niveles variables de irradiación



Características de los módulos a temperaturas variables e irradiación constante de 1000W/m²

ANEXO 4

MODELO	SIRIO K100 HV	SIRIO K200 HV	SIRIO K250 HV
Potencia nominal corriente alterna	100 KVA	200 KVA	250 KVA
Potencia máxima corriente alterna	100 KW (cosφ=1)	200 KW (cosφ=1)	250 KW (cosφ=1)
ENTRADA			
Tensión continua máxima en circuito abierto	880 Vdc		
Rango completo de MPPT	450 ÷ 760 Vdc		
Intervalo de ejercicio	450 ÷ 760 Vdc		
Corriente de entrada máxima	245 Acc	500 Acc	590 Acc
Tensión de umbral para el suministro hacia la red	540 Vdc		
Tensión de Ripple	<1%		
Número de entradas	1		
Número de MPPT	1		
Conectores CC	Busbar		
SALIDA			
Tensión de ejercicio	400 Vca		
Intervalo de operación	340 ÷ 460 Vca ⁽¹⁾		
Intervalo para la máxima potencia	340 ÷ 460 Vca		
Intervalo de frecuencia	47,5 ÷ 51,5 Hz ⁽¹⁾		
Intervalo de frecuencia configurable	47 ÷ 53 Hz		
Corriente nominal	145 Aca	289 Aca	361 Aca
Corriente máxima	182 Aca	364 Aca	420 Aca
Contribución a la corriente de cortocircuito	274 Aca	545 Aca	630 Aca
Distorsión armónica (THD ⁽¹⁾)	<3%		
Factor de potencia	de 0,9 ind. a 0,9 cap. ^{F(1)}		
Separación galvánica	Transformador BF		
Conectores CA	Busbar		
SISTEMA			
Rendimiento máximo	96,1%	96,3%	
Rendimiento europeo	95,1%	95,2%	95,3%
Consumo stand-by	<32W		
Consumo de noche	<32W		
Protecciones internas	Magnetotérmico lado CA - Seccionador en lado CC		
Protección funcionamiento en isla	SI		
Detección dispersión hacia tierra	SI		
Disipación de calor	Ventilador controlado		
Temperatura de servicio	-20°C ÷ 45°C (sin reducción de potencia)		
Temperatura de almacenamiento	-20°C ÷ 70°C		
Humedad	5 ÷ 95% sin condensación		
Peso	720 Kg	1580 Kg	1630 Kg
STANDARDS			
EMC	EN61000-6-3, EN61000-6-2, EN61000-3-11, EN61000-3-12		
Seguridad	EN62109-1, EN62109-2		
Directivas	Directiva de baja tensión: 2006/95/EC, EMC Directiva: 2004/108/EC		
Supervisión de la red	ref. SIRIO K80 HV	CEI 0-16, A70, Real Decreto 413/2014, PO12.3	

NOTA: Para los dibujos mecánicos y gráficos de rendimiento, consulte la pag. 63

(1) Estos valores pueden variar de acuerdo con las regulaciones locales.

ANEXO 5

