



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS ON
GRID CON MICROINVERSORES DE 600W DE POTENCIA PARA
AUTOCONSUMO EN EDIFICACIONES UBICADAS EN LA
CIUDAD DE JULIACA – 2020”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DENIZ RENZO DEZA MAMANI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

La concepción del presente proyecto de tesis la dedico de manera especial a la memoria de mi madre (+) quien día a día desde el cielo me protege y me guía para cumplir con mis propósitos, de igual forma hago una dedicación especial para mi padre por su apoyo constante y sus consejos, ambos pilares fundamentales en mi vida quienes inculcaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, así mismo a mis hermanos por su compañía y apoyo incondicional, y a todas las personas que aportaron de una u otra manera en mi formación profesional.

Deniz Renzo Deza Mamani



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme día a día su aliento de vida y no detenerme ante los contratiempos, dirigiendo mi camino por el sendero correcto y permitirme llegar hasta este momento para cumplir con mis objetivos propuestos.

También a cada una de las personas que me acompañaron en el proceso de formación que sin esperar recibir nada a cambio compartieron pláticas, conocimiento y tiempo.

Gracias a todos ustedes por su apoyo en su momento.

Deniz Renzo Deza Mamani



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 22

1.2.1 Problema general 22

1.2.2 Problemas específicos 22

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN 22

1.3.1 Objetivo general 22

1.3.2 Objetivos específicos 22

1.4. JUSTIFICACIÓN 22

1.5. HIPÓTESIS 24

1.5.1. Hipótesis general: 24

1.5.2 Hipótesis específica: 24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 25

2.2. MARCO TEÓRICO 28



2.2.1. Energía.	28
2.2.2. Energías renovables	28
2.2.3. Energía Eléctrica.	28
2.2.4. Energía solar	28
2.2.5. Energía fotovoltaica	29
2.2.6. Efecto fotovoltaico	29
2.2.7. Celda fotovoltaica	30
2.2.8. Tipos de celdas fotovoltaicas	30
2.2.9. Variables eléctricas de la celda fotovoltaica	31
2.2.10. Temperatura de operación nominal de la celda solar.....	32
2.2.11. Panel fotovoltaico	32
2.2.12. Características de un panel fotovoltaico.	33
2.2.13. Tipos de paneles solares, según el tipo de células.	35
2.2.14. Opciones de montaje de paneles fotovoltaicos	36
2.2.15. Angulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos	38
2.2.16. Distancia óptima entre filas de cada arreglo de módulos fotovoltaicos.....	39
2.2.17. Sistema Fotovoltaicos	40
2.2.18. Configuración de sistemas conectados a red	43
2.2.19. Radiación solar.....	45
2.2.20. Sistemas ON GRID	46
2.2.21. Hora solar pico (HSP)	47
2.2.22. Microinversor.....	48
2.2.23. Ventajas del uso de microinversores.....	49
2.2.24. Medidor bidireccional	51
2.2.25. Marco Normativo.....	51



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. RECURSOS Y EQUIPOS	54
3.1.1. Recursos	54
3.1.2. Equipos	54
3.2. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.6. ZONA DE ESTUDIO	60
3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
3.7.1. Población.....	60
3.7.2. Muestra	61

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Factores importantes para la implementación del sistema ON GRID	62
4.1.1. Demanda energética.....	62
4.1.2. Perfil de consumo	63
4.1.3. Parámetros eléctricos para la interconexión con la red.....	65
4.1.4. Ubicación de la zona de estudio.....	66
4.1.5. Radiación media de la zona	68
4.2. Implementación del sistema ON GRID en las edificaciones.....	69
4.2.1. Selección de los módulos fotovoltaicos y microinversor	69
4.2.2. Selección de conductores eléctricos.....	71
4.2.3. Selección del sistema de protección eléctrica:.....	71
4.2.4. Unidad de monitoreo de ECU -R.....	72



4.2.5. Instalación del SSFV.....	73
4.2.6. Orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos	75
4.2.7. Montaje y puesta en marcha de microinversores	76
4.2.8. Costos de la Implementación del sistema fotovoltaico:.....	78
4.3. Viabilidad económica:	80
4.3.1. Producción teórica esperada	80
4.3.2. Producción real obtenida.....	81
4.3.3. Beneficio económico:	84
4.3.4. Análisis costo beneficio:	85
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES	92
VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	99
ANEXO N° 1: Matriz de consistencia.....	99
ANEXO N° 2: Historial de consumos edificación en estudio.....	100
ANEXO N° 3: Ficha técnica de los paneles solares.....	101
ANEXO N° 4: Ficha técnica del micro inversor YC600	102
ANEXO N° 5: Ficha Técnica unidad de monitoreo.....	104
ANEXO N° 6: Ficha de Accesorios APsystem.....	105
ANEXO N° 7: Interface Web y Móvil APsystem.....	106
ANEXO N° 8: Ficha Técnica Interruptor Termomagnético	107
ANEXO N° 9: Diagrama de conexiones del sistema ON GRID.....	108
ANEXO N° 10: Perfil de consumo diario vs producción sistema fotovoltaico	109
ANEXO N° 11: Diseño de estructura modular para paneles solares	110

Área : Energías Renovables

Tema : Eficiencia Solar Fotovoltaica

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12-01-2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Capacidad instalada proyectada de energía fotovoltaica para los años 2030 y 2050.....	18
Figura 1.2: Capacidad instalada de energía foto voltaica a nivel mundial	18
Figura 1.3: Consumo energético en edificaciones a nivel mundial.....	19
Figura 2.1: Efecto fotovoltaico.....	29
Figura 2.2: Celda fotovoltaica	30
Figura 2.3: Tipos de celdas fotovoltaicas	31
Figura 2.4: Efecto coeficiente de temperatura.....	32
Figura 2.5: Partes de un panel solar fotovoltaico	33
Figura 2.6: Curva de voltaje y corriente en un panel fotovoltaico	34
Figura 2.7: Proceso de transformación de energía solar en eléctrica	35
Figura 2.8: Diferencia entre paneles monocristalinos, policristalinos y amorfos	36
Figura 2.9: Panel fijo horizontal.....	37
Figura 2.10: Panel horizontal con seguimiento en eje horizontal norte sur	37
Figura 2.11: Panel con seguimiento en dos ejes, uno horizontal y uno vertical.....	38
Figura 2.12: Orientación óptima del módulo	39
Figura 2.13: Distancia mínima entre aristas de paneles	40
Figura 2.14: Sistema fotovoltaico.....	41
Figura 2.15: Sistema fotovoltaico aislado	42
Figura 2.16: Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	43
Figura 2.17: Configuración de un sistema fotovoltaico con inversor Central.....	44
Figura 2.18: Configuración de un sistema fotovoltaico con microinversores.....	44
Figura 2.19: Tipos de radiaciones emitidas por el sol.....	45
Figura 2.20: Curva de consumo y generación de energía fotovoltaica	47
Figura 2.21: Distribución de la irradiación solar en un día	48



Figura 2.22: Estructura básica de un Microinversor	49
Figura 2.23: Medidor de energía bidireccional	51
Figura 3.1: Módulo Policristalino Jinko Solar JKM330PP-72 Fuente: Jinko Solar.....	54
Figura 3.2: Microinversor APsystems YC600	55
Figura 3.3: Unidad de monitoreo ECU-R.....	57
Figura 3.4: Accesorios complementarios	58
Figura 4.1: Historial de consumo.....	62
Figura 4.2: Área de instalación de los paneles solares	67
Figura 4.3: Irradiación solar de la zona en plano inclinado 15°	69
Figura 4.4 Monitoreo de los paneles en tiempo real.....	72
Figura 4.5: Estructura para soporte de paneles solares.....	73
Figura 4.6: Instalación de los paneles solares	74
Figura 4.7: Instalación de microinversores	74
Figura 4.8: Aterramiento del sistema	74
Figura 4.9: Instalación de la unidad de monitoreo ECU-R	75
Figura 4.10: Vista de perfil de estructura con grado de inclinación de 15°	76
Figura 4.11: Distribución de trolcal AC y microinversores	76
Figura 4.12: Conexión a tierra externa microinversor.....	77
Figura 4.13: Conexión BUS AC principal	77
Figura 4.14: Aislado del extremo de cable AC	77
Figura 4.15: Interconexión de módulos fotovoltaicos con microinversor.....	78
Figura 4.16: Identificación de microinversores.....	78
Figura 4.17: Periodo de recuperación.....	89



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Producción de energía eléctrica nacional - marzo 2021	20
Tabla 1.2: Incremento por cargo de energía activa tarifa BT5B – SE Juliaca 2020.....	21
Tabla 3.1: Datos técnicos del módulo fotovoltaico	55
Tabla 3.2: Datos técnicos del microinversor	56
Tabla 3.3: Datos técnicos de la unidad de monitoreo ECU-R.....	57
Tabla 3.4: Operacionalización de variables.....	61
Tabla 4.1: Estimación de la potencia fotovoltaica.....	63
Tabla 4.2: Demanda de cargas por horas	64
Tabla 4.3: Mediciones registradas de voltaje y frecuencia.....	65
Tabla 4.4: Coordenadas de la zona en estudio.....	67
Tabla 4.5: Irradiación solar en plano inclinado 15°	68
Tabla 4.6: Especificaciones eléctricas de los paneles solares.....	70
Tabla 4.7: Especificaciones eléctricas de los micro inversores.....	70
Tabla 4.8: Costos de la instalación	79
Tabla 4.9: Energía teórica esperada.....	80
Tabla 4.10: Porcentaje teórico de energía cubierta.....	81
Tabla 4.11: Producción real obtenida	81
Tabla 4.12: Porcentaje real de energía cubierta.....	82
Tabla 4.13: Eficiencia del sistema	82
Tabla 4.14: Beneficio económico	84
Tabla 4.15: Porcentaje de ahorro	84
Tabla 4.16: Costos por depreciación	85
Tabla 4.17: Costos de mantenimiento	85
Tabla 4.18: Parámetros para calcular los indicadores	85



Tabla 4.19: Evaluación económica.....	88
Tabla 4.20: Resultados finales de la evaluación económica.....	90



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AIE	: Agencia Internacional de Energía
IRENA	: Agencia Internacional de las Energías Renovables
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
CAPECO	: Cámara Peruana de la Construcción
SSFV	: Sistema Solar Fotovoltaico
CO ₂	: Dióxido de carbono
BT5B	: Tarifa Eléctrica en Baja Tensión
HSP	: Hora solar pico
CC	: Corriente continua
AC	: Corriente alterna
W	: Watt
KW	: Kilo Watt
KW-h	: Kilo Watt Hora
STC	: Condición de Prueba Estándar.
MPPT	: Punto de Máxima Potencia
ECU	: Unidad de Comunicación de Energía
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa de Interés de Retorno



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores en edificaciones de la ciudad de Juliaca, a partir del estudio de la producción en términos de energía de un arreglo fotovoltaico conformado por seis paneles solares policristalinos de 330W y tres microinversores duales de 600W de potencia de salida, implementado e instalado para autoconsumo en una edificación cuya demanda eléctrica diurna prevalece sobre el nocturno, para posteriormente efectuar un balance de energía neta frente al consumo energético de esta construcción, proyecto de tesis que se desarrolló en la zona céntrica de la ciudad de Juliaca, donde el sistema fotovoltaico propuesto se ajustó según lo esperado a los parámetros eléctricos de la red de distribución principal y a las condiciones climatológicas de la zona, este sistema permite cubrir gradualmente la demanda de cargas eléctricas asociadas a una instalación y situadas próximas a la red interior, logrando así reducir los gastos en la facturación eléctrica y minimizando las emisiones por dióxido de carbono. El tipo de la investigación es aplicada de diseño pre experimental, como resultado se obtuvo después de recolectar la información de un periodo de estudio de ocho meses que comprende desde el mes de agosto 2019 al mes de marzo 2020, la data de energía producida y extraída de la unidad de monitoreo instalada, obteniéndose con una proyección anual un ahorro de S/. 1890,68 con lo cual se realizó una evaluación económica del proyecto determinándose un periodo de recuperación de 7,1 años, una TIR de 13% y un costo beneficio de 1,94. Se concluye que la instalación de sistemas ON GRID con microinversores es viable económicamente, instaurándose así un sistema alternativo de generación distribuida.

Palabras clave: Sistemas On Grid, Sistema fotovoltaico, Microinversor.



ABSTRACT

The main objective of this research work was to determine the viability for the implementation of ON GRID systems with microinverters in buildings in the city of Juliaca, from the study of the production in terms of energy of a photovoltaic arrangement made up of six polycrystalline solar panels of 330W and three dual microinverters of 600W of output power, implemented and installed for self-consumption in a building whose daytime electricity demand prevails over nighttime, to later make a net energy balance against the energy consumption of this construction, a thesis project that It was developed in the downtown area of the city of Juliaca, where the proposed photovoltaic system was adjusted as expected to the electrical parameters of the main distribution network and the weather conditions of the area, this system allows gradually meeting the demand for electrical charges associated with a facility and located close to the internal network, thus reducing costs in electricity billing and minimizing carbon dioxide emissions. The type of research is applied with a pre-experimental design, as a result it was obtained after collecting the information of an eight-month study period that includes from the month of August 2019 to the month of March 2020, the data of energy produced and extracted of the installed monitoring unit, obtaining with an annual projection a saving of S /. 1890.68 with which an economic evaluation of the project was carried out, determining a recovery period of 7.1 years, an IRR of 13% and a cost benefit of 1.94. It is concluded that the installation of ON GRID systems with microinverters is economically viable, thus establishing an alternative distributed generation system.

Keywords: On Grid Systems, Photovoltaic system, Microinverter.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica ha tenido un crecimiento exponencial en todo el planeta, y en los próximos años se espera la construcción de innumerables plantas fotovoltaicas, así como la generación distribuida adaptadas a edificaciones, las cifras sobre el crecimiento y desarrollo se ha visto reflejada en muchos países que optan por las condiciones de auto consumo o balance neto de estas instalaciones a través de la promoción del uso de energías renovables y su normalización en el marco legal.

Es por ello que las edificaciones modernas están empezando a invertir en tecnologías amigables con el medio ambiente, es así que las energías renovables se vuelven una fuente de producción de energía viable para estas construcciones. Una de las fuentes renovables más utilizadas en el mundo es la energía solar fotovoltaica en la cual se implementa módulos solares para la generación de energía eléctrica. Esta tecnología ha tenido una de las mejores tasas de crecimiento en los últimos diez años en comparación con otras energías de su rubro con lo cual se espera un crecimiento aún más elevado en los próximos años ya que reduce costos de generación de energía. International Renewable Energy Agency (IRENA) a través de una publicación señala que costo de la electricidad generada a partir de energía solar fotovoltaica registró un descenso del 82% entre 2010 y 2019, debido a la disminución de precios en módulos de hasta un 90%.

El uso de sistemas solares en los edificios es una solución que aún no es tan utilizada en la región, pese a que el Perú es uno de los países que cuenta con los valores más altos en irradiación solar. Sin embargo, los gobiernos están empezando a impulsar el uso de este tipo de energía a través de políticas e ideas que tienen por finalidad de que el porcentaje que cubre el consumo de energía sea cada vez mayor, en ese contexto la



industria poco a poco está cada vez más interesada por el desarrollo de esta fuente de energía, respaldado por una normativa que permiten su implementación e incentivos que van desarrollándose en el tiempo. Uno de los casos puntuales en el Perú es una ordenanza municipal N° 539/MM publicado en el mes de abril del 2020 que establece, regula y promueve condiciones para edificaciones sostenibles en el distrito de Miraflores Lima, cuyo objetivo es el de otorgar beneficios en la construcción en el número de pisos si la iluminación con energía solar se cubre mínimamente en el 50% de áreas comunes.

Entre las diferentes formas de producción de energía, en el presente proyecto de investigación se desarrollará una idea de aprovechamiento energético de una fuente limpia, para ello se tiene como objetivo principal determinar la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W para cubrir en parte la demanda eléctrica en las edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca, objetivo alcanzado a través del estudio de una instalación experimental implementada y montada en una edificación con prevalencia de consumos diurnos ubicada en zona céntrica de la ciudad Juliaca, para el cual se identificó en principio aquellos factores importantes para su realización y operación óptima, y posteriormente se realizó un balance de energía neta a partir de la comparación entre la energía producida por el sistema ON GRID con microinversores y el consumo registrado por la edificación en un mismo periodo, para de esta manera cuantificar los ahorros generados post implementación y determinar la viabilidad económica y el costo beneficio de la propuesta energética.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE), hace mención que el mundo necesitará casi un 60% más de energía en el 2030 respecto al 2020, es decir, la demanda mundial de energía eléctrica aumentará en un 55%, lo cual esto conlleva que las



energías limpias se conviertan en el 2040 en energías muy indispensables y rentables. De modo que, hasta el momento el 80% de la energía total generada proviene de energías convencionales, esto ocasiona escasez de materia prima, así como también repercusiones directas con el medio ambiente generando destrucción de la capa de ozono, lluvias ácidas, calentamiento global y extinción de áreas forestales, debido a esto la generación de energía con recursos renovables se está desarrollando con mayor auge en el mundo entero (UNESCO, 2020).

Según los estudios realizados y publicados en la revista *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* de todas las fuentes energéticas renovables, la energía solar fotovoltaica es la que tiene una elevada capacidad de generación eléctrica, estimando una generación actual por año de 613 PWh, que es el equivalente a 613.000 billones de vatios. Convirtiéndolo a la energía solar fotovoltaica, capaz de abastecer en un 25% de la demanda total de electricidad en el mundo entero. Por otro lado, un informe de la *International Renewable Energy Agency (IRENA)* estima que el aprovechamiento de esta energía fotovoltaica crecerá seis veces más en el transcurso de la próxima década, logrando alcanzar un potencial de 2840 GW para el año 2030 y un incremento de 8519 GW para el año 2050 (IRENA, 2019).

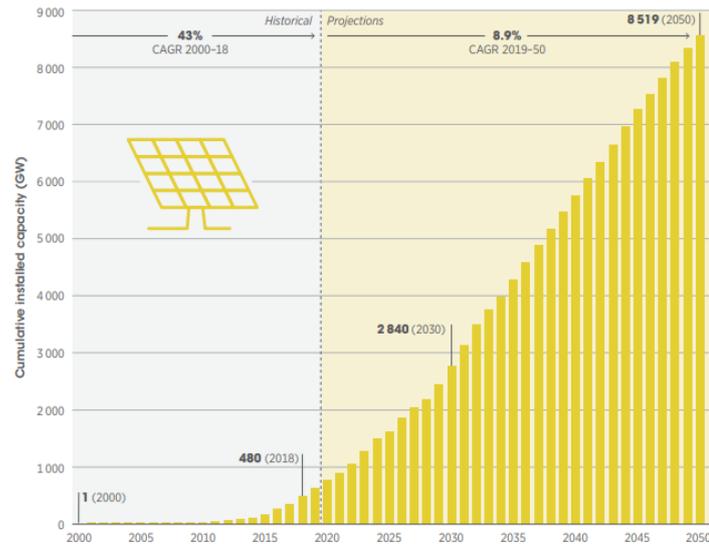


Figura 1.1: Capacidad instalada proyectada de energía fotovoltaica para los años 2030 y 2050

Fuente: (IRENA, 2019).

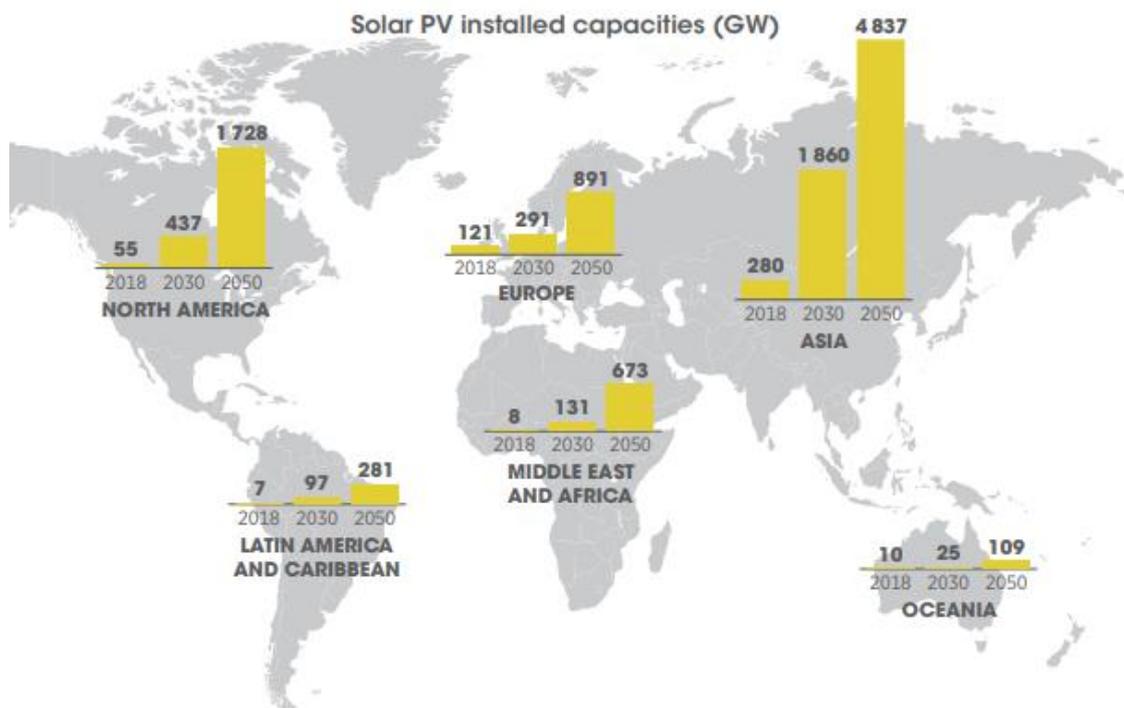


Figura 1.2: Capacidad instalada de energía foto voltaica a nivel mundial

Fuente: (IRENA, 2019)

Sin embargo, en el mundo entero las edificaciones consumen aproximadamente más del 40% de la energía eléctrica, estudios como el de la empresa Schneider Electric que actualmente maneja el 72% del mercado mundial estiman esta cifra en todo el globo. El crecimiento continuo de la demanda producto del aumento de la población, hace de

que consumo eléctrico se incrementa, siendo los edificios los principales demandantes de energía. Sin embargo, en la actualidad la energía eléctrica es uno de los factores que más contribuyen en la emisión de dióxido de carbono, siendo el 50 % emitidas por los edificios residenciales y comerciales, por lo que es conveniente incorporar tecnologías energéticas desde el inicio, ya que estas construcciones son perdurables en el tiempo (Revista Energética de Chile, 2021).



Figura 1.3: Consumo energético en edificaciones a nivel mundial
Fuente: (Revista Energética de Chile, 2021).

En su reciente informe, la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), detalla que las edificaciones en Perú han crecido en un 14,3% en el primer trimestre de este año 2021, lo cual, solo en Lima Metropolitana registró un crecimiento del 4.8%, de modo que solo este sector representa un 65% del consumo energético, generando así una gran demanda en la generación de energía eléctrica (MINEM, 2021). Sin embargo, esta demanda en su mayoría es cubierta por fuentes de energías convencionales lo cual generan deterioros en el ecosistema, motivo por el cual el estado promueve el uso de energías limpias siendo una de ellas la energía solar fotovoltaica, llegando a producir en este año 64 GWh, lo cual representa el 1% del total de la generación de energías renovables (MINEM, 2021).

Tabla 1.1: Producción de energía eléctrica nacional - marzo 2021

Mercado Fuente	Mercado eléctrico	Uso Propio	Total	Part.
Hidráulico	3211	68	3279	66%
Térmico	1354	135	1489	30%
Eólico	136		136	3%
Solar	64		64	1%
Total	4765	203	4968	
Nacional	96%	4%		

Fuente: (MINEM, 2021)

En el caso particular de la ciudad Juliaca, por su alta tasa de crecimiento poblacional en los últimos años ha experimentado un auge en la construcción de nuevas edificaciones que son destinadas a un uso mixto residencial - comercial y que estas se ubican predominantemente en la zona céntrica de la ciudad y en nuevas avenidas (Butrón, 2015). Reflejo de este crecimiento es la cantidad de usuarios que incorpora mensualmente Electro Puno S.A.A que en su gran mayoría son asociados a la tarifa BT5B, para el mes de julio 2021 en la zona urbanística denominada como zonas 13,14,15,16 y 17 existe un aproximado de 100,397 usuarios con esta tarifa, lo que indica una alta demanda energética, sin embargo, y su par, también se ha incrementado el costo de la tarifa eléctrica el cual conlleva a que los usuarios finales residenciales y comerciales de aquellas edificaciones con alta demanda energética en la ciudad de Juliaca paguen montos elevados en su facturación mensual, según los pliegos tarifarios publicados por Electro Puno S.A.A, en el sistema eléctrico de Juliaca se ha presentado un aumento gradual por el cargo de energía, es el caso de la tarifa BT5B (Residencial - Comercial) que entre los años 2017 al 2020 presentó una variación de incremento porcentual de un 3.63% en promedio en el sector residencial y 4.25% en el sector comercial, valores que tienden a subir en el paso del tiempo y que vienen afectando directamente en la economía de muchos de los clientes finales quienes buscan formas de ahorro energético para



contrarrestar estos gastos, sin embargo, por el desconocimiento en general que existe entre los usuarios en el uso de aplicaciones energéticas basadas en sistemas fotovoltaicos estas no son implementadas.

Tabla 1.2: Incremento por cargo de energía activa tarifa BT5B – SE Juliaca 2020

Año	Cargo promedio por Energía Activa - Tarifa BT5B Residencial (Cént.S./kWh)	Cargo promedio por Energía Activa - Tarifa BT5B No Residencial (Cént.S./kWh)	Variación porcentual Residencial	Variación porcentual Comercial
2017	58.09	64.05	0.00%	0.00%
2018	61.82	66.79	6.42%	4.29%
2019	64.89	68.89	4.97%	3.14%
2020	66.92	75.49	3.13%	9.58%
PROMEDIO	62.93	68.81	3.63%	4.25%

Elaboración propia

Por todo lo expuesto, se puede apreciar la importancia de la energía eléctrica, siendo esta la base fundamental para el desarrollo económico y social de un país, presentes en sus distintos sectores económicos, siendo uno de ellos el sector residencial y comercial, lo cual, las estadísticas demuestran que en los últimos años ha ido creciendo considerablemente y junto a ello también el aumento de la demanda eléctrica, motivo por el cual frente a este panorama, se busca generar energía eléctrica aprovechando los recursos renovables existentes en la región, siendo una de ellas la energía solar, motivo por el cual en esta investigación se evaluará la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores para autoconsumo en edificaciones ubicadas en latitudes como la ciudad de Juliaca, con el objetivo de generar energía y cubrir parte de la demanda eléctrica, permitiendo así la reducción de consumo de energía de la red pública, generando ahorros en la facturación de estas construcciones así como también la minimización de emisiones de dióxido de carbono y otros gases tóxicos al medio ambiente y dándole a su vez una imagen ecológica.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo se determinará la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W para abastecer parte de la demanda eléctrica en edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se implementará los sistemas ON GRID con microinversores de 600W en las edificaciones de Juliaca y que factores son importantes para su realización y óptimo funcionamiento?
- ¿Cómo se determinará la viabilidad y el costo-beneficio de la propuesta?

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Determinar la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600 W para abastecer parte de la demanda eléctrica en edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar, realizar el montaje y monitoreo de un sistema ON GRID con microinversores de 600 W en una edificación de la ciudad Juliaca identificando aquellos factores importantes para su realización y óptimo funcionamiento.
- Determinar la viabilidad económica y el costo-beneficio de la propuesta.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación teórica:



La presente investigación tiene como propósito aportar conocimientos sobre el uso de energías renovables y así proponer la implementación de sistemas ON GRID con microinversores para la generación de energía eléctrica y autoconsumo en edificaciones situadas en la ciudad de Juliaca, cubriendo de manera eficiente parte de la demanda eléctrica de las cargas asociadas a las instalaciones de estos establecimientos.

1.4.2. Justificación técnica:

Con el presente proyecto de investigación se da a conocer el uso de nuevas tecnologías para la aplicación de sistemas ON GRID, el uso de microinversores en sistemas solares permite una gran flexibilidad en su instalación y su capacidad de monitoreo en tiempo real de su producción de energía eléctrica. Uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial está representado por las edificaciones, escenario en el cual se presenta una gran oportunidad para la transferencia y desarrollo tecnológico a favor de la sustentabilidad.

1.4.3. Justificación social:

Con la presente investigación se busca lograr que la población pueda generar su propia energía para cubrir parte de su demanda eléctrica, a través de paneles solares fotovoltaicos y conectarlo a la red, el cual promoverá la creación y el mantenimiento de un conjunto de empresas instaladoras que generarán empleo local, brindando un mejor confort y calidad de vida.

1.4.4. Justificación económica:

El presente trabajo de investigación ayuda a integrar nuevas soluciones energéticas para optimizar económicamente a través de la generación de energía eléctrica mediante estos sistemas ON GRID con microinversores y tener como resultado una reducción en la factura del cliente. En ese contexto, edificaciones en donde las horas en



que se producen los consumos y se genera energía coinciden, los costos de facturación serán menores.

1.4.5. Justificación ambiental:

Con el presente trabajo de investigación se logrará disminuir considerablemente las emisiones de CO₂ y otros gases producida con la quema de combustibles pétreos en la generación de energía convencional. La implementación de un sistema solar no produce gases que dificultan su tratamiento, además que el sol es una fuente inagotable desarrollando un equilibrio sostenible con el medio ambiente.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general:

Al evaluar el uso de energía solar fotovoltaica para realizar la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W permitirá de manera eficiente abastecer parte de la demanda eléctrica en las edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca.

1.5.2 Hipótesis específica:

- Con la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W se abastecerá parte del consumo eléctrico de las edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca y los factores importantes que intervienen en su realización y óptimo funcionamiento son: La demanda energética, el perfil de consumo, los parámetros eléctricos de interconexión, la ubicación y la radiación media solar anual disponible en la zona.
- Con el análisis de costo-beneficio se determinará la reducción en la facturación de consumo eléctrico y la viabilidad del proyecto.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Según el autor Bruno (2017) en su tesis titulada “Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional”, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema fotovoltaico con microinversor conectado a la red, lo cual esta investigación se caracteriza por tener un enfoque cuantitativo de tipo básica con un diseño no experimental. Por lo tanto, en este proyecto de tesis se diseñó un sistema SSFV utilizando la tecnología de microinversores a partir del cálculo de la demanda eléctrica de una vivienda y la evaluación de consumos mensuales (KW-h), estudio donde se utilizó el Método de EBASCO estimando la producción para cubrir una carga parcial, la cual permite la interconexión a la red eléctrica en usuarios que disponen además medidores del tipo bidireccional NET-METERING.

El autor Flores (2018) en su investigación titulada “Micro-inversor fotovoltaico submodular con conexión en cascada a red”, de la Universidad Técnica Federico Santa María, lo cual tuvo como objetivo principal mejorar el rendimiento energético en la obtención de potencia, con una configuración submodular, presentando así mejoras en la eficiencia del sistema y mejor calidad de energía proporcionada a la red, su metodología de estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo aplicada y con un diseño experimental, sin embargo para un mejor resultado realizaron convertidores submodulares y eliminaron la caja de conexiones de los paneles, es decir conectaron de manera individual a cada segmento del panel utilizando convertidores flypack para el desarrollo de la etapa MPPT (Maximun Power Point Tracker que viene a ser el máximo punto de potencia). Por otro



lado, no utilizaron el clásico puente H, sino realizaron un esquema en cascada, logrando así sistemas independientes con alta eficiencia obteniendo un mejor control de la corriente inyectada a la red.

El autor Bravo (2016) en su investigación titulada “Uso de microinversores en sistemas fotovoltaicos con radiación solar reflejada” de la universidad de Sevilla, cuyo objetivo principal fue cuantificar la mejora de la eficiencia de una instalación fotovoltaica con microinversores, para ello utilizó una metodología con un diseño experimental de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, donde obtuvo la mejora en la eficiencia de producción fotovoltaica comparando dos instalaciones idénticas con tecnología del microinversor diferenciadas solo por la manera en la captación de la radiación solar, en una de manera concentrada y en la otra de forma natural, analizando para el primer caso las características reflectantes de diferentes materiales constructivos que permitan aumentar la eficacia de la instalación en su conjunto.

Según los autores Cortés et al (2019) en su artículo titulado “Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales”, publicado en la revista Scielo, tuvo como propósito estudiar la influencia de la configuración de la instalación fotovoltaica, la influencia de la nubosidad y las ventajas o desventajas cuando se cuenta con un inversor centralizado, y cuando se trabaja con varios microinversores, durante el undécimo período a modo de comparación.

Bonilla (2017) en su artículo titulado “Propuesta de diseño de una microred en la comunidad de Santa Elena, Pérez Zeledón, basada en Whites Lane Smart Micro Grid” propone un diseño de una microred inteligente para una comunidad, la población fue de 10 clientes cuyas casas están tienen una capacidad fotovoltaica de 2kW, en todas ellas se



tiene un medidor inteligente que sirve para monitorear su consumo. La energía eléctrica producida por los módulos pasa por un microinversor, posteriormente va a un transverter, también se hizo la instalación de baterías que funcionan de manera autónoma en la noche o cuando la demanda sea mayor que la producción, se conectará a la microred que es una estación de carga para vehículos eléctricos.

Vilca (2020) en su trabajo de investigación “Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCRs) de 2.16 k w con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca” tiene como objetivo diseñar el sistema, implementarlo y posteriormente analizarlo económicamente, la metodología fue aplicada, como resultado se obtuvo que con la implementación de 8 módulos fotovoltaicos de 270W y 8 microinversores se espera obtener una eficiencia promedio del microinversor 96.03%, finalmente se hizo un análisis económico, concluyendo así que es viable económicamente.

Niño (2019) en su trabajo de investigación titulada “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers”. Tuvo como objetivo principal la propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa en estudio, la investigación tuvo un método deductivo, como resultado se obtuvo que la instalación tendrá 270 paneles solares de 370 W los cuales serán monitoreados por el inversor SIRIO K100 el cual estará conectado a red, pero no se inyectará energía siendo el sistema de autoconsumo, se concluye que la instalación es rentable a largo plazo con un periodo de retorno de 7 años permitiendo ahorrar energía eléctrica.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Energía

Es la capacidad de producir trabajo físico o mecánico. Teniendo en cuenta que, así, la relación entre trabajo y energía se define como muy significativa en dos sentidos: prescribe una forma de calcular la energía midiendo o calculando el trabajo; y también permite distinguir entre la noción de energía en uso actual y la de energía utilizada en ciencia (Hernández, 2016).

2.2.2. Energías renovables

Son todos los recursos naturales que están disponibles en toda la tierra de manera abundante, las cuales son inagotables a escala humana ya que se renuevan constantemente. Su característica principal es que no emiten gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Sus costos de explotación en los últimos tiempos se han ido reduciendo de manera sostenida, debido a su demanda a nivel mundial (MINEM, 2018).

2.2.3. Energía Eléctrica

Es una forma de energía en la se basa en la diferencia de potencial entre dos puntos, y es así que se establece una intensidad eléctrica que por un conductor eléctrico es llevada (Salgado, 2009).

2.2.4. Energía solar

Este término hace referencia a uno de los tantos tipos de energía renovable existentes en la naturaleza, lo cual es obtenida mediante la recepción de espectros electromagnéticos provenientes del sol, generando reacciones químicas o energía eléctrica. Sin embargo, para utilizar este tipo de energía se necesita de sistemas de aprovechamiento, los cuales pueden ser pasivo o activos, siendo el primero un sistema

que no necesita de dispositivos para el aprovechamiento de energía solar, a diferencia de un sistema activo, este si necesita dispositivos para aprovechar esta fuente energética solar, como son los módulos solares. (OSINERGMIN, 2019).

2.2.5. Energía fotovoltaica

Es la transformación de la radiación del sol en energía eléctrica a partir las células fotovoltaicas, que comúnmente están elaboradas de silicio. Estos espectros de luz solar (fotones) impactan de manera directa en las células de los paneles fotovoltaicos generando corrientes eléctricas que posteriormente se usa como energía eléctrica (Scoda, 2017). Por otro lado, Ragnini (2016) nos indica, que este es el tipo más conocido y manejado para generación de energía eléctrica a través de los rayos solares. A su vez, capturan por medio de placas solares los rayos del sol y convertirlos en energía eléctrica que se puede utilizar en hogares e industrias. Por lo general, las placas se instalan en los techos de las hogares o industrias para capturar mejor los rayos del sol.

2.2.6. Efecto fotovoltaico

Es el procedimiento mediante el cual una celda fotovoltaica transforma los rayos solares en electricidad. La luz que está compuesta por fotones, ellos al incidir en las células fotovoltaicas pueden ser absorbidos o reflejados (Barberá, 2018).

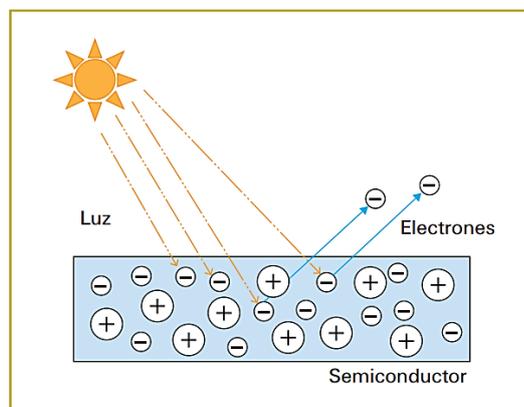


Figura 2.1: Efecto fotovoltaico
Fuente: (Barberá, 2018)

2.2.7. Celda fotovoltaica

Son aquellas que transforman la luz solar en eléctrica, es necesario recalcar que algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, por otra parte, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible Salazar, Pichardo y Pichardo (2016).

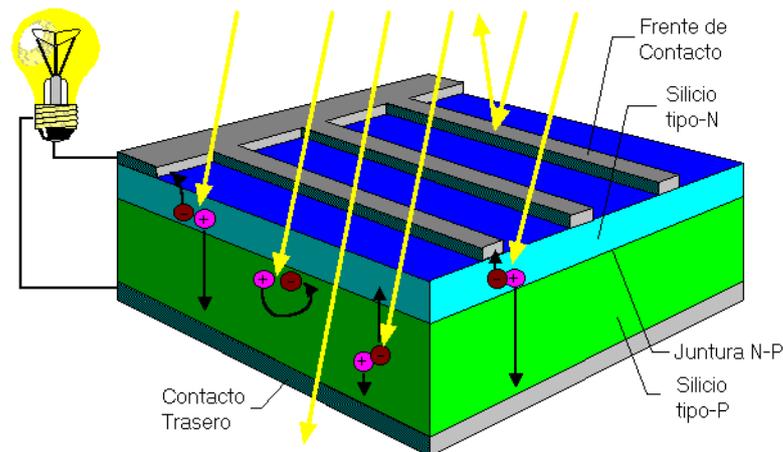


Figura 2.2: Celda fotovoltaica
Fuente: Salazar, Pichardo, & Pichardo (2016)

2.2.8. Tipos de celdas fotovoltaicas

Según su material y el orden atómico que guardan las celdas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Monocristalina

Cuando la disposición atómica de un sólido cristalino es perfecta, todas las celdas unitarias están conectadas de la misma forma y tienen la misma orientación, lo que se denomina monocristal, que indica su pureza (Jiménez, 2017).

Policristalina

La mayoría de los sólidos cristalinos están formados por muchos pequeños cristales o granos, por eso se les llama policristalinos, y cada grano tiene una orientación

diferente. El área donde se encuentran dos granos de cristal se llama límite de grano (Jiménez, 2017).

Amorfo o capa fina

los átomos o moléculas que la forman no existen en una posición fija en el cristal, por lo que carecen de una distribución tridimensional regular (Jiménez, 2017).

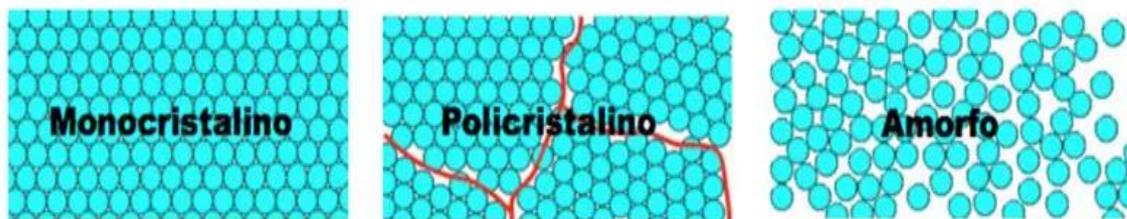


Figura 2.3: Tipos de celdas fotovoltaicas

Fuente: (Jiménez, 2017)

2.2.9. Variables eléctricas de la celda fotovoltaica

Fernández & Cervantes (2017) nos comenta, es la forma de crear energía, de acuerdo a estos componentes, mediante la incidencia de luz, con el objetivo de producir un potencial y una circulación de corriente eléctrica. Por consiguiente, se presentan las siguientes significaciones.

Potencia eléctrica

Vásquez et al. (2016) nos refiere que es la capacidad de ejecutar una acción de trabajo, medido en Watts, de igual modo, es el producto de la corriente medida en amperios y la tensión medida en voltios

Voltaje

Hernández (2016) también denominada tensión eléctrica, es una magnitud que expresa la cantidad de diferencia de potencial entre dos puntos. Su unidad es el voltio y puede ser medido con un voltímetro.

Corriente eléctrica

Osinergmin (2019) este término nos hace referencia a un flujo de carga eléctrica que transita unos conductores de energía que están fabricados de: plata cobre, oro en un circuito eléctrico. Por otra parte, se puede definir como un flujo de partículas cargadas, como electrones o iones, que se mueven a través de un conductor eléctrico o un espacio.

2.2.10. Temperatura de operación nominal de la celda solar

Sandoval, Tolosa, & Quintal (2019) nos detalla que la temperatura que alcanzan suele estar entre 43°C y 47°C, cuanto menor sea la temperatura de operación, mejor será su eficiencia. Si la temperatura incrementa manteniendo la irradiación solar constante, el voltaje y corriente disminuyen.

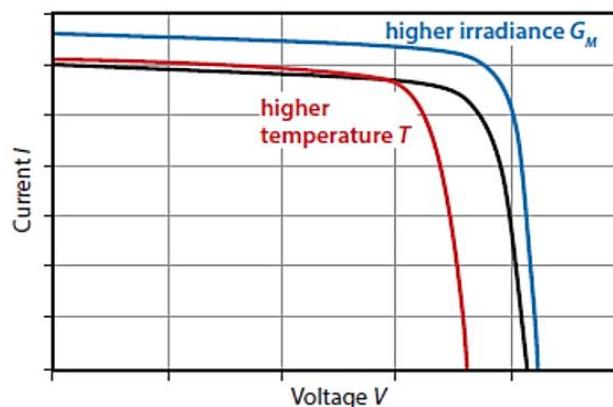


Figura 2.4: Efecto coeficiente de temperatura
Fuente: Sandoval, Tolosa, & Quintal (2019)

2.2.11. Panel fotovoltaico

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que reciben los rayos de sol y lo convierten en energía eléctrica, estos dispositivos están conformados por celdas solares, lo cual estas son las que transforman la radiación solar en electricidad, todo esto se debe al efecto fotovoltaico que ocasionan los fotones. Es decir, módulos solares producen energía eléctrica debido al efecto fotovoltaico que provocan los fotones,

produciendo cargas negativas y positivas generándose un campo eléctrico, que posteriormente generará electricidad (MINERGIA, 2019).

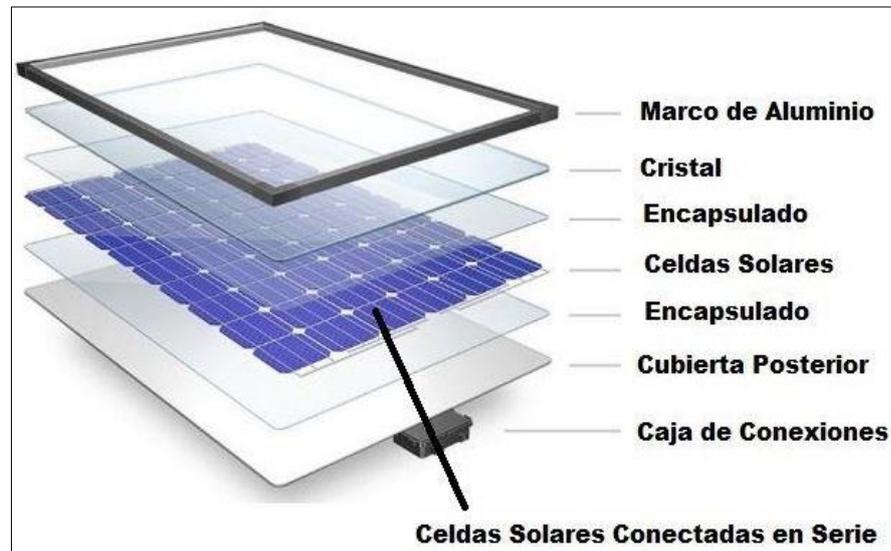


Figura 2.5: Partes de un panel solar fotovoltaico
Fuente: (MINERGIA, 2019)

2.2.12. Características de un panel fotovoltaico

Para poder hacer un buen dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, es necesario tener en cuenta las siguientes características: potencia ideal, eficiencia y potencia entregada, lo cual se verá a continuación.

Potencia ideal

Para ello se considera condiciones ambientales normalizadas como (Temperatura de funcionamiento de 25° C y una radiación solar de 1.000 W/m²)

$$\text{Potencia ideal (W)} = \text{Área de panel(m}^2\text{)} * 1000(\text{W/m}^2)$$

$$\text{Eficiencia}(\%) = \frac{\text{potencia nominal (W)}}{\text{potencia ideal (W)}} * 100$$

$$\text{Potencia entregada}_{(i)} \text{ (W)} = \text{Área de panel(m}^2\text{)} * \text{irradiación(W/m}^2\text{)} * \text{eficiencia} (\%)$$

Donde (i): representa cada hora del día.

Curva de carga

Las células fotovoltaicas producen corriente eléctrica de tipo continua, asimismo mismo su curva I–V con lo cual su intensidad es constante para un amplio rango de tensiones. Cuando alcanza un valor determinado, la corriente disminuye asintóticamente a cero como se muestra en la siguiente figura (Hernández, 2016)

En la siguiente figura se observa la curva característica de un panel fotovoltaico (FV).

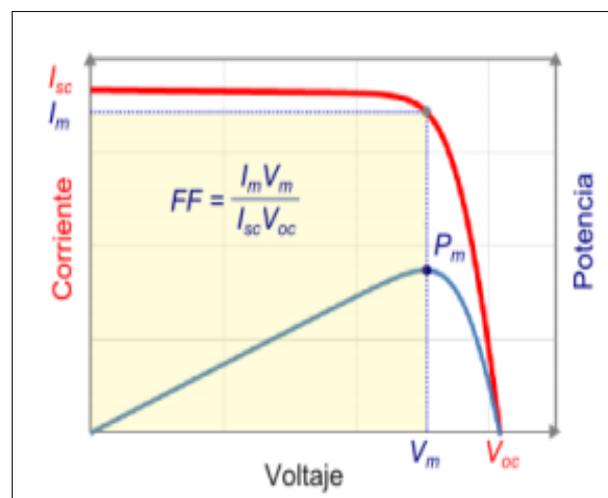


Figura 2.6: Curva de voltaje y corriente en un panel fotovoltaico
Fuente: (Miranda, 2016).

En la curva I-V existe un punto conocido como “punto de máxima potencia” donde se obtiene la máxima potencia posible, y las coordenadas de dicho punto son designadas por I_m y V_m , teniendo que $P_{mpp} = I_m \cdot V_m$. Es importante operar en este punto porque es donde se alcanza la máxima eficiencia del panel, pudiendo generar mayor cantidad de energía en cada instante (Miranda, 2016). También se define el “factor de forma” como:

$$FF = \frac{P_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

cuyos valores típicos están entre 0,7 y 0,85.

Rendimiento

La eficiencia de la conversión de la energía es el porcentaje de energía solar absorbida por el panel que efectivamente es convertida en energía eléctrica, y se calcula como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{irradiación} * \text{area de panel}}$$

Las celdas fotovoltaicas, en la actualidad, alcanzan eficiencias entre los valores de 15% y 20%.

En la siguiente imagen se puede observar un esquema básico desde la captación solar hasta su transformación en energía eléctrica (Alvarado, 2018)

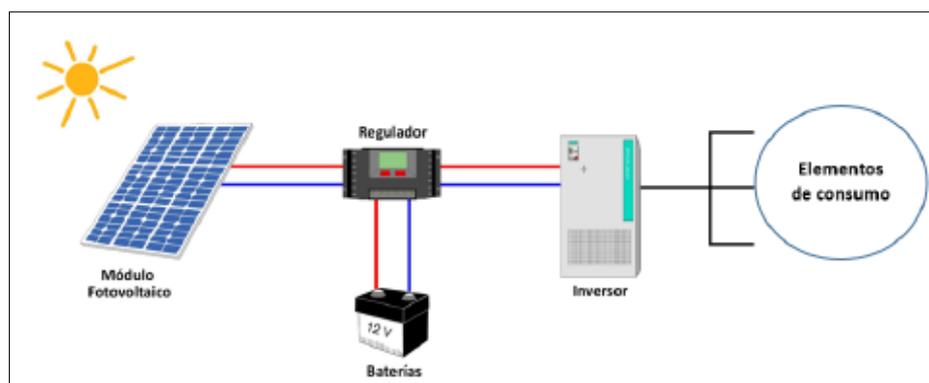


Figura 2.7: Proceso de transformación de energía solar en eléctrica
Fuente: (Alvarado, 2018)

2.2.13. Tipos de paneles solares, según el tipo de células

Según Autosolar Energy Solutions (2021) existen tres tipos de paneles solares dependiendo su tipo de célula fotovoltaica.

Panel solar monocristalino

Estos paneles se destacan porque tienen un alto nivel de pureza de silicio, que gracias a este componente tienen mayor eficiencia con respecto al policristalino. Por otro lado, su diferencia física es que se tornan de un color más oscuro.

Panel solar policristalino

Estos paneles a diferencia de los monocristalinos son menos eficientes, porque están fabricados con un nivel bajo de silicio, motivo por el cual no cuentan con una alta pureza, reduciendo así su eficiencia.

Panel solar amorfo

Este panel se diferencia de los anteriores porque no está hecho de cristales, así mismo su eficiencia es muy inferior con respecto a los ya mencionados, sin embargo, este tipo de panel es utilizado mayormente en calculadoras y relojes, cabe rescatar que estos paneles producen energía eléctrica sin estar expuestos de manera directa a los rayos solares.

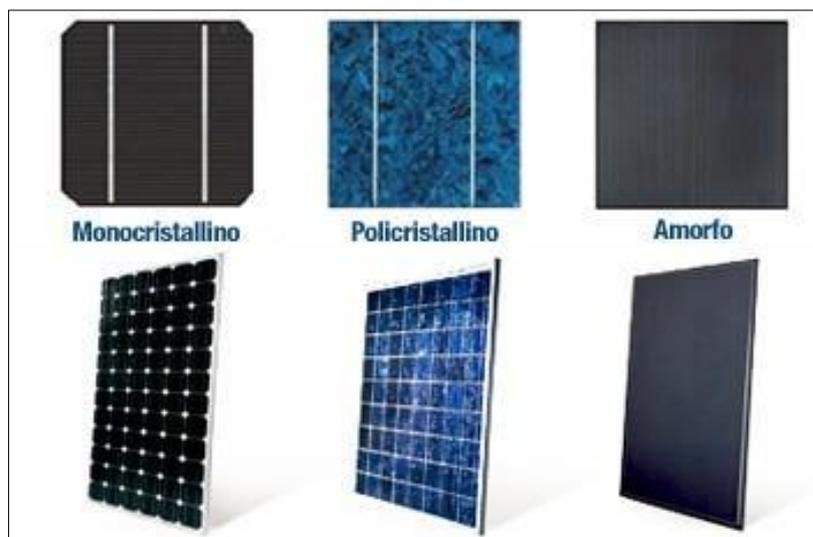


Figura 2.8: Diferencia entre paneles monocristalinos, policristalinos y amorfos
Fuente: (Molina & Martínez, 2017)

2.2.14. Opciones de montaje de paneles fotovoltaicos

Estas configuraciones son muy importantes, porque va depender de su disposición para poder obtener una mejor captación de energía solar. A continuación, se muestran algunos arreglos de montaje.

Panel fijo horizontal

Para determinar la ubicación, se necesita la inclinación (b) respecto del plano horizontal y el eje central de este plano se orienta con un acimut (a) respecto del norte. Como se muestra continuación (Molina & Martínez, 2017)

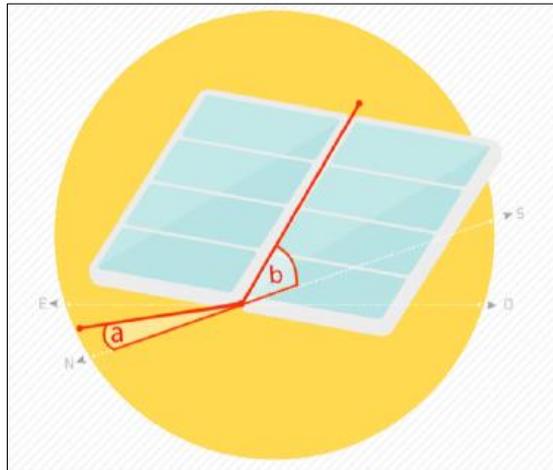


Figura 2.9: Panel fijo horizontal
Fuente: (Molina & Martínez, 2017)

Panel horizontal con seguimiento en eje horizontal norte sur

En este caso, considere instalar paneles horizontales en un eje orientado de norte a sur. El eje gira para que el panel mire hacia el este por la mañana y se mueva hacia el oeste por la tarde (Molina & Martínez, 2017).

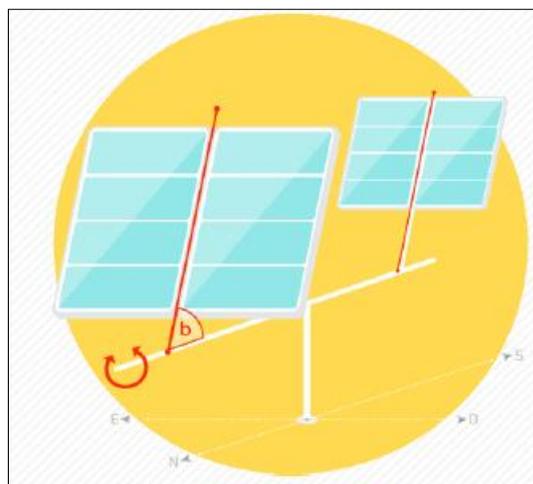


Figura 2.10: Panel horizontal con seguimiento en eje horizontal norte sur
Fuente: (Molina & Martínez, 2017)

Panel con seguimiento en dos ejes, uno horizontal y uno vertical

En este caso, el panel se instala en dos ejes perpendiculares entre sí. Una vertical, que permite que el acimut del panel se mueva. También hay un nivel, que le permite cambiar la inclinación del panel. Con este sistema de monitorización, el panel siempre es perpendicular a los rayos del sol, por lo que la captación de radiación solar está totalmente optimizada. (Molina & Martínez, 2017)

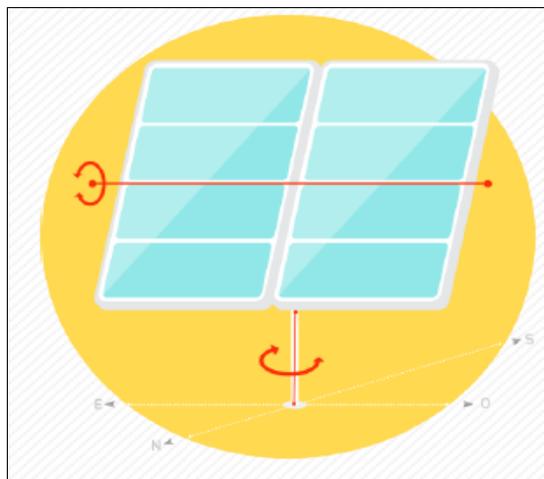


Figura 2.11: Panel con seguimiento en dos ejes, uno horizontal y uno vertical
Fuente: (Molina & Martínez, 2017)

2.2.15. Angulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos

Fernández y Cervantes (2017) se refiere a la inclinación ideal de los paneles fotovoltaicos, esto depende de la latitud del lugar donde se van a colocar. La latitud del sitio define la orientación e inclinación que deberá poseer un sistema fotovoltaico. Cabe señalar que los techos horizontales son los que se adecuan mejor para producción eléctrica.

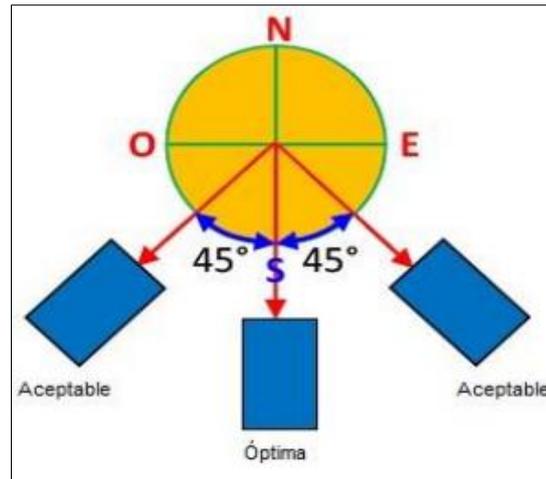


Figura 2.12: Orientación óptima del módulo
Fuente: Fernández & cervantes (2017)

Sin embargo, para un mejor aprovechamiento de la radiación solar dependerá mucho del ángulo que tenga dicho panel fotovoltaico y también de la latitud del lugar. Como se expresa a continuación (Alquímeres, 2019)

$$\beta = 3,7 + 0,69 * |\phi|$$

Donde:

ϕ : Es latitud del lugar

2.2.16. Distancia óptima entre filas de cada arreglo de módulos fotovoltaicos

Para realizar una instalación de paneles fotovoltaicos, se tiene que tener en cuenta la sombra que proyecta cada módulo. A continuación, se determinará la distancia requerida (Abad & Flores, 2016). Sin embargo, se establece que a medio día la sombra de la arista superior del panel se proyecte como máximo sobre la arista inferior como se detalla en la siguiente figura.

Estas instalaciones están compuestas por varios componentes dependiendo del tipo de sistema, teniendo como punto común en todos los casos el uso de módulos fotovoltaicos para la conversión de la radiación solar en energía eléctrica. Estas se clasifican en sistemas aislados de la red, sistemas conectados a la red y sistemas híbridos como combinación de las dos anteriores. (Salamanca, 2017).

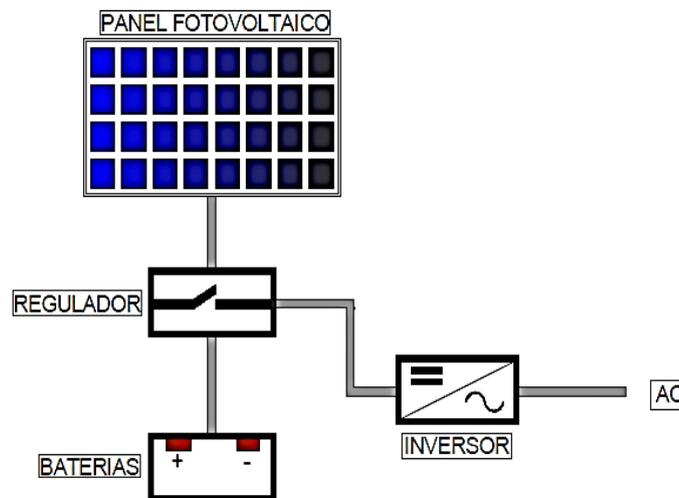


Figura 2.14: Sistema fotovoltaico
Fuente: (Salamanca, 2017)

Sistemas aislados de la red eléctrica

Estos sistemas son aquellas que carecen de interconexión con la red de distribución eléctrica. Se pueden discriminar además entre instalaciones con acumulación e instalaciones de conexión directa. Las instalaciones con acumulación cuentan con baterías que permiten el suministro de energía en escenarios de escasa o nulo aprovechamiento de la radiación solar. Los mismos que además se diferencian por el tipo de carga que se conecta a este sistema, pudiendo haber sistemas aisladas con componentes de consumo en corriente AC o componentes de corriente DC (Salamanca, 2017).

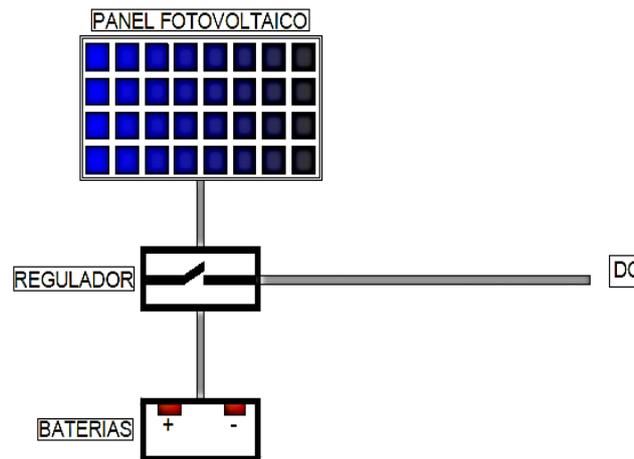


Figura 2.15: Sistema fotovoltaico aislado
Fuente: (Salamanca, 2017)

Sistemas conectados a la red eléctrica

Estos sistemas son aquellas en las que la energía cosechada por el arreglo fotovoltaico se cede directamente a la red de distribución de energía. Las instalaciones conectadas a la red no cuentan con sistema de acumulación ni controladores, este sistema la compone únicamente los paneles solares y el ondulator o inversor. Los módulos fotovoltaicos son el elemento común con los sistemas aisladas de la red, no obstante, los ondulatoros o inversores deben contar con un sistema de medidas de la energía que se produce y aquella que se consume, tener la opción de interrumpir o reanudar el suministro en base al estado del arreglo fotovoltaico y sincronizar la corriente producida en el ondulator o inversor a los parámetros de la línea de energía de la red (Renova Energia, 2020).

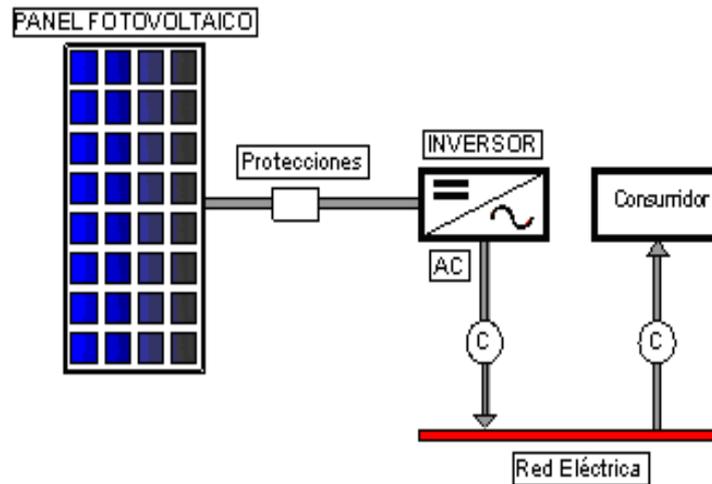


Figura 2.16: Sistema fotovoltaico conectado a la red
Fuente: (Salamanca, 2017)

2.2.18. Configuración de sistemas conectados a red

Según Espitia (2019) Señala y describe dos configuraciones para sistemas ON GRID de aplicación en sistemas fotovoltaicos, los mismos que se describen a continuación.

Sistema fotovoltaico con inversor String

Es aquella instalación donde se centra la producción de los módulos fotovoltaicos en eslabones o arreglos en serie de los paneles solares (Voltaje alto en el lado DC), de tal forma que el inversor central capta esta producción eléctrica de los módulos fotovoltaicos e inyecta a la red eléctrica alterna (AC) del usuario o cuadro de distribución de carga para su consumo final.

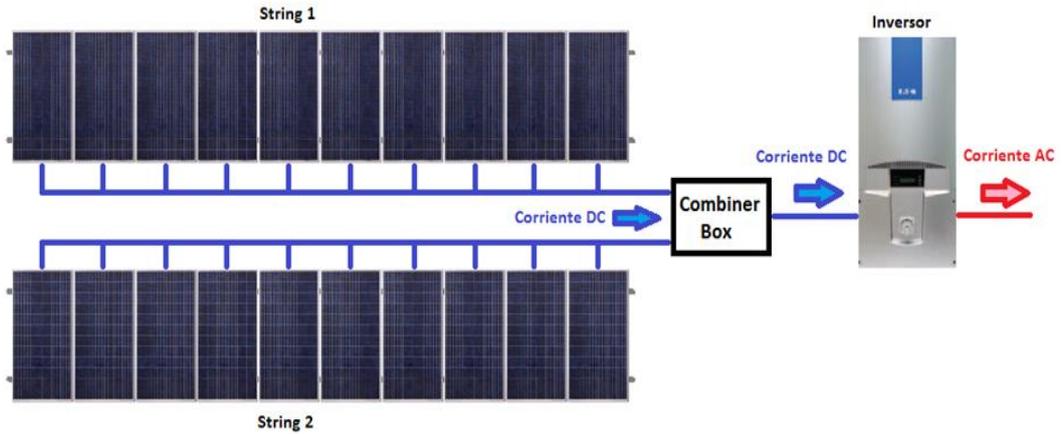


Figura 2.17: Configuración de un sistema fotovoltaico con inversor Central
Fuente: Espitia (2019)

Sistema fotovoltaico con microinversores

Es aquella instalación donde la producción de los módulos fotovoltaicos se capta independientemente panel por panel, y cada microinversor tiene la función de tomar la producción eléctrica de su panel respectivo e inyectarla a la red eléctrica alterna (AC) del usuario o al cuadro de distribución de carga para su consumo final.

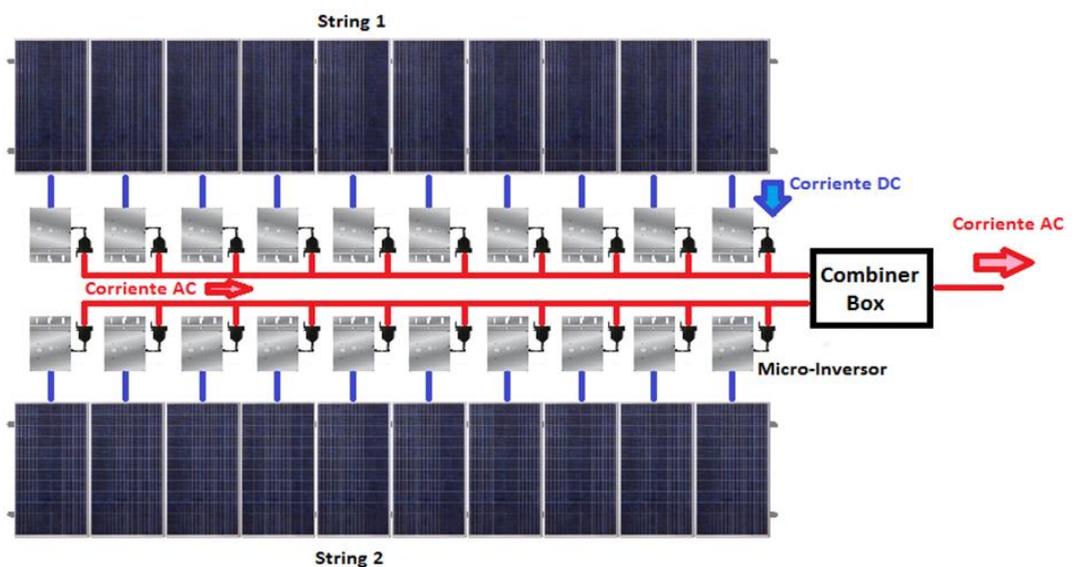


Figura 2.18: Configuración de un sistema fotovoltaico con microinversores
Fuente: Espitia (2019)

2.2.19. Radiación solar

Es un tipo de energía producida por el sol que se dispersa a través de ondas electromagnéticas en toda la superficie terrestre, sin embargo, existen diferentes tipos de radiación solar, lo cual, las más comunes para generar energía eléctrica son las siguientes (Alvarado, 2018).

- **Radiación directa:** Se caracteriza porque atraviesa la atmosfera y llega directamente desde el sol hacia un punto determinado en la superficie terrestre.
- **Radiación difusa:** En su trayecto camino hacia la tierra se encuentra con nubes, y como consecuencia su reflejo cambia de dirección.
- **Radiación de Albedo (reflejada):** Este tipo de radiación se refleja en el suelo para después incidir en otra superficie.
- **Radiación global:** Es el conjunto de todas las radiaciones que percibe una determinada superficie.

En la siguiente imagen se puede apreciar un resumen de los tipos de radiaciones existentes.

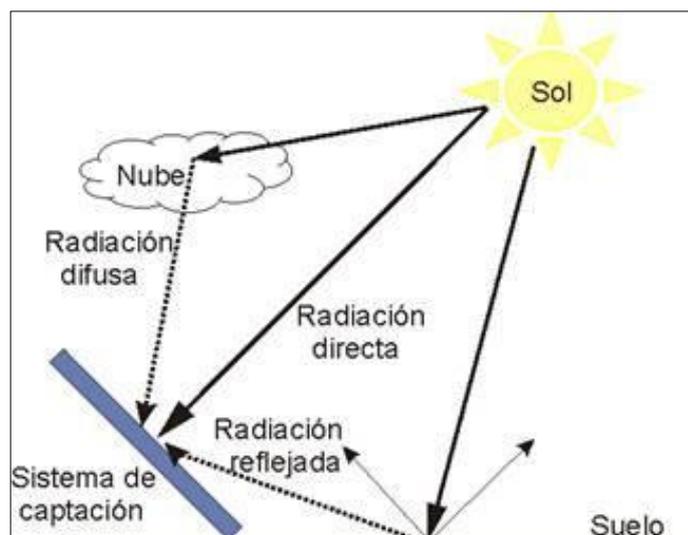


Figura 2.19: Tipos de radiaciones emitidas por el sol
Fuente: (Alvarado, 2018).

2.2.20. Sistemas ON GRID

Un sistema ON GRID, según Dávila (2018) es aquel sistema que se encuentra conectado a la red eléctrica. Al mismo tiempo se caracteriza por devolver energía sobrante a la red local, generada por los paneles fotovoltaicos de una instalación. Es decir, durante la radiación del día el usuario consume la energía generada por el sistema fotovoltaico y el excedente lo inyecta nuevamente a la red, sin embargo, durante la noche toma energía de la red debido a que algunos de estos sistemas no cuentan con almacenamiento de energía eléctrica (INTEVA, 2018).

Uno de sus principales ventajas de estos sistemas ON GRID, es que reducen la facturación de energía eléctrica, en pocas palabras son muy eficientes en el tema económico y de fácil recuperación de la inversión, por otro lado, no producen emisiones contaminantes al medio ambiente sobre todo no necesitan sistema de acumulación de energía, así mismo, también ayuda a no sobrecargar las redes de distribución eléctrica. Sin embargo una de sus desventajas es dejar de funcionar si detecta un corto o desabastecimiento de energía eléctrica por parte de la red. (Ministerio de Energía, 2020).

Como se observa en la siguiente imagen se tiene dos curvas, la de color rojo, representa el consumo de una carga (vivienda, edificio, industria, etc.) durante el día; y la curva de color azul, representa la energía producida por el sistema solar, por lo tanto, la diferencia de exceso de energía es registrada por un medidor bidireccional y es vendida a la concesionaria correspondiente, generando ganancias al usuario.

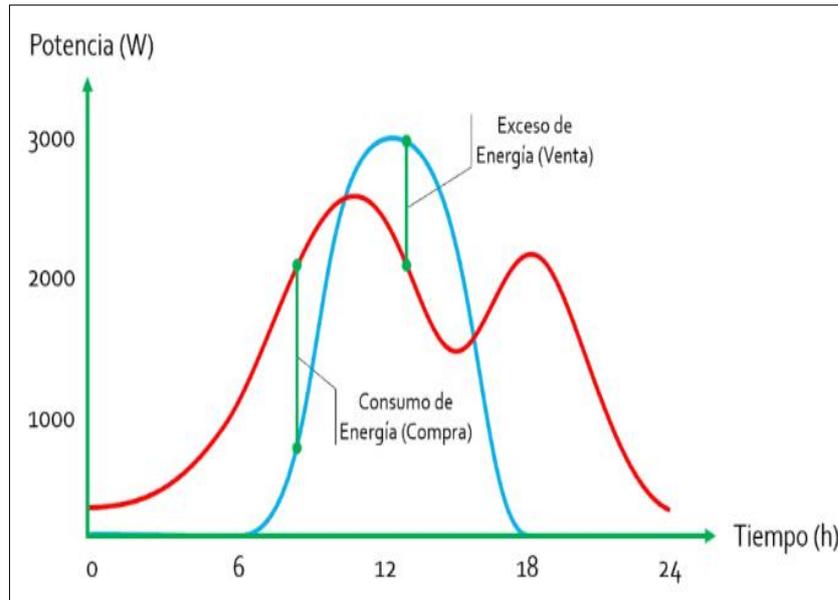


Figura 2.20: Curva de consumo y generación de energía fotovoltaica
Fuente: (INTEVA, 2018).

2.2.21. Hora solar pico (HSP)

Es la energía por unidad de superficie, es decir, es la unidad que mide la irradiación solar que hipotéticamente se considera un valor de $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$, y se utiliza para determinar cuanta energía puede producir un panel fotovoltaico mediante el día, en conclusión, si en una zona determinada existe 3 HSP, entonces se tiene 3 horas de energía solar a las que se transfieren $1000\ \text{W}/\text{m}^2$, por lo tanto, esa zona habrá obtenido $3000\ \text{Wh}/\text{m}^2$ durante el día (Buele & Chazi, 2019).

Una HSP equivale a $3,6\ \text{MJ}/\text{m}^2$ o a $1\ \text{kWh}/\text{m}^2$, por lo tanto, si convertimos en MJ/m^2 se tiene:

$$1\ \text{HSP} = \frac{1\ 000\ \text{W} * 1\ \text{h}}{\text{m}^2} * \frac{3\ 600\ \text{s} * 1\ \text{h}}{1\ \text{h}} * \frac{1\ \text{J}/\text{s}}{1\ \text{W}} *$$

$$1\ \text{HSP} = 3,6\ \text{MJ}/\text{m}^2$$

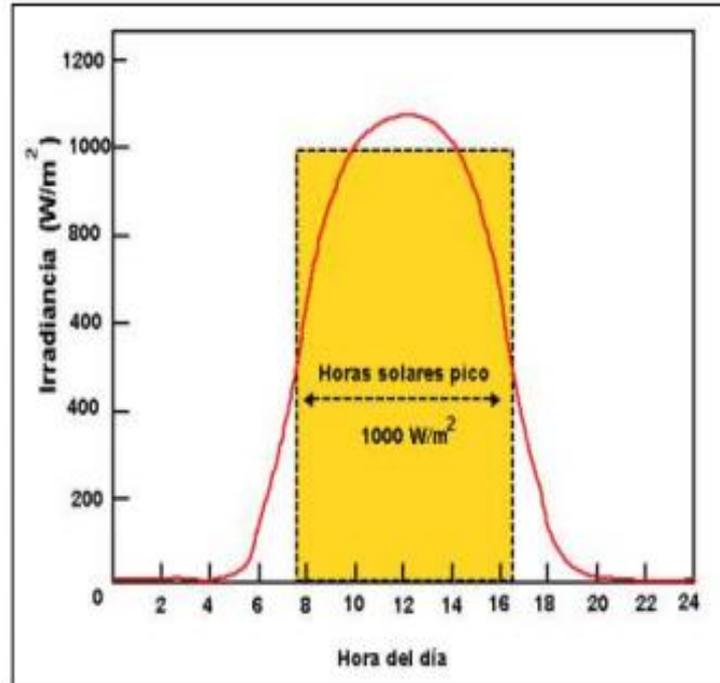


Figura 2.21: Distribución de la irradiación solar en un día
Fuente: (Buele & Chazi, 2019).

2.2.22. Microinversor

Es un dispositivo donde su principal función es convertir la corriente continua (DC) de los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna (AC), para posteriormente ser aprovechada por diversas cargas, estos microinversores a diferencia de los inversores tradicionales cuentan con una tecnología muy avanzada, obteniendo ventajas como la reducción del efecto sombra producido por los paneles fotovoltaicos o por condiciones ambientales, otra ventaja es que cada panel trabaja a su potencia máxima y con total independencia, por otro lado su larga duración de vida (25 años) asegura la alta eficiencia y generación de energía eléctrica (ANLA, 2017).

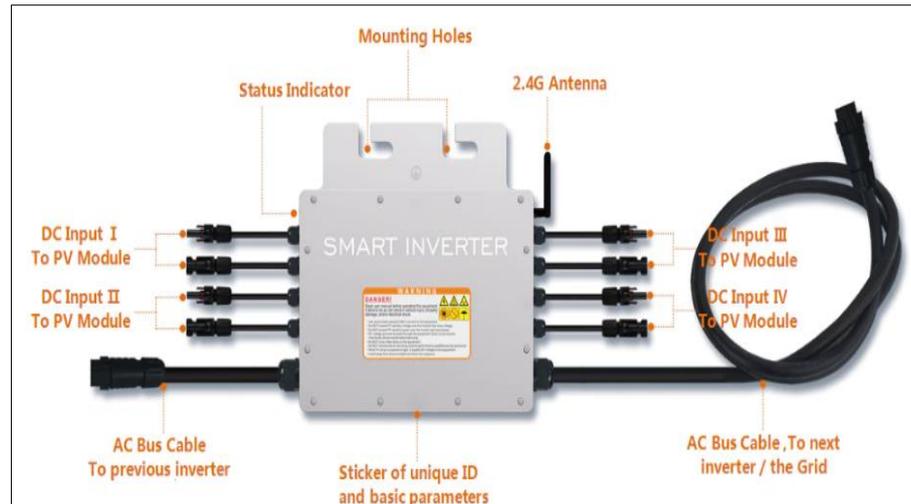


Figura 2.22: Estructura básica de un Microinversor
Fuente: (ANLA, 2017)

2.2.2.3. Ventajas del uso de microinversores

Según Espitia (2019) Nos refiere una serie de comparaciones entre un inversor centralizado (String) y un microinversor, señalando algunas consideraciones del porque utilizar la tecnología del microinversor.

Producción

Los microinversores permiten que los módulos fotovoltaicos operen independientes uno de otros, por lo que las afectaciones que puedan presentarte como diferencian de condiciones de operación entre módulos ya sean por sombras, degradación no lineal, diferencia de temperatura, suciedad y polvo, no afecte o impacte a todo el sistema, por lo que la producción neta es mayor.

Seguridad

Los microinversores minimizan el riesgo de exponerse a incendios, efecto arco y choques eléctricos accidentales, debido a que el voltaje DC de los paneles solares es más seguro cuando se trabaja a nivel modular, evitando aso impactos a la seguridad personal y del arreglo físico.



Gestión

El control y monitoreo es mejor debido a que se puede gestionar el arreglo de módulos solares individualmente (panel por panel), lo que indica mayor control y detección de fallas tempranas, minimizando los tiempos de respuesta en cualquier mantenimiento preventivo y correctivo.

Costos

Cuando se hace una primera comparación de costos en KWp entre las dos tecnologías solo el micro inversor es ligeramente más costoso, pero al hacer un balance final del conjunto se puede llegar a la conclusión de que en los inversores centrales se requerirá la concentración en DC en alto voltaje lo que indica mayor costo en cableado y protecciones lo que incrementa el costo del inversor según la protección y marca, los costos de protecciones y cableado DC en microinversores es cero porque ya están incluidas en el equipo.

Escalado

Los sistemas con inversor central son más difíciles de escalar pues la capacidad la define el mismo inversor, mientras que con microinversores se puede efectuar en la medida que el cliente lo disponga.

Instalación

Los microinversores se encuentran diseñados para instalaciones más rápidas y sencillas (No intrusiva), para aplicaciones residenciales y comerciales y con garantías de hasta 25 años en equipos.

2.2.24. Medidor bidireccional

Fernández & Cervantes (2017) Este equipo posee como finalidad computar el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal, su funcionamiento es que por las mañanas produce energía, generando una disminución en el consumo del servicio de luz, en pocas palabras, nos permite ahorrar energía solar.



Figura 2.23: Medidor de energía bidireccional
Fuente: Fernández & Cervantes (2017)

2.2.25. Marco Normativo

En el Perú existe en la actualidad diferentes normas y decretos los cuales regulan y promueven el uso de energías renovables, dentro de este marco regulatorio podemos mencionar lo siguiente:

- Decreto Legislativo N° 1002 (02/05/2008). Declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de la generación de electricidad mediante recursos renovables. Esta ley establece como prioridad la promoción de los recursos energéticos renovables (RER) definiéndolas como fuentes de energía no convencional (Solar, Eólico, Geotérmico, Biomasa, hidroeléctrico hasta 20 MW). Decreto legislativo acompañado por el Decreto supremo N° 012-2011-EM (23/03/2011), en donde se aprobó el reglamento de la generación de electricidad con energías renovables, Decreto Supremo N° 020-2013-EM (27/06/2013), en donde se aprobó reglamento para la promoción de la inversión



eléctrica en áreas no conectadas a red y Decreto Supremo N° 024-2013-EM (08/04/2010), como modificación al Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables (N° 1002 aprobado por el DS N° 012-2011-EM) y el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.

- Decreto Supremo N° 056-2009-EM (11/07/2009). Disponen adecuar competencia de los Gobiernos Regionales para el otorgamiento de concesiones definitivas de generación con recursos energéticos renovables, otorgándose las facultades respecto a las autorizaciones para la generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables con potencia instalada mayor a 500 KW y menores a 10 MW dentro de una región.

- Decreto Supremo N° 064-2010-EM -Política Energética Nacional Del Perú 2010-2040, (24/11/2010). El cual plantea como política un sistema energético de manera confiable, regular, continua y eficiente, promoviendo un desarrollo sostenible en términos ambientales e incentivando la investigación en nuevas tecnologías para su posterior aplicación.

- R.D. N° 003-2007-EM-DGE - Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural (22/02/2007). Se establece las especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaico y sus componentes para aquellas las instalaciones fotovoltaicas en zonas aisladas del Perú.

- Norma técnica de edificación EM 080 instalaciones con energía solar. Describe las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos básicos que debe cumplir las edificaciones que incluyan sistemas de aprovechamiento de energía solar, de la cual, para aplicación de sistemas fotovoltaicos, aborda los temas orientación e inclinación,



características de la estructura y soporte, superficie y peso, protecciones y elementos de seguridad eléctrica.

Como se puede notar en el marco legal citado, es casi nula la legislación para sistemas de autoconsumo conectadas a red, teniendo solo como indicios de una primera referencia que aún no ha sido aprobada, el Decreto Legislativo N° 1221 del año 2015, que tiene como objeto mejorar la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú. Esta norma incorporó medidas de promoción para el desarrollo de generación distribuida por iniciativa de usuarios del servicio público de electricidad, permitiéndoles el autoconsumo y la venta de excedentes al sistema de distribución, aunque con sujeción a las condiciones técnico-comerciales y la capacidad que serían fijadas en el reglamento.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. RECURSOS Y EQUIPOS

3.1.1. Recursos

- Tesista
- 02 personal para montaje y mantenimiento del SSFV
- 01 laptop
- 01 celular
- 01 multímetro

3.1.2. Equipos

Módulo fotovoltaico

Los paneles elegidos son de la marca Jinko Solar serie JKM330PP-72 (310-330 Vatios). Estos módulos de 72 celdas policristalinas alcanzan potencias de hasta 330Wp, incorporan células 4 bus bar que permiten mejores resultados en condiciones de baja irradiación lumínica.



Figura 3.1: Módulo Policristalino Jinko Solar JKM330PP-72
Fuente: Jinko Solar

Tabla 3.1: Datos técnicos del módulo fotovoltaico

Características mecánicas	
Tipo de célula	Policristalina 156*156 mm (6 pulgadas)
N° de células	72 (6*12)
Dimensiones	1956*992*40mm (77,01*39,05*1,57 pulgadas)
Peso	26.5 Kg (58.4 libras)
Vidrio frontal	4,0 mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV *4,0 mm ² , longitud: 900mm
Características eléctricas	
JKM 330PP	STC
Potencial nominal	330 Wp
Tensión en el punto P max-VMPP (V)	37.8V
Corriente en el punto P max-VMPP (V)	8.74 V
Tensión en circuito abierto - VOC (V)	46.9 V
Corriente de cortocircuito -ISC (A)	9.14 A
Eficiencia del módulo	17.01%

Elaboración propia

Microinversor

El microinversor elegido es de la marca APsystems de la serie YC600, el cual cuenta con una doble entrada para módulos solares de 60 y 72 celdas que ofrece una potencia de salida por canal de 300 Wp, funciona con un MPPT dual e independiente por panel permitiendo operar dentro de un rango de voltaje más amplio para una mayor cosecha de energía. Su diseño es compatible con los requisitos locales de la red de distribución, siendo estas unidades fiables para aplicaciones residenciales y comerciales.



Figura 3.2: Microinversor APsystems YC600

Fuente: APsystems

Tabla 3.2: Datos técnicos del microinversor

Características mecánicas	
Rango de temperatura ambiental	-40°F a +149°F (-40°C a +65°C).
Rango de temperatura de almacenamiento	-40°F a +185°F (-40°C a +85°C).
Dimensiones	10.3"*7.4"*1.3" (260mm*188mm*31.5mm)
Peso	5.7 Lb (2.6Kg)
Corriente máxima del BUS AC	20A
Enfriamiento	Convección natural - Sin ventiladores
Clasificación ambiental del recinto	NEMA 6
Características eléctricas	
Datos de entrada (DC)	
Potencia de módulo PV Recomendada	250Wp-375Wp
Rango de voltaje MPPT	22V-48V
Rango de voltaje de operación	16V-55V
Voltaje de entrada máximo	60V
Corriente de entrada máxima	12A*2
Corriente de cortocircuito de entrada	13.2A
Datos de salida (AC)	
Pico de potencia de salida	600W
Potencia máxima de salida continua	548W
Voltaje de salida nominal	240V
Corriente de salida Nominal	2.28A
Frecuencia de salida Nominal	60Hz
Rango de voltaje de salida ajustable	160V-278V
Rango de frecuencia de salida ajustable	55.1Hz-64.9Hz
Factor de potencia ajustable	0.8 Leading...0.8 Lagging
Distorsión armónica total	<3%
Protección máxima de sobre corriente de salida	6.3A
Eficiencia	
Eficiencia máxima	96.70%
Eficiencia de CEC	96.50%
Nominal MPPT	99.50%
Consumo de energía nocturno	60mW

Elaboración propia

Unidad de Comunicación de Energía

La Unidad de Comunicación de Energía (ECU) es de la marca APsystems, el cual constituye la puerta de información para los microinversores, este equipo recopila los datos de rendimiento individual de cada módulo fotovoltaico y transfiere esta información a una base de datos de Internet en tiempo real, requiriendo sólo un único cable de datos y

de alimentación. A través del software APsystems EMA, la ECU de APsystems proporciona un análisis preciso de cada micro inversor y módulo en su instalación solar desde cualquier dispositivo conectado a la red. El servidor web integrado del ECU de APsystems ofrece una integración de red sencilla y flexible.



Figura 3.3: Unidad de monitoreo ECU-R
Fuente: APsystems

Tabla 3.3: Datos técnicos de la unidad de monitoreo ECU-R

Interface de comunicación	
Wifi integrado	802.11 g/n
Comunicación	ZigBee 2.4 GHz
Ethernet	10/100 Auto-sensing, Auto Negotiation
Seguridad inalámbrica	WEP, WAP2-PSK
Interfaz USB	5Vdc-1A Output * 1
Datos de potencia	
Fuente de alimentación	110VAC-240VAC, 50Hz-60Hz 5V 2A
Consumo de energía	1.7 W
Datos mecánicos	
Dimensiones (A*L*P)	122mm*87mm*25mm (4.8"*3.4"*0.98")
Peso	150g (0.33 Lbs)
Rango de temperatura ambiente	-20°C a +65°C (-4°F a 149°F)
Enfriamiento	Convección natural - Sin ventiladores
Clasificación ambiental del recinto	NEMA 1 (IP20)

Elaboración propia

Accesorios de la marca APsystems

APsystems cuenta con una gama de accesorios para asegurar la instalación y el funcionamiento adecuado del sistema de micro inversores, los cuales forman parte complementaria al arreglo del SSFV. De los mismos, para el presente proyecto se utilizaron los componentes auxiliares detallados en los puntos 1 y 4.



Figura 3.4: Accesorios complementarios
Fuente: APsystems

- **Cable troncal AC.** - Proporciona la unión del lado de la salida AC del inversor y la conexión de red.
- **Herramienta de desbloqueo del conector AC.** – Desbloquea el inversor y el cable troncal AC
- **Tapa conector troncal T-CONN.** - Protege el T-CONN no utilizado en el cable troncal AC.
- **Tapa del extremo de la troncal AC.** – Proporciona prueba de agua para el final del cable troncal.
- **Pair of mc4 caps (male and female).** - Protege los terminales macho y hembra de las salidas MC4 del microinversor en caso no se utilice ambos canales.



3.2. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Según el estudio realizado por Maldonado (2018), El método de la investigación se define por un conjunto de procedimientos utilizados de manera organizada y sistemática, con el fin de desarrollar de manera completa y precisa todas las fases involucradas en esta investigación. Durante el desarrollo del estudio, se consideraron los siguientes métodos: Métodos inductivos, para representarlos explícitamente a través de relaciones de causa y efecto, luego para generar proposiciones válidas. y Método deductivo, definido por declaraciones o características de hecho, es decir, el contenido de proposiciones relevantes para una investigación, de un caso particular en general, cae en su mayor parte dentro del ámbito de aplicación de la ley científica.

3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación cuenta con un nivel descriptivo con un enfoque cuantitativo, lo cual según Azuero (2019), este tipo de análisis se basa en un análisis estadístico, para efectuar la medición de las variables, además tendrá el uso de instrumentos de recolección de datos, lo que de alguna manera brindó una representación numérica. es decir, para el desarrollo de este proyecto se recolectaron datos reales cuantificables de facturación de consumo eléctrico, máxima demanda y radiación solar como información para desarrollar los resultados.

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación será de tipo aplicada, debido a que empleará conceptos teóricos los cuales servirán como aportes para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores para cubrir parte de la demanda eléctrica en edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca. Según Gallardo (2017) indica que una investigación según el propósito



puede ser definida como dinámica, la cual está relacionada a la básica ya que se necesitan bases teóricas.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación cuenta con un diseño pre experimental, porque tiene un mínimo grado de control sobre las variables. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) manifiestan que el diseño pre experimental consiste en aplicar a un grupo de estudio una pre prueba, posteriormente se le aplica el estímulo y al final se realiza un post prueba para determinar si hubo o no variación.

3.6. ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno, tomando como punto de interconexión un suministro monofásico con cargas destinadas al uso de equipos y artefactos de oficina, cuya evaluación se tomó partiendo de las condiciones más favorables que conllevan a cumplir con el objeto del presente estudio (Espacio adecuado para la instalación de paneles con casi nula exposición de sombras, consumo eléctrico en gran parte en horas de la mañana entre las horas de 07:00 am a 5:00 pm y con un perfil de consumo diario similar por la actividad que se desarrolla en esta construcción)

3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1. Población

Ñaupas et al. (2018), lo define como el conjunto de elementos o individuos que muestran rasgos comunes que lo asocian como el conjunto de unidades de estudio. Sin embargo, para el siguiente trabajo de investigación estará compuesta por el sistema eléctrico de las edificaciones de la ciudad de Juliaca.

3.7.2. Muestra

Según Ñaupas et al. (2018), la definición de la muestra es una pequeña parte de una población, compuesta por los más representativos, a la cual se le aplican instrumentos de recolección de datos, esta muestra puede estar compuesta por individuos, cosas, elementos o procesos deben reunir las características necesarias para lograr los objetivos de la investigación. En tal sentido, la muestra está consignada por el sistema eléctrico de una edificación de oficina en la ciudad de Juliaca.

Tabla 3.4: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicador
<p>Variable independiente</p> <p>Microinversores</p>	<p>Es un dispositivo donde su principal función es convertir la corriente continua (DC) de los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna (AC), para posteriormente ser aprovechada por diversas cargas (ANLA, 2017).</p>	<p>Estos microinversores suelen conectarse a 1, 2, 4 módulos fotovoltaicos, esto dependerá mucho de su potencia de este equipo, realizando monitoreos en tiempo real o remota mediante dispositivos telefónicos o tabletas (Echever & Naranjo, 2016).</p>	<p>Tensión de salida</p> <p>Factor de potencia</p> <p>Frecuencia</p>
<p>Variable dependiente</p> <p>Sistemas ON GRID</p>	<p>Un sistema ON GRID, es aquel sistema que se encuentra conectado a la red eléctrica, Y al mismo tiempo se caracterizan por devolver energía sobrante a la red local, generada por los paneles fotovoltaicos de una instalación (Dávila, 2018).</p>	<p>Este sistema se encuentra conectado directamente con la red eléctrica local. Por ende, durante la radiación del día el usuario consume la energía producida por el sistema fotovoltaico y durante la noche toma energía de la red debido a que el sistema no cuenta con almacenamiento de energía eléctrica (INTEVA, 2018).</p>	<p>Tensión de la red</p> <p>Frecuencia de la red</p> <p>Potencia a suministrar</p>

Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Factores importantes para la implementación del sistema ON GRID

4.1.1. Demanda energética

Para determinar la capacidad que entregará nuestro SSFV, debemos conocer el historial de consumo del suministro donde se interconectará el arreglo fotovoltaico. La forma más sencilla de obtener este registro corresponde al acceso de información del estado de cuenta corriente del suministro que proporciona la concesionaria Electro Puno S.A.A., información donde figura el histórico de consumos del usuario con un periodo mínimo correspondiente a los 12 últimos meses, a continuación, se muestra el historial de consumos de la edificación en estudio:

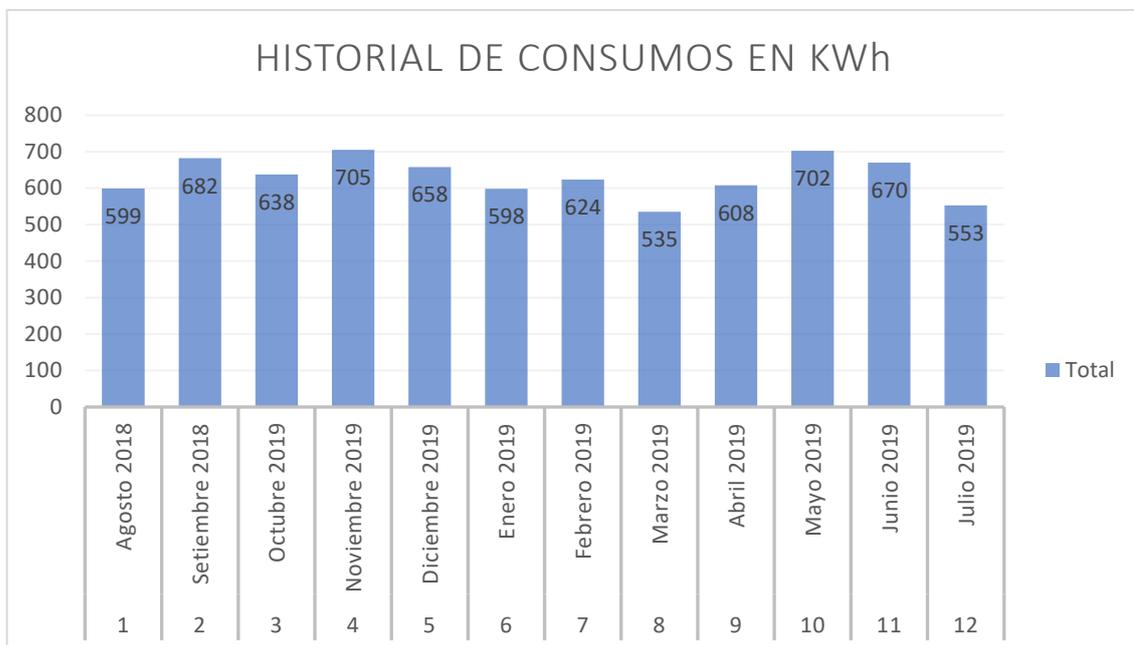


Figura 4.1: Historial de consumo
Elaboración propia

Con los registros anteriores se hace una estimación del tamaño de la potencia fotovoltaica que deberá entregar nuestro sistema ON GRID para cubrir las necesidades

energéticas de la edificación en estudio, este dimensionamiento se realiza a partir de la cantidad de energía que se demanda en promedio al día y la cantidad de horas sol pico promedio (HSP) aprovechables en la zona, para de esta cuantificar el valor de las unidades requeridas de microinversores de 600W de potencia.

Tabla 4.1: Estimación de la potencia fotovoltaica

Datos de entrada	Cantidad	Medida
Promedio mensual	631	KWh/mes
N° de días promedio por mes	30	d/mes
Consumo diario	21.03	kWh/d
HSP promedio de la zona	6	Horas/d
Potencia Fotovoltaica	3.51	KW
Potencia nominal	0.6	KW
Microinversor		
Cantidad de microinversores	6	Unidad

Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se necesitaría un aproximado de seis unidades de microinversores de 600W para cubrir la demanda actual de la edificación.

4.1.2. Perfil de consumo

Los equipos eléctricos de la edificación de estudio son de uso exclusivo para ambientes de oficina, por lo que se ha propuesto un régimen de uso que comprende un horario diurno que beneficiará a la implementación del sistema debido a que coincide con las horas de cosecha de energía de un sistema ON GRID. A continuación, se muestra un cuadro de cargas producto del inventario realizado en la instalación, en donde se describen las horas de uso diario promedio para cada receptor AC.

Tabla 4.2: Demanda de cargas por horas

INVENTARIO RECEPTORES AC AMBIENTES DE OFICINA	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00
Luminaria para oficinas, almacén y guardianía, otros.	10	20	200	40	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	60
Router WIFI de banda ancha	2	30	60	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0
Computadoras de escritorio (Desktop)	3	200	600	0	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	0
Computadoras portátiles (Laptop 14")	4	30	120	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	0
Monitores de 60" para atención al público	4	150	600	0	300	600	600	600	600	600	600	600	600	600	300	0
Tomacorriente de carga para celulares	8	20	160	20	0	20	80	160	80	160	80	160	40	20	0	20
Impresoras multifunción	3	150	450	0	0	0	300	300	450	450	300	300	150	0	0	0
Fotocopiadora multifunción	1	800	800	0	0	0	0	800	800	0	0	0	0	0	0	0
Electro bomba de 0.5 HP	1	373	373	373	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cargas genéricas (Aspiradora, Ventilador, Televisor, otros)	1	200	200	200	0	0	0	40	80	80	0	0	0	0	0	40
				633	128	160	196	288	299	227	196	204	177	160	128	12
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Elaboración propia

Como se observa en el cuadro anterior se ha propuesto un régimen de horario acorde con la implementación del sistema fotovoltaico, sumado a la concientización de los usuarios de la edificación, en donde se recomienda el uso de los receptores AC de mayor consumo durante las horas de 10:00 am a 13:00 pm. Esta demanda de carga por horas define el perfil de consumo promedio diario de la edificación. Partiendo de la información visto en los puntos 4.1.1 y 4.1.2 se implementará un sistema capaz de cubrir

al menos en una orden superior al 50% de la demanda energética de esta edificación, del cual en el gráfico del anexo N° 10 del presente proyecto de tesis se hace una comparativa entre el perfil de consumo promedio diario y la cantidad de energía producida por el sistema solar fotovoltaico con microinversores en el mes más favorable.

4.1.3. Parámetros eléctricos para la interconexión con la red

A fin de garantizar el acople y sincronía entre la tecnología propuesta para la implementación y la red de distribución principal, se efectuó mediciones de voltaje, frecuencia y corriente en el tablero principal. Siendo este punto de consideración ya que el diseño del microinversor debe ser específicamente para los parámetros de la red del sitio (Voltaje y Frecuencia), pues además de la función de conversión DC-AC propiamente dicha, se encargará de que el acoplamiento circuito de paneles – red sea perfecto, totalmente seguro y eficiente.

De las primeras mediciones efectuadas con el multímetro in situ, se pudo concluir que los valores de voltaje y frecuencia de la red de distribución principal cumplían con los valores mínimos establecidos en la normativa, por lo que como pre - prueba se instaló un microinversor a fin de tener registros iniciales de partida, para de esta manera determinar los valores máximos y mínimos en un periodo más real. De los resultados arrojados por el monitoreo en el día 05/08/2018 entre las 9:00 am y 12:20 pm se pudo observar que el valor máximo de voltaje fue de 225 V y valor mínimo fue de 216 V, asimismo el valor de frecuencia se mantuvo en promedio en los 60 Hz.

Tabla 4.3: Mediciones registradas de voltaje y frecuencia

Time	T/°C	(AC-V) /V	AC-F/Hz
2019-08-05 09:00	18	218	59.9
2019-08-05 09:05	19	218	60
2019-08-05 09:10	20	220	59.9
2019-08-05 09:15	20	220	59.9
2019-08-05 09:20	21	224	59.9



(continuación...)

2019-08-05 09:25	22	224	60
2019-08-05 09:30	23	220	60
2019-08-05 09:35	24	220	59.9
2019-08-05 09:40	25	220	60
2019-08-05 09:45	27	220	59.9
2019-08-05 09:50	27	220	60
2019-08-05 09:55	28	220	60
2019-08-05 10:00	29	224	59.9
2019-08-05 10:05	29	224	59.9
2019-08-05 10:10	29	220	60
2019-08-05 10:15	30	220	59.9
2019-08-05 10:20	31	216	60
2019-08-05 10:25	30	216	59.9
2019-08-05 10:30	31	218	59.9
2019-08-05 10:35	32	218	59.9
2019-08-05 10:40	33	220	59.9
2019-08-05 10:45	34	220	59.9
2019-08-05 10:50	34	225	59.9
2019-08-05 10:55	34	220	60
2019-08-05 11:00	35	220	60
2019-08-05 11:05	36	224	59.9
2019-08-05 11:10	37	220	60
2019-08-05 11:15	38	225	59.9
2019-08-05 11:20	39	220	59.9
2019-08-05 11:25	39	222	60
2019-08-05 11:30	39	222	59.9
2019-08-05 11:35	40	223	60
2019-08-05 11:40	41	223	60
2019-08-05 11:45	40	224	60
2019-08-05 11:50	41	224	59.9
2019-08-05 11:55	40	224	60
2019-08-05 12:00	41	221	59.9
2019-08-05 12:05	40	221	59.9
2019-08-05 12:10	39	220	59.9
2019-08-05 12:15	40	220	60
2019-08-05 12:20	41	225	60
PROMEDIO	33	221	60

Elaboración propia

4.1.4. Ubicación de la zona de estudio

Las coordenadas geográficas de la ubicación donde implementó el sistema fotovoltaico se describen en la siguiente tabla:

Tabla 4.4: Coordenadas de la zona en estudio

Latitud	Longitud
-15.493589°	-70.128790

Elaboración propia

Disponibilidad de espacio

El espacio disponible influenciará en la facilidad del montaje, teniendo en cuenta este criterio, para la instalación se tomó el área libre de la edificación en la parte superior específicamente en la azotea, el área para la instalación de los paneles fotovoltaicos se puede visualizar en la siguiente figura:

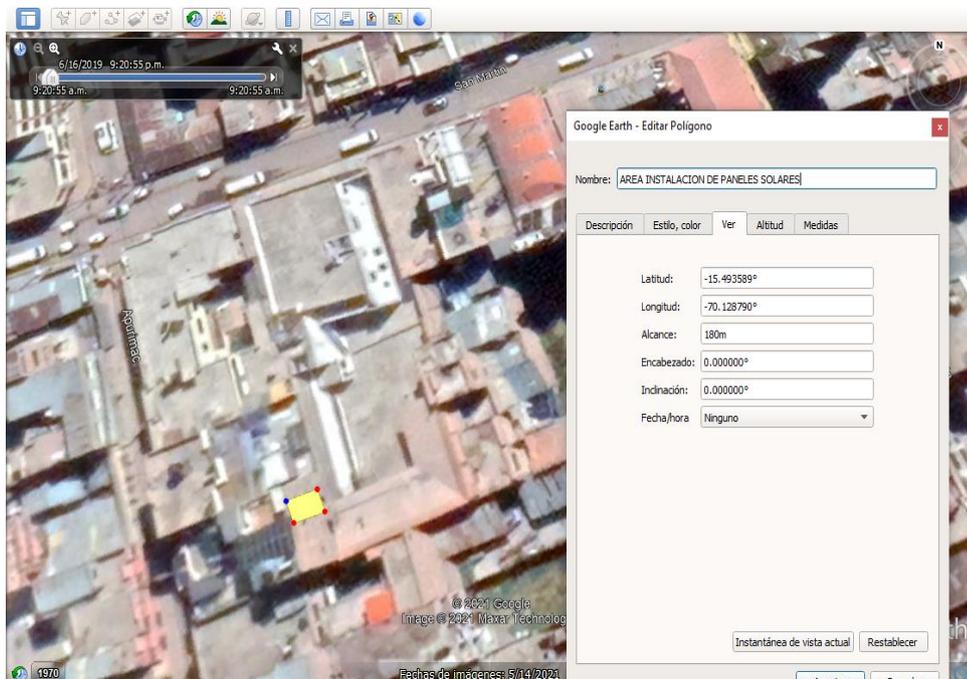


Figura 4.2: Área de instalación de los paneles solares
Elaboración propia

Estimación de sombras

En el presente estudio se desestima las afectaciones por sombreado de objetos, ya que se tuvo un escenario favorable para la instalación, teniendo un área libre de obstáculos en la parte superior de la edificación para el montaje de módulos fotovoltaicos. Las pérdidas mínimas ocasionadas por sombreado que se presentaron post implementación, fueron a causa de la polución que se genera en la ciudad de Juliaca (Residuos de polvo,

materia fecal de aves y otros de poca consideración), dada la ubicación de la construcción en la parte céntrica de esta localidad.

4.1.5. Radiación media de la zona

Para determinar el recurso solar de la zona, se recurrió a la bibliografía de estudios existentes desarrollados en aplicaciones fotovoltaicas dentro de la ciudad de Juliaca en los años 2019 y 2020, específicamente de un proyecto de investigación docente en la Universidad Nacional de Juliaca denominado “Diseño e implementación de un analizador con sistema SCADA para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini-parque solar fotovoltaico de 2.0 KW en sistemas aislados y conectados a red para la UNAJ”, en donde se utilizó el programa RETScreen expert para determinar valores de irradiancia en un plano inclinado de 15°, información que se ajusta de manera idónea para los objetivos del presente proyecto de tesis, ya que estos valores coinciden con los meses de estudio y la inclinación del sistema con microinversores propuesto. A continuación, se detalla los valores obtenidos de irradiación solar en un periodo de un año.

Tabla 4.5: Irradiación solar en plano inclinado 15°

Meses	(KWh/m ² -d)
Enero 2020	5.62
Febrero 2020	5.61
Marzo 2019	5.45
Abril 2019	5.73
Mayo 2019	6.11
Junio 2019	5.80
Julio 2019	5.98
Agosto 2019	6.72
Setiembre 2019	6.29
Octubre 2019	6.96
Noviembre 2019	5.95
Diciembre 2019	5.64
Promedio Mensual	6.0

Fuente: Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables UNAJ

Del tabla anterior se puede notar que la mayor irradiación solar se presenta en el mes de octubre con un valor de 6,96 KWh/m²-d y la menor irradiación se presenta en el mes de marzo con un valor de 5,45 KWh/m²-d, registros que son tomados en consideración para determinar la cantidad de horas sol pico promedio de cada mes (HSP) y de esta manera analizar el comportamiento del sistema ON GRID con microinversores en términos de producción y cosecha de energía recolectada por la unidad de monitoreo, estos valores ayudaran además a determinar la producción mensual teórica esperada durante el periodo de estudio, para posteriormente compararlos con los resultados de la producción real del sistema propuesto y de esta manera determinar el rendimiento de la instalación fotovoltaica. A continuación, a través de un gráfico se muestra los valores de irradiación que incorporan las perdidas por inclinación.

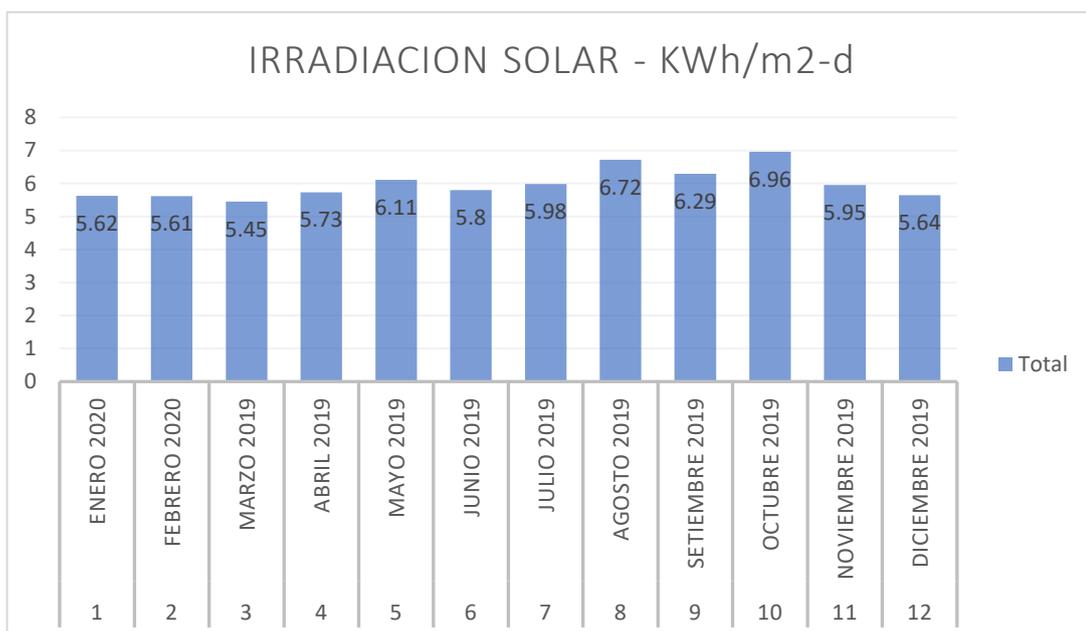


Figura 4.3: Irradiación solar de la zona en plano inclinado 15°
Elaboración propia

4.2. Implementación del sistema ON GRID en las edificaciones

4.2.1. Selección de los módulos fotovoltaicos y microinversor

Determinado los factores y condiciones iniciales en la sección anterior, se procedió a seleccionar los componentes que definirán nuestro sistema, puesto que de estos

dependerá se garantice el correcto funcionamiento, por lo tanto, para la selección del módulo fotovoltaico y su relación con el microinversor se utilizó las siguientes consideraciones:

$$V_{oc} \text{ panel} < \text{Max. VMPPT microinversor.}$$

$$I_{sc} \text{ panel} < I_{max} \text{ input MPPT microinversor}$$

Por lo tanto, se escogió el panel fotovoltaico y microinversor con las siguientes características:

Tabla 4.6: Especificaciones eléctricas de los paneles solares

Panel solar JKM 330 PP	
P _{max}	330 Wp
V _{mpp}	37,8 V
I _{mpp}	8,74 A
V _{oc}	46,9 V
I _{sc}	9,14 A

Elaboración propia

Tabla 4.7: Especificaciones eléctricas de los micro inversores

Micro inversor APsystems YC600	
Potencia del módulo PV	250Wp - 375Wp
Rango V _{mppt}	22V - 48V
Rango de voltaje de operación	16 V - 55 V
Corriente de entrada	12A x 2
Corriente de corto circuito	13,2 A

Elaboración propia

Teniendo en cuenta la siguiente ecuación y anteriormente descrita se puede deducir lo siguiente:

$$V_{oc} \text{ panel} < \text{Max. VMPPT microinversor.}$$



$$46,9 \text{ V} < 48\text{V}$$

$$I_{sc} \text{ panel} < I_{max} \text{ input MPPT microinversor}$$

$$9,14 \text{ A} < 12\text{A}$$

De la ecuación anterior se puede verificar que los componentes escogidos son los adecuados para la investigación.

4.2.2. Selección de conductores eléctricos

Debido a la proximidad del arreglo fotovoltaico con el punto de interconexión a la red del tablero principal, se optó por utilizar el propio conductor del fabricante (Cable troncal AC), ya que los micro inversores seleccionados poseen un cable de 0,5 metros que integra 3 conductores de salida AC de un calibre N° 18 AWG (1 mm²) la cual mediante su terminal de conexión SINBON se une a una rama principal AC de una longitud de 2 metros por derivación, para así formar con este accesorio el bus AC de 6 metros, dicha troncal AC posee 3 conductores de un calibre N° 12 AWG (4 mm²), las mismas que se interconectaron en el tablero principal a la red de distribución (Fase, neutro y tierra). Este cable BUS AC permite la interconexión máxima de un total de 07 microinversores con una capacidad de corriente máxima de 20 A.

4.2.3. Selección del sistema de protección eléctrica

Para la integración del arreglo fotovoltaico al tablero principal de la edificación, se incorporó un interruptor de protección magneto térmica de 16A de la marca BTICINO, la cual fue seleccionada en función al paso de la corriente máxima del circuito de micro inversores incorporadas. Cada microinversor posee una de corriente nominal de salida de 2.28 A, este breaker permite además la conexión y desconexión del sistema.

4.2.4. Unidad de monitoreo de ECU -R

Con el fin de realizar el estudio de la producción de energía generada por el sistema fotovoltaico con microinversores, se instaló un sistema de monitoreo con comunicación Zig Bee, cuya información es recopilada en periodos de 5 minutos. Las variables recolectadas son almacenadas en un servidor web vía wifi, los cuales pueden ser consultados a través de su software de supervisión y análisis (Web y Móvil).

- Generación de potencia con una frecuencia de 5 minutos.
- Temperatura ambiente con una frecuencia de 5 minutos.
- Corriente y voltaje CC del panel solar con una frecuencia de 5 minutos.
- Tensión de salida del microinversor con una frecuencia de 5 minutos.
- Frecuencia de salida del microinversor con una frecuencia de 5 minutos.

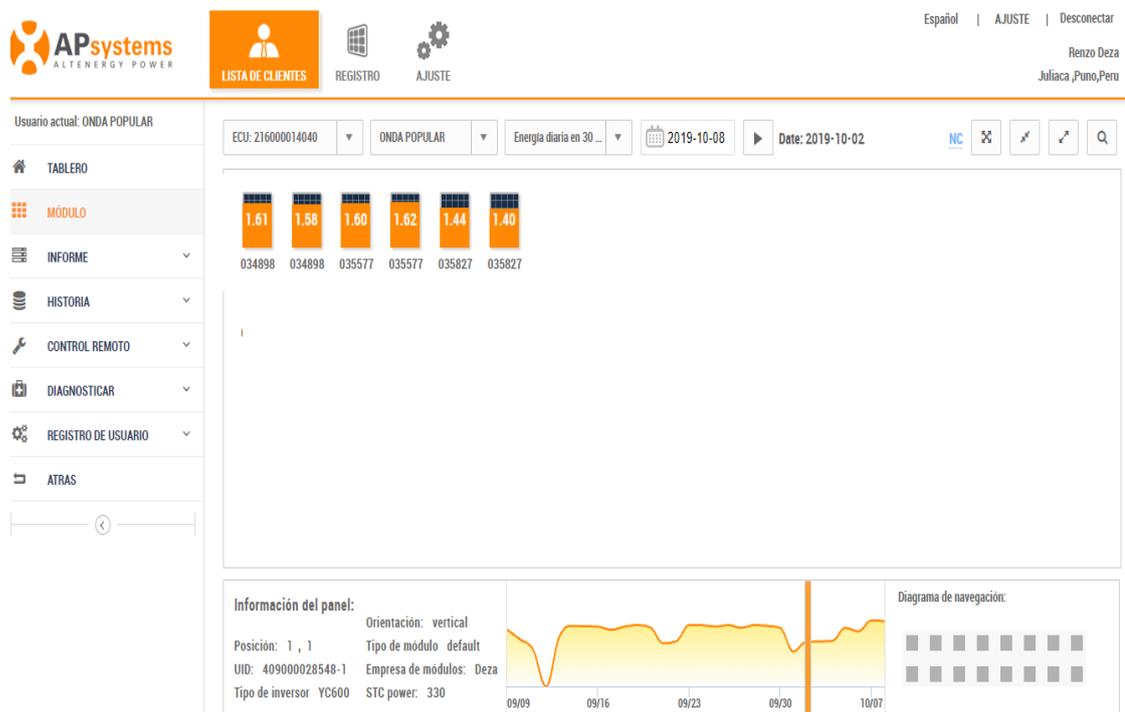


Figura 4.4 Monitoreo de los paneles en tiempo real
Elaboración propia

4.2.5. Instalación del SSFV

La instalación cuenta con seis paneles solares conectadas a los canales de entrada de los tres micro inversores dual, los cuales por medio del cable de troncal AC se unieron en paralelo eléctricamente estos grupos de producción. Arreglo solar que puede generar teóricamente en condiciones óptimas de radiación solar un total de 1.98 kW de potencia. La interconexión con la red eléctrica de distribución se efectuó en un sistema monofásico con voltaje de operación igual a 220V y con frecuencia de 60 Hz, el punto de unión del mismo se realizó a través de un sistema de protección ensamblado en el tablero de distribución principal del suministro que asocia a los receptores de consumo. El sistema solar fotovoltaico en conjunto cuenta con un sistema de monitoreo instalado estratégicamente para una buena recepción de datos de producción de energía, el cual fue entrelazado además a la red inalámbrica de internet del lugar. Las figuras siguientes muestran parte del proceso de instalación del SSFV con micro inversores.



Figura 4.5: Estructura para soporte de paneles solares
Elaboración propia



Figura 4.6: Instalación de los paneles solares
Elaboración propia



Figura 4.7: Instalación de microinversores
Elaboración propia



Figura 4.8: Aterramiento del sistema
Elaboración propia



Figura 4.9: Instalación de la unidad de monitoreo ECU-R
Elaboración propia

4.2.6. Orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos

A fin de favorecer al máximo la producción de energía, se instaló unidades de estructura de ferretería para los módulos fotovoltaicos, la cual se montó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: Por un lado la orientación se fijó hacia el norte por ubicarnos en el hemisferio sur (Por debajo de la línea del ecuador) y por otro lado el ángulo de inclinación óptimo para sistemas fotovoltaicos estacionarios obedece a la latitud de la instalación, el cual es aproximadamente igual al valor absoluto de esta, por lo que se le dio una inclinación de 15° .

Para el armado de la estructura se utilizaron tubos cuadrados de hierro de $40*40*2$ mm para la base de la estructura y perfiles tipo L de $40*40*2$ mm para el encuadre y soporte de paneles solares y microinversor, este diseño propuesto permite agrupar los grupos de producción a nivel modular de acuerdo al requerimiento de la aplicación y por la configuración del microinversor que posee dos canales de entrada, es decir admite dos paneles solares.

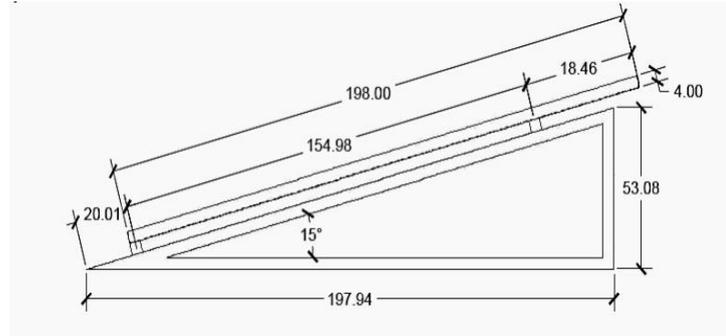


Figura 4.10: Vista de perfil de estructura con grado de inclinación de 15°
Elaboración propia

4.2.7. Montaje y puesta en marcha de microinversores

El montaje de microinversores se realizó de acuerdo al manual de instalación de la marca seleccionada, el mismo que contempla el siguiente procedimiento:

- Distribución del cable troncal AC en una posición adecuada respecto a la ubicación del microinversor, de tal forma que uno de los extremos de acceso al cable AC para interconexión con la red eléctrica.
- Fijación de cada uno de los microinversores en la estructura cuidando que estos no se expongan de manera directa al sol o lluvia.

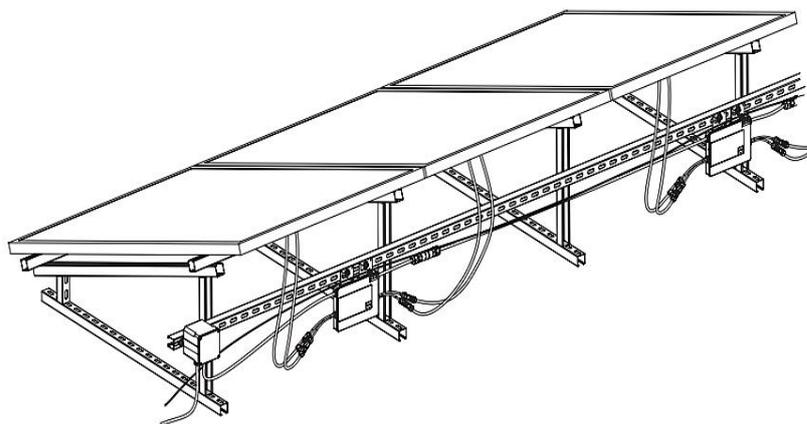


Figura 4.11: Distribución de trocal AC y microinversores
Fuente: APsystems

- c) Aterramiento del sistema mediante los soportes de conexión a tierra a través de cable externo.

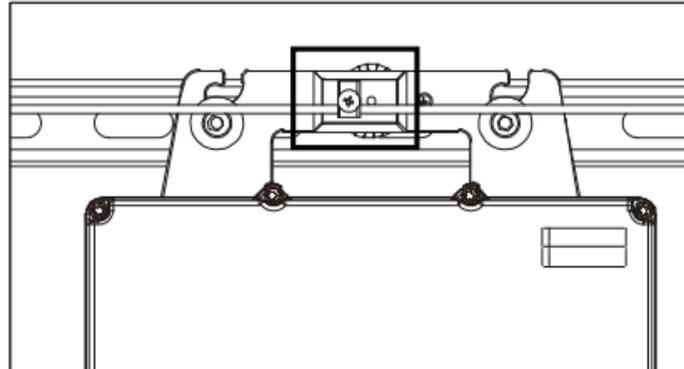


Figura 4.12: Conexión a tierra externa microinversor
Fuente: APsystems

- d) Conexión de la salida AC de cada microinversor con el cable trocal principal a través de sus conectores, de tal forma que se escuche el “clic”.

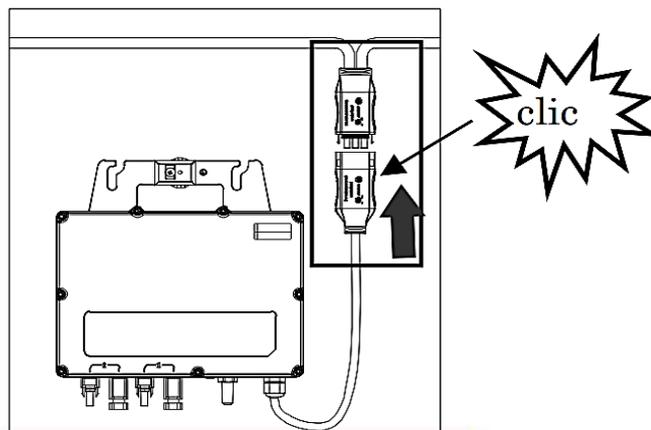


Figura 4.13: Conexión BUS AC principal
Fuente: APsystems

- e) Instalación de tapa al extremo del cable al final del cable troncal AC.

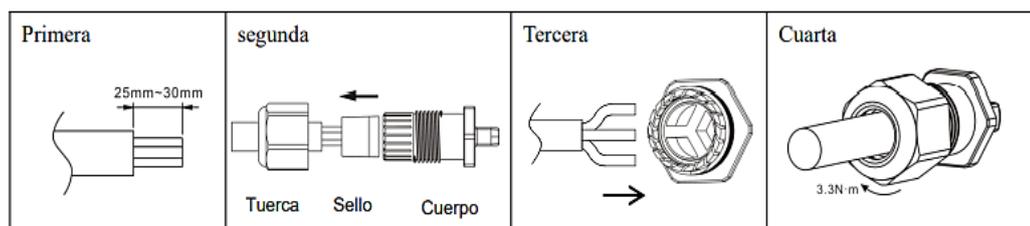


Figura 4.14: Aislado del extremo de cable AC
Fuente: APsystems

- f) Conexión CC entre módulos fotovoltaicos y microinversor.

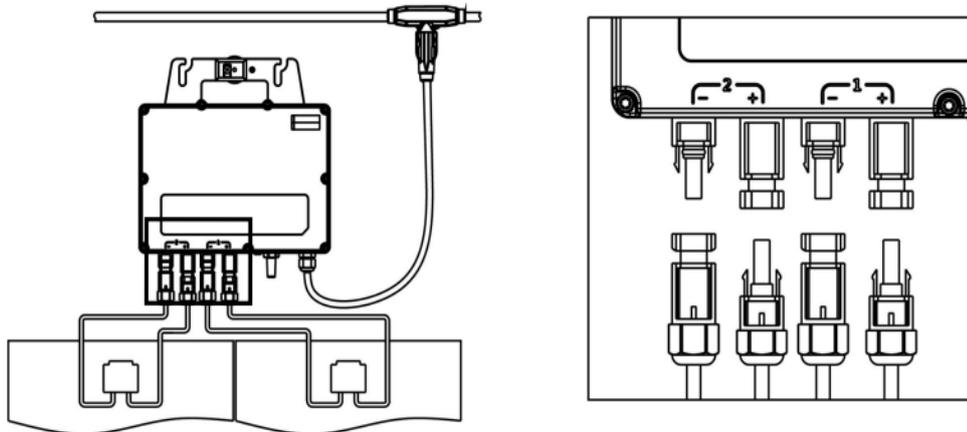


Figura 4.15: Interconexión de módulos fotovoltaicos con microinversor
Fuente: APsystems

- g) Mapeo de microinversores, el cual permite identificar a través de una etiqueta la serie de cada unidad de producción para que estas sean enviados por orden de ubicación a su interfaz en la web.

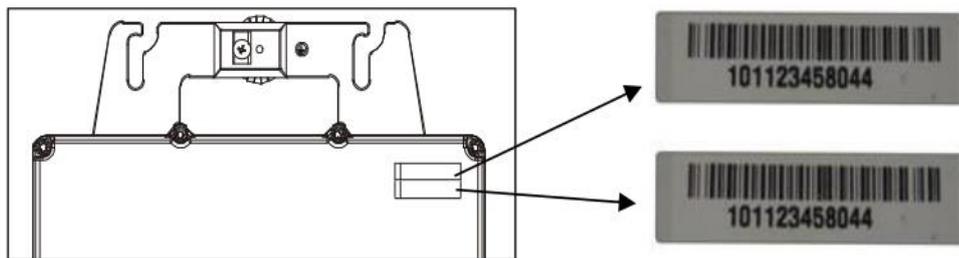


Figura 4.16: Identificación de microinversores
Fuente: APsystems

- h) Operación del sistema, el cual se efectúa mediante la activación del interruptor de CA del circuito. El sistema empezará a producir energía 5 minutos después aproximadamente.

4.2.8. Costos de la Implementación del sistema fotovoltaico

Los costos de adquisición de los módulos fotovoltaicos y micro inversores fueron asumidos en conjunto con el usuario de la edificación interesado en la implementación del mismo, el cual previo análisis de costos, fiabilidad y disponibilidad en el mercado nacional e internacional se optaron por las marcas descritas en el presente proyecto.



Componentes complementarios como la estructura y materiales eléctricos para la interconexión fueron conseguidos en el mercado local. Por otro lado, se hizo una estimación de los costos de la mano de obra, a razón de que el arreglo fotovoltaico fue montado en su totalidad por el autor del presente estudio, a continuación, se detallan los costos de adquisición e instalación del SSFV.

Tabla 4.8: Costos de la instalación

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
MATERIALES				
Módulos fotovoltaicos Jinko Solar JK330PP-72	W	550.80	06	3,304.80
Estructura para paneles	Und.	600.00	01	600.00
Microinversor APSystem YC600	W	1000.72	03	3,002.16
Unidad de Monitoreo (ECU-R)	Und.	1110.17	01	1110.17
Cable troncal AC APSystem 2M	Pza	164.33	03	493.00
Tapa extremo troncal AC	Und.	10.00	01	10.00
Componentes eléctricos	Gbl	100.00	01	200.00
	Subtotal			8,720.13
SERVICIOS				
Transporte	Gbl	40.00	01	80.00
Mano de Obra	Salario/Día	200.00	03	600.00
Gastos imprevistos	Gbl	200.00	01	200.00
	Subtotal			880.00
	Total			9,600.13

Elaboración propia

Del cuadro anterior podemos apreciar que el coste total de la implementación fue de un total de S/. 9600,13. Todos los costos unitarios descritos anteriormente incluyen IGV.

4.3. Viabilidad económica

Para realizar una correcta viabilidad económica del proyecto, primero se tomó en cuenta la cantidad de energía teórica esperada y real cosechada para de esta manera determinar económicamente y en términos de producción si el sistema fotovoltaico cubre parte de la demanda exigida.

4.3.1. Producción teórica esperada

El cálculo de la producción de energía esperada, se obtuvo mediante el producto de la potencia de salida fotovoltaica y las horas solar pico promedio de cada mes, dicha producción teórica se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 4.9: Energía teórica esperada

Mes y año	HSP (h)	Potencia máxima de salida micro inversor (W)	Días del mes	Energía teórica por día (Wh/día)	Energía teórica mensual (Wh/mes)	Energía teórica mensual Total por el grupo de 03 micro inversores (Wh/mes)
AGOSTO 2019	6,72	660	31	4,435.2	137,491.2	412,473.6
SETIEMBRE 2019	6,29	660	30	4,151.4	124,542.0	373,626.0
OCTUBRE 2019	6,96	660	31	4,593.6	142,401.6	427,204.8
NOVIEMBRE 2019	5,95	660	30	3,927.0	117,810.0	353,430.0
DICIEMBRE 2019	5,64	660	31	3,722.4	115,394.4	346,183.2
ENERO 2020	5,62	660	31	3709.2	114,985.2	344,955.6
FEBRERO 2020	5,61	660	29	3702.6	107,375.40	322,126.2
MARZO 2020	5,45	660	31	3597.0	111,507.0	334,521.0

Elaboración propia

Del cuadro anterior se puede deducir por mes una producción de energía teórica esperada en cada periodo, los cuales comparándolos con el consumo de la edificación (Balance de energía) el porcentaje cubierto teórico será en el orden de los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4.10: Porcentaje teórico de energía cubierta

Mes y año	Consumo real caso edificación en estudio (KWh/mes)	Energía teórica mensual Total por el grupo de micro inversores (KWh/mes)	Porcentaje de energía cubierta por el arreglo solar teórico
AGOSTO 2019	538	412	77%
SETIEMBRE 2019	533	374	70%
OCTUBRE 2019	588	427	73%
NOVIEMBRE 2019	526	353	67%
DICIEMBRE 2019	552	346	63%
ENERO 2020	503	345	69%
FEBRERO 2020	514	322	63%
MARZO 2020	536	335	63%

Elaboración propia

Del gráfico anterior se muestra el porcentaje cubierto por mes del sistema fotovoltaico, el cual oscila en un rango de 63% y 77% dependiendo el mes.

4.3.2. Producción real obtenida

Los datos obtenidos producción real se extrajeron del sistema de monitoreo de APsystems, valores que pueden visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 4.11: Producción real obtenida

Mes y año	Total, de energía producida por el micro inversor (409000035577) (KWh/mes)	Total, de energía producida por el micro inversor (409000028548) (KWh/mes)	Total, de energía producida por el micro inversor (409000034898) (KWh/mes)	Energía producida por el grupo de 03 micro inversores (KWh/mes)
AGOSTO 2019	115,57	119,35	108,48	343,40
SETIEMBRE 2019	113,73	115,09	109,14	337,96
OCTUBRE 2019	128,35	123,82	127,35	379,52
NOVIEMBRE 2019	108,5	100,98	99,96	309,44
DICIEMBRE 2019	100,06	107,71	96,59	304,36
ENERO 2020	101,06	98,02	94,66	293,74
FEBRERO 2020	85,76	84,88	84,82	255,46
MARZO 2020	103,79	103,58	100,21	307,58

Elaboración propia

Según los registros por cada mes, la producción de energía más elevada fue en el mes de octubre 2019 y el registro con menos producción se presentó en el mes de febrero 2020, para determinar el porcentaje cubierto se volvió a efectuar el balance de energía neta frente a los consumos de la edificación, obteniendo como resultado los siguientes valores:

Tabla 4. 12: Porcentaje real de energía cubierta

Mes y año	Consumo real caso edificación en estudio (KWh/mes)	Energía producida por el grupo de 03 micro inversores (KWh/mes)	Porcentaje de energía cubierto por el arreglo solar real
AGOSTO 2019	538	343	64%
SETIEMBRE 2019	533	338	63%
OCTUBRE 2019	588	380	65%
NOVIEMBRE 2019	526	309	59%
DICIEMBRE 2019	552	304	55%
ENERO 2020	503	294	58%
FEBRERO 2020	514	255	50%
MARZO 2020	536	308	57%

Elaboración propia

La energía real producida por el arreglo fotovoltaico cubre la demanda energética de la edificación en un rango de entre un 50 % y un 65%. Por otro lado, para determinar la eficiencia de la instalación ON GRID con microinversores, se hizo una comparación entre la producción real y teórica por mes arrojando los siguientes resultados:

Tabla 4. 13: Eficiencia del sistema

Mes y año	Energía teórica esperada por el arreglo fotovoltaico (KWh/mes)	Energía real producida por el arreglo fotovoltaico (KWh/mes)	Pérdidas de energía (KWh/mes)	Porcentaje de Pérdidas %	Eficiencia de la instalación %
AGOSTO 2019	412	343	69	16.65%	83.35%
SETIEMBRE 2019	374	338	36	9.64%	90.36%



(continuación...)

OCTUBRE 2019	427	380	47	11.12%	88.88%
NOVIEMBRE 2019	353	309	44	12.34%	87.66%
DICIEMBRE 2019	346	304	42	12.03%	87.97%
ENERO 2020	345	294	51	14.86%	85.14%
FEBRERO 2020	322	255	67	20.66%	79.34%
MARZO 2020	335	308	27	8.19%	91.81%

Elaboración propia

De la tabla anterior, las pérdidas en promedio alcanzan un 13.19%, presentándose el mayor porcentaje durante el mes de febrero 2020 con un 20.66% y en menor porcentaje en el mes de marzo 2020 con un 8.19%. Consecuentemente se alcanzó en promedio un 86.81% de eficiencia (PR) de la instalación, performance de rendimiento más alto en el mes de marzo 2020 con un 91.81% y en menor porcentaje en el mes de febrero 2020 con un 79.34%. Dichos valores se alcanzaron utilizando la siguiente expresión:

$$E_p = \left(\frac{H_{\beta,\alpha} * P_p * PR * n_{días}}{1000W/m^2} \right)$$

Donde:

E_p : Energía producida en el mes de cálculo

$H_{\beta,\alpha}$: Radiación solar con una inclinación β y acimut α

P_p : Potencia pico de la instalación

PR: Rendimiento de la instalación

n días: Número de días del mes que estamos calculando

(Espitia, 2019) Refiere que el rendimiento de un SSFV viene afectado por las pérdidas de diversos factores, este valor de pérdidas se encuentra comprendido entre 0.7 y 0.85 para instalaciones conectadas a red, las mismas que dependerán de cada instalación en particular.

4.3.3. Beneficio económico

Tabla 4.14: Beneficio económico

Mes y año	Consumo real caso edificación en estudio	Energía producida por el grupo de 03 micro inversores	Precio S./kW.h	Energía facturada sin sistema FV (S./)	Energía facturada con sistema FV (S./)	Ahorro (S./)
AGOSTO 2019	538	343	0.6769	364.17	232.18	132.00
SETIEMBRE 2019	533	338	0.6725	358.44	227.31	131.14
OCTUBRE 2019	588	380	0.6818	400.90	259.08	141.81
NOVIEMBRE 2019	526	309	0.7212	379.35	222.85	156.50
DICIEMBRE 2019	552	304	0.7432	410.25	225.93	184.31
ENERO 2020	503	294	0.7433	373.88	218.53	155.35
FEBRERO 2020	514	255	0.7395	380.10	188.57	191.53
MARZO 2020	536	308	0.7367	394.87	226.90	167.97

Elaboración propia

Del cuadro anterior se puede evidenciar el beneficio económico post implementación, obteniéndose un ahorro mínimo de S/.131,14 y un máximo de S/.191,53 con un promedio mensual de S/.157,58 y un promedio de beneficio anual de S/.1890,96.

En términos porcentuales se determinó este ahorro en la siguiente tabla:

Tabla 4.15: Porcentaje de ahorro

Mes	Energía facturada sin sistema FV (S./)	Energía facturada con sistema FV (S./)	Ahorro (S./)	porcentaje de ahorro
AGOSTO 2019	364.17	232.18	132	36.2%
SETIEMBRE 2019	358.44	227.31	131.14	36.6%
OCTUBRE 2019	400.9	259.08	141.81	35.4%
NOVIEMBRE 2019	379.35	222.85	156.5	41.3%
DICIEMBRE 2019	410.25	225.93	184.31	44.9%
ENERO 2020	373.88	218.53	155.35	41.6%
FEBRERO 2020	380.1	188.57	191.53	50.4%
MARZO 2020	394.87	226.9	167.97	42.5%
			Promedio	41.1%

Elaboración propia

De la tabla anterior, el porcentaje de ahorro promedio es de 41,1%, con lo cual se verifica que con el sistema fotovoltaico es beneficioso económicamente a corto plazo.

4.3.4. Análisis costo beneficio

Para el desarrollo de este análisis se debe tener en cuenta algunos aspectos tales como el costo de los equipos e instalación, mantenimiento de los mismos y la depreciación anual. La obtención de estos parámetros se detalla a continuación:

Tabla 4.16: Costos por depreciación

Depreciación	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)	Vida útil	Depreciación (S/.)
Módulos fotovoltaicos Jinko Solar JK330PP-72	6	550.8	3304.8	25 años	132.192
Microinversor APSystem YC600	3	1000.72	3002.16	25 años	120.0864
Unidad de Monitoreo (ECU-R)	1	1110.17	1110.17	25 años	44.4068
				Total	296.6852

Elaboración propia

Tabla 4.17: Costos de mantenimiento

Costos de mantenimiento	
Descripción	Costo total (S/.)
Mantenimiento del sistema	200

Elaboración propia

Parámetros para calcular indicadores

Tabla 4.18: Parámetros para calcular los indicadores

PARÁMETROS PARA CALCULAR LOS INDICADORES	
Inversión del proyecto	S/9,600.13
Depreciación de equipos	S/296.69
Mantenimiento	S/200
Promedio anual de ahorro en energía eléctrica	S/ 1,890.68
Tasa de descuento	12%
Tiempo de vida del proyecto	20 años

Elaboración propia



Tasa de descuento

Es uno de los indicadores con mayor importancia en la evaluación de los proyectos de inversión pública o privado, de la misma forma que permite comparar flujos de beneficios y costos que ocurren en distintos periodos (Edwards, 2016).

Para la evaluación del proyecto se estima una tasa de descuento de 12%.

Valor actual neto (VAN)

El VAN es un indicador de rentabilidad donde se demuestra el ingreso que genera el proyecto luego de descontar todos sus costos en un tiempo determinado, es decir, que el proyecto es aceptable cuando el VAN es mayor a cero, de lo contrario no será viable. Para el cálculo del mencionado indicador se utiliza la siguiente formula (Andia, 2011).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n}$$

Donde:

- I₀: Es la inversión inicial.
- BN: Beneficios netos del periodo
- r: Tasa de interés
- n: Número de periodos considerados.
- t: Tiempo

Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador es aquella tasa de interés que hace que el valor actualizado de los ingresos sea igual al valor actualizado de los costos, Por lo tanto, hace que el VAN sea igual a cero. Para calcular el valor de dicha tasa se utilizará la siguiente expresión:



$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} = 0$$

El criterio fundamental para aceptar o rechazar la viabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno, es decir, si el TIR es mayor a la tasa de descuento el proyecto (12%), es aceptable y si es menor a la tasa de descuento será inviable (Márquez & Castro, 2015).

Periodo de recuperación

Representa la cantidad de años que se necesita para recuperar una inversión a partir de los flujos netos de efectivo descontados. Su objetivo principal es determinar el tiempo en que se recupera la inversión inicial. Para ello se debe tener en cuenta dos aspectos (Márquez & Castro, 2015).

Flujos de caja igual: Para este tipo de análisis se emplea la siguiente ecuación:

$$Payback = \frac{I_0}{F}$$

Donde:

I_0 : Es la inversión inicial del proyecto

F : Es el valor de los flujos de caja

- Flujos de caja diferente: En este tipo de análisis los flujos de caja son variables, para ello se calcula con la siguiente ecuación

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

Donde:



- a: Es el número del periodo inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso inicial
- I₀: Es la inversión inicial del proyecto
- b: Es la suma de los flujos hasta el final del periodo “a”
- Ft: Es el valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión

Evaluación del costo-beneficio (B/C)

Este indicador se calcula mediante la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Su resultado se basa en la relación entre el VAN de los ingresos de efectivo futuras y el VAN del presupuesto (Aguilera, 2017).

$$B/C = \frac{\text{total de ingresos}}{\text{total de egresos}}$$

En el siguiente cuadro, se presenta la evaluación económica en un periodo de tiempo de 20 años, en el cual se visualizan valores del flujo de caja que ascienden cada año.

Tabla 4.19: Evaluación económica

Periodo	Inversión	Mantenimiento	Depreciación	Total, de egresos	Ingresos	Total, de ingresos	Flujo económico
0	S/9,600.13			- S/9,600.13		- S/9,600.13	-S/9,600.13
1	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/8,206.14
2	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/6,812.14
3	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/5,418.15
4	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/4,024.15
5	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/2,630.16
6	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	-S/1,236.16
7	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/157.83
8	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/1,551.83
9	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/2,945.82

(continuación...)

10	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/4,339.82
11	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/5,733.81
12	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/7,127.81
13	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/8,521.80
14	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/9,915.80
15	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/11,309.79
16	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/12,703.79
17	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/14,097.78
18	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/15,491.78
19	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/16,885.77
20	0	S/200.00	S/296.69	S/496.69	1890.68	S/1,393.99	S/18,279.77

Elaboración propia

Según los datos de la tabla anterior se calcula el Payback, el cual se representa de manera gráfica de la siguiente manera:

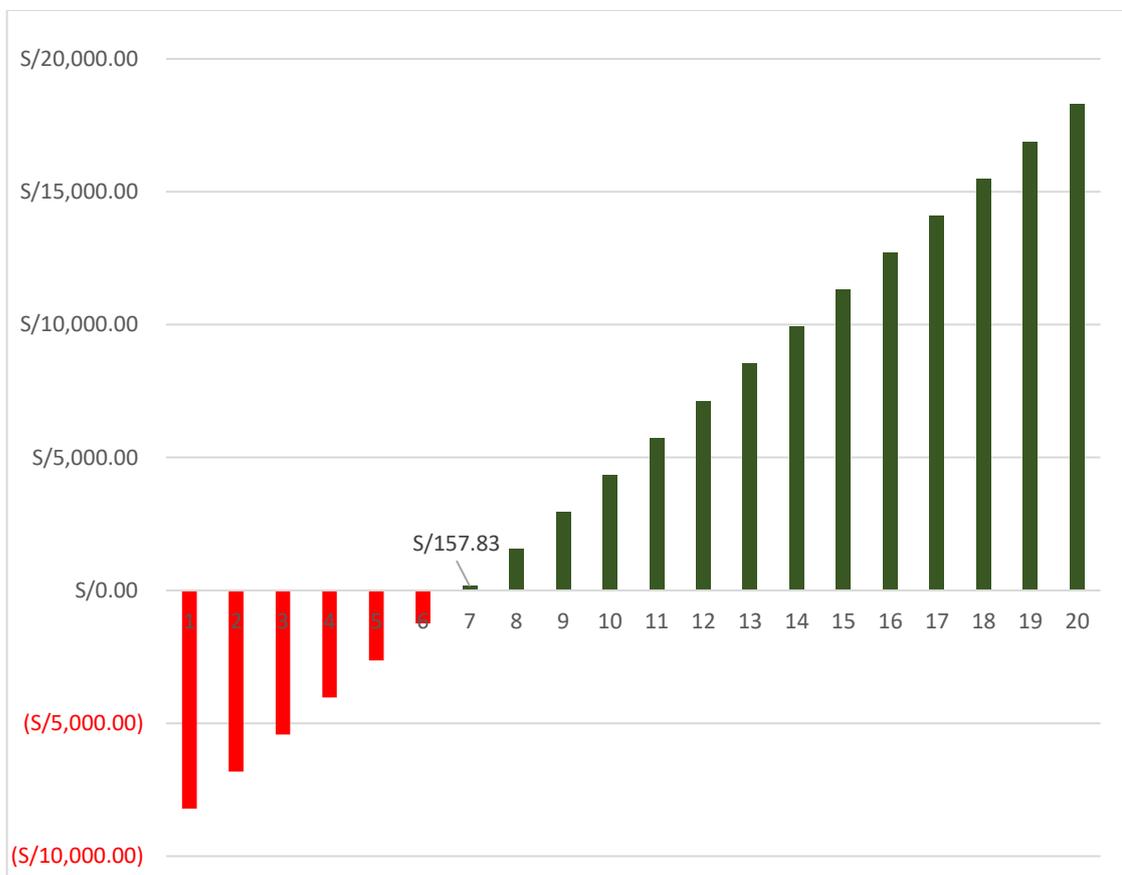


Figura 4.17: Periodo de recuperación
Elaboración propia



De la figura se puede concluir que el proyecto tiene un periodo de recuperación de 7,1 años y a partir del séptimo año se muestra un ingreso de S/.157,83 soles.

Tabla 4.20: Resultados finales de la evaluación económica

RESULTADOS FINALES			
INVERSIÓN	S/9600,13	VAN	S/812,24
TASA DE DESCUENTO	12%	TIR	13%
INGRESOS	S/37 813,6	PAY BACK	7,1 años
EGRESOS	S/19 533,83	B/C	1,94

Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra un resumen de todos los indicadores ya descritos anteriormente.

De los resultados finales se concluye que se obtiene un VAN de S/. 812,24 y un TIR de 13% lo es un proyecto viable económicamente para estas edificaciones con un periodo de recuperación de 7,1 años y un costo – beneficio de 1,94.



V. CONCLUSIONES

Primero: Se realizó la implementación, montaje y monitoreo de un sistema ON GRID utilizando la tecnología del microinversor, instalación fotovoltaica conformada por paneles solares de 330 Wp, microinversores duales de 600 Wp y una unidad de monitoreo ECU-R, SSFV que fue implementado e instalado en una edificación céntrica de la ciudad de Juliaca, en donde se identificó aquellos factores importantes para su realización y óptimo funcionamiento tales como la demanda energética de la construcción, analizada a partir de un historial de consumos proporcionado por la concesionaria de distribución eléctrica y un inventario de cargas que nos permitió determinar el perfil de consumo diario y el tamaño de la generación eléctrica con los microinversores, asimismo se identificó la ubicación para la instalación del sistema ON GRID determinándose la importancia en la disponibilidad de espacio para el montaje de los paneles solares, de igual forma se determinó mediante las mediciones efectuadas, valores aceptables de los parámetros eléctricos de la red para la interconexión (voltaje y frecuencia) y por último se diagnosticó el recurso solar de la zona mediante una investigación de los valores de irradiación solar (kWh/m²) sobre un plano inclinado de 15° identificándose valores máximos y mínimos que permitieron determinar además la eficiencia (PR) del sistema ON GRID con microinversores.

Segundo: Se determinó la viabilidad económica de la propuesta, obteniéndose un ahorro anual de S/.1890,68 después de haber analizado el balance de energía neta post implementación del sistema ON GRID con microinversores, con la cual se realizó una evaluación económica de los 20 años próximos llegándose a los siguientes indicadores económicos: TIR de 13%, un costo beneficio de 1,94 y un periodo de recuperación de 7,1 años, por lo que se concluye que el proyecto es viable económicamente.



VI. RECOMENDACIONES

Al ser un tema muy atractivo, se recomienda para futuras investigaciones estudiar este tipo de sistemas conectadas a red implementando equipos de monitoreo más inteligentes que permitan tener control absoluto sobre la producción de energía y se pueda desarrollar el tema de “inyección cero”, para de esta manera evitar pérdidas de energía por reinyección a la red eléctrica principal, aprovechando estos excedentes a través de los relés que incorporan unidades más avanzadas para llevarlo a otras aplicaciones externas a la instalación como calentadores de agua, refrigeradoras solares y otros. Así mismo, por la diversidad de parámetros que ofrece la unidad de monitoreo en estos sistemas, se recomienda realizar nuevos estudios basados en esta información como son pérdidas y afectación en celdas solares y microinversores por efecto de temperatura, comparación de performance de un sistema con microinversores frente a un sistema con inversor String en latitudes como la región Puno, cuantificación y reducción de emisiones por CO₂ con el uso de sistemas fotovoltaicos con tecnología y otros, formándose así nuevas líneas de investigación.

A las empresas locales dedicadas al rubro de la comercialización e instalación de sistemas fotovoltaicos, se recomienda analizar la importación de este tipo de tecnologías, ya que existiría un amplio mercado para su aplicación y se generaría mayor empleo local, si bien el coste de inversión es un poco elevado, el periodo de recuperación lo muestra como una alternativa muy atractiva de ahorro y beneficio, considerando que los sistemas fotovoltaicos tienen un estudio de evaluación económica de 20 años mostraría un alto ahorro en costos de energía eléctrica.



A las autoridades de instituciones públicas y privadas se recomienda promover el uso de las energías renovables, de manera que con su apoyo o financiamiento se puedan invertir en proyectos de energía limpia, lo que implica un desarrollo para el país.



VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Scielo*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612017000200022
- Alquímeres, S. (2019). *Dimensionamiento de un Sistema Eólico Fotovoltaico para Electrificar el Caserío Zapotal en Jayanca en el Departamento de Lambayeque*. Lambayeque.
- Alvarado, J. (2018). *Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica Aislada*. Obtenido de http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf
- Andia, W. (2011). Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81622582003.pdf>
- ANLA. (2017). *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales*. Colombia: Resolución N° 01256. Obtenido de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_1256_06102017_ct_4613.pdf
- Autosolar Energy Solutions. (2021). *Paneles fotovoltaicos*. Obtenido de <https://autosolar.pe/>
- Barberá, D. (2018). *Introducción a la energía fotovoltaica*. Obtenido de Obtenido de biling: <http://biling.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADA+Fotovoltaica.pdf>
- Bonilla, N. (2017). Propuesta de diseño de una microred en la comunidad de Santa Elena, Pérez Zeledón, basada en Whites Lane Smart Micro Grid. *Tecnología en Marcha*, 30(1). doi:<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i5.3224>
- Bravo, E. (2016). *Uso de Microinversores en Sistemas Fotovoltaicos con Radiación Solar Reflejada*. Obtenido de <http://biling.us.es/proyectos/abreproy/70795/fichero/Proyecto+Fin+de+M%C3>



%A1ster-

+Uso+de+Microinversores+en+Sistemas+Fotovoltaicos+con+Radiaci%C3%B3n+Solar+Reflejada-+Elena+Bravo+Arche.pdf

Bruno, E. (2017). *Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/9106/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-126.pdf>

Buele, C., & Chazi, A. (2019). *Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18210/1/UPS-CT008653.pdf>

Butrón, M. (2015). *Análisis de ciudades intermedias y el proceso de urbanización - Caso Juliaca - Perú*. Barcelona.

Cortés, C., Gómez, G., Betancur, F., & Carvajal, S. (2019). *Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v23n47/2256-5337-teclo-23-47-3.pdf>

Dávila, J. (2018). *Viabilidad para la comercialización de sistemas ON GRID en hoteles de Colombia*. Colombia. Obtenido de https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2161/davila_julian_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Edwards, G. (2016). *Estimación de la tasa social de descuento a largo plazo en el marco de los sistemas de inversión*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2016000100099

Espitia, C. (2019). *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conecta a la red*. Obtenido de Universidad Nacional de Santander: <https://clustersantander.com/media/dc12ea5380eff4f8c96988604f53b2949d2b4149.pdf>

Fernandez, L., & Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a ala red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira*. Mexico. Obtenido de



<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1927/1/TESIS%20OMER.pdf>

Flores , W. (2018). *Micro-inversor fotovoltaico submodular con conexión en cascada a red*. Valparaiso. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43664>

Hernández, F. (2016). *Voltaje, corriente y potencia eléctrica*. Obtenido de Y se hizo la luz.

INTEVA. (2018). *Energía Solar*. Argentina. Obtenido de <https://inteva.com.ar/sistemas-on-grid/>

IRENA. (Noviembre de 2019). *Future of Solar Photovoltaic*. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

Jiménez, J. (2017). *Hablemos de módulos fotovoltaicos*. Obtenido de iluminet: <https://www.iluminet.com/modulos-fotovoltaicos-1-fotoceldas/>

Márquez, C., & Castro, J. (2015). *Uso del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Relación BeneficioCosto en la Evaluación Financiera de un Programa de Vacunación de Fiebre Aftosa en el estado Yaracuy, Venezuela*. Obtenido de <http://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v56n1/art08.pdf>

MINEM. (2018). *Energías renovables*. Obtenido de Ministerio de energías y minas: <http://www.minem.gob.pe/giee/primaria/pdf/Guia-Primaria-Cap8.pdf>

MINEM. (Abril de 2021). Principales Indicadores del Sistema Eléctrico a Nivel Nacional. Lima. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/archivos/2_Cifras_preliminares_del_Sector_Electrico_-_Marzo_2021_rv4-7z05jzz51624874bf0.pdf

MINERGIA. (2019). *Programa de capacitación de energía solar fotovoltaica*. Chile. Obtenido de https://www.mienergia.cl/sites/default/files/1.3_tomo_iii_guia_estudiante.-.pdf

Ministerio de Energía. (2020). *Sistemas de Almacenamiento con Energía Solar Fotovoltaica*. Chile. Obtenido de



https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/sistemas-de-almacenamiento_web.pdf

- Miranda, A. (2016). *Diseño de Sistema de Generación Fotovoltaica para Viviendas conectadas a la red de Distribución, en el Contexto de la Ley N° 20.571*. Chile.
- Molina, A., & Martínez, F. (2017). *Modelo de Generación Fotovoltaica*. Obtenido de <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/downloads/fotovoltaico.pdf>
- Niño, J. (2019). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de energía eléctrica convencional en la empresa Exotic's Producers & Packers*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8373>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación. Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.
- OSINERGMIN. (2019). *Energías renovables*. Lima. Obtenido de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Ragnini, M. (2016). El uso de la energía solar. *Perspectivas desde el punto de vista*. Obtenido de *Perspectivas desde el punto de vista*.
- Renova Energia. (2020). *Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados o de Conexión a Red Pública*. Obtenido de Renova Energia: <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/>
- Revista Energética de Chile. (2021). *Consumo energético en los edificios*. Obtenido de <https://www.revistaei.cl/2011/09/28/los-edificios-consumen-mas-del-40-de-la-energia-a-nivel-mundial/>
- Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Casode aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 30(3). doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Salazar, A., Pichardo, J., & Pichardo, U. (2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo.*, 2(511).



- Obtenido de
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Investigacion_y_Desarrollo/vol2num5/Revista_de_Investigaci%C3%B3n_y_Desarrollo_V2_N5_2.pdf
- Sandoval, J., Tolosa, I., & Quintal, J. (2019). Optimización de la eficiencia de la celda fotovoltaica. *Revista de ingeniería eléctrica*.
- UNESCO. (2020). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*.
Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-19-energy-needs/>
- Vasquez, A., Tamayo, J., Vilches, C., & Chavez, E. (2016). La regulación del sector de energía.
- Vilca, M. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red de 2.16 kW con microinversor analizado en condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca. Obtenido de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/116>

ANEXOS

ANEXO N° 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
General	General	Principal			
¿Cómo se determinará la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W para abastecer parte de la demanda eléctrica en edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca?	Determinar la viabilidad para la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600 W para abastecer parte de la demanda eléctrica en edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca.	Al evaluar el uso de energía solar fotovoltaica para realizar la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W permitirá de manera eficiente abastecer parte de la demanda eléctrica en las edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca.			Tipo: Aplicada
Específicas	Específicas	Específicas			Nivel: Descriptivo
¿Cómo se implementará los sistemas ON GRID con microinversores de 600W en las edificaciones de Juliaca y que factores son importantes para su realización y óptimo funcionamiento?	Implementar, realizar el montaje y monitoreo de un sistema ON GRID con microinversores de 600 W en una edificación de la ciudad Juliaca identificando aquellos factores importantes para su realización y óptimo funcionamiento	Con la implementación de sistemas ON GRID con microinversores de 600W se abastecerá parte del consumo eléctrico de las edificaciones ubicadas en la ciudad de Juliaca y los factores importantes que intervienen en su realización y óptimo funcionamiento son: La demanda energética, el perfil de consumo, los parámetros eléctricos de interconexión, la ubicación y la radiación media solar anual disponible en la zona	Independiente: Microinversores	Tensión de salida. Factor de potencia Frecuencia.	Diseño: Pre-Experimental Población y muestra: Sistema eléctrico de las edificaciones ubicada en la ciudad de Juliaca TECNICAS: Observación Facturas emitidas por la concesionaria Base de datos RETScreen expert
¿Cómo se determinará la viabilidad y el costo-beneficio de la propuesta?	Determinar la viabilidad económica y el costo-beneficio de la propuesta	Con el análisis de costo-beneficio se determinará la reducción en la facturación de consumo eléctrico y la viabilidad del proyecto.	Dependiente: Sistemas ON GRID	Tensión de la red. Frecuencia de la red Potencia a suministrar	

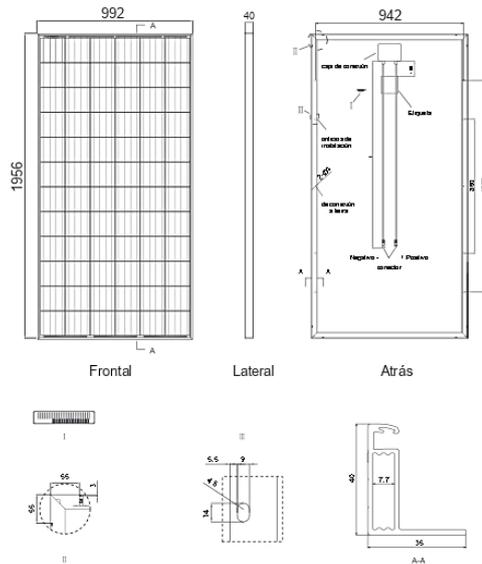


ANEXO N° 2: Historial de consumos edificación en estudio

Periodo	Tarifa	LECTURAS			MONTOS									
		Fecha	EA	CEA	Energia	Cargo Fijo	AP	Mtto.	Interes	Otros Afecto	Sub Total	IGV	Otros No Afecto	Total
202003	BT5	22-03-20	11,326	536.00	394.87	4.03	45.50	1.47	1.42	0.00	447.29	80.51	4.70	1,048.30
202002	BT5	22-02-20	11,326	514.00	380.10	4.03	45.50	1.47	2.01	0.00	433.11	77.96	4.73	515.80
202001	BT5	22-01-20	10,812	503.00	373.88	4.03	45.50	1.47	1.78	0.00	426.66	76.80	4.44	1,048.90
201912	BT5	22-12-19	10,309	552.00	410.25	4.03	42.00	1.47	1.71	1.42	460.88	82.96	-2.84	541.00
201911	BT5	22-11-19	9,757	526.00	379.35	3.77	38.50	1.47	1.61	0.00	424.70	76.45	4.55	1,032.10
201910	BT5	22-10-19	9,231	588.00	400.90	3.24	35.00	1.48	1.25	0.00	441.87	79.54	4.99	526.40
201909	BT5	22-09-19	8,643	533.00	358.44	3.23	35.00	1.49	1.39	0.00	399.55	71.92	4.53	476.00
201908	BT5	22-08-19	8,110	538.00	364.17	3.22	35.00	1.51	2.00	0.00	405.91	73.06	4.83	483.80
201907	BT5	22-07-19	7,572	553.00	377.86	3.22	35.00	1.51	2.01	-0.21	419.40	75.49	4.71	1,093.40
201906	BT5	22-06-19	7,019	670.00	457.28	3.22	35.00	1.51	1.41	0.00	498.43	89.72	5.65	593.80
201905	BT5	22-05-19	6,349	702.00	479.40	3.22	35.00	1.51	1.60	0.00	520.74	93.73	6.03	620.50
201904	BT5	22-04-19	5,647	608.00	415.75	3.22	35.00	1.51	1.43	0.00	456.92	82.25	5.13	544.30
201903	BT5	22-03-19	5,039	535.00	366.37	3.22	35.00	1.51	1.12	0.00	407.23	73.30	4.57	485.10
201902	BT5	22-02-19	4,504	624.00	425.44	3.23	35.00	1.52	1.67	0.00	466.87	84.04	5.49	556.40
201901	BT5	22-01-19	3,880	598.00	403.41	3.23	35.00	1.52	1.93	0.00	445.10	80.12	5.08	1,107.10
201812	BT5	22-12-18	3,282	658.00	443.56	3.23	34.30	1.52	1.48	0.00	484.10	87.14	5.56	576.80
201811	BT5	22-11-18	2,624	705.00	471.72	3.22	34.30	1.52	1.72	0.00	512.49	92.25	5.91	610.65
201810	BT5	22-10-18	1,919	638.00	423.44	3.22	34.30	1.50	1.80	0.00	464.27	83.57	5.41	553.25
201809	BT5	22-09-18	1,281	682.00	452.64	3.22	34.30	1.50	1.27	0.00	492.94	88.73	5.68	587.35
201808	BT5	22-08-18	599	599.00	397.68	3.22	34.30	1.50	0.02	0.00	436.73	78.61	4.96	520.30

ANEXO N° 3: Ficha técnica de los paneles solares

Dibujos técnicos

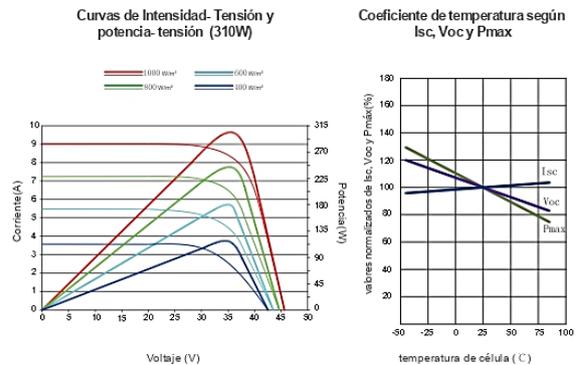


Embalaje

(Dos cajas = un palet)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 600 pzs./40 'HQ contenedores

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
N° de células	72 (6×12)
Dimensiones	1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm ² , Longitud: 900mm

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM310PP		JKM315PP		JKM320PP		JKM325PP		JKM330PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (P _{máx})	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	305Wp	242Wp	330Wp	246Wp
Tensión en el punto P _{máx} -VMPP (V)	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V
Corriente en el punto P _{máx} -IMPP (A)	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A	8.74A	6.97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V	46.9V	44.1V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A	9.14A	7.38A
Eficiencia del módulo (%)	15.98%		16.23%		16.49%		16.75%		17.01%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)									
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A									
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de P _{MAX}	-0.40%/°C									
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C									
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C									
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C									

STC: ☀ Radiación 1000 W/m² 📏 Célula módulo 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Radiación 800 W/m² 📏 Ambiente módulo 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Velocidad del viento 1m/s

* TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-330PP_rev2016

ANEXO N° 4: Ficha técnica del micro inversor YC600



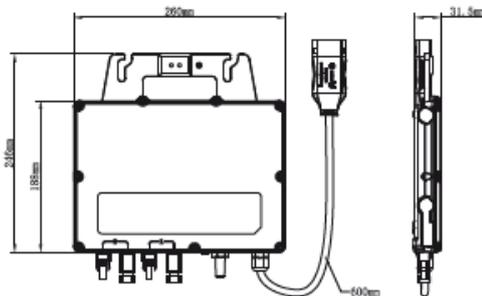
Liderando la Industria
Solar con Tecnología de Microinversores



YC600 Microinversor

- Un microinversor monofásico para 2 módulos
- 2 canales de entrada con MPPT independiente y función de monitorización
- Potencia máxima de salida de 600 vatios
- RD 413/2014 y RD 1699/2011
- Inyección cero (a través de ECU-C)
- Relé de anti-isla (anti-islanding) incorporado
- Transformador galvánicamente aislado incorporado
- Compatible para sistemas monofásicos y trifásicos
- 10 años de garantía, ampliable a 20 años opcionales

DIMENSIONES



El YC600 forma parte de nuestra nueva gama de microinversores conectados a la red eléctrica. El APsystems YC600 es un microinversor conectado con capacidades de red eléctrica inteligentes y sistemas de seguimiento avanzado que aseguran una máxima eficiencia. Alta eficiencia y alta fiabilidad son dos características del YC600, que cuenta con MPPT dual independiente y permite una potencia máxima de salida de hasta 600 vatios. Dividir por dos el coste de los inversores y de la instalación supone un ahorro evidente para clientes residenciales y comerciales. Permite combinar YC600 y QS1 en el mismo sistema.

Ficha Técnica YC600 Microinversor

Datos de Entrada (DC)

Potencia de Módulo PV Recomendada	250Wp-375Wp
Rango de Voltaje MPPT	22V-48V
Rango de Voltaje de Operación	16V-55V
Voltaje de Entrada Máximo	60V
Corriente de Entrada Máxima	12A x 2
Corriente de Cortocircuito de Entrada	13.2A

Datos de Salida (AC)

Pico de potencia de Salida	600VA
Potencia Máxima de Salida Continua	548VA
Voltaje de Salida Nominal	240V
Corriente de Salida Nominal	2.28A
Frecuencia de Salida Nominal	60Hz
Rango de Voltaje de Salida Ajustable	160V-278V
Rango de Frecuencia de Salida Ajustable	55.1Hz-64.9Hz
Factor de Potencia (Ajustable)	0.8 Leading...0.8 Lagging
Distorsión Armónica Total	<3%
Protección Máxima de Sobrecorriente de Salida	6.3A

Eficiencia

Eficiencia Máxima	96.7%
Eficiencia de CEC	96.5%
Nominal MPPT Eficiencia	99.5%
Consumo de Energía Nocturno	60mW

Datos Mecánicos

Rango de Temperatura Ambiental	-40 °F to +149 °F (-40 °C to +65 °C)
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-40 °F to +185 °F (-40 °C to +85 °C)
Dimensiones (A x L x P)	10.3" x 7.4" x 1.3" (260mm X 188mm X 31.5mm)
Peso	5.7lbs (2.6kg)
Corriente Máxima del Bus de CA	20A
Enfriamiento	Convección Natural - Sin Ventiladores
Clasificación Ambiental del Recinto	NEMA 6

Características

Comunicación (Inversor Para ECU)	Inalambrico ZigBee
Diseño de Transformador	High Frequency Transformers, Galvanically Isolated
Monitoreo	Via EMA* Online Portal

Certificado de Cumplimiento

Seguridad y Cumplimiento de EMC	UL1741; CA Rule 21 (UL 1741 SA); FCC Part15; ANSI C63.4; ICES-003
Cumplimiento de Conexión de Red	IEEE1547

* APsystems en línea Energy Management Analysis (EMA) plataforma

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso - asegúrese de que está utilizando
La actualización más reciente se encuentra en latam.APsistemas.com

APsystems en Guadalajara:

AV. Lazaro Cardenas 2850-5º Piso, Colonia Jardines del Bosque C.P. 44520, Guadalajara, Jalisco
+52 1 33 3188 4604 | 01 800 890 6030

info.latam@apsystems.com | latam.APsistemas.com

ANEXO N° 5: Ficha Técnica unidad de monitoreo



Ficha Técnica ECU-R

Interface de comunicación

Wi-Fi Integrado	802.11g/n
Comunicación	ZigBee 2.4 GHz
Ethernet	10/100 Auto-sensing, Auto-negotiation
Seguridad Inalámbrica	WEP, WPA2-PSK
Interfaz USB	5Vdc-1A Output x1

Datos de potencia

Fuente de Alimentación	110VAC-240VAC, 50Hz-60Hz 5V 2A
El Consumo de Energía	1.7 W

Datos Mecánicos

Dimensiones (A x L x P)	122mm x 87mm x 25mm (4.8" x 3.4" x 0.98")
Peso	150g (0.33lbs)
Rango de Temperatura Ambiente	-20°C to +65°C (-4°F to 149°F)
Enfriamiento	Convección Natural - Sin Ventiladores
Clasificación ambiental del Recinto	IP20 (Indoor - NEMA 1)

Características

Certificaciones	IEC 60950-1, EN60950-1, IEC 60529, EN 60529, ANSI/UL 60950-1, CAN/CSA C22.2 No.60950-1, UL50E, FCC part 15, EN61000-6-1, EN61000-6-3, ICES-003, AS NZS 60950-1, GB/T17799
-----------------	---

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso - asegúrese de que está utilizando La actualización más reciente se encuentra en latam.APsystems.com

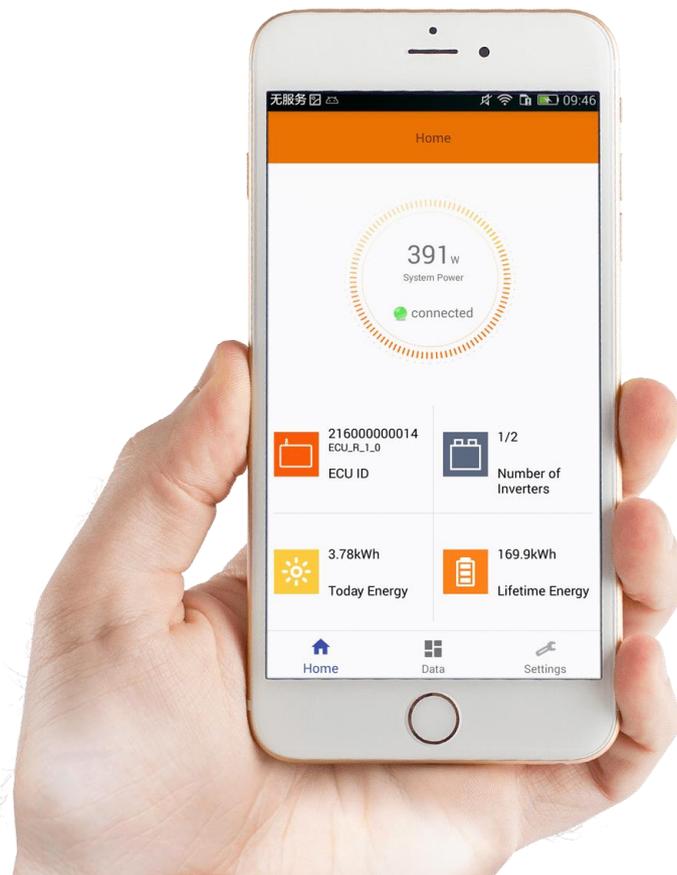
3.8.19 © All Rights Reserved

ANEXO N° 6: Ficha de Accesorios APsystem

Category		Part NO.	Name	Pic
1	Bus Cable (Mandatory)	2322301303	Y3 Bus Cable (12AWG, TC-ER cUL,2m, BK-RD-GN)	
		2322401303	Y3 Bus Cable (12AWG, TC-ER cUL,4m, BK-RD-GN)	
2	AC Branch Extension Cable (Optional)	2334075242	Y3 Br. Ext-Cable (18AWG, TCER cUL,2m, BK-RD-GN)	
3	Bus Cable End Cap (Mandatory)	2060700007	3/4-wire Bus Cable End Cap	
4	Bus Cable Y-CONN Cap (Optional)	2061702007	Bus Cable Y-CONN Cap	
5	Bus Cable Unlock Tool (Mandatory)	2352000001	Y Bus Cable Unlock Tool	
6	DC Male Connector Cap (Optional)	2060401006	DC Male Connector Cap (MC4)	
7	DC Female Connector (Optional)	2060402006	DC Female Connector Cap (MC4)	
8	AC Connector (Male) (Optional)	2300531032	25A AC Male Connector (EN,3- wire)	
9	AC Connector (Female)	2300532032	25A AC Female Connector (EN,3- wire)	
10	Unit (Optional)	—	ECU-R (ECU-C)	



ANEXO N° 7: Interface Web y Móvil APsystem



ANEXO N° 8: Ficha Técnica Interruptor Termomagnético

Catálogo Interruptores termomagnéticos



Interruptor Termomagnético 2x16A 220V-10KA

Bticino 17195



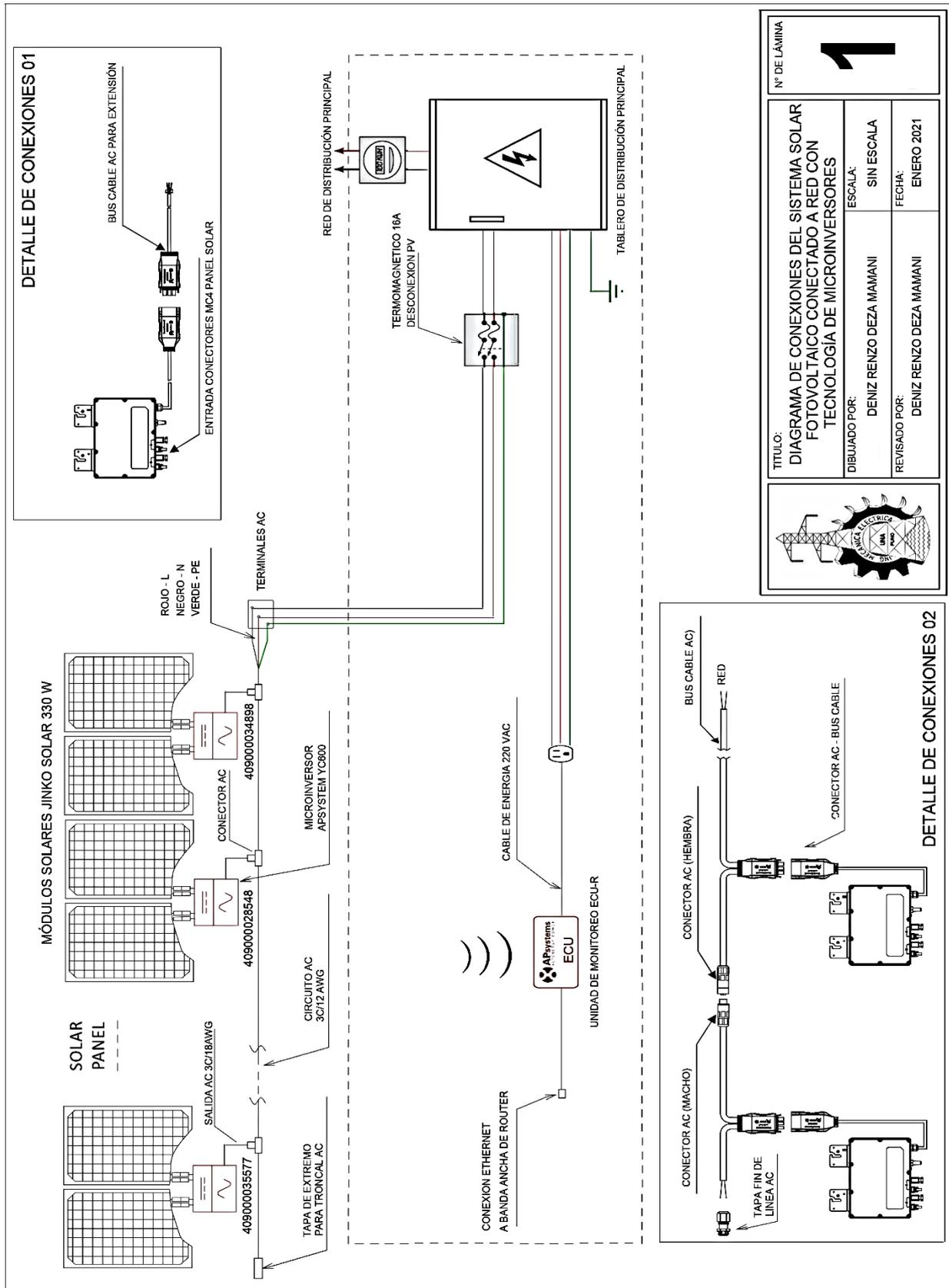
FICHA TÉCNICA

<p>Características Manija negra para encender y apagar dispositivo, porta etiqueta ergonómico para facil identificación en caso de un fallo eléctrico, enganche empotrable fácil para tablero riel DIN, obturadores de seguridad y conectores internos de plata, flujo de aire en la parte lateral para una mejor ventilación, protección a las instalaciones eléctricas de sobrecargas y cortocircuitos.</p>	<p>Garantía 1 Año</p>
<p>Observaciones Monofásico con poder de ruptura de 10ka ante un cortocircuito, Tipo de curva C, Bornes de gran capacidad de 35mm, Copytracer para protección contra falsificaciones.</p>	<p>Profundidad Del Producto 7.5 cm</p>
<p>Recomendaciones De Uso Tener en cuenta que el tablero electrico a instalar sea tipo riel, tener en cuenta el calibre del cable antes de instalar el interruptor termomagnético.</p>	<p>Altura Del Producto 9 cm</p>
<p>Modelo 2x16A Btdin</p>	<p>Tipo de Producto Interruptor</p>
<p>Ancho Del Producto 3.5 cm</p>	<p>Sub Tipo de Producto Termomagnético</p>
<p>Material PVC</p>	<p>Color Blanco</p>
<p>Número de piezas 1</p>	<p>Marca Bticino</p>
<p>Amperaje 16 A</p>	<p>Advertencia de uso Prohibido tocar las unidades con las manos mojadas, no usar productos de limpieza líquidos o aerosoles.</p>
<p>Frecuencia 50-60 Hz</p>	<p>Uso Para cualquier instalación eléctrica.</p>
<p>Voltaje 220-400 V</p>	<p>¿Dónde usarlo? Aplicaciones residenciales y comerciales</p>

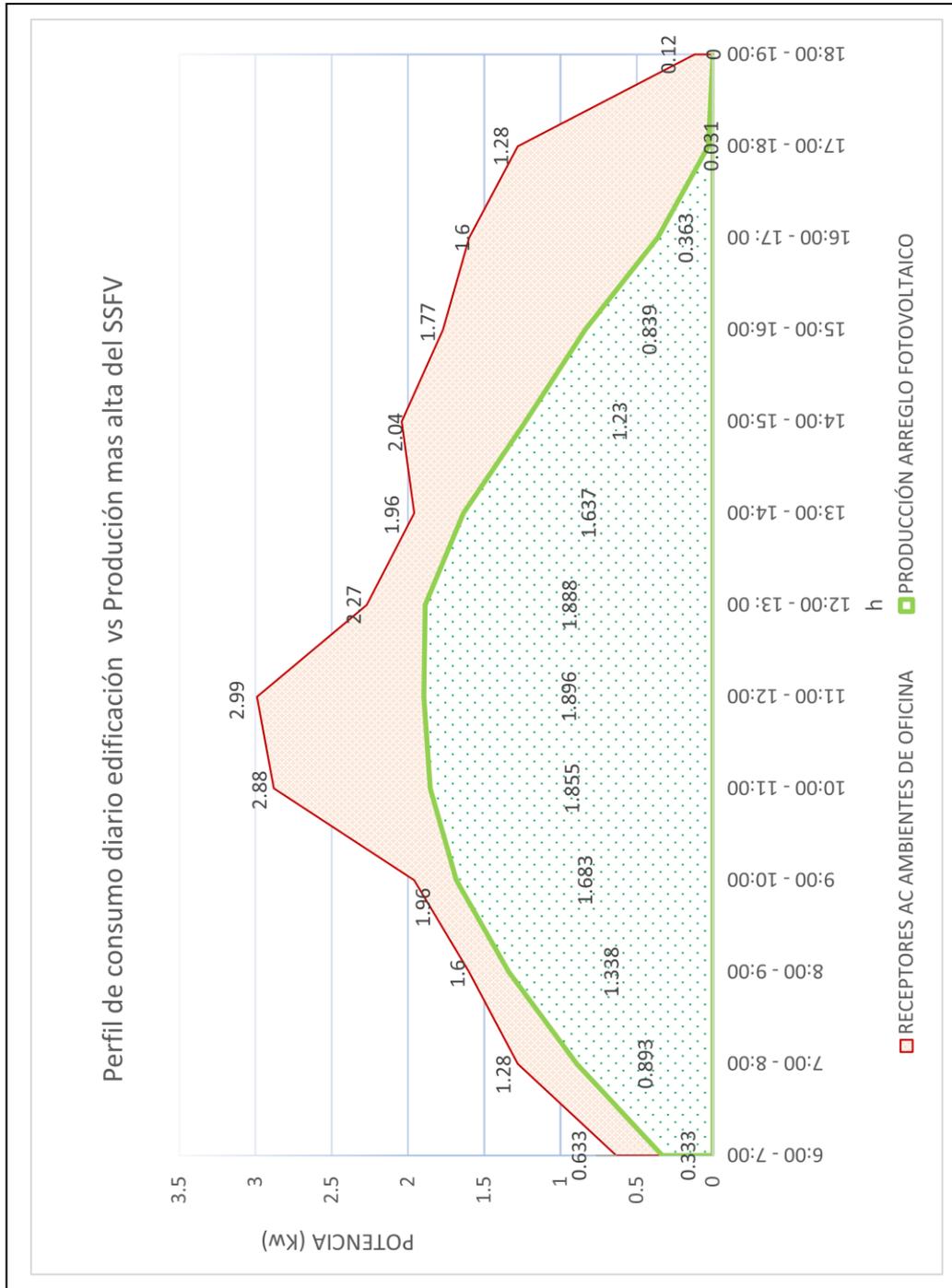
Despacho a
Domicilio

Financiamiento

ANEXO N° 9: Diagrama de conexiones del sistema ON GRID

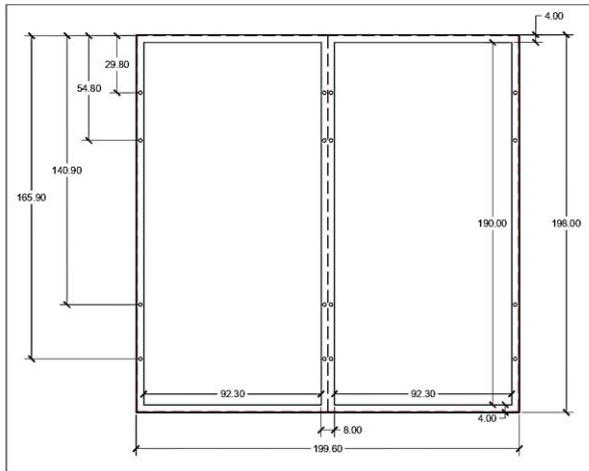


ANEXO N° 10: Perfil de consumo diario vs producción sistema fotovoltaico

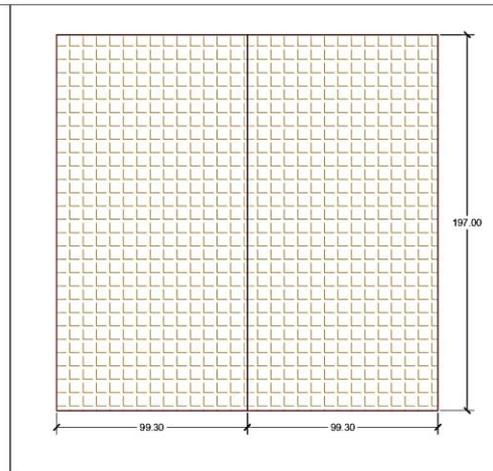


ANEXO N° 11: Diseño de estructura modular para paneles solares

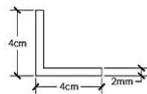
MARCO DE PANELES



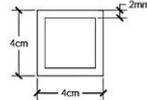
DIMENSIÓN DE PANELES



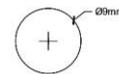
MARCO DE SECCIÓN TIPO "L"



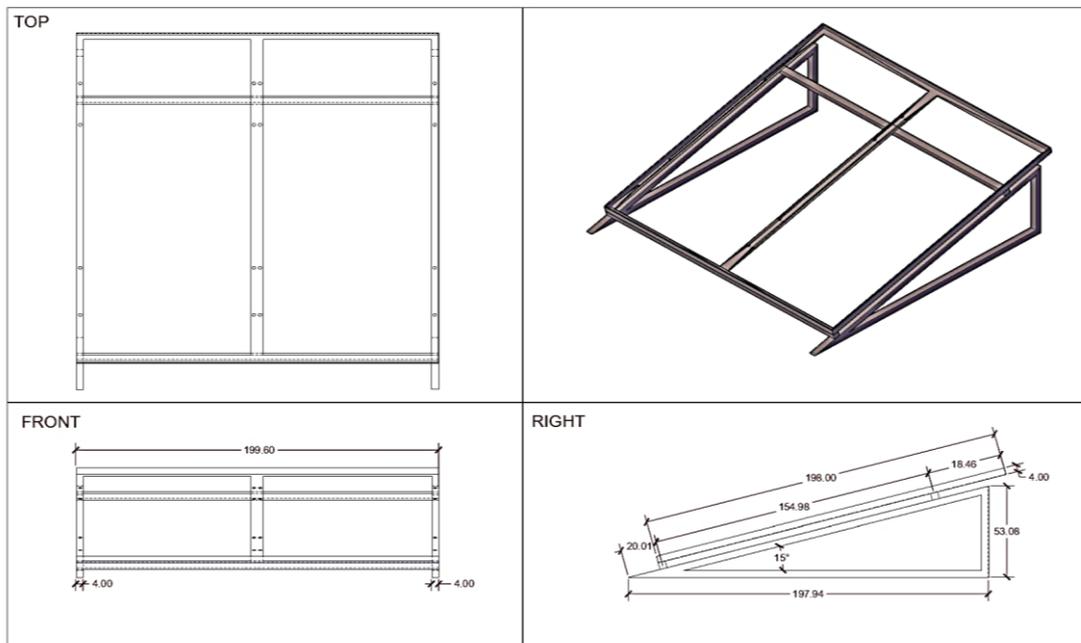
MARCO DE SECCIÓN TIPO "CUADRADO"



DIÁMETRO DE ABERTURA PARA EMPERNADO



ESTRUCTURA DE SOPORTE DE PANELES



	TÍTULO: DISEÑO DE ESTRUCTURA MODULAR PARA PANELES SOLARES CON MICROINVERSOR DUAL DE 600W DE POTENCIA	N° DE LÁMINA 2
	DIBUJADO POR: DENIZ RENZO DEZA MAMANI	ESCALA: SIN ESCALA
	REVISADO POR: DENIZ RENZO DEZA MAMANI	FECHA: DICIEMBRE 2021