

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE
USANDO TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Trabajo de grado presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.

Autor:

Darwin Moisés Medina Yáñez

Director:

M.Sc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004396626		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Medina Yánez Darwin Moisés		
DIRECCIÓN:	La Esperanza, Barrio La Cadena		
EMAIL:	m2d-97@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2958758	TELÉFONO MÓVIL:	0959489897

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE USANDO TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
AUTOR (ES):	Medina Yánez Darwin Moisés
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	12/07/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	M.Sc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

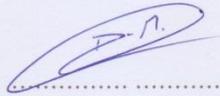
2. CONSTANCIAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:



.....

Medina Yáñez Darwin Moisés

C.I. 1004396626

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, M.Sc. Olger Gilberto Arellano Bastidas en calidad de director del señor estudiante Medina Yáñez Darwin Moisés certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE USANDO TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Olger Arellano Bastidas', is written over a dotted line.

M.Sc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a las personas más importantes en mi vida, quienes han sido mi constante fuente de amor, apoyo e inspiración.

A mi querida hija, Sofía Medina, que ilumina mi vida con su sonrisa y curiosidad infinita. Eres la razón por la que me esfuerzo cada día para ser mejor, y en tus ojos veo un futuro lleno de posibilidades y esperanza.

A mis amados padres, Irma Yáñez y René Medina, por su amor incondicional, su sabiduría y los valores que me han inculcado desde pequeño. Ustedes me enseñaron el significado de la perseverancia y la integridad, y cada paso que he dado ha sido guiado por sus ejemplos.

A mis hermanos, Josué, Gabriela y Gloria, quienes han sido mis compañeros de vida, mis cómplices de aventuras y mis primeros amigos. Gracias por estar siempre a mi lado, en los momentos de alegría y en los desafíos, compartiendo risas y aprendizajes.

A todos ustedes, mi familia, les dedico este logro como un pequeño reflejo del enorme impacto que han tenido en mi vida. Sin su apoyo, paciencia y amor, este viaje no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

En este significativo momento de mi vida académica, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a aquellas personas que han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto. En primer lugar, mi sincera gratitud al M.Sc. Olger Gilberto Arellano Bastidas, por su invaluable orientación y apoyo en este proyecto. A mi familia, gracias por su amor y aliento constante. También agradezco a mis compañeros y amigos de carrera, cuya amistad y colaboración han enriquecido enormemente mi experiencia universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivo general	2
1.5 Objetivos específicos.....	2
1.6 Alcance.....	2
1.7 Justificación – detalle del impacto	3
CAPÍTULO II	4
Marco teórico	4
2.1 Contextualización.....	4
2.2 Energía renovable.....	5
2.3 Tipos de energías renovables	6
2.4 Geometría solar	7
2.5 Radiación solar.....	7
2.6 Efecto fotovoltaico	9
2.7 Efecto sombra.....	9
2.8 Semiconductores	10

2.9	Célula Fotovoltaica	10
2.10	Sistemas fotovoltaicos	11
2.10.1	Sistema fotovoltaico con conexión a red	11
2.10.2	Sistema fotovoltaico sin conexión a red	13
2.11	Componentes de un sistema fotovoltaico	15
2.11.1	Módulo fotovoltaico	15
2.11.2	Inversor	16
2.11.3	Controlador de carga	17
2.11.4	Batería.....	18
2.11.5	Protecciones.....	19
2.12	Ventajas y desventajas de los sistemas fotovoltaicos.....	20
2.13	Normativa Ecuatoriana	20
CAPÍTULO III.....		22
Materiales y métodos		22
3.1	Descripción del lugar de estudio	22
3.2	Métodos científicos	23
3.2.1	Herramientas de investigación.....	24
3.3	Procedimiento general.....	25
3.4	Materiales	26
3.4.1	Ecuaciones matemáticas	26
3.4.2	Software.....	35
3.4.3	Datos meteorológicos	36
3.4.4	Datos de demanda.....	37
CAPÍTULO IV.....		38
Resultados y discusión.....		38
4.1	Resultados	38
4.1.1	Diseño de sistemas fotovoltaicos.....	38

4.1.2	Dimensionamiento y selección de los componentes	40
4.2	Discusión.....	44
4.2.1	Simulación.....	45
4.2.2	Factibilidad técnica.....	45
4.2.3	Factibilidad económica.....	46
4.2.4	Viabilidad ambiental.....	51
4.2.5	Determinación de sistema factible.....	52
4.2.6	Diagramas unifilares.....	53
CONCLUSIONES		57
RECOMENDACIONES.....		58
REFERENCIAS.....		59
ANEXOS		64
ANEXO A. Modelo y características de panel solar marca Jinko.		64
ANEXO B. Modelo y características de inversores marca Deye.....		66
ANEXO C. Modelo y características de baterías marca Newmax.....		69
ANEXO D. Modelo y características del controlador de carga Victron energy.....		71
ANEXO E. Resultados obtenidos de los informes de los sistemas simulados		73
ANEXO F. Tablas del análisis económico.....		77
ANEXO G. Diagramas unifilares.....		78

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Tipos de radiación solar.....	8
Fig. 2. Pirheliómetro de primera clase Kipp Zonen.....	8
Fig. 3. Piranómetro Kipp Zonen.	8
Fig. 4. SFCR instalado sobre el suelo con sistema de seguimiento.....	12
Fig. 5. SFCR instalado sobre edificaciones.	12
Fig. 6. Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red.....	13
Fig. 7. Esquema de conexión sistema fotovoltaico asilado	14
Fig. 8. Ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.....	22
Fig. 9. Procedimiento general para diseño de sistemas fotovoltaicos.....	25
Fig. 10. Interfaz de PowerView v3.	35
Fig. 11. Interfaz del software PVsyst 7.2.....	36
Fig. 12. Consumo FICA.....	37
Fig. 13. Diseño sistema fotovoltaico con conexión a la red.	39
Fig. 14. Diseño sistema fotovoltaico sin conexión a la red.	39
Fig. 15. Panel Jinko Solar.	40
Fig. 16. Inversor Deye SUN-6K-G03-LV.	41
Fig. 17. Inversor Deye SUN-15K-G02-LV.	41
Fig. 18. Inversor Deye SUN-20K-G02-LV.	42
Fig. 19. Batería de gel Newmax.....	43
Fig. 20. Controlador Victron Energy.	44
Fig. 21. Consumo anual de energía en diferentes escenarios.	50
Fig. 22. Reducción de emisión de CO ₂ en diferentes escenarios.....	52
Fig. 23. Diagrama unifilar SFC30%.	54
Fig. 24. Diagrama unifilar SFC70%.	54
Fig. 25. Diagrama unifilar SFC100%.	55
Fig. 26. Diagrama unifilar SFA.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de energías renovables.....	6
Tabla 2: Tipos de radiación solar.....	8
Tabla 3: Elementos semiconductores.....	10
Tabla 4: Clasificación de los SFCR (forma de instalación).....	12
Tabla 5: Protecciones de sistemas fotovoltaicos.....	19
Tabla 6: Análisis comparativo de los sistemas fotovoltaicos	20
Tabla 7: Datos geográficos	22
Tabla 8: Radiación solar en Ibarra	36
Tabla 9: Potencia fotovoltaica y número de módulos fotovoltaicos.....	40
Tabla 10: Paneles en serie y en paralelo	42
Tabla 11: Coeficiente de inclinación, pérdidas y separación de paneles.....	43
Tabla 12: Valores obtenidos de las simulaciones en PVsyst	45
Tabla 13: Factibilidad técnica de los sistemas diseñados	46
Tabla 14: Costos totales sistemas fotovoltaicos.....	46
Tabla 15: Generación económica mensual de los sistemas diseñados	48
Tabla 16: Van, Tir, Payback	49
Tabla 17: Factibilidad económica de los sistemas diseñados	50
Tabla 18: Factibilidad económica: (Aplicación por etapas)	51

RESUMEN

Este estudio evalúa la factibilidad de implementar tecnología fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, respondiendo a la creciente demanda energética y la necesidad de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero en Ecuador. Centrado en la urgencia de explorar energías renovables en contextos institucionales, se desarrolla un análisis integral que abarca desde la instalación de equipos de medición hasta el diseño de sistemas fotovoltaicos con y sin conexión a red. La metodología incluye la recopilación de datos de demanda energética y condiciones meteorológicas, seguida por el dimensionamiento y simulación de sistemas fotovoltaicos. Los resultados indican que un sistema fotovoltaico con respaldo de 100% es viable, sobresaliendo en rentabilidad económica, eficiencia en la inyección de energía a la red y en la reducción de emisiones de CO₂. La conclusión del estudio destaca la factibilidad técnica y económica de implementar esta tecnología en la facultad, subrayando su potencial para avanzar hacia la autosuficiencia energética y contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Tecnología fotovoltaica, sistema fotovoltaico con conexión a la red, sistema fotovoltaico sin conexión a la red, estudio de factibilidad.

ABSTRACT

This study evaluates the feasibility of implementing photovoltaic technology at the Faculty of Engineering in Applied Sciences of the Universidad Técnica del Norte, responding to the growing energy demand and the need to minimize greenhouse gas emissions in Ecuador. Focused on the urgency of exploring renewable energies in institutional contexts, a comprehensive analysis is developed that ranges from the installation of measurement equipment to the design of photovoltaic systems with and without grid connection. The methodology includes the collection of data on energy demand and meteorological conditions, followed by the sizing and simulation of photovoltaic systems. The results indicate that a 100% backed photovoltaic system is viable, excelling in economic profitability, efficiency in energy injection to the grid, and reduction of CO₂ emissions. The conclusion of the study highlights the technical and economic feasibility of implementing this technology in the faculty, underlining its potential to advance towards energy self-sufficiency and significantly contribute to environmental sustainability.

Keywords: Photovoltaic technology, grid-connected photovoltaic system, off-grid photovoltaic system, feasibility study.

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Tema

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE USANDO TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1.2 Planteamiento del problema

El incremento actual en la demanda de energía provoca varios problemas en los ámbitos económicos, sociales y de tipo energético, en este último aspecto se evidencia que afecta tanto al consumidor como al distribuidor, este hecho provoca la necesidad de encontrar nuevos métodos de generación de energía, misma que debe tener en cuenta factores relacionados a la seguridad y calidad [1].

La creciente dependencia energética que existe en el Ecuador y a nivel mundial, sumada de la exigencia de cuidar el medio ambiente, provocan la necesidad de fomentar proyectos para la generación de energía eléctrica renovable, con la finalidad de crear fuentes inagotables de energía que contribuyan a la reducción de gases con efecto invernadero oponiéndose al cambio climático [2].

La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte depende en su totalidad de la red eléctrica de la ciudad de Ibarra, debido a que tiene que satisfacer la demanda energética con la que trabaja actualmente y la cual a su vez sigue en constante crecimiento.

En este sentido, el problema de la demanda energética creciente ha desencadenado la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías alternativas en la generación de energía eléctrica renovable, buscando la auto sustentabilidad eléctrica, no obstante, la aplicación de estos proyectos energéticos lleva consigo un estudio que debe tomar en cuenta el contexto y las realidades del lugar donde se lo pretende aplicar, este aspecto puede ser determinante para gestionar su posible aplicación. Asimismo, las tendencias actuales han causado que diversas instituciones y organizaciones, entre ellas varias universidades de renombre a nivel mundial,

desarrollen diferentes proyectos en busca de alcanzar la tan necesaria auto sustentabilidad energética.

1.3 Formulación del problema

¿Es factible la generación eléctrica renovable usando tecnología fotovoltaica con o sin conexión a la red en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte?

1.4 Objetivo general

Desarrollar un estudio de factibilidad para la generación eléctrica renovable mediante el uso de tecnología fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

1.5 Objetivos específicos

1. Describir los sistemas de generación fotovoltaica con conexión y sin conexión a red.
2. Diseñar dos sistemas de generación fotovoltaica, con y sin conexión a red para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.
3. Realizar un estudio de factibilidad para la generación de energía fotovoltaica con conexión o sin conexión a red en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

1.6 Alcance

El presente estudio está enfocado en reducir la dependencia de la red eléctrica con la que trabaja la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, mediante el uso de tecnología fotovoltaica para la generación de energía eléctrica renovable. Para elaborar este estudio se realizará una descripción de la tecnología fotovoltaica con y sin conexión a red, además, con el uso del software PVsyst se diseñarán y simularán dos sistemas, un sistema sin conexión a red y el otro con conexión a red, en este último aspecto se analizará un escenario con el 100% de respaldo energético y dos escenarios adicionales con al menos 30% de respaldo. Posteriormente se realizará un análisis comparativo de los escenarios, tomando en cuenta los requerimientos técnicos y económicos necesarios para la aplicación de los sistemas planteados. Por último, se busca determinar si es factible su aplicación en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

1.7 Justificación – detalle del impacto

Los proyectos en base a la generación eléctrica que usan energía renovable son de gran beneficio para el cuidado del medio ambiente debido a que disminuyen los gases con efecto invernadero, esto contrarresta los problemas ambientales que existen hoy en día, aspecto que se alinea con el objetivo 12 del Plan Nacional de Desarrollo Creando Oportunidades donde se explica la importancia de fomentar el desarrollo de sistemas sostenibles que ayuden a mitigar el cambio climático y la adaptabilidad a esta situación.

Por otro lado, la generación eléctrica renovable permite la auto sustentabilidad energética de los lugares donde se aplican. En este sentido se evidencia que Ecuador que debido a sus condiciones climáticas abre paso a la posible aplicación de proyectos para la generación de energía eléctrica fotovoltaica, en esa misma línea, la Universidad Técnica del Norte cuenta con la información técnica pertinente para el estudio, además el equipo necesario tanto de hardware como de software es accesible, asimismo cabe destacar que no existen trabajos de estudio previos al tema planteado, por lo cual este estudio de factibilidad es viable y necesario para lograr la futura auto sustentabilidad energética deseada.

CAPÍTULO II

Marco teórico

A partir de la revisión de la bibliografía de especialidad sobre Tecnología fotovoltaica se realizó la descripción y análisis de las tecnologías para la generación fotovoltaica con conexión y sin conexión a red, detallando sus características y componentes, así mismo, se realizó una comparativa entre los tipos de sistemas existentes. A continuación, se describen distintos conceptos necesarios con respecto a sistemas de generación fotovoltaica: Energía renovable, tipos de energías renovables, geometría solar, radiación solar, efecto fotovoltaico, semiconductores, célula fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos con y sin conexión a red, componentes de un sistema fotovoltaico y ejemplos de implementación de sistemas fotovoltaicos.

2.1 Contextualización

La tecnología fotovoltaica es hoy en día reconocida como una posible solución al cambio climático y a la contaminación ambiental, esto es debido a la sobreexplotación de combustibles fósiles y a los avances tecnológicos en el uso de energías renovables, en este sentido, a nivel mundial se ha experimentado un crecimiento anual en el uso de energías alternas que supera el 40% en los últimos 15 años [3].

A raíz del gran avance tecnológico en la generación de energía fotovoltaica, hoy en día se la considera como una buena opción para la obtención de energía eléctrica renovable. Esto ha generado que muchas instituciones a nivel mundial opten por la tecnología fotovoltaica con el fin de alcanzar la auto sustentabilidad energética.

La energía eléctrica renovable que utiliza tecnología fotovoltaica se obtiene mediante la radiación electromagnética proveniente del sol, la cual es transformada en energía eléctrica de corriente continua, por ende, la energía fotovoltaica no proviene de la energía calorífica del sol [4].

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la conversión de energía solar a energía eléctrica utilizando celdas solares. Los sistemas fotovoltaicos son autónomos cuando son aislados de cualquier forma de red eléctrica para su uso estacionario. Así mismo los sistemas fotovoltaicos

con conexión a red, como su nombre lo indica, se encuentran conectados a una red eléctrica que sirve como fuente de respaldo en el sistema [5].

Un ejemplo de generación eléctrica renovable utilizando tecnología fotovoltaica es la Universidad Panamericana (UP) que se encuentra en Aguascalientes, México. Esta universidad registra un avance de 40% en el proceso de convertir su campus Bonaterra en un edificio 100% sustentable. La iniciativa del proyecto realizado en esta universidad intenta replicar a su vez el exitoso modelo desarrollado en Alemania por el instituto Für Angewandtes Stoffstrommanagement, Ifas, la cual es reconocida como la primera universidad autosustentable de la Unión Europea [6].

Por otro lado, en Montevideo, Uruguay se encuentra ubicada “Una escuela sustentable” la cual es la primera institución educativa 100% sustentable en Latinoamérica, dicha institución genera su propia energía eléctrica utilizando paneles fotovoltaicos los cuales generan el total de la energía requerida para esta institución, en este sentido, se han planteado diversos proyectos para implementar modelos similares en otros países como Chile y Argentina [7].

El diseño de sistemas con celdas solares tiene la finalidad de resolver problemas de baja eficiencia energética, baja confiabilidad, alto consumo eléctrico y falta de monitoreo en tecnología fotovoltaica [8].

El pronóstico a corto plazo de la capacidad de generación fotovoltaica con la recopilación de datos muestra como resultado un método de pronóstico confiable, mismo que puede lograr un mercado más fiable con más políticas de apoyo, además de generar apoyo técnico y capital para proyectos de este tipo [9].

Es importante mencionar la relevancia de la relación entre la temperatura del aire, la radiación solar y la generación de energía fotovoltaica, estos factores tienen mucho que ver con el lugar donde se pretende aplicar el proyecto de generación eléctrica fotovoltaica ya que factores como el clima y la humedad del sitio influye en gran medida en la confiabilidad del estudio [10].

2.2 Energía renovable

Se define como energía renovable a el tipo de energía que es obtenida de fuentes naturales denominadas inagotables debido a que son capaces de regenerarse de forma natural

en un periodo corto de tiempo. Entre las energías renovables se encuentran la energía eólica, hidráulica, nuclear, biomasa, mareomotriz, fotovoltaica, entre otras.

Es importante mencionar que el uso de tecnologías para la generación de energía renovable permite disminuir la contaminación ambiental, por lo que en el Ecuador se han creado diferentes políticas con el fin de incentivar la aplicación de este tipo de formas de energía [11].

2.3 Tipos de energías renovables

La Tabla 1 describe algunos tipos de energías renovables.

Tabla 1: Tipos de energías renovables

Energía Renovable	Descripción
Energía hidráulica	Se basa en transformar la energía potencial de un río que se encuentra a una determinada altura en energía cinética debido a la caída del agua, dicho flujo de agua pasa moviendo a unas turbinas que producen la energía eléctrica [12].
Energía solar fotovoltaica	Su funcionamiento se centra en el efecto fotovoltaico, es decir, la radiación emitida por el sol no se vuelve calor, sino que se transforma en energía eléctrica, esto es posible debido a que la luz solar al iluminar algunos materiales (comúnmente semiconductores) puede generar electricidad [13].
Energía marina	La energía marina aprovecha la energía cinética contenida en los mares y océanos debido a su movimiento [12].
Energía Eólica	Es aquella que utiliza la energía cinética contenida en el movimiento de las corrientes del viento para convertirla a energía eléctrica a través de aerogeneradores de corriente [12].
Energía de biomasa	La biomasa es un material natural que puede guardar radiación solar, pero la almacena como energía química, este sistema de almacenamiento de energía puede estar presente en plantas debido al proceso de fotosíntesis y en microorganismos que pueden retener la energía del sol [14].
Energía geotérmica	Es un tipo de energía que utiliza el calor que está presente en las capas internas de la tierra, la energía geotérmica puede ser encontrada en áreas hidrotérmicas, sistemas de roca caliente, y los medios de magma (aguas de tipo termal y géiseres), este tipo de temperatura puede ser usado para generar energía eléctrica o simplemente como energía calórica [15].

Nota: Se muestran distintas alternativas de generación eléctrica que utilizan recursos renovables. Estas tecnologías actualmente son aplicadas, sin embargo, algunas se encuentran en desarrollo. [3], [4], [5], [6].

2.4 Geometría solar

En la generación de energía renovable a través de tecnología fotovoltaica se aplica la geometría solar para ajustar la posición óptima de los paneles fotovoltaicos, para lo cual es necesario conocer las trayectorias solares del sitio las cuales son determinadas utilizando geometría solar. Estas trayectorias se definen por la declinación solar, el ángulo horario, horas de insolación entre otras [16].

La geometría solar también conocida como elevación solar, se trata de un ángulo que es formado por el rayo solar y el sitio donde este se proyecta. El cual varía desde 0 a 90 grados dependiendo de donde se ubique el sol, estos valores son utilizado con el fin de predecir la trayectoria del sol [1].

La dinámica con la que interactúan el Sol y la Tierra, establecen una geometría particular la cual debe ser tomada en cuenta para comprender cómo y cuándo llegan los rayos solares a la superficie de la Tierra. El movimiento del sol alrededor de la tierra empieza en un lugar diferente del horizonte cada día, así mismo ocurre en la forma en la que se oculta, además, el ángulo con respecto a la tierra no es el mismo para cada lugar del planeta [1].

2.5 Radiación solar

Se define como radiación solar a la energía emitida por el sol, la cual se propaga mediante ondas electromagnéticas, cabe recalcar que la energía del sol llega a la tierra en forma de radiación solar y que en aproximadamente 1 hora la tierra recibe el equivalente de la energía consumida en un año por todo el planeta en forma de radiación solar. A través del estudio de la radiación solar es posible calcular la eficiencia de las células solares [17].

La radiación solar que llega a la superficie de la tierra es variable ya que depende de la latitud geográfica de la zona de estudio, además también se ve afectada por la fecha del año y la hora. Es importante mencionar que la radiación solar que se encuentra fuera de la atmósfera es constante, sin embargo, una vez que atraviesa esta capa, la radiación que ingresa puede ser redireccionada o absorbida en su totalidad, en caso de que la radiación logre atravesar la atmósfera sin interactuar con esta se conoce como radiación directa, mientras que si es redireccionada se le llama radiación difusa, la suma de estos tipos de radiación es conocida como radiación global horizontal, así mismo, en caso de ser reflejada por la superficie de la

tierra, la cantidad de radiación depende del albedo, el cual hace referencia al coeficiente de reflexión de la superficie [18].

En la Fig. 1 se muestran tipos de radiación mencionados.

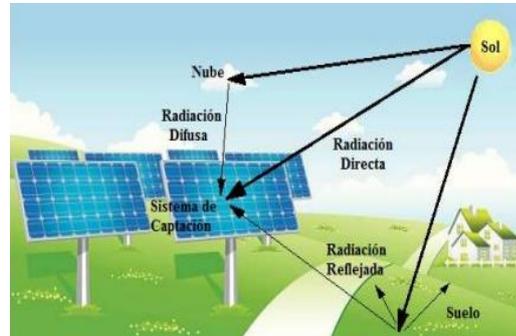


Fig. 1. Tipos de radiación solar. [19]

Para mayor detalle en la Tabla 2 se describen los tipos de radiación existentes y los equipos utilizados para su medición.

Tabla 2: Tipos de radiación solar

Tipo de radiación solar	Descripción	Equipo de medición
Radiación solar directa	Es el tipo de radiación que incide en la superficie de la tierra o en un determinado cuerpo sin tener interacción con la atmósfera de forma directa [18].	
Radiación solar difusa	En este tipo de radiación su trayectoria es modificada por diferentes factores como la atmósfera o las nubes [18].	
Radiación solar global	Es la suma de los dos tipos de radiaciones antes mencionadas [18].	

Fig. 2. Pirheliómetro de primera clase Kipp Zonen. [17]

Fig. 3. Piranómetro Kipp Zonen. [17]

Nota: Se muestran los equipos utilizados para la medición de cada tipo de radiación, sin embargo, cabe mencionar que la radiación solar global al ser la suma de la radiación directa y difusa es medida utilizando ambos equipos [10], [12].

2.6 Efecto fotovoltaico

El termino fotovoltaico proviene de los términos en latín “phos” cuyo significado es luz y volta en honor a Alexander Volta pionero en la electricidad. El efecto fotovoltaico explica la generación de la electricidad mediante la radiación del sol [19].

Se denomina efecto fotovoltaico a la capacidad que tienen ciertos elementos químicos para absorber fotones, mismos que posteriormente liberan un flujo de electrones, el cual de ser capturado puede utilizarse como energía eléctrica [19].

En este sentido, si ingresa luz y los fotones transportan energía a los electrones del semiconductor, algunos electrones son expulsados del semiconductor a través de un circuito externo, produciendo así una corriente eléctrica, estos electrones tras recorrer a través del circuito externo vuelven al semiconductor. A raíz de que los fotones inciden sobre un material semiconductor chocan con los electrones que están en la superficie del metal, a continuación, se rompe la atracción atómica del metal expulsando átomos por la superficie y generando el flujo de electrones [20].

Cabe mencionar que el material semiconductor no almacena energía eléctrica, pero si es capaz de transformar la energía de la radiación solar a electricidad cuando esta incide sobre él. Así mismo, no todos los fotones se comportan igual en este proceso de generación de energía, ciertas frecuencias son mejores en la generación mediante efecto fotovoltaico [19].

2.7 Efecto sombra

Uno de los efectos más relevantes en un sistema de generación fotovoltaica es el efecto de la sombra, este es capaz de reducir una cantidad importante en la producción de energía. El efecto de la sombra depende del área sombreada y la época del año en la que sucede el sombreado, así mismo de la configuración de los paneles y del generador fotovoltaico entre otros factores [13].

Con el fin de evitar o reducir el efecto de la sombra sobre los paneles, es fundamental la ubicación de estos en lugares donde la sombra no afecte a la producción de energía, además, al distribuir los módulos solares se recomienda un espacio de 3 metros entre estos con el fin de no generar sombras [21].

2.8 Semiconductores

Como se menciona anteriormente para lograr la generación eléctrica mediante efecto fotovoltaico es necesario utilizar elementos semiconductores. En la Tabla 3 se describen algunos elementos utilizados en este tipo de aplicación.

Tabla 3: Elementos semiconductores

Semiconductor	Descripción
Silicio	El silicio es un material semiconductor muy utilizado en microelectrónica y en la generación fotovoltaica. Este elemento tiene un aspecto metalizado además de ser de difícil dilución, cabe recalcar que el símbolo del silicio es “Si” y es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno [1].
Germanio	El germanio de símbolo “Ge” es escaso y siempre es encontrado en combinación con otros elementos, como por ejemplo la argirodita y la germanita, por otro lado, este elemento es utilizado en la generación de energía fotovoltaica, además está presente en la fabricación de cristales ópticos y cátodos, así mismo, se lo puede encontrar en la fabricación de sensores infrarrojos y de la fibra óptica [11].
Arseniuro de galio	El galio (Ga) es un elemento físicamente parecido al aluminio, este metal no es afectado por el aire ni el agua, además el galio y sus compuestos, en este caso el arseniuro de galio es utilizado como semiconductor en transistores, celdas solares, láseres, etcétera [1].
Sulfuro de cadmio	Es un compuesto inorgánico formado por cadmio y azufre y su fórmula es CdS, tiene un aspecto sólido y amarillo, generalmente es encontrado como impureza en el zinc y puede ser utilizado en ciertos tipos de celdas solares [11].

Nota: Se detallan diferentes elementos semiconductores los cuales son fundamentales en el proceso de generación de energía fotovoltaica debido a que son capaces de propiciar el efecto fotovoltaico en los módulos solares. [3], [8].

2.9 Célula Fotovoltaica

Las células fotovoltaicas son elementos constituidos de material semiconductor, son capaces de convertir la radiación solar en energía eléctrica [1].

La célula fotovoltaica está compuesta por material semiconductor, el cual posee una unión p-n, esto refiere a unir un semiconductor p con uno n, por ejemplo, el silicio suele ser dopado con boro y fósforo formando la unión p-n [20].

Existen diferentes tipos de células fotovoltaicas los cuales se explican a continuación [20].

- **Silicio monocristalino:** La célula está compuesta de silicio cuyos átomos se ubican simétricamente debido a que posee una red cristalina y tiene un rendimiento de entre 15% a 18%, el proceso de cristalización es costoso y complicado.
- **Silicio policristalino:** Su superficie está compuesta en cristales y presente tonos azulados, además, su proceso de cristalización diferente al anterior reduce su precio y su rendimiento el cual varía de 12% a 14%.
- **Silicio amorfo:** No posee red cristalina, está constituido por una solución hidrogenada de silicio la cual es absorbente y logra captar la luz solar, su precio es inferior a los dos tipos anteriores, sin embargo, su rendimiento suele ser menor a 10%.
- **Células de arseniuro de galio:** Son las más recomendables debido a que en su versión monocristalina tiene un rendimiento de hasta 28%, tienen un costo elevado.
- **Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre:** su proceso de fabricación es el más sencillo y su rendimiento es de 5%.
- **Células bifaciales:** Están diseñadas con una unión de tipo $n^+ - p - p^+$ lo cual permite que la célula absorba la radiación por sus dos caras, su rendimiento es mayor a las células mono-faciales y su costo es más elevado.

2.10 Sistemas fotovoltaicos

Se conoce como sistema fotovoltaico al conjunto de elementos cuyo objetivo es captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica [1]. Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos tipos: los sistemas fotovoltaicos con conexión a la red y los sistemas fotovoltaicos sin conexión a la red o aislados. La implementación de estos tipos de sistema depende del uso que se le vaya a aplicar, la carga con que se trabaja, la radiación solar de la zona, entre otros factores [19].

2.10.1 Sistema fotovoltaico con conexión a red

Un sistema fotovoltaico con conexión a red o SFCR es aquel que opera con conexión a una red eléctrica existente y se encarga de suministrar energía a la fase, cabe mencionar que la energía inyectada requiere estar sincronizada a la red. Su objetivo es disminuir el consumo eléctrico de la zona en la que se aplica, si este sistema excede los valores de aprovisionamiento, la energía es inyectada directamente a la red eléctrica, por otro lado, los sistemas fotovoltaicos

con conexión a red están conformados principalmente por generadores fotovoltaicos, inversos de CC a CA y protecciones [19].

Los SFCR son una de las aplicaciones de generación solar fotovoltaica más aplicadas, esto debido a su gran potencial de utilización en zonas urbanas con red eléctrica existente, además estos sistemas fotovoltaicos conectados a la red cuentan con un generador fotovoltaico el cual está conectado a la red eléctrica por medio de un inversor, de esta forma el SFCR inyecta energía eléctrica a la red o la extrae dependiendo del consumo local y de la producción del sistema [1].

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se clasifican según su forma de instalación, ya sea que están instalados sobre el suelo o instalados sobre edificaciones [19]. En la Tabla 4 se describen los SFCR según su manera de instalación.

Tabla 4: Clasificación de los SFCR (forma de instalación)

Según su instalación.	Descripción	Ejemplo
Instalado sobre el suelo.	Este tipo de sistema tiene como objetivo generar la mayor energía eléctrica utilizando el menor espacio de suelo posible y disminuyendo los costos, es importante mencionar que existen SFCR instalados sobre el suelo con sistema de seguimiento y sistemas estáticos [1].	 <p>Fig. 4. SFCR instalado sobre el suelo con sistema de seguimiento. [13]</p>
Instalado sobre edificaciones.	Suelen ser de implementación más compleja debido a factores como la ubicación geográfica, orientación, inclinación, etcétera. La potencia con que vaya a trabajar el sistema es proporcional al número de paneles necesarios para la generación de la energía requerida, así mismo, se deberá tomar en cuenta la carga estructural que se puede instalar en el edificio [1].	 <p>Fig. 5. SFCR instalado sobre edificaciones. [13]</p>

Nota: Se describen los SFCR según su instalación, cabe mencionar que la forma de instalación será seleccionada dependiendo de los requerimientos y características que tendrá el sistema, además, considerando el entorno en el que este opere. [8], [13].

Características del SFCR

Un sistema fotovoltaico conectado a la red está conformado por un arreglo fotovoltaico, el cual transforma la radiación solar en electricidad, así mismo, los SFCR constan de un

elemento inversor DC/AC, el cual transforma la energía generada a las características de la red para permitir su conexión, dicho arreglo fotovoltaico está conformado por módulos fotovoltaicos cuya cantidad depende de la potencia requerida [13].

Un sistema fotovoltaico conectado a la red está conformado por tres subsistemas los cuales se describen a continuación [1].

- **Sistema generador:** Está conformado por los módulos solares y su función es la de transformar la radiación solar en energía eléctrica
- **Sistema inversor:** Su función es la transformación de la corriente directa en corriente alterna, esto con el fin de que el sistema se pueda conectar a la red.
- **Sistema de transformación:** Su función es elevar o disminuir los valores de voltaje según los requerimientos del sistema.

Adicionalmente, los SFCR necesitan contadores de energía para poder contabilizar la energía que genera e inyecta a la red, además, del consumo del sistema [20]. La Fig. 6 muestra un ejemplo de la configuración de una planta fotovoltaica.

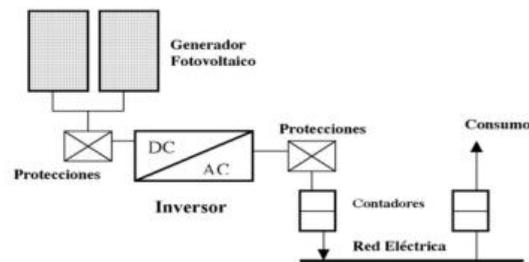


Fig. 6. Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red. [20]

2.10.2 Sistema fotovoltaico sin conexión a red

Los sistemas fotovoltaicos sin conexión a red son aquellos que como su nombre lo indica no tienen conexión a una red existente, estos sistemas son comúnmente utilizados en zonas rurales sin acceso a una red eléctrica.

En [22] se detalla que los sistemas fotovoltaicos aislados se clasifican en:

- **Centralizados:** Son aquellos sistemas en los que se agrupan todos sus componentes simulando un centro de acopio.

- **Descentralizado.** Los procesos del sistema se realizan de forma individual, según cada las zonas o equipos que se requiere energizar, el costo de implementación es más elevado que los centralizados.

Características del sistema fotovoltaico sin conexión a red

Los sistemas fotovoltaicos autónomos se caracterizan por satisfacer la demanda total de la zona donde se aplican, esto debido a que constan de acumuladores y reguladores para mantener constante la transferencia de energía [1]. La Fig. 7 muestra el esquema de conexión de este tipo de sistemas.



Fig. 7. Esquema de conexión sistema fotovoltaico aislado. [19]

Los acumuladores de energía tienen la función de almacenar la energía y proveerla en caso de que no exista generación, debido a la ausencia de radiación solar, para el dimensionamiento de los equipos a utilizar se debe realizar distintos cálculos con el fin de proveer la energía requerida [22].

Para el diseño y la implementación de este tipo de sistema fotovoltaico se debe considerar los aspectos descritos a continuación [19].

- **Potencia instantánea:** Con el fin de dimensionar los inversores y el banco de baterías.
- **Días de autonomía:** En caso de que la radiación solar sea demasiado baja, las baterías serán las encargadas de suministrar la energía requerida.
- **Espacio de terreno:** Es necesario minimizar el espacio para la implementación del equipo, no es recomendable utilizar longitudes muy extensas.

Así mismo se deben tomar en cuenta los días con menor radiación y con mayor carga, esto con el fin de lograr satisfacer la demanda en todo momento [13].

2.11 Componentes de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por distintos elementos, cuya finalidad es generar energía eléctrica, a continuación, se detallan sus componentes.

2.11.1 Módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos, también llamados paneles solares son estructuras formadas por entre 40 y 80 células fotovoltaica, su tamaño va de entre los 0,80 m² y 2 m², el panel solar más utilizado está compuesto por 36 células [1].

La construcción de los paneles solares ha tenido un crecimiento en los últimos años, utilizando distintos semiconductores para su fabricación, el 90% de las instalaciones actuales utilizan células monocristalinas, policristalinas y amorfas [13].

Los paneles solares se componen por los elementos descritos a continuación [19].

- **Cubierta exterior:** Vidrio templado que permite el paso de la radiación y protege a el resto de los componentes del módulo.
- **Capas encapsulantes:** Son fabricadas de silicona, etil-vinilo-acetileno o polivinilo butiral, entre otros materiales que logran transmitir la radiación solar sin degradarse por los rayos ultravioletas, además, amortigua las vibraciones o impactos que pueda sufrir el módulo.
- **Protección posterior:** es fabricado por acrílicos o siliconas, sin embargo, los más utilizados actualmente son: TEDLAR o EVA, su función es la de proteger al módulo de agentes atmosféricos.
- **Contactos eléctricos:** Cables de cobre cuya función es la de recoger la energía que entrega el panel, se ubican en la parte superior del módulo en una caja que los protege de agentes atmosféricos.
- **Marco de soporte:** Es la unión mecánica entre los módulos, está fabricado con aluminio anodizado o de acero inoxidable.

Existen 3 formas diferentes de conexión entre módulos solares las cuales se explican a continuación [1].

- **Conexión en paralelo:** Se conectan los polos positivos y los polos negativos de los módulos entre sí.

- **Conexión en serie:** Se conectan los polos negativos con los polos positivos en forma de secuencia.
- **Conexión en serie-paralelo:** Se conecta en serie y en paralelo.

La forma en que se conecten los paneles solares depende de los requerimientos del sistema, hay que tomar en cuenta que no se debe conectar paneles de distintas características o marcas [1].

La eficiencia de un módulo fotovoltaico depende de factores como la temperatura con la que estos trabajan y los componentes con los cuales este realizado, estos factores determinan las pérdidas eléctricas que tendrán los paneles solares en el proceso de generación. Un mayor nivel de radiación solar es capaz de mejorar la eficiencia de un panel solar, sin embargo, esta disminuye dependiendo de la temperatura. Dependiendo de las características del panel solar su eficiencia varía desde un 6% a 15% [13].

2.11.2 Inversor

Un inversor es un circuito electrónico de potencia cuya función es la de transformar la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna, esto con la finalidad de que los equipos puedan trabajar con esta corriente con normalidad [20].

La eficiencia de un inversor demuestra cuanta energía de entrada (continua) se transforma en alterna, la eficiencia de los inversores varía del 93% al 96% según la marca y el modelo de este, no pueden tener una eficiencia del 100% debido a que usan parte de la potencia de entrada para su funcionamiento [13].

En [23] se detalla que los inversores se clasifican según la forma de onda que producen en tres tipos:

- **Inversores de onda cuadrada:** Este tipo de inversores transforma la corriente directa en una función cuadrada, poseen una limitada capacidad de sobretensión, ofrecen poco control en el voltaje de salida además de una considerable distorsión de armónicos.
- **Inversores de onda cuadrada modificada:** Transforma la corriente continua en alterna utilizando rectificadores de control de silicio. Son capaces de manejar grandes sobretensiones y producen una distorsión armónica baja.

- **Inversores de onda sinusoidal:** Son capaces de producir salidas con mínima distorsión de armónicos, capacidad de sobretensión, además, son capaces de operar en equipos electrónicos sensibles.

Además, una innovación reciente en la tecnología de inversores es el uso de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM) para optimizar la conversión de energía. En [24] se explica que los inversores con seguimiento PWM mejoran la eficiencia de la conversión de corriente continua a corriente alterna, al controlar con precisión el flujo de energía y reducir las pérdidas durante el proceso de conversión. Esta tecnología es fundamental en los sistemas fotovoltaicos, donde se busca maximizar el rendimiento y la estabilidad del suministro eléctrico, especialmente en condiciones de variabilidad solar.

2.11.3 Controlador de carga

Uno de los elementos más importantes dentro de un sistema de generación fotovoltaico es el controlador de carga o también llamado regulador el cual es el encargado de regular el voltaje y/o corriente proveniente de los módulos solares que van a la batería. Así mismo, el controlador de carga tiene como función preservar la vida útil del banco de baterías [25].

El funcionamiento del controlador es analizar la tensión existente en las baterías, realizando el corte en la entrada de voltaje en el caso que llegue al máximo, evitando una sobrecarga, además, corta el suministro a las cargas cuando es la tensión es muy baja [26].

Tipos de Controladores de Carga

Existen dos tipos de controladores de carga los cuales son los tipos PWM Y MPPT [26]. A continuación, se explican estos tipos de reguladores.

Controlador PWM: Este tipo de reguladores genera pulsos conectando y desconectando con el objetivo de transferir energía. así mismo, este tipo de controlador analiza la magnitud de la carga de la batería y le envía lo adecuado para carga, optimizando la eficiencia de la carga y permitiendo la recarga veloz de la batería.

Controlador MPPT: Este tipo de controladores es de mayor precio con respecto a los PWM, sin embargo, ofrecen mayor eficiencia y versatilidad en aplicaciones solares. Este regulador optimiza la corriente entre paneles y el banco de baterías transformando el voltaje en los paneles al voltaje que las baterías necesitan para su carga.

2.11.4 Batería

Las baterías de descarga profunda son cruciales en sistemas fotovoltaicos autónomos como sistemas de respaldo. A diferencia de las baterías convencionales, están diseñadas para soportar descargas regulares y profundas, hasta un 80% de su capacidad, sin dañarse ni acortar su vida útil. Almacenan la energía solar capturada para su uso posterior, siendo valiosas en áreas con redes eléctricas inestables o inexistentes [26].

En [27] se describe los siguientes tipos de baterías de descarga profunda.

- **Baterías de Plomo-Ácido:** Estas baterías son conocidas por su costo relativamente bajo y larga trayectoria en el mercado. Requieren mantenimiento, como la verificación y el relleno de los niveles de agua, y también deben cargarse regularmente para evitar la sulfatación. Tienen una buena capacidad de entrega de energía de alta corriente, pero su eficiencia energética es menor en comparación con otras tecnologías.
- **Baterías de Gel:** Una variante de las baterías de plomo-ácido, estas usan un electrolito en forma de gel. Son menos propensas a derrames y pueden operar en una amplia gama de temperaturas. Su vida útil es generalmente más larga que la de las baterías de plomo-ácido tradicionales, pero su costo es mayor. Son adecuadas para aplicaciones que requieren menos mantenimiento y pueden ser usadas en posiciones variadas.
- **Baterías AGM (Absorbent Glass Mat):** Estas también son una variante de las baterías de plomo-ácido. En ellas, el electrolito está absorbido en una malla de fibra de vidrio, lo que reduce el riesgo de derrames y permite una recarga más rápida en comparación con las baterías de plomo-ácido tradicionales. Son más resistentes a la vibración y tienen una mejor tolerancia a las temperaturas extremas.
- **Baterías de Iones de Litio:** Estas baterías ofrecen una alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar más energía en un espacio más pequeño. Tienen una larga vida útil y no requieren mucho mantenimiento. Sin embargo, son más costosas que las baterías de plomo-ácido. Son populares en aplicaciones donde el peso y el espacio son consideraciones críticas.
- **Baterías de Níquel-Cadmio:** Aunque más antiguas que las tecnologías de litio, estas baterías son conocidas por su robustez y buena capacidad de rendimiento en

temperaturas bajas. Sin embargo, el cadmio es un material tóxico y las baterías requieren ciertos cuidados en su reciclaje.

- **Baterías de Níquel-Hierro:** Estas baterías son conocidas por su durabilidad y larga vida útil. Aunque no son tan eficientes energéticamente como otras tecnologías, son muy resistentes y pueden soportar ciclos de carga/descarga profundos repetidos.

2.11.5 Protecciones

Con el fin de brindar seguridad a las personas y a los equipos, un sistema fotovoltaico debe contar con las protecciones correspondientes. En [1] se detalla que al momento de implementar los elementos de protección se debe tomar en cuenta:

- La salida del sistema debe tener un elemento de protección contra las descargas atmosféricas.
- Se debe aterrizar los conductores del sistema, de ser el caso de que no lo estén estos deben contar con un elemento de protección.
- Los componentes de protección deben estar ubicados en la caja de desconexión.
- La caja de desconexión y los conductores de salida de los módulos deben estar aterrizada.

La Tabla 5 describe las protecciones que se utilizan en un sistema fotovoltaico.

Tabla 5: Protecciones de sistemas fotovoltaicos

Protecciones en DC	<ul style="list-style-type: none"> • Fusibles: Elementos de protección el cual se funde en caso de cortocircuito o sobrecargas. • Interruptor: Este componente abre el circuito en caso de sobrecarga o falla, desconecta el inversor dirigiendo la falla hacia tierra
Protecciones en AC	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor Magneto térmico: Desconecta el sistema de forma manual, térmica y magnética, este elemento actúa en caso de sobrecarga o cortocircuito. • Interruptor diferencial: En caso de que una parte metálica tenga contacto con una fase este elemento actúa desconectando el circuito. • Protección contra sobre tensiones: El inversor cuenta con un varistor el cual protege a este elemento en caso de sobre tensiones, el lado de corriente alterna utiliza descargadores de tensión por fase.

Nota: En el proceso de implementación de un sistema de generación fotovoltaica es fundamental la realización de un previo estudio con la finalidad de seleccionar protecciones adecuadas según las características del sistema requerido. [28].

2.12 Ventajas y desventajas de los sistemas fotovoltaicos

En la Tabla 6 se detalla un análisis comparativo de ventajas y desventajas de los tipos de sistemas fotovoltaico.

Tabla 6: Análisis comparativo de los sistemas fotovoltaicos

Sistema fotovoltaico	Ventajas	Desventajas
Con conexión a la red.	<ul style="list-style-type: none">• Menor costo de implementación.• Menor mantenimiento preventivo y correctivo.• Remuneración económica a corto plazo.	<ul style="list-style-type: none">• Depende de una red externa.• Inversión inicial alta.• Posibles fluctuaciones en la energía.
Sin conexión a la red.	<ul style="list-style-type: none">• Proporcionan energía totalmente independiente.• Suministran energía en horas sin radiación solar.• Se puede ampliar en caso de que crezca la demanda.	<ul style="list-style-type: none">• Mayor costo de implementación.• Mayor mantenimiento preventivo y correctivo.• En caso de falla el lugar no tendrá energía eléctrica.

Nota: Cabe mencionar que ambos sistemas tienen como objetivo la generación de energía con la utilización del recurso solar, así mismo, su implementación depende de las características de generación que se desea realizar.

En la evaluación de sistemas fotovoltaicos, es crucial considerar la sinergia entre los costos iniciales y los beneficios a largo plazo. Mientras que los sistemas conectados a la red ofrecen una recuperación económica más rápida y menores costos de mantenimiento, los sistemas autónomos garantizan una independencia energética total y la flexibilidad para expandirse según las demandas futuras. La elección entre ambos sistemas debe ser una decisión informada, basada en un equilibrio entre la inversión inicial, la sostenibilidad a largo plazo, y las necesidades energéticas específicas de la institución.

2.13 Normativa Ecuatoriana

La Agencia de Regulación y Control de energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) dentro de la Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 establece que: Un Sistema de generación distribuida para autoabastecimiento es aquel que se encuentra dentro del área de servicio, cuya potencia nominal es menor a 1 MW y que es conectado en sincronía a la red de distribución permitiendo aprovechar los recursos energéticos renovables utilizando

tecnología de generación para la generación de energía eléctrica con o sin almacenamiento de la misma. Así mismo, describe el procedimiento para obtener la factibilidad de conexión dependiendo la categoría del SGDA siendo: categoría 1 para sistemas de potencia nominal menor o igual a 30 kW y categoría 2 para sistemas con una potencia mayor, además, muestra la forma de facturación de los sistemas dependiendo sus características y la vida útil del mismo depende de su forma de generación. Finalmente, esta resolución decreta las características de los SDGA de consumidores regulados, las modalidades de generación, los requisitos para la obtención de factibilidad y habilitación, el mantenimiento de los sistemas, el tratamiento de energía, su medición y facturación, así como las infracciones y sanciones [29].

CAPÍTULO III

Materiales y métodos

Tras completar la descripción de las tecnologías relacionadas con la generación fotovoltaica, se llevó a cabo una detallada exposición del entorno de estudio. Este abordaje consideró tanto los datos meteorológicos específicos del lugar como la extensión disponible para los sistemas de generación diseñados. Además, se presenta la metodología del trabajo, delineando los métodos de investigación que fueron aplicados durante el proceso. Por último, se proporciona una descripción detallada de los materiales y equipos que fueron empleados en este estudio. A continuación, se detalla el sitio de investigación, la metodología adoptada y los materiales utilizados en el desarrollo de este trabajo.

3.1 Descripción del lugar de estudio

La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte está ubicada en la ciudad de Ibarra en la parroquia El Sagrario entre la avenida 17 de julio 5-21 y General José María Córdova. La Fig. 8 muestra la ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA).

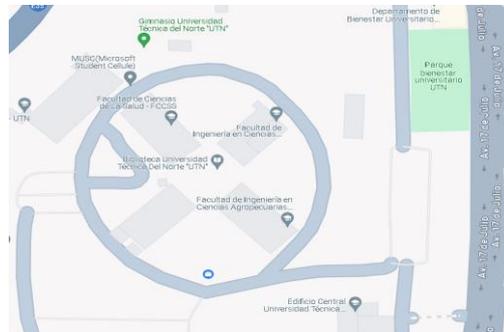


Fig. 8. Ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. [30]

Así mismo, la Tabla 7 muestra los datos geográficos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

Tabla 7: Datos geográficos

Latitud	0,3580586°
Longitud	-78,1134423°
temperatura mínima °C	1,96
temperatura máxima °C	31,56

La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas consta con 5 pisos de infraestructura, y sus instalaciones se conforman por aulas, laboratorios, auditorios, baños etc. Cabe mencionar que cada piso consta con una caja de distribución la cual está conectada al tablero de control principal.

Área disponible para instalación

Los sistemas de generación fotovoltaica se diseñaron específicamente para un edificio que cuenta con una estructura de hormigón armado y una cubierta de metal. Este edificio se distribuye en cinco pisos internos. Respecto a sus dimensiones, el edificio FICA abarca un área total de construcción de 3215m², mientras que su estructura metálica, ubicada en la parte superior (techo), para la cual se diseñaron los sistemas fotovoltaicos, ocupa 522m² [31].

3.2 Métodos científicos

Este trabajo combina investigación de campo y documental para evaluar la viabilidad de la generación eléctrica renovable, específicamente la tecnología fotovoltaica, en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Implica recoger datos sobre condiciones locales, infraestructura, clima, recursos, demanda de energía, costos, y aspectos legales. Se complementa con una revisión documental, analizando literatura existente, informes técnicos y estudios de casos relacionados con la energía fotovoltaica y políticas energéticas para respaldar el estudio de factibilidad.

Se ha determinado que el presente estudio se enmarca en un diseño de investigación de naturaleza cuantitativa, debido a que se recopilaban datos cuantitativos sobre factores como la demanda de energía, los costos, la inversión requerida y la eficiencia de la tecnología fotovoltaica. En este enfoque, se recopilaban estos datos numéricos con el fin de evaluar aspectos como la demanda de energía, los costos, los beneficios financieros, el rendimiento de la tecnología fotovoltaica, los indicadores de retorno de la inversión, entre otros, esto proporcionaría una evaluación basada en cifras y resultados cuantificables.

Así mismo, el alcance de la investigación identificado para el presente estudio es el de tipo explicativo, la razón de esto es que se evaluó la viabilidad de implementar la generación eléctrica renovable con tecnología fotovoltaica en un lugar específico, para lograr este objetivo, el estudio no solo se centró en describir las condiciones y factores relacionados con la implementación (como en un alcance descriptivo) sino que también explica por qué esta

implementación es o no factible, esto implica examinar las relaciones de causa y efecto, identificando las razones subyacentes que respaldan o impiden la viabilidad del proyecto, por lo tanto, un alcance de investigación explicativo es apropiado para profundizar en las razones detrás de la factibilidad de la generación eléctrica renovable con tecnología fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

El estudio en cuestión empleó varios métodos de investigación para analizar tecnologías de generación fotovoltaica. El método descriptivo se utilizó para detallar las características, componentes y funcionamiento de estas tecnologías. A través del método comparativo, se evaluaron las ventajas y desventajas de distintas tecnologías fotovoltaicas, considerando aspectos como eficiencia, costos y sostenibilidad. Además, se implementó el método de simulación para modelar y simular el rendimiento de los escenarios propuestos en diferentes condiciones ambientales. Este enfoque también incluyó la evaluación de la viabilidad técnica, económica y financiera de cada escenario, teniendo en cuenta factores como los costos de inversión, operación, mantenimiento, ingresos potenciales y ahorros, así como la capacidad de cada escenario para satisfacer las necesidades energéticas del lugar, considerando la demanda de energía y la eficiencia de conversión, entre otros factores relevantes.

3.2.1 Herramientas de investigación

En el desarrollo de este trabajo, se emplearon diversas herramientas de investigación con el fin de recopilar información crucial y llevar a cabo análisis detallados. Estas herramientas se enumeran a continuación:

- 1 Atlas solar y aplicación de la NASA
- 2 Software de Simulación Fotovoltaica
- 3 Herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD)

A continuación, se describen las herramientas de investigación enumeradas anteriormente.

Atlas solar y la aplicación de la NASA: Herramientas que cuentan con datos climatológicos como radiación solar, temperatura y velocidad del viento, los cuales fueron fundamentales en el diseño de sistemas de generación fotovoltaica.

Software de Simulación Fotovoltaica: El software PVsyst permitió la simulación y diseño de sistemas fotovoltaicos, tomando en cuenta la radiación solar, sombras, inclinación de paneles, y otros parámetros.

Herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD): AutoCAD u otras plataformas permiten generar planos detallados del sistema diseñado.

La combinación de estas herramientas permitió analizar y tomar decisiones sobre el diseño, la viabilidad y la implementación de sistemas fotovoltaicos.

3.3 Procedimiento general

La Fig.9 muestra el procedimiento general para la realización de este estudio.

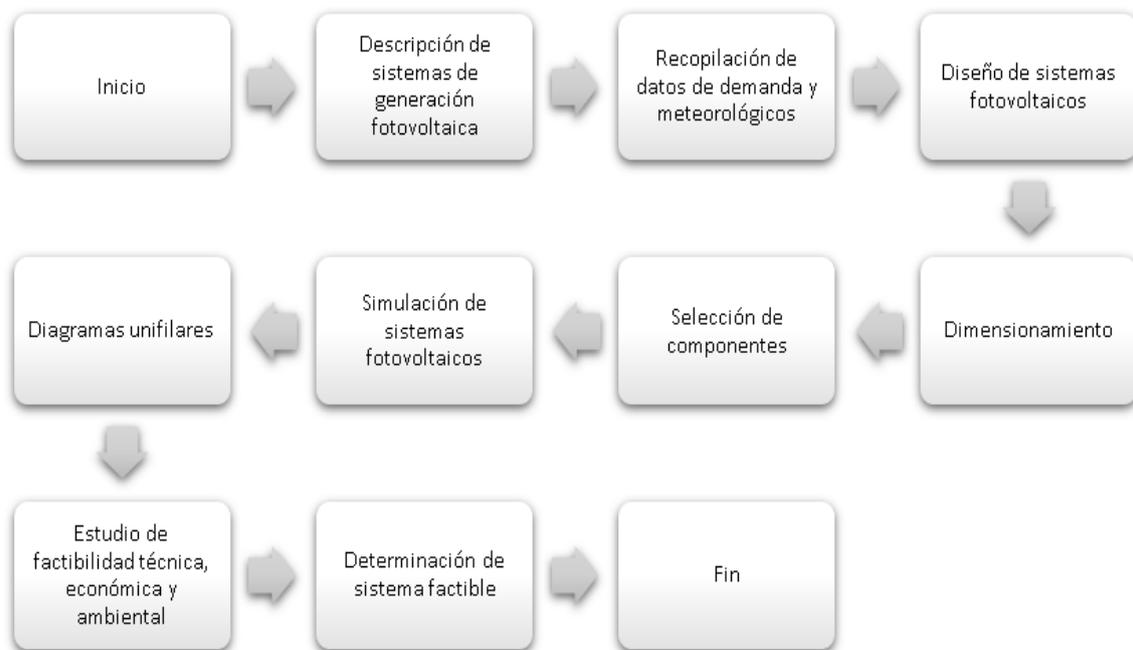


Fig. 9. Procedimiento general para diseño de sistemas fotovoltaicos.

La Fig. 9 muestra los pasos seguidos para realizar el estudio de factibilidad para la generación eléctrica renovable mediante el uso de tecnología fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, iniciando el proceso con la descripción de los sistemas de generación fotovoltaica con y sin conexión a la red, sus características, componentes y su funcionamiento básico. Así mismo, la recopilación de datos de demanda donde se recopila información detallada sobre la demanda energética del lugar de instalación. Simultáneamente, se recopilan los datos meteorológicos específicos, incluyendo

radiación solar, temperatura y otros parámetros climáticos clave que influyen en la producción de energía solar. Posteriormente, se determinó el diseño del sistema fotovoltaico que implica la elaboración de un diagrama de bloques. Este diagrama muestra la disposición y la interconexión de los componentes principales del sistema, como paneles solares, inversores, y en casos de sistemas autónomos, baterías y controladores de carga. Posteriormente, se realiza el dimensionamiento del sistema, calculando la capacidad necesaria de cada componente para cubrir la demanda energética previamente determinada. Después se procede a la selección de componentes y equipos específicos, así mismo, se procedió a realizar la simulación de los sistemas en el software PVsyst y se realizaron los diagramas de conexión de los sistemas diseñados. Finalmente se realiza el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental con el objetivo de determinar el sistema fotovoltaico factible.

3.4 Materiales

A continuación, se detallan los materiales empleados en la elaboración de este proyecto, abarcando los parámetros matemáticos, los programas informáticos utilizados, así como los datos meteorológicos específicos del lugar de investigación y los datos de demanda.

3.4.1 Ecuaciones matemáticas

Con la finalidad de realizar el diseño de sistemas de generación fotovoltaica, fue necesario calcular distintos parámetros eléctricos matemáticos descritos a continuación.

Potencia fotovoltaica

Con el fin de determinar la potencia fotovoltaica se utilizó la Ec.1 [32].

$$Pf = \frac{Ed * Fs}{HSP} \quad (1)$$

Donde:

- Pf: Potencia fotovoltaica requerida
- HSP: Hora solar pico
- Ed: Consumo diario
- Fs: Factor de seguridad

En el caso de un sistema fotovoltaico autónomo se calculó utilizando la Ec.2 [32].

$$Pf = \frac{Ed * Fs}{HSPmin} \quad (2)$$

Donde:

- Pf: Potencia fotovoltaica requerida
- HSPmin: Hora solar pico mínima
- Ed: Consumo diario
- Fs: Factor de seguridad

Número de módulos fotovoltaicos

El número de módulos depende de la potencia fotovoltaica del sistema y la potencia de cada módulo como se muestra en la Ec.3 [33].

$$Nm = \frac{Pf}{Po} \quad (3)$$

Donde:

- Nm: Numero de módulos fotovoltaico
- Pf: Potencia fotovoltaica requerida
- Po: Potencia de modulo

Potencia del inversor

La potencia del inversor en un SFCR se calculó tomando en cuenta la potencia fotovoltaica del sistema y un factor de seguridad recomendado tal y como lo muestra la Ec.4 [34].

$$Pinv = 1.15 * Pf \quad (4)$$

Donde:

- Pinv: Potencia del inversor
- Pf: Potencia fotovoltaica
- Factor de seguridad: 1.15

Así mismo, para el cálculo de la potencia del inversor en un sistema SFA se utilizó la Ec.5 [32].

$$P_{inv} = (\text{Mayor demanda coincidente}) \quad (5)$$

Paneles en serie

El número mínimo y máximo de paneles en serie a conectar en un sistema fotovoltaico conectado a la red se calcularon mediante las ecuaciones Ec.6 y Ec.7 respectivamente, por otro lado, para un sistema fotovoltaico autónomo se utilizó la ecuación Ec.8 [32].

$$N_{seriemin} = \text{Entero} \left(\frac{V_{min} - \text{inversor}}{V_{mmp} - \text{min}} \right) + 1 \quad (6)$$

$$N_{seriemax} = \text{Entero} \left(\frac{V_{max} - \text{inversor}}{V_{oc} - \text{max}} \right) \quad (7)$$

Donde:

- $N_{seriemin}$: Número mínimo de paneles en serie
- V_{min} -inversor: Voltaje de entrada mínimo del inversor
- V_{mmp} -min: Voltaje MPPT mínimo
- $N_{seriemax}$: Número máximo de paneles en serie
- V_{max} -inversor: Voltaje de entrada máximo del inversor
- V_{oc} -max: Voltaje de circuito abierto del módulo solar

$$N_{serie} = \text{Entero} \left(\frac{V_{max} - \text{regulador}}{V_{oc} \text{ max} - \text{panel}} \right) \quad (8)$$

Donde:

- N_{serie} : Número de paneles en serie
- V_{max} -regulador: Voltaje máximo del regulador
- $V_{oc} \text{ max}$ -panel: Voltaje de circuito abierto del panel.

Paneles en paralelo

Se empleó la Ec.9 para calcular la cantidad máxima de paneles conectados en paralelo en un sistema fotovoltaico conectado a la red, mientras que para un sistema fotovoltaico autónomo se utilizó la Ec.10 [32].

$$N_{\text{paralelmax}} = \text{Entero}\left(\frac{I_{\text{max}} - i_{\text{nv}}}{I_{\text{scmax}}}\right) \quad (9)$$

Donde:

- $N_{\text{paralelmax}}$: Número máximo de paneles en paralelo
- $I_{\text{max}} - i_{\text{nv}}$: Corriente máxima del inversor
- I_{scmax} : Corriente de cortocircuito del panel

$$N_{\text{paralelo}} = \text{Entero}\left(\frac{I_{\text{max}} - i_{\text{reg}}}{I_{\text{scmaxpanel}}}\right) \quad (10)$$

- N_{paralelo} : Número de paneles en paralelo
- I_{maxreg} : Corriente máxima del regulador MPPT
- $I_{\text{scmaxpanel}}$: Corriente de cortocircuito del panel

Coefficiente de inclinación

Con el fin de obtener la mayor captación del recurso solar fue necesario calcular el coeficiente de inclinación, tal y como se muestra en la Ec.11 [1].

$$\beta_{\text{opt}} = \pm 10 + \varphi \quad (11)$$

Donde:

- β_{opt} : Coeficiente de inclinación
- φ : latitud
- ± 10 : invierno – verano

Pérdidas por orientación e inclinación

Las pérdidas generadas por la orientación e inclinación de los módulos fueron calculadas utilizando la Ec.12 y la Ec.13 [13].

$$Perdidas = 100 * (1.2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi)^2) \text{ para } \beta \leq 15 \quad (12)$$

$$Perdidas = 100 * (1.2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2) \text{ para } \beta > 15 \quad (13)$$

Donde:

- β : Angulo de inclinación
- φ : Latitud
- α : Angulo acimut

Separación de paneles

Para calcular la distancia de separación mínima entre módulos se utilizó la Ec.14 y la Ec.15 en ese orden [1].

$$Hmin = (90 - \varphi) - 23 \quad (14)$$

$$Dmin = B * \cos\beta + \frac{B * \text{sen}\beta}{\text{tg } \alpha_{min}} \quad (15)$$

Donde:

- $Hmin$: Altura solar mínima
- φ : Latitud
- B : Altura del panel
- $Dmin$: Distancia mínima
- β : Angulo de inclinación
- α_{min} : Declinación solar (diciembre)

Banco de baterías para SFA

Es necesario determinar la autonomía del sistema la cual está dada por la capacidad de almacenamiento del banco de baterías, fue necesario considerar los días que se desea tener operativo el sistema sin radiación solar y el rendimiento de las baterías. Así mismo, se consideró la descarga del banco de baterías. Para conocer la energía almacenada se empleó la Ec.16 y para conocer el número de baterías se utilizó la Ec.17 [32].

$$C_{\text{banco}} = C_{\text{consd}} * D_{\text{Auto}} \quad (16)$$

Donde:

- C_{banco} : Capacidad del banco (energía almacenada)
- C_{consd} : Consumo diario
- D_{Aut} : Días de autonomía

$$\#Baterias = (C_{\text{banco}}/E_{\text{inv}})/(P_{\text{desc}} * T_b * C_b * E_b) \quad (17)$$

Donde:

- $\#Baterias$: Número de baterías
- C_{banco} : Capacidad del banco (Wh-día)
- E_{inv} : Eficiencia del inversor
- P_{desc} : Profundidad de descarga (%)
- T_b : Tensión nominal de las baterías (V)
- C_b : Capacidad de baterías (Ah)
- E_b : Eficiencia de baterías

Formulación matemática para el estudio de factibilidad

Con el objetivo de determinar la viabilidad técnica y económica se calcularon distintos parámetros matemáticos los cuales son: VAN, TIR, tiempo de recuperación, energía resultante y la viabilidad ambiental. A continuación, se describe cada uno.

Valor actual neto

Se empleó este criterio de valoración debido a que permitió determinar el valor en dinero que tiene el proyecto a través del tiempo, es decir, tomando en cuenta las ganancias o pérdidas que se tiene con una determinada inversión con el objetivo de determinar si el proyecto es rentable en el aspecto financiero, en este sentido cabe recalcar que el proyecto se considera aceptable si el valor del VAN es superior a 0 [35]. Para calcular el VAN se empleó la Ec.18 [36].

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN}{(1+i)^t} - I_0 \quad (18)$$

Donde:

- n= Número del periodo.
- BN= Valor del flujo de caja de cada periodo.
- I_0 = Inversión inicial (año cero o inicio del proyecto).
- i= Tasa de actualización (TIR).
- t= Tiempo que se considera en el análisis (periodo).

Tiempo de recuperación de la inversión

Se trata de un indicador que tiene gran impacto para decidir llevar a cabo un proyecto, ya que permite estimar el tiempo necesario para recuperar el capital invertido de un proyecto en específico [37]. Para el cálculo del tiempo de recuperación se utilizó la Ec.19 [35].

$$PR = \sum_{t=1}^n \frac{I_0}{FNE_p} \quad (19)$$

Donde se toma en cuenta las siguientes variables:

- I_0 = Inversión inicial.
- FNEp= Es el valor promedio del flujo neto por cada periodo.
- Σ =Es la sumatoria desde el periodo 1 hasta los n periodos considerados.

Tasa interna de rentabilidad

La tasa interna de rentabilidad se define como un indicador financiero que ayuda a saber cuánta rentabilidad tiene una inversión determinada, tomando en cuenta las condiciones necesarias para llevar a cabo dicho proyecto, dicha rentabilidad está determinada por el tiempo determinado para el análisis (periodos) y los flujos de caja que se producen en dichos periodos, es decir, el TIR es el interés que iguala a 0 el valor del VAN [38]. Por otro lado, en [39] se describe que el TIR permite obtener un porcentaje que permite representar tanto los flujos de caja futuros como el capital que se invirtió al inicio del proyecto en cantidades iguales.

En [36] se explica que el TIR se obtiene de la siguiente expresión:

$$0 = \sum_{t=1} \frac{BN}{(1+i)^t} - I_0 \quad (20)$$

Asimismo, desarrollando dicha expresión se obtiene la Ec.21 [36].

$$i = \left[\left[\frac{\sum BN}{I_0} \right]^{\frac{\sum BN}{(1*BN_n)+(2*BN_n)....}} \right] - 1 \quad (21)$$

Donde se observan las siguientes variables:

- i = TIR determinado en el límite menor posible
- I_0 = Inversión inicial.
- $\sum BN$ = Sumatoria de los valores del flujo de caja de cada periodo.
- n = número de periodo.

Es importante mencionar que el valor del TIR depende en gran medida del VAN, ya que se considera admitido si el VAN supera el valor de 0, como se menciona en el apartado del Valor Actual Neto tratado anteriormente.

Viabilidad ambiental

Es un hecho que la energía fotovoltaica es una fuente energética que no contamina y ayuda a reducir en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero, como es el caso

del dióxido de carbono, gases que provocan un incremento notable en el avance del calentamiento global [40].

Para determinar la viabilidad y el impacto de la aplicación de un sistema fotovoltaico al medio ambiente se toma como referencia al gas de efecto invernadero (dióxido de carbono), donde se determina que para darle un valor numérico a la contaminación ambiental se requiere conocer la potencia que genera diariamente el sistema fotovoltaico y el tiempo necesario para producir dicha energía, además, también se emplea un factor adimensional para la emisión de dicho gas [1]. La reducción de CO₂ por el sistema se calculó con la Ec.22 mostrada a continuación:

$$DCO_2 = 0.645 * Pe \tag{22}$$

En donde:

- DCO_2 = Variable que hace referencia a la reducción de CO₂ por el sistema.
- Pe =Energía eléctrica que produce el sistema.
- 0.645= Factor de emisión de gases.

Energía resultante

Con el objetivo de determinar la energía resultante se realizó la resta de la energía consumida de la red y la energía inyectada a la misma, la energía resultante se calculó con la Ec.23 [1].

$$Er = Econ - Einy \tag{23}$$

En donde:

- Er = Energía resultante
- $Econ$ = Energía consumida de la red.
- $Einy$ = Energía inyectada de la red.

3.4.2 Software

Para la obtención de datos de demanda y para el diseño de los sistemas de generación fotovoltaica se utilizaron 2 programas los cuales son descritos a continuación.

PowerView v3

PowerView v3 es el software desarrollado por la empresa Metrel y el cual viene con el analizador PowerQ4 Plus. Este programa permite descargar, visualizar y analizar los datos medidos con la finalidad de analizarlos o exportarlos. La Fig. 10 muestra la interfaz del programa PowerView.

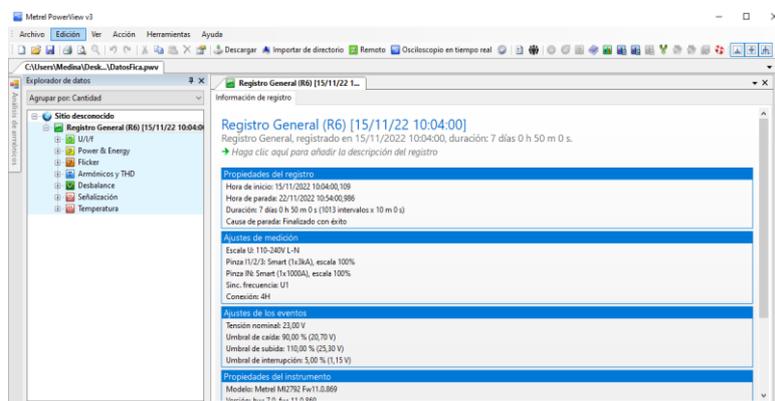


Fig. 10. Interfaz de PowerView v3.

El software PowerView v3 permite analizar y trabajar con datos medidos y extraídos del equipo analizador. Con esta herramienta el usuario puede trabajar con los datos obtenidos.

PVsyst 7.2

El software PVsyst 7.2 es un paquete completo el cual permite el estudio de sistemas fotovoltaicos. Este Software es utilizado por ingenieros, arquitectos e investigadores debido a la gran cantidad de herramientas y funciones con las que cuenta, entre estas se puede mencionar su función de importar datos meteorológicos de distintas bases, su función de localización de lugar y demás herramientas de diseño [30].

En la realización de este estudio se utilizó el software PVsyst en su versión demo el cual cuenta con todas sus herramientas con un periodo de uso de 30 días La Fig. 11 muestra la interfaz con la que cuenta este programa.

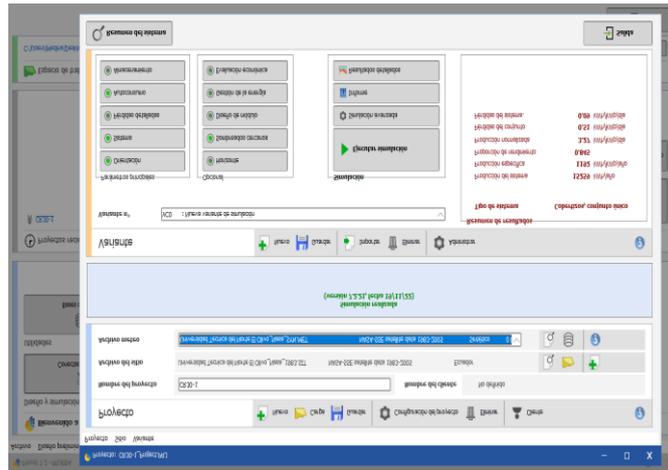


Fig. 11. Interfaz del software PVsyst 7.2.

3.4.3 Datos meteorológicos

Como se observa en la Tabla 8 se extrajeron los datos meteorológicos correspondientes al parámetro de la radiación solar con el fin de evaluar el recurso presente en la zona para el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Hay distintas formas de conocer la radiación solar global horizontal, como por ejemplo de la NASA que es una aplicación web con históricos de varios parámetros adquiridos por vía satelital. Por otro, lado existen los atlas solares que muestran dicho parámetro en una colección de mapas para cada mes. Recurso obtenido mediante la aplicación de modelos matemáticos para la estimación satelital.

Tabla 8: Radiación solar en Ibarra

Mes	NASA	Mapa solar
Enero	3,73	4,7
Febrero	3,67	4,5
Marzo	3,72	4,7
Abril	3,88	4,9
Mayo	3,73	5,4
Junio	3,68	5,4
Julio	3,79	5,1
Agosto	3,96	5,6
Septiembre	4	5,2
Octubre	3,93	5,5
Noviembre	3,83	4,8
Diciembre	3,57	4,7
Promedio anual	3,79	5,04

Los valores mostrados en la Tabla 8 son equivalentes a las Horas Solar Pico o mejor conocidas como HSP, que son utilizadas para el dimensionamiento de un sistema, por lo que es sustancial evaluar aquel recurso que muestre la mayor confiabilidad. Respecto a los valores mensuales de las fuentes obtenidas se evidenció ciertas limitaciones en los atlas solares, como por ejemplo son valores que fueron extraídos de acuerdo con una escala unicolor degradada hecho que puede acarrear errores de percepción humana. Mientras que los valores de la NASA son los emitidos de forma directa en formato de texto. Por esta razón, para el diseño se utilizó el recurso correspondiente a la NASA, porque puede ser la energía solar que alcance a tener un año con la menor radiación.

3.4.4 Datos de demanda

Como fue descrito en el apartado de metodología, el punto de partida fue la adquisición de datos de la demanda del lugar de estudio, con el fin de determinar la cantidad de energía que se deseaba generar. Los datos de la demanda se obtuvieron de [41], donde se especifica que el periodo de medición fue de 7 días. Este lapso permitió observar el comportamiento de la demanda, el cual está representado en la Fig. 12.

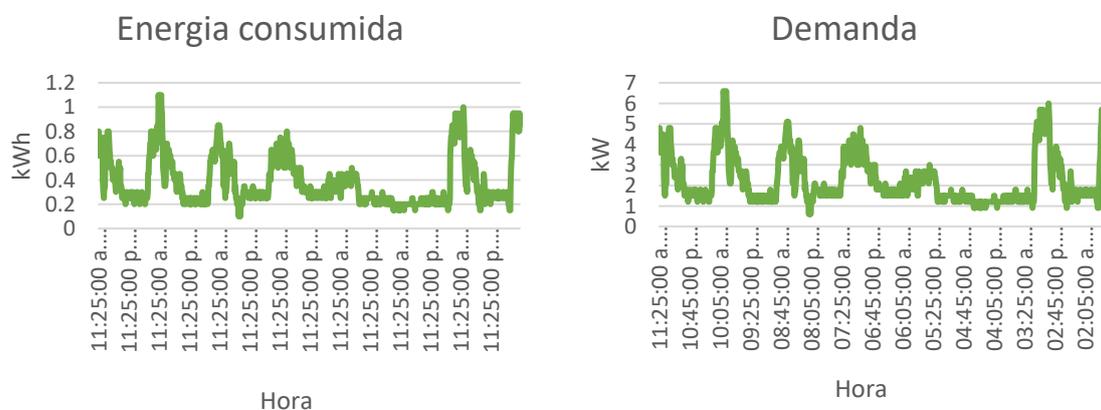


Fig. 12. Consumo FICA.

Una vez obtenidos los datos de demanda se determinó un consumo promedio diario de 55,65 kWh y una demanda máxima puntual de 5,7 kW.

CAPÍTULO IV

Resultados y discusión

Para el diseño y estudio de la factibilidad de los sistemas fotovoltaicos, se llevó a cabo el dimensionamiento de los componentes a utilizar. Así mismo, se realizó el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Posteriormente, se examinó la remuneración económica de la inversión inicial y la viabilidad técnica de los sistemas fotovoltaicos. En este capítulo, se realizó la descripción del proceso de dimensionamiento de los sistemas, el diseño de los sistemas fotovoltaicos, y se efectuó el análisis técnico y económico en base a la generación y costos de implementación de los sistemas diseñados. Este estudio de viabilidad se llevó a cabo utilizando información entregada por distribuidores o empresas afines a la generación fotovoltaico.

4.1 Resultados

En esta sección se detallan los procesos y los datos obtenidos como resultados del presente trabajo, incluyendo el diseño de los sistemas fotovoltaicos y la determinación de los materiales necesarios.

4.1.1 Diseño de sistemas fotovoltaicos

La Fig. 13 muestra el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, detallando la disposición y conexión de los paneles solares al inversor de corriente continua a corriente alterna. El inversor, ubicado estratégicamente, transforma la energía generada por los paneles en un formato compatible con la red eléctrica convencional. Además, se representa la conexión del inversor al tablero principal, facilitando la distribución de la energía solar generada para su uso inmediato o su retorno a la red. Este diseño proporciona un esquema técnico que subraya la integración eficiente y segura de la energía fotovoltaica en el sistema eléctrico existente.

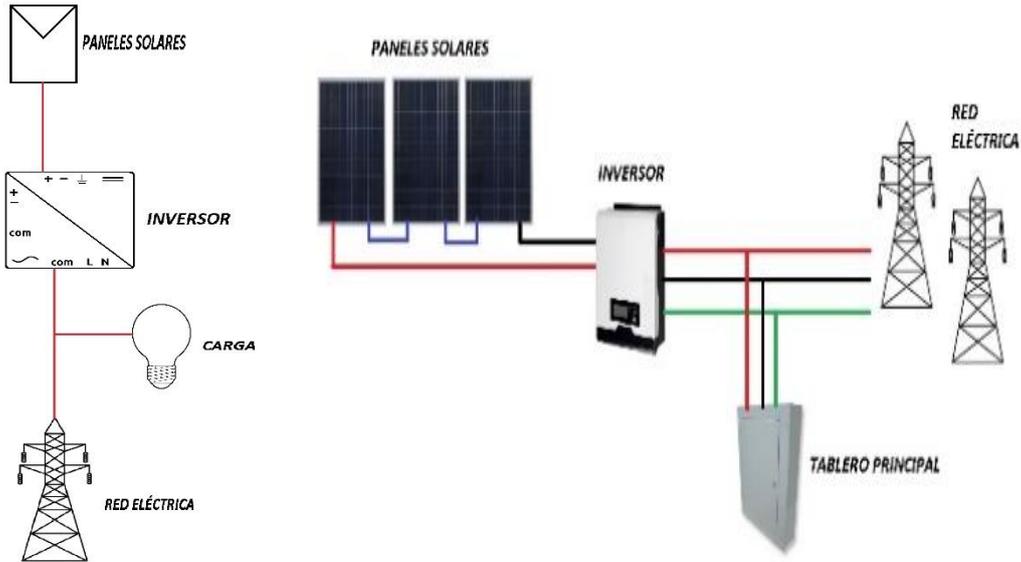


Fig. 13. Diseño sistema fotovoltaico con conexión a la red.

La Fig. 14 muestra el diseño del sistema fotovoltaico independiente de la red eléctrica. Este esquema detalla la disposición y conexión de elementos clave como los paneles solares, el inversor, las baterías, el controlador y el tablero principal. Cada componente desempeña un papel fundamental en la captación, conversión y almacenamiento de la energía solar para su uso autónomo. Este diseño ofrece una visión integral de cómo estos elementos interactúan para proporcionar energía limpia y sostenible fuera de la red convencional.

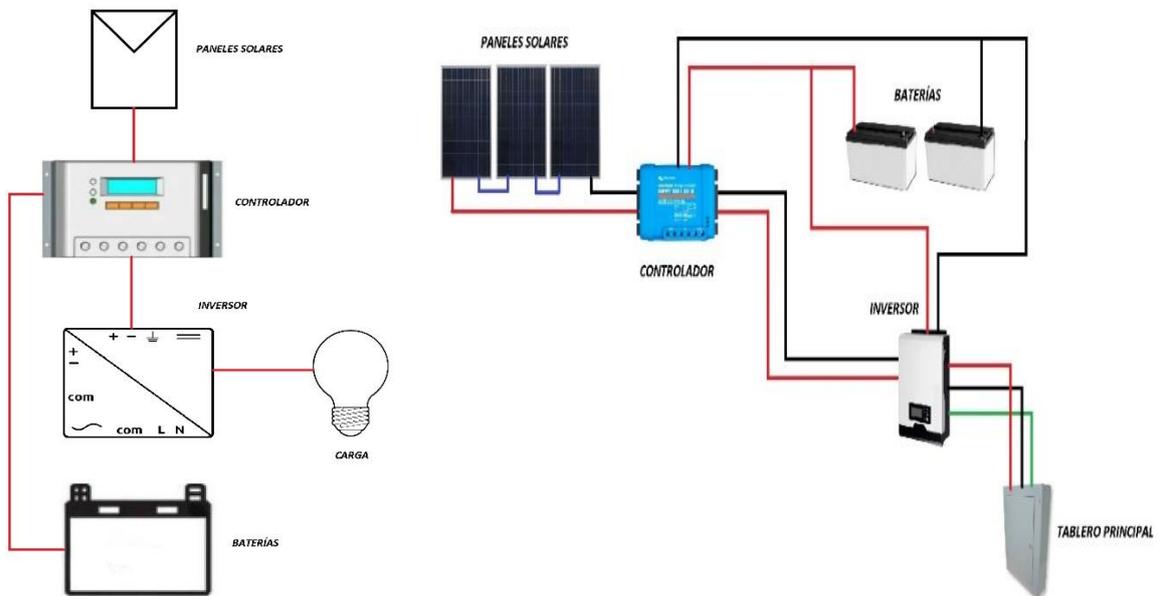


Fig. 14. Diseño sistema fotovoltaico sin conexión a la red.

4.1.2 Dimensionamiento y selección de los componentes

Una vez obtenidos los datos meteorológicos y de demanda se procedió a dimensionar y seleccionar los elementos necesarios para simular los sistemas fotovoltaicos diseñados.

Determinación de factor de seguridad

Para la determinación del factor de seguridad se utilizó un valor recomendado de 1,2 con el fin del funcionamiento seguro de los sistemas diseñados [32].

Determinación de la potencia fotovoltaica y número de módulos fotovoltaicos

Para calcular la potencia fotovoltaica con la que cuenta el sistema se utilizaron las Ec.1 y Ec.2 para los sistemas SFCR y SFA respectivamente. El número de módulos se calcularon utilizando la Ec.3. Cabe mencionar que considerando el valor obtenido en el número de módulos y los valores de paneles en serie y paralelo se determinó un numero de módulos fotovoltaicos aproximado al obtenido, con el objetivo de generar un arreglo aplicable, además, debido al número de módulos necesarios para el arreglo del sistema fotovoltaico se obtuvo una potencia fotovoltaica (real) correspondiente al número de módulos seleccionados en cada caso. La Tabla 9 muestra los valores obtenidos.

Tabla 9: Potencia fotovoltaica y número de módulos fotovoltaicos

Sistema	Potencia fotovoltaica	Número de módulos	Número de módulos (arreglo)	Potencia fotovoltaica (Real)
SFCR 30%	$Pf = 5,85 \text{ kWp}$	$Nm = 14,63$	$Nm = 16$	$Pf = 6,4 \text{ kWp}$
SFCR 70%	$Pf = 13,66 \text{ kWp}$	$Nm = 34,14$	$Nm = 36$	$Pf = 14,4 \text{ kWp}$
SFCR 100%	$Pf = 19,51 \text{ kWp}$	$Nm = 48,77$	$Nm = 48$	$Pf = 19,2 \text{ kWp}$
SFA	$Pf = 22,25 \text{ kWp}$	$Nm = 55,63$	$Nm = 64$	$Pf = 25,6 \text{ kWp}$

La Fig. 15 muestra el panel Jinko Solar de 400W seleccionado para los sistemas diseñados.



Fig. 15. Panel Jinko Solar. [42]

En el Anexo A se muestra el modelo y características del panel solar seleccionado.

Determinación de la potencia del inversor

Para calcular la potencia del inversor se utilizaron las Ec.4 y Ec.5 para los sistemas SFCR y SFA respectivamente.

- SFCR 30% $P_{inv} = 7.36 \text{ kW}$
- SFCR 70% $P_{inv} = 16.56 \text{ kW}$
- SFCR 100% $P_{inv} = 22.08 \text{ kW}$
- SFA $P_{inv} = 25.96 \text{ kW}$

El inversor seleccionado para el SFCR 30% es el SUN-6K-G03-LV de la marca Deye, debido a que puede trabajar con una potencia de hasta 7.8 kW y posee características necesarias para su conexión y funcionamiento del sistema eléctrico actual en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. La Fig. 16 muestra el inversor SUN-6K-G03-LV.



Fig. 16. Inversor Deye SUN-6K-G03-LV. [43]

El inversor seleccionado para el SFCR 70% es el SUN-15K-G02-LV de la marca Deye, debido a que puede trabajar con una potencia de hasta 19.5 kW y posee características necesarias para su conexión y funcionamiento del sistema eléctrico actual en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. La Fig. 17 muestra el inversor SUN-15K-G02-LV.



Fig. 17. Inversor Deye SUN-15K-G02-LV. [43]

El inversor seleccionado para el SFCR 100% y el SFA es el SUN-20K-G02-LV de la marca Deye, debido a que puede trabajar con una potencia de hasta 26 kW y posee características necesarias para su conexión y funcionamiento del sistema eléctrico actual en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. La Fig. 18 muestra el inversor SUN-20K-G02-LV.



Fig. 18. Inversor Deye SUN-20K-G02-LV. [43]

En el Anexo B se muestra los modelos y características de los inversores seleccionados.

Determinación de paneles en serie y en paralelo

El número mínimo y máximo de paneles en serie a conectar en un SFCR se calcularon mediante la Ec.6 y Ec.7 respectivamente, además, el número de paneles en serie a conectar en un SFA se calculó mediante la Ec.8. Así mismo, con el fin de calcular la cantidad máxima de paneles conectados en paralelo en un SFCR se utilizó la Ec.9 y en un SFA se utilizó la Ec.10. Estos cálculos son necesarios para dimensionar adecuadamente la configuración de paneles solares, asegurando que se maximice la generación de energía eléctrica y se optimice el diseño del sistema. La Tabla 10 muestra los valores obtenidos.

Tabla 10: Paneles en serie y en paralelo

	Paneles en serie		Paneles en paralelo
SFCR 30%	$N_{serie\min} = 7$	$N_{serie\max} = 16$	$N_{paralel\max} = 2$
SFCR 70%	$N_{serie\min} = 7$	$N_{serie\max} = 16$	$N_{paralel\max} = 6$
SFCR 100%	$N_{serie\min} = 7$	$N_{serie\max} = 16$	$N_{paralel\max} = 7$
SFA	$N_{serie} = 8$		$N_{paralelo} = 8$

Determinación de la orientación de los módulos

Tomando en cuenta que la ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas se encuentra en la latitud 0,3580586 en dirección al norte y la longitud -78,1134423 en dirección al oeste, se decidió que los paneles estarán orientados hacia el sur (azimut de 47) con el objetivo de captar el máximo de la radiación.

Determinación de coeficiente de inclinación, pérdidas y separación de paneles

Con el fin de calcular el coeficiente de inclinación se utilizó la Ec.11. Así mismo, las pérdidas generadas por la orientación e inclinación de los módulos fueron calculadas utilizando

la Ec.13. Además, para calcular la distancia de separación mínima entre módulos se utilizó la Ec.14 y la Ec.15 respectivamente. La Tabla 11 muestra los valores obtenidos.

Tabla 11: Coeficiente de inclinación, pérdidas y separación de paneles

Coeficiente de inclinación	Pérdidas por orientación e inclinación	Separación de paneles	
$\beta_{opt} = 10,358$	Perdidas = 15.02%	Hmin = 66,64	Dmin = 2,16m

Cabe mencionar que se obtuvo un valor de 10,358 en el coeficiente de inclinación. Sin embargo, la inclinación sugerida que se escogió es de 15 grados con el fin de facilitar el mantenimiento y limpieza de los paneles.

Determinación del banco de baterías

Para calcular la capacidad del banco y el número de baterías se utilizó la Ec.16 y la Ec.17 respectivamente.

$$C_{banco} = 133560.0549 \quad ; \quad \#Baterias = 118.34$$

Se estableció utilizar 120 baterías con un arreglo de 4 en serie y 30 en paralelo con el objetivo de obtener el voltaje deseado. La Fig. 19 muestra la batería de gel marca Newmax escogida para el SFA.



Fig. 19. Batería de gel Newmax. [44]

En el Anexo C se muestran las características del tipo de batería escogida.

Determinación del controlador

El controlador de carga debe ser seleccionado con base a la Pfv (Potencia fotovoltaica) y la tensión del sistema [32]. Estos valores fueron calculados anteriormente. La Fig. 20 muestra el controlador de carga de la marca Victron Energy, el cual fue seleccionado para el diseño del SFA.



Fig. 20. Controlador Victron Energy. [45]

En el Anexo D se muestran las características del controlador de carga seleccionado.

Determinación sistema de puesta a tierra

Varillas de Tierra: Se utilizarían dos varillas Copperweld de dos metros de longitud, las cuales son varillas de acero recubiertas de cobre y conocidas por su durabilidad y alta conductividad. Estas varillas se insertarían verticalmente en el suelo. Así mismo, las varillas estarían conectadas a la estructura metálica de los paneles solares y al bastidor del inversor. Para esto, se usaría un conductor de cobre desnudo de calibre 10 AWG, el cual es adecuado para manejar las corrientes de falla esperadas sin sobrecalentarse [34].

Cabe mencionar que una de las varillas se dedicaría a la sección de corriente alterna (AC) y la otra a la sección de corriente continua (DC). Esto ayuda a asegurar que cualquier corriente de falla se maneje adecuadamente y se minimice la interferencia entre los dos sistemas.

El tamaño y la selección del conductor de protección para la conexión a tierra se harían de acuerdo con las especificaciones de la norma UNE 20.460-5-54, que provee directrices para los sistemas de protección en instalaciones eléctricas [1]. La conexión a tierra se integraría al tablero principal para proteger toda la infraestructura eléctrica.

4.2 Discusión

A continuación, se detalla el análisis del estudio, centrándose en los resultados obtenidos, que incluyen la simulación de los diseños fotovoltaicos, así como la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental. Por último, se presenta la determinación de la factibilidad del sistema.

4.2.1 Simulación

Una vez obtenidos los valores de consumo, datos meteorológicos y determinados los distintos parámetros y componentes de los sistemas se procedió a la simulación de estos utilizando el software PVsyst, el cual calcula las características de un sistema de generación fotovoltaica. En el Anexo E se muestran los resultados obtenidos de los informes de los sistemas simulados. Así mismo, la Tabla 12 muestra los valores obtenidos a raíz de la simulación de los sistemas en el software PVsyst.

Tabla 12: Valores obtenidos de las simulaciones en PVsyst

Promedio mensual / Anual (kWh)	Energía efectiva a la salida del conjunto	Energía inyectada en la red
SFCR 30%	652,4	152,6
	7829,5	1832,1
SFCR 70%	1464,6	788,6
	17576	9463,5
SFCR 100%	1952,7	1237,5
	23433	14851
SFA	2494,5	-
	29935	-

Una vez simulados los sistemas diseñados se pudo observar que los valores de energía generados son los esperados. De este modo, una vez obtenidos los valores de las simulaciones, es posible realizar el análisis de factibilidad económica.

4.2.2 Factibilidad técnica

Al inicio de la investigación se obtuvo que la energía mensual consumida por Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas es de 1670 kWh al mes, considerando este valor se realizaron diferentes diseños de sistemas de generación fotovoltaica los cuales son: SFCR con respaldo del 30%, 70% y 100%, además, un SFA.

Una vez simulados los sistemas se logró obtener los valores del consumo del edificio FICA sin generación y con cada uno de los sistemas diseñados. Con el fin de obtener el Consumo anual de energía (kWh) se utilizó la Ec.23. La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 13: Factibilidad técnica de los sistemas diseñados

Escenarios	Consumo anual de energía (kWh)	Vida útil (años)	Consumo total de energía (kWh)
Sin generador	20040	20	400800
SFCR 30%	12453,9	20	249078
SFCR 70%	3009,5	20	60190
SFCR 100%	-2865	20	-57300
SFA	0	20	0

El consumo de energía total del edificio sin generación y con cada sistema obteniendo que en el caso del SFCR con respaldo del 100%, es el único que tiene valores negativos lo cual denota que la energía que inyecta a la red es mayor a la que consume de esta.

4.2.3 Factibilidad económica

Costos totales

Previo a realizar el estudio de factibilidad económica de un proyecto, es fundamental desglosar los sistemas fotovoltaicos diseñados según los elementos que los componen y sus respectivos precios. En la Tabla 14, se muestra el desglose de los elementos a utilizar en los sistemas diseñados, con sus respectivos precios y costos totales de implementación. Así mismo, se consideró precios destinados a mano de obra, ingeniería y gastos varios. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 14: Costos totales sistemas fotovoltaicos

SFCR respaldo 30%				
Elemento	Marca	Cantidad	Precio (USD)	Total (USD)
Módulo FV 400 W	JINKO JK400M-72H	16	310	4960
Inversor	SUN-6K-G03-LV	1	2100	2100
Puesta a tierra	-	1	80	80
Estructura, accesorios, sujetadores	-	1	1600	1600
Cableado y protecciones	-	1	900	900
Ingeniería	-	1	850	850
Mano de obra	-	1	650	650
Gastos varios	-	1	200	200
Total				11340

Tabla 14 (Continuación): Costos totales sistemas fotovoltaicos

SFCR respaldo 70%				
Elemento	Marca	Cantidad	Precio (USD)	Total (USD)
Módulo FV 400 W	JINKO JK400M-72H	36	310	11160
Inversor	SUN-15K-G02-LV	1	2100	2100
Puesta a tierra	-	1	80	80
Estructura, accesorios, sujetadores	-	1	3200	3200
Cableado y protecciones	-	1	1600	1600
Ingeniería	-	1	1400	1400
Mano de obra	-	1	1050	1050
Gastos varios	-	1	200	200
Total				20790
SFCR respaldo 100%				
Elemento	Marca	Cantidad	Precio (USD)	Total (USD)
Módulo FV 400 W	JINKO JK400M-72H	48	310	14880
Inversor	SUN-20K-G02-LV	1	2100	2100
Puesta a tierra	-	1	80	80
Estructura, accesorios, sujetadores	-	1	4500	4500
Cableado y protecciones	-	1	2000	2000
Ingeniería	-	1	1900	1900
Mano de obra	-	1	1450	1450
Gastos varios	-	1	200	200
Total				27110
SFA				
Elemento	Marca	Cantidad	Precio (USD)	Total (USD)
Módulo FV 400 W	JINKO JK400M-72H	64	310	19840
Inversor	SUN-20K-G02-LV	1	2100	2100
Controlador	Victron 450/200	2	910	1820
Batería 12V	Batería Gel NewMax	120	182	21840
Puesta a tierra	-	1	80	80
Estructura, accesorios, sujetadores	-	1	6100	6100
Cableado y protecciones	-	1	2400	2400
Ingeniería	-	1	4200	4200
Mano de obra	-	1	1700	1700
Gastos varios	-	1	200	200
Total				60280

Análisis económico

Con el objetivo de realizar el análisis económico se utilizó el pliego tarifario dado por ARCONEL, el cual estima que la tarifa comercial es de 9 ctvs. El kWh [46]. De esta manera, la Tabla 15 muestra los montos económicos calculados en base a la generación mensual de cada sistema diseñado, así mismo, el monto anual de cada uno.

Tabla 15: Generación económica mensual de los sistemas diseñados

Generación económica mensual (USD)				
	SFCR 30%	SFCR 70%	SFCR 100%	SFA
Enero	64,656	145,08	193,41	247,86
Febrero	56,718	127,35	169,83	216,99
Marzo	67,779	152,19	202,86	261,45
Abril	60,093	134,91	179,91	230,22
Mayo	56,295	126,36	168,48	214,92
Junio	53,181	119,43	159,21	201,96
Julio	57,942	130,14	173,43	221,67
Agosto	58,734	131,85	175,86	224,82
Septiembre	55,611	124,83	166,41	211,86
Octubre	58,158	130,59	174,06	221,94
Noviembre	56,286	126,36	168,48	214,47
Diciembre	59,202	132,75	177,03	225,9
Año	704,655	1581,84	2108,97	2694,15

Los montos económicos presentados en esta Tabla 15 se calcularon utilizando el pliego tarifario proporcionado por ARCONEL, el cual estima una tarifa comercial de 9 centavos de dólar por kilovatio-hora [46]. La Tabla 15 muestra los montos calculados tanto a nivel mensual como anual para cada sistema diseñado en el estudio.

De esta forma, con el objetivo de determinar cuál sistema tiene mejor viabilidad económica se aplicaron las ecuaciones Ec.18 y Ec.19 correspondientes al VAN y al Payback respectivamente, proyectándolos en un periodo de 20 años. Cabe mencionar que este valor se estableció en base a la resolución ARCONEL – 042/18. De esta forma, la Tabla 16 muestra los valores calculados de VAN, TIR y Payback. En el Anexo F se muestran las tablas completas con el comportamiento de los flujos de caja.

Tabla 16: Van, Tir, Payback

SFCR 30%	
VAN	\$71.70
TIR	2.1%
PAYBACK	16.1
SFCR 70%	
VAN	\$147.76
TIR	4.3%
PAYBACK	13.1
SFCR 100%	
VAN	\$323.35
TIR	4.5%
PAYBACK	12.9
SFA	
VAN	\$546.32
TIR	0.8%
PAYBACK	22.4

El SFCR con respaldo del 30%, el SFCR con respaldo del 70%, y el SFCR con respaldo del 100% muestran resultados aceptables con VAN de \$71,70, \$147,76 y \$323,35, respectivamente, y TIR de 2,1%, 4,3% y 4,5%. Estos sistemas logran retornos económicos en plazos que oscilan entre 12,9 y 16,1 años. Sin embargo, es observable que el sistema SFA es el menos viable en comparación con los otros sistemas, ya que su retorno económico se extiende desde los 22.4 años.

Una vez calculados los parámetros VAN, TIR y Payback de todos los sistemas se logró realizar una comparación de los resultados, donde es observable que el SFCR con respaldo de 100% es el sistema de generación más viable económicamente con un TIR de 4,5%, superior al calculado en los demás sistemas y un VAN de \$323,35. Así mismo, se calculó un retorno económico desde los 12.9 años.

La factibilidad económica está relacionada con la factibilidad técnica, esto debido a que depende del consumo del lugar de estudio y del valor por kWh consumido que se estableció en \$0.09. La Tabla 17 muestra el estudio económico realizado.

Tabla 17: Factibilidad económica de los sistemas diseñados

Escenarios	Consumo anual de energía (kWh)	Comercialización (USD)	Valor total (USD)
Sin generador	20040	0,09	36072
SFCR 30%	12453,9	0,09	22417,02
SFCR 70%	3009,5	0,09	5417,1
SFCR 100%	-2865	0,09	-5157
SFA	0	0,09	0

En la Tabla 17 se puede observar que todos los sistemas reducen considerablemente el consumo del lugar de estudio, sin embargo, el SFCR con respaldo del 100% es el único con valores negativos debido a que la energía que inyecta a la red es mayor a la que consume de esta, lo cual a su vez demuestra que el valor total calculado es favorable a diferencia de los otros escenarios.

La Fig. 21 muestra una comparación del consumo anual de energía en kilovatios-hora (kWh) entre los distintos escenarios evaluados. Cada barra representa un escenario específico, incluyendo desde el consumo sin generador hasta configuraciones con diferentes porcentajes de generación mediante sistemas fotovoltaicos con respaldo (SFCR) y una situación sin aporte energético (SFA). Este análisis proporciona una visualización clara de cómo varía el consumo de energía en función de las distintas configuraciones de sistemas, destacando las diferencias significativas en eficiencia y uso de recursos energéticos entre los escenarios considerados.

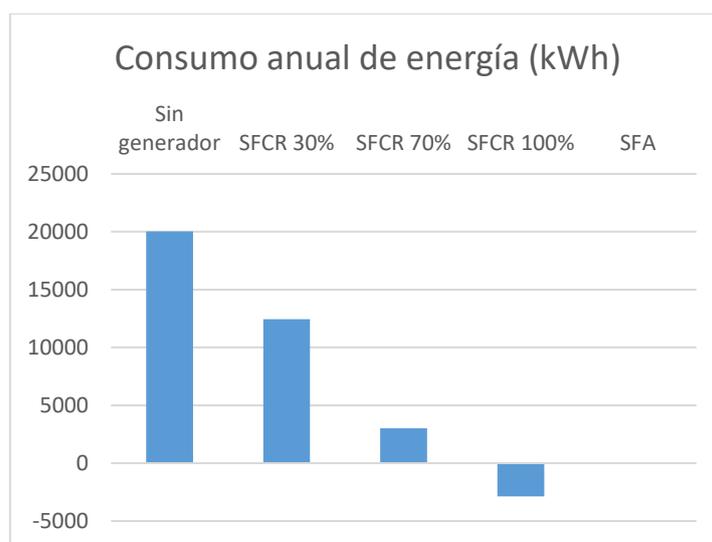


Fig. 21. Consumo anual de energía en diferentes escenarios.

Factibilidad económica: (Aplicación por etapas)

Con el objetivo de desarrollar una aplicación del sistema fotovoltaico que sea económicamente más factible y que requiera una inversión inicial menor, se analizó un escenario donde la instalación se lleva a cabo en tres etapas diferentes. En cada etapa, se implementa un sistema fotovoltaico con 16 paneles, hasta alcanzar un total de 48 módulos, completando así el 100% del SFCR planificado. La Tabla 18 muestra el estudio económico realizado para este escenario.

Tabla 18: Factibilidad económica: (Aplicación por etapas)

	SFCR E1:	SFCR E2:	SFCR E3:
VAN	\$71.7	\$658.25	\$556.9
TIR	2.1%	10%	17%
PAYBACK	16.1	8	5.4
PAYBACK total (por etapas)			29.5
Inversión total (por etapas)			\$34020
Inversión SFCR 100%			\$27110
PAYBACK SFCR 100%			12.9

Una vez calculados los parámetros VAN, TIR y Payback para todas las etapas, se obtuvo una inversión total de \$34020, lo cual es superior a la inversión requerida para la implementación directa del SFCR 100%. Además, el Payback calculado no solo es mayor que el del escenario del SFCR 100%, sino que también supera los 20 años de vida útil considerados en este estudio. Esto hace que la aplicación por etapas no sea viable.

4.2.4 Viabilidad ambiental

Así mismo, en el análisis del aspecto ambiental se calculó cual es la reducción de emisión de CO₂ para cada uno de los sistemas diseñados, para esto se utilizó la Ec.22. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

SFCR 30%: $DCO_2 = 13,84$ toneladas de CO₂ al día

SFCR 70% $DCO_2 = 31,06$ toneladas de CO₂ al día

SFCR 100% $DCO_2 = 41,41$ toneladas de CO₂ al día

SFA $DCO_2 = 37,51$ toneladas de CO₂ al día

De esta forma, se puede concluir que el escenario con más reducción de emisión de CO₂ es el SFCR con 100% de respaldo, obteniendo una reducción de 41,41 toneladas de CO₂ al día. Sin embargo, cabe mencionar que en todos los sistemas diseñados se reduce considerablemente la emisión de CO₂.

La Fig. 22 presenta una comparación de la reducción diaria de emisiones de CO₂ en toneladas para distintos escenarios de sistemas energéticos evaluados. Cada barra representa un escenario específico, incluyendo configuraciones con diferentes porcentajes de generación mediante sistemas fotovoltaicos con respaldo (SFCR) y una situación sin aporte energético (SFA). Estos resultados destacan las variaciones significativas en la reducción de emisiones de CO₂, evidenciando el impacto positivo de implementar sistemas energéticos más eficientes y sostenibles en la mitigación del cambio climático.

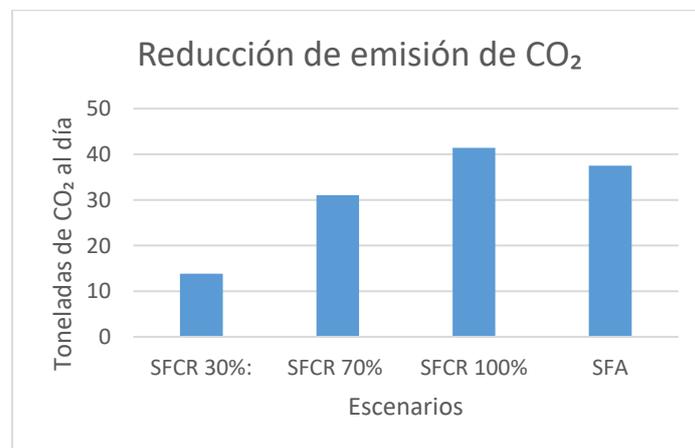


Fig. 22. Reducción de emisión de CO₂ en diferentes escenarios.

.2.5 Determinación de sistema factible

Tras finalizar el estudio de factibilidad y analizar los resultados obtenidos, se concluye que el sistema más viable para su implementación es el SFCR con respaldo de 100%. Esta conclusión se fundamenta en los siguientes puntos:

- **Indicadores financieros:** El sistema presenta un TIR del 4.5% y un VAN de \$323.35, con un retorno económico desde los 12.9 años, lo cual lo posiciona como la opción más rentable entre los sistemas evaluados.
- **Análisis técnico y económico:** Se observó que este sistema es el único donde la energía inyectada a la red es mayor que la energía consumida de esta.

- **Reducción de emisiones de CO₂:** Además, el SFCR 100% destaca por su significativa reducción en las emisiones de CO₂, alcanzando una disminución diaria de 41.41 toneladas, sobrepasando a los demás sistemas analizados.
- **Seguridad y fiabilidad del suministro:** La conexión a la red eléctrica proporciona una seguridad adicional al asegurar un suministro continuo de energía, incluso en períodos de baja generación solar o fallos del sistema fotovoltaico. Esto es crucial para garantizar la operatividad y la satisfacción de la demanda energética en todo momento.

Este estudio demuestra que el SFCR con respaldo de 100% no solo es el más eficiente desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, sino también el más seguro y confiable al estar conectado a la red eléctrica. Estas ventajas adicionales refuerzan su elección como la opción preferida para la implementación en el contexto evaluado.

4.2.6 Diagramas unifilares

En la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles, con respecto al consumo eléctrico en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte se ha diseñado diversos sistemas fotovoltaicos, cada uno adaptado a necesidades específicas y orientado hacia distintos niveles de autonomía energética. Desde sistemas conectados a la red hasta configuraciones autónomas con bancos de baterías, cada diseño refleja una integración innovadora de tecnología solar en el entorno académico. A continuación, se muestran y describen los diagramas unifilares de estos sistemas, subrayando sus características y capacidades.

Diagrama unifilar SFC30%

La Fig. 23 muestra un diagrama unifilar el cual representa un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Integrando 16 paneles solares de 400W, el sistema alcanza una capacidad de 6400W, el cual cuenta con un inversor de la marca Deye. Este sistema está diseñado para satisfacer aproximadamente el 30% de la demanda energética de la facultad, este sistema se conecta directamente al tablero principal, asegurando una gestión eficaz del flujo de energía y una integración fluida con la infraestructura eléctrica existente.

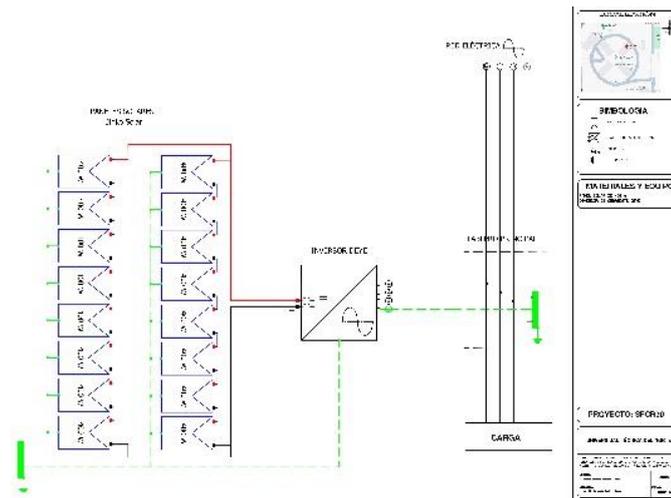


Fig. 23. Diagrama unifilar SFC30%.

Diagrama unifilar SFC70%

La Fig. 24 presenta un diagrama unifilar que ilustra un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica, diseñado específicamente para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Este sistema, ahora ampliado con 36 paneles solares de 400W, alcanza una capacidad total de 14400W, apoyado por un inversor eficiente de la marca Deye. Con esta configuración, el sistema está capacitado para cubrir aproximadamente el 70% de la demanda energética de la facultad, lo que demuestra un avance significativo en la autonomía energética y la sostenibilidad. La conexión directa al tablero principal asegura una administración óptima del flujo de energía y facilita una integración coherente y eficiente con la infraestructura eléctrica ya existente en el campus.

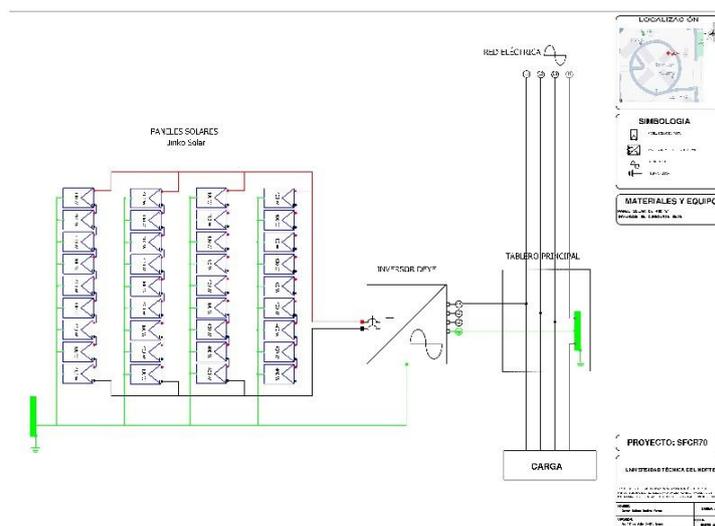


Fig. 24. Diagrama unifilar SFC70%.

Diagrama unifilar SFC100%

La Fig. 25 despliega un diagrama unifilar detallando un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Este sistema, que ahora incorpora 48 paneles solares de 400W organizados en cuatro cadenas en paralelo de doce paneles en serie cada una, logra una capacidad de 19200W. Este sistema el cual también cuenta con un inversor de la marca Deye está diseñado para satisfacer el 100% de la demanda energética de la facultad, este sistema es un ejemplo ejemplar de autosuficiencia energética y sostenibilidad ambiental. Su conexión directa al tablero principal garantiza una gestión eficiente y efectiva del flujo de energía, permitiendo una integración perfecta con la infraestructura eléctrica existente.

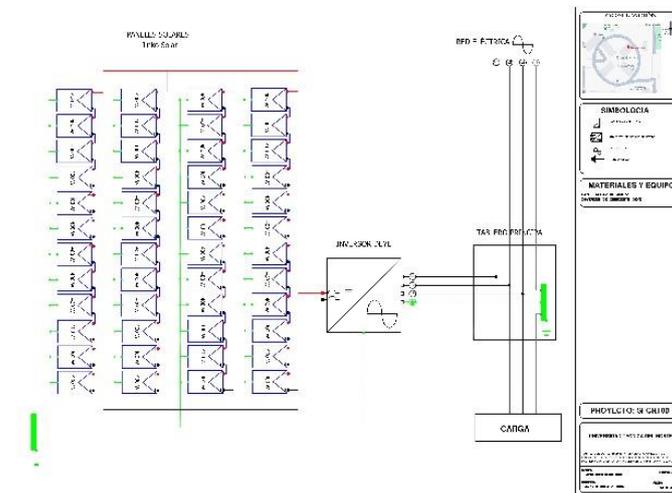


Fig. 25. Diagrama unifilar SFC100%.

Diagrama unifilar SFA

La Fig. 26 ilustra un diagrama unifilar de un sistema fotovoltaico autónomo para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. Este sistema incluye 64 paneles solares de 400W, configurados en dos arreglos de cuatro cadenas en paralelo, con cada cadena compuesta por ocho paneles en serie, y conectados en dos controladores de carga de la marca Victron Energy totalizando una capacidad de 25600W. De manera complementaria, el sistema incorpora un robusto banco de baterías compuesto por 120 baterías de gel de la marca Newmax, conectadas en un esquema de cuatro en serie y treinta cadenas en paralelo, permitiendo el almacenamiento de energía.

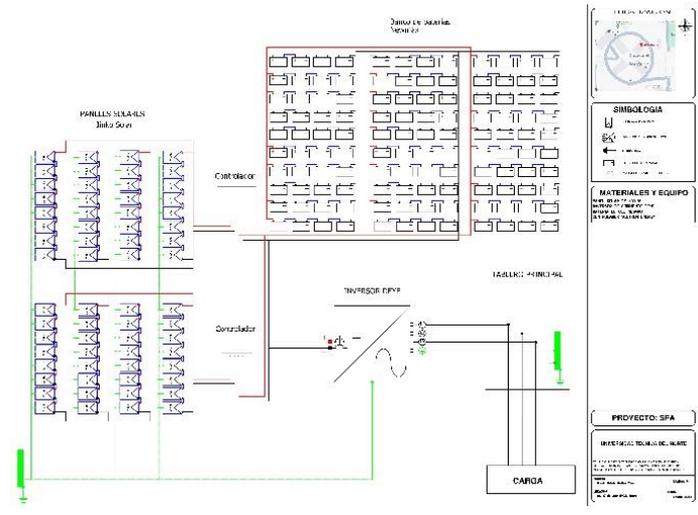


Fig. 26. Diagrama unifilar SFA.

Para una visualización detallada y a mayor escala de los planos de los sistemas fotovoltaicos, se recomienda consultar Anexo G, el cual muestra los diagramas en un formato ampliado, lo que permite una apreciación más clara y precisa de cada componente y su configuración, así como de las conexiones entre los diferentes elementos del sistema.

CONCLUSIONES

1. La descripción de los sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a la red como autónomos, ha ofrecido una visión integral de sus características, funcionalidades entre otros aspectos, con el objetivo de valorar su implementación en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Se expusieron elementos cruciales como clasificaciones, características y la eficiencia de los equipos, evidenciando la capacidad de estos sistemas para satisfacer la demanda energética de la facultad. Dicha descripción ha confirmado la conveniencia de estas tecnologías para el ámbito universitario, destacando su potencial para incrementar la sostenibilidad y la autosuficiencia energética de la institución.

2. Los diseños desarrollados para los sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a la red como autónomo, demostraron ser técnicamente viables y económicamente rentables. Este resultado responde a las preguntas planteadas en el problema de investigación, confirmando que la tecnología fotovoltaica puede satisfacer de manera sostenible la creciente demanda energética de la facultad. El estudio logró determinar que el sistema fotovoltaico con respaldo de 100% supera a otras opciones, tanto en términos de eficiencia energética como en la reducción de la huella de carbono, alineándose con los objetivos propuestos de promover fuentes de energía renovable y mitigar el impacto ambiental.

3. El estudio de factibilidad ha corroborado que la implementación de sistemas fotovoltaicos, son una alternativa viable y económicamente rentable para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. El análisis detallado ha respaldado no solo la viabilidad técnica y económica de los sistemas, sino también ha resaltado su aporte en la promoción de la autosuficiencia energética y la reducción de emisiones nocivas. Este hallazgo refuerza la importancia de adoptar energías renovables en el ámbito educativo, evidenciando que la correcta implementación y diseño de sistemas fotovoltaicos no solo conduce a la independencia energética, sino también a un impacto ambiental positivo notable.

RECOMENDACIONES

Profundizar en la investigación y comparativa de nuevas tecnologías fotovoltaicas, identificando aquellas alternativas emergentes que prometan una mayor eficiencia y rentabilidad. Considerar la adopción de avances recientes como los paneles solares híbridos, los cuales generan electricidad y calor, aprovechando todo el espectro de luz para proporcionar energía, agua caliente y calefacción. Así mismo, se recomienda evaluar la posibilidad de ampliar el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, evaluando la factibilidad de su conexión con la red eléctrica de medio voltaje mediante un transformador elevador. Este enfoque permitiría satisfacer las necesidades energéticas de toda la universidad, potenciando un entorno más sostenible y proactivo ante los desafíos energéticos venideros.

REFERENCIAS

- [1] C. P. Tasinchana, Propuesta técnica económica para un sistema de generación solar fotovoltaico conectado a red para el supermercado Mi Rey ubicado en la ciudad de Ibarra., Ibarra: Universidad Técnica del Norte. , 2021.
- [2] A. L. H. Rocha, Diseño de un sistema de energía fotovoltaica para la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK”, Quito: Universidad Internacional SEK, 2015.
- [3] M. Jiang, Using Existing Infrastructure to Realize Low-Cost and Flexible Photovoltaic Power Generation., 2019.
- [4] A. Aguirre, Valoración de la afectación de la eliminación del subsidio eléctrico de los N.S.E. altos para un plan de negocios de una empresa comercializadora de paneles solares en el sector de Samborondón., Guayaquil: Universidad de Guayaquil., 2011.
- [5] M. Abella, Sistemas fotovoltaicos. Madrid: Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas., Madrid, 2014.
- [6] L. Vázquez, Hacia la primera universidad sustentable de México. Aguascalientes: Agencia Informativa Conacyt., México, 2016.
- [7] S. Coghlan, La primera escuela 100% sustentable de latinoamérica., Klarea, 2022.
- [8] X. Wu, Integrated design of solar photovoltaic power generation technology and building construction based, 2021.
- [9] J. Feng, Integrated technical paradigm based novel approach towards photovoltaic power generation technology., 2021.
- [10] P. Li, Effect of the temperature difference between land and lake on photovoltaic power generation., 2021.

- [11] J. F. Romero y J. I. Flores, “Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL003/18)”, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2019.
- [12] E. Vivanco, «Energías renovables y no renovables: Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía,» Creative Commons Atribución 3.0, 2020.
- [13] O. Perpiñán, Energía solar fotovoltaica, Madrid: Creative Commons, 2020, pp. 10-17.
- [14] J. Gonzáles, «Energía a partir de biomasa Introducción,» de *Energías Renovables*, Editorias Reverté S. A., 2021, pp. 217-286.
- [15] A. Saunders, «La Energía Geotérmica,» de *Vigilancia Estratégica. Las fuentes renovables de energía. (Tomo II)*, CUBASOLAR, 2018, pp. 341-380.
- [16] C. Petrel, Diseño de sistema solar fotovoltaico aislado e individual en el corregimiento Bocas del Atrato - Turbo, Medellín: Universidad de Antioquia, 2021.
- [17] W. López, Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [18] D. Vaca y F. Ordóñez, Mapa solar del Ecuador, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [19] C. Buele y A. Chazi, Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca., Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2019.
- [20] M. G. Cárdenas, Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2019.

- [21] R. Trejo, Estudio de factibilidad técnica económica para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2021.
- [22] K. Mendoza, Diseño óptimo de sistemas aislados fotovoltaicos para la iluminación de la vía principal de la Comuna Masa 2 - Golfo de Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana: Guayaquil, 2021.
- [23] L. Herrera, Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo del complejo deportivo Plataforma Deportiva ubicada en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi., Universidad Técnica de Cotopaxi, 2018.
- [24] U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, «Powering On with Grid-Forming Inverters,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/powering-grid-forming-inverters>. [Último acceso: 16 1 2024].
- [25] C. Grijalva, "Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr Francisco Falquez Ampuero", Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [26] J. A. Espinoza, Diseño de sistema fotovoltaico off-grid, red secundaria y conexiones domiciliarias para suministro eléctrico al Caserío Tallapampa, Distrito Salas, provincia Lambayeque, Universidad Señor de Sipán, 2021.
- [27] Renogy, «What to Know About Deep Cycle Batteries for Solar Storage,» Renogy United States, 2019.
- [28] J. Alvarado, Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

- [29] ARCERNNR, EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021, 2021, 05 de abril.
- [30] Pvsyst, «Pvsyst,» 25 11 2022. [En línea]. Available: <https://www.pvsyst.com/>.
- [31] E. M. Núñez, "Valoración del campus académico de la Universidad Técnica del Norte ubicado en la Av. 17 de Julio – Ibarra-", Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2015.
- [32] E. Ormeño, Energía Solar, Universidad Técnica del Norte, 2021.
- [33] M. Pareja, Energia solar fotovoltaica, Marcombo, 2017.
- [34] J. Burdick y P. Schmidt, Install your own solar panels, Storey Publishing, 2017.
- [35] C. Martínez, «Evaluación Económica e Inversión sobre un Condominio Horizontal en la Delegación Álvaro Obregón,» 8 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/MartinezSCM/>.
- [36] D. Carrillo, V. Vega y S. Navas, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión, Quito: Uniandes, 2019.
- [37] A. Zicari, El período de recupero: su uso en la evaluación de proyectos de inversión, Thomson Reuters, 2020.
- [38] L. Almarales, J. Estrada y M. Chong, «La tasa de descuento en la gestión empresarial del proceso inversionista cubano,» *Ciencias Holguín*, pp. 1-11, 2019.
- [39] Á. Cevallos, «Evaluación financiera de proyectos de inversión para la PYMES,» *Dominio de las Ciencias*, pp. 375-390, 2019.
- [40] M. Sierra, C. Vásquez y R. Ramírez, «Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas,» *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, pp. 74-90, 2020.

- [41] W. A. P. Pachito, Propuesta de rediseño para modernización del sistema eléctrico de fuerza e iluminación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte., Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2023.
- [42] Jinko Solar, «<https://www.jinkosolar.com>,» 11 02 2023. [En línea]. Available: jinkosolar.
- [43] Upsen, «deyeinverter.com,» 01 03 2023. [En línea]. Available: <https://es.deyeinverter.com>.
- [44] Newmax, «[newmax.com](https://newmax.com.br/es/),» 01 03 2023. [En línea]. Available: <https://newmax.com.br/es/>.
- [45] Victron Energy, «[victronenergy.com](https://www.victronenergy.com.es/),» 01 03 2023. [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com.es/>.
- [46] ARCONEL, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución, Resolución 035/19, 2020.

ANEXOS

ANEXO A. Modelo y características de panel solar marca Jinko.

www.jinkosolar.com



Cheetah HC 72M

390-410 Watt

MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell

PERC



KEY FEATURES



5 Busbar Solar Cell

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



High Efficiency

Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



Low-light Performance

Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.



Severe Weather Resilience

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



Durability Against Extreme Environmental Conditions

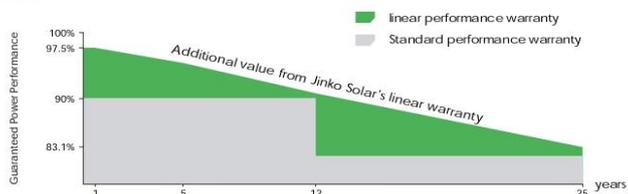
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

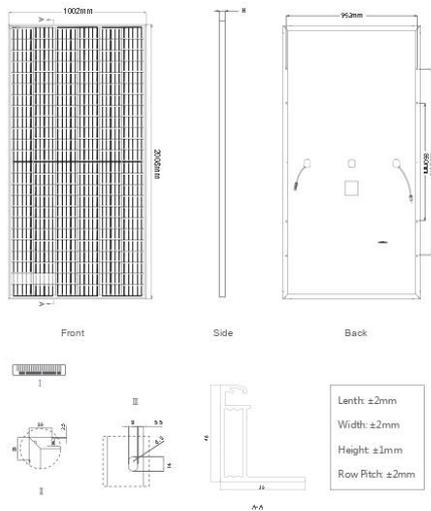
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



- ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



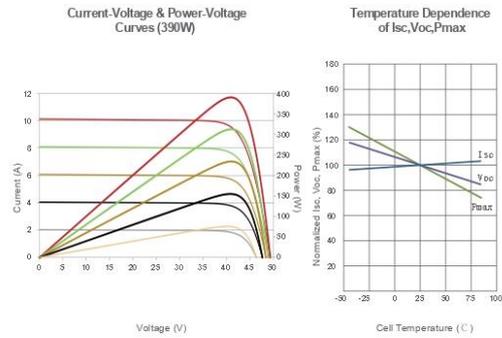
Engineering Drawings



Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40' HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	JKM390M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM400M-72H-V	JKM400M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📦 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📦 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM390-410M-72H-(V)-A3-EN

ANEXO B. Modelo y características de inversores marca Deye.

Technical Data

www.deyeinverter.com

Model	SUN-6K-G03-LV	SUN-8K-G03-LV
Input Side		
Max. DC Input Power (kW)	7.8	10.4
Max. DC Input Voltage (V)	800	
Start-up DC Input Voltage (V)	250	
MPPT Operating Range (V)	200~700	
Max. DC Input Current (A)	13+13	13+26
Max. Short Circuit Current (A)	19.5+19.5	19.5+39
Number of MPPT / Strings per MPPT	2/1	2/1+2
Output Side		
Rated Output Power (kW)	6	8
Max. Active Power (kW)	6.6	8.8
Nominal Output Voltage / Range (V)	3L/N/PE 127/0.85Un-1.1Un, 220/0.85Un-1.1Un (this may vary with grid standards)	
Rated Grid Frequency (Hz)	60 / 50 (Optional)	
Operating Phase	Three phase	
Rated AC Grid Output Current (A)	15.7	21
Max. AC Output Current (A)	17.3	23.1
Output Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging	
Grid Current THD	<3%	
DC Injection Current (mA)	<0.5%	
Grid Frequency Range	57~62	
Efficiency		
Max. Efficiency	98.3%	98.5%
Euro Efficiency	97.5%	
MPPT Efficiency	>99%	
Protection		
DC Reverse-Polarity Protection	Yes	
AC Short Circuit Protection	Yes	
AC Output Overcurrent Protection	Yes	
Output Overvoltage Protection	Yes	
Insulation Resistance Protection	Yes	
Ground Fault Monitoring	Yes	
Anti-islanding Protection	Yes	
Temperature Protection	Yes	
Integrated DC Switch	Yes	
Remote software upload	Yes	
Remote change of operating parameters	Yes	
Surge protection	DC Type II / AC Type II	
General Data		
Size (mm)	330Wx457Hx205D	333Wx472Hx202D
Weight (kg)	11	15
Topology	Transformerless	
Internal Consumption	<1W (Night)	
Running Temperature	-25~65°C, >45°C derating	
Ingress Protection	IP65	
Noise Emission (Typical)	<25 dB	<40 dB
Cooling Concept	Natural cooling	Smart cooling
Max. Operating Altitude Without Derating	2000m	
Warranty	5 years	
Grid Connection Standard	CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, NRS 097, IEC 62116, IEC 61727, G99, G98, VDE 0126-1-1, RD 1699, C10-11	
Operating Surroundings Humidity	0-100%	
Safety EMC / Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	
Features		
DC Connection	MC-4 mateable	
AC Connection	IP65 rated plug	
Display	LCD1602	
Interface	RS485/RS232/Wifi/LAN	

Deye

Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd

Add: No.26-30, South Yongjiang Road, Beilun, 315806, Ningbo, China | Tel: 0086-0574-86120560 | E-mail: market@deye.com.cn

Technical Specifications

Model	SUN-20K-G02-LV	SUN-25K-G02-LV	SUN-30K-G02-LV
Input Side			
Max. DC Input Power(kW)	26	32.5	39
Max. DC Input Voltage (V)	800		
Start-up DC Input Voltage(V)	250		
MPPT Operating Range(V)	200~700		
Max. DC Input Current(A)	40+40	40+40+40	40+40+40+40
Max. Short Circuit Current (A)	60+60	60+60+60	60+60+60+60
Number of MPPT/Strings per MPPT	2/3	3/3	4/3

Output Side			
Rated Output Power(kW)	20	25	30
Max. Active Power(kW)	22	27.5	33
Rated AC Grid Voltage(V)	127 / 220		
AC Grid Voltage Range(V)	176Vac~242Vac(this may vary with grid standards)		
Rated Grid Frequency(Hz)	60/50(Optional)		
Operating Phase	Three phase 		



Max. AC Output Current(A)	57.8	72.2	86.6
Output Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging		
Grid Current THD	<2%		
DC Injection Current(mA)	<0.5%		
Grid Frequency Range	57~62		

Efficiency			
Max.Efficiency	98.7%		
Euro Efficiency	98%		
MPPT Efficiency	>99%		

Protection			
DC Reverse-Polarity Protection	Yes		
AC Short Circuit Protection	Yes		
AC Output Overcurrent Protection	Yes		
Output Overvoltage Protection	Yes		
Insulation Resistance Protection	Yes		
Ground Fault Monitoring	Yes		
Islanding Protection	Yes		
Temperature Protection	Yes		
Integrated DC Switch	Yes		
Remote software upload	Yes		
Remote change of operating parameters	Yes		
Surge protection	DC Type II / AC Type II		

Technical Specifications

Model	SUN-10K-G03-LV	SUN-12K-G02-LV	SUN-15K-G02-LV
Input Side			
Max. DC Input Power(kW)	13	15.6	19.5
Max. DC Input Voltage (V)	800		
Start-up DC Input Voltage(V)	250		
MPPT Operating Range(V)	200~700		
Max. DC Input Current(A)	32+32		
Max. Short Circuit Current (A)	48+48		
Number of MPPT/Strings per MPPT	2 / 2	2 / 2	2 / 3
Output Side			
Rated Output Power(kW)	10	12	15
Max. Active Power(kW)	11	13.2	16.5
Rated AC Grid Voltage(V)	127 / 220		
AC Grid Voltage Range(V)	176Vac~242Vac(this may vary with grid standards)		
Rated Grid Frequency(Hz)	60 / 50 (Optional)		
Operating Phase	Three phase		
			
Rated AC Grid Output Current(A)	26.2	31.5	39.4
Max. AC Output Current(A)	28.9	34.6	43.3
Output Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging		
Grid Current THD	<2%		
DC Injection Current(mA)	<0.5%		
Grid Frequency Range	57~62		
Efficiency			
Max. Efficiency	98.6%		
Euro Efficiency	98%		
MPPT Efficiency	>99%		
Protection			
DC Reverse-Polarity Protection	Yes		
AC Short Circuit Protection	Yes		
AC Output Overcurrent Protection	Yes		
Output Overvoltage Protection	Yes		
Insulation Resistance Protection	Yes		
Ground Fault Monitoring	Yes		
Islanding Protection	Yes		
Temperature Protection	Yes		
Integrated DC Switch	Yes		
Remote software upload	Yes		
Remote change of operating parameters	Yes		
Surge protection	DC Type II/AC Type II		

ANEXO C. Modelo y características de baterías marca Newmax.

newmax INDUSTRY LEADER IN VRLA BATTERIES

POWERmax

2010

SG 2200H (12V220AH/C₂₀)

Power Lead carbon Premium Battery

SG SERIES
Solar Gel Deep Cycle



*** The color and the printed specifications of the products are subject to change without prior notice.

NEWMAX Solar gel batteries are true maintenance-free sealed batteries engineered specially to satisfy the need for frequent deep cycles from PVs and renewable energy storage applications. We are confident that our technology-intensive, long-lasting, and environment friendly SG batteries will provide stability and efficiency for your everyday renewable energy needs.

01	Longer Life	02	Maintenance Free	03	Leak Free	04	Safety
High density, anti-corrosion lead calcium alloy is used in harmony with the GEL electrolyte to reduce the sulfation effect significantly.		NEWMAX battery has a gas recombining design that doesn't need maintenance until the end of its life.		Gel Technology is applied to prevent leakage. They won't spill even if the battery is tipped upside down.		Specialty designed anti-explosion filter and safety valves prevent gas leakage when overcharged.	

General Feature

- ◆ Plate Paste type
- ◆ Battery type Sealed and Maintenance free / Non-spillable construction design
- ◆ Case/cover mat High-stiffness engineering PP plastic (Heat Deflection Temp. 140°C) RoHS Compliant EU Directive 2002/95/EC
- ◆ Safety performance Safety valve & flame arrestor installation for explosion proof.
- ◆ High quality, high reliability and low self discharge rate
- ◆ Exceptional deep discharge recovery performance
- ◆ Flexibility design for multiple install positions (Position Free, GEL Technology)
- ◆ Designed in accordance with and published in compliance with applicable IEC and BS EN, KS stds.
- ◆ IEC 60896-21/22 Stationary lead-acid batteries – Valve regulated types
- ◆ BS EN 61427 Secondary cells and batteries for photovoltaic energy systems (PVES)
- ◆ KS C 8518 Stationary sealed lead-acid batteries – Valve regulated types

Technical Feature



Fahrenheit-Schutz™ Heat Protection Case

Specialty Formulated heat and flame resistant PP case material is used to effectively block ambient heat thus preventing heat related malfunctions such as thermal runaway. This proprietary high rigidity case material has heat deflection rating of 140°C.



MaxPress™ Grid Technology

Patent pending grid compressing technology which increase the density of the lead grain of the grids. The grain density is typically 400% greater than that of the conventional casting method. This up-to-date grid technology enables our batteries to survive even the toughest deep discharge and PSoC applications.



ThixoPure™ GEL Technology

Application of refined pure thixotropic colloidal silica GEL technology to battery electrolyte has greatly increased the cycle life by both preventing plate stratification and providing extra temperature protection against heat and cold. We are the first Korean company to successfully commercialize the GEL technology in the VRLA battery industry.



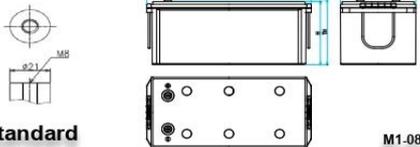
FlexSealing™ Anti Explosion Filter

Patent pending proprietary cap filtering and sealing technology. Battery cell caps are sealed simultaneously using specially designed O-ring and explosion filters to prevent leakage and gassing more effectively than ever before.



Active Carbon™

In every NEWMAX battery, proprietary active carbon additive is used in the active material for both positive and negative plates to enhance charge acceptance and cycle endurance. Active Carbon™ works to strengthen charge pathways to improve performance consistency and enhance performance at partial state of charge (PSoC) environment.



Standard

M1-08

Operating temperature range

Discharge	Charge	Storage
-20°C~60°C	0°C~50°C	-20°C~60°C

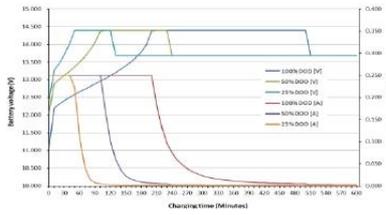
Battery model	SG 2200H (12V220AH / 20 HOUR RATE)			
Capacity (@25°C)	C ₂₀ (1.80VPC)	C ₁₀ (1.80VPC)	C ₅ (1.70VPC)	C ₁ (1.60VPC)
	220Ah	200Ah	182Ah	131Ah
Dimensions (mm/inch)	Length	Width	Height	Total Height
	524(20.63)	241(9.49)	215(8.46)	221(8.70)
Weight (kg/lbs)	60.0kg(132.28 lbs) ± 3%			
Internal resistance (mΩ)	≤2.50mΩ (25°C, 77°F)			
Max. discharge current (5sec)	1600 A	Max. discharge current(continuous)		600 A
Capacity affected by Temperature	@30°C(86°F)	@25°C(77°F)	@10°C(50°F)	@-10°C(14°F)
	105%	103%	95%	78%
Self discharge (@25°C, 77°F)	After 1 month ≤2%		After 3 month ≤6%	After 6 month ≤12%
Max. short duration discharge current (0.1sec)	4,000A ± 10%			
Recommended charging (@25°C) Solar system	1 st Bulk step		3 rd Floating step	
	0.20~0.25C CC		2.28V/cell CV	
	2 nd Absorption step			
	2.40V/cell CV, (cut-off A : 0.005C ₂₀)			

KOBATI KOREA BATTERY CO., LTD.
www.newmaxbattery.co.kr

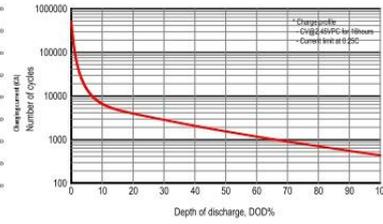
Head office : 134, 16 ongdan-ro 6gil, Gumi-city, Gyongangbuk-Da, Korea TEL) +82-54-468-7091~3 FAX) +82-54-468-7084
Seoul office : 3F Dogok B/D, 14, Nambu-sunhwan-ro, 359-gil Gangnam-Ku, Seoul, Korea TEL) +82-2-883-7091 FAX) +82-2-882-7094

1

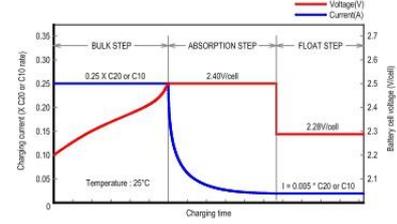
DOD % vs charging time curve (@25°C)



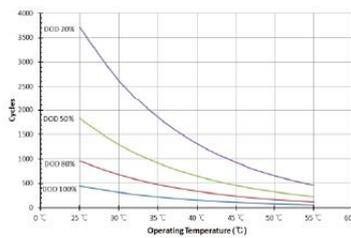
Cycle life vs detail DOD% (@25°C)



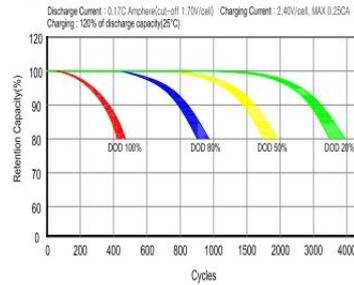
Solar charging characteristics (@25°C)



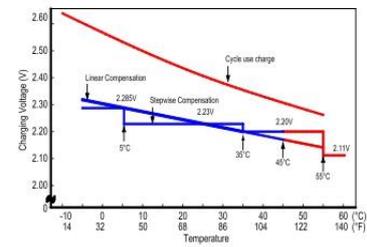
Relationship between cycle life & temp.



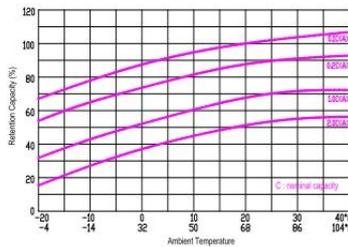
Cycle life characteristics (@25°C)



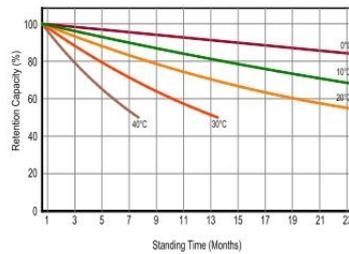
Relationship between charging voltage & temp.



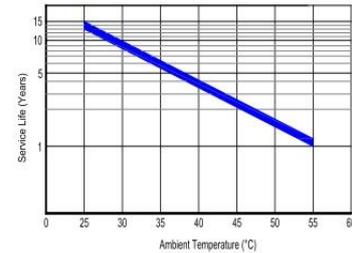
Effect of temperature on capacity



Self discharge



Relationship between Floating life & temp.



Constant current discharge ratings – Amperes per cell @ 25°C

V/cell	Minutes						Hours					
	5	10	15	20	30	40	1	3	5	8	10	20
1.85V	179	175	172	166	142	128	101	47.2	31.1	20.8	18.3	10.1
1.80V	261	250	222	199	168	146	113	51.1	33.9	22.2	20.0	11.0
1.75V	303	280	243	215	174	155	119	51.6	34.9	22.7	20.0	11.0
1.70V	343	305	261	229	182	160	123	53.3	36.4	23.2	20.0	11.0
1.65V	382	332	280	242	191	164	127	55.2	36.6	23.6	20.1	11.1
1.60V	429	364	302	258	203	172	131	56.9	38.0	24.1	20.3	11.2

Constant power discharge ratings – Watts per cell @ 25°C

V/cell	Minutes						Hours					
	5	10	15	20	30	40	1	3	5	8	10	20
1.85V	331	323	318	307	266	241	192	90.8	60.1	40.5	35.7	19.7
1.80V	469	450	399	362	308	270	213	97.5	65.0	42.9	38.8	21.3
1.75V	530	498	435	389	318	286	222	98	66.6	43.7	38.8	21.4
1.70V	583	521	466	410	329	292	229	101	69.4	45.0	38.9	21.4
1.65V	640	572	491	430	344	298	239	104	70.2	46.0	39.1	21.5
1.60V	700	609	520	453	363	312	241	107	71.9	46.1	39.6	21.8

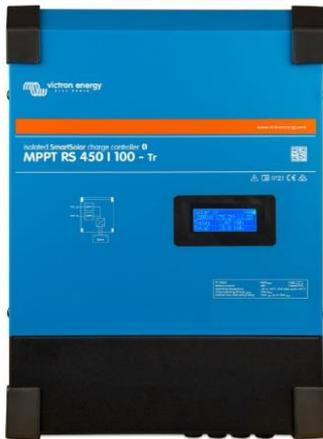
ANEXO D. Modelo y características del controlador de carga Victron Energy.



SmartSolar MPPT RS 450|100 y 450|200 - Aislado

Controlador de carga solar 5,76 kW y 11,52 kW con entrada FV de 450 V

www.victronenergy.com



MPPT RS SmartSolar 450|100



Interior del MPPT RS SmartSolar 450|100

Controlador de carga solar con Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)
El MPPT RS SmartSolar es un controlador de carga solar de 48 V con una entrada FV de hasta 450 VCC PV y una salida de 100 A o 200 A. Se usa en aplicaciones solares aisladas y conectadas a la red en las que se requiere máxima potencia de carga de la batería.

Varias entradas de seguimiento MPPT independientes

Con varios rastreadores de MPPT, se puede optimizar el diseño de sus paneles solares para obtener el máximo rendimiento en una ubicación concreta.

Conexiones FV aisladas para más seguridad

El aislamiento galvánico completo entre las conexiones de la batería y FV proporciona seguridad adicional a todo el sistema.

Amplio rango de tensión MPPT

Rango operativo de entre 80 y 450 VCC FV con una tensión de arranque de 120 VCC FV.

Ligero, eficiente y silencioso

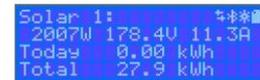
Gracias a su tecnología de alta frecuencia y a su nuevo diseño, el modelo de 100 A de este potente cargador solo pesa 7,9 kg. Además, tiene una eficiencia excelente, bajo consumo de energía en reposo y un funcionamiento muy silencioso.

Pantalla y Bluetooth

La pantalla muestra parámetros de la batería y del controlador.

Se puede acceder a estos parámetros con un *smartphone* u otro dispositivo con Bluetooth. Además, se puede usar

Bluetooth para configurar el sistema y cambiar los parámetros con VictronConnect.



Vigilancia de la resistencia al aislamiento fotovoltaico para estar tranquilo con tensiones más altas

El MPPT RS vigila continuamente el conjunto FV y puede detectar si hay fallos que reduzcan el aislamiento de los paneles hasta niveles poco seguros.

Puerto VE.Can y VE.Direct

Permite conectarlo a un dispositivo GX para seguimiento del sistema, registro de datos y actualizaciones de firmware a distancia. El VE.Can permite conectar hasta 25 unidades juntas en paralelo y sincronizar sus procesos de carga.

Conexiones I/O

Conexiones de relé programable, sensor de temperatura, auxiliar, entrada digital y sensor de tensión. La entrada remota puede aceptar el smallBMS de Victron y otros tipos de BMS con señal "Permiso de carga".

Configuración y control con VictronConnect →

La conexión integrada Bluetooth Smart permite un rápido seguimiento y ajuste de la configuración.

El historial de 30 días integrado muestra el rendimiento de cada uno de los rastreadores MPPT.

Pruebe la demo de VictronConnect para ver todo el rango de configuraciones y opciones de pantalla con datos de muestra.



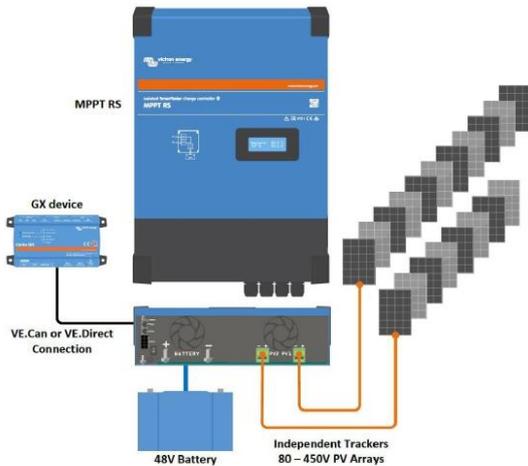
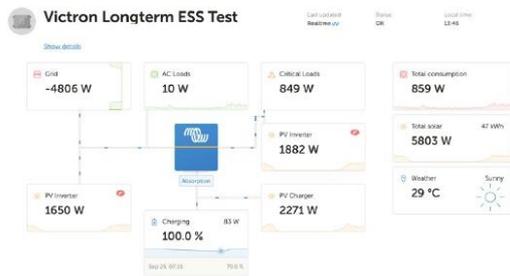


Diagrama de ejemplo de sistema
El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

Portal VRM

Cuando el MPPT RS esté conectado a un dispositivo GX con conexión a Internet, o al GlobalLink 520 con conectividad 4G integrada, podrá acceder a nuestro sitio web gratuito de seguimiento a distancia (VRM). Le mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Correo electrónico: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com

MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
CARGADOR		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 60 V ⁽⁷⁾	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
SOLAR		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V ⁽¹⁾	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV ⁽²⁾	20 A por rastreador	
Máxima potencia de carga de salida CC	4000 W por rastreador 5760 W total	4000 W por rastreador 11520 W total
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador ⁽³⁾	7200 Wp (450 V x 20 A) ⁽³⁾	
Nivel de fallo del aislamiento FV ⁽⁴⁾	100 kΩ	
GENERAL		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable ⁽⁵⁾	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretensión	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VE.Can y Bluetooth (6)	
Frecuencia Bluetooth	2402 – 2480 MHz	
Potencia Bluetooth	4 dBm	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Sí, 2	
On/Off remoto	Sí	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60 °C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95 %	
CARCASA		
Material y color	acero, azul RAL 5012	
Grado de protección	IP21	
Conexión de la batería	Pernos M8	
Entrada FV de los terminales de alimentación (versión -Tr)	2 16 mm ²	
Entrada FV de los terminales de alimentación (versión MC4)	Un par de conectores MC4 macho y hembra por rastreador	
Peso	7,9 kg	13,7 kg
Dimensiones (al x an x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
NORMAS		
Seguridad	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	
País de origen	Diseñado en los Países Bajos Fabricado en India	

- 1) El rango de funcionamiento del MPPT está limitado por la tensión de la batería - VOC FV no debe superar la tensión de flotación de la batería multiplicada por 8. Por ejemplo, para una tensión de flotación de 52,8 V, sería una VOC FV máxima de 422,4 V. Para más información, consulte el manual del producto.
- 2) Una corriente de cortocircuito más alta podría dañar el controlador en caso de que el conjunto FV se haya conectado con polaridad inversa.
- 3) Máximo de 450 VOC resulta en 360 Vmpp approx., por lo que el conjunto FV máximo es de aprox. 360 V x 20 A = 7200 Wp
- 4) El MPPT RS comprobará si hay suficiente aislamiento resistivo entre FV+ y GND y FV- y GND. En caso de resistencia inferior al umbral, la unidad dejará de cargar, mostrará el error y enviará la señal de error al dispositivo GX (si está conectado) para que se envíe una notificación sonora y por correo electrónico.
- 5) Relé programable que puede configurarse como alarma general, subtensión CC o función de arranque/parada del generador. Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 70 VCC
- 6) Actualmente el MPPT RS no es compatible con las redes VE.Smart
- 7) El punto de referencia del cargador (flotación y absorción) puede fijarse en un máximo de 60 V. La tensión de salida en los terminales del cargador puede ser mayor, debido a la compensación de temperatura y a la compensación por la caída de tensión en los cables de la batería. La máxima corriente de salida se reduce de forma lineal de corriente completa a 60 V a 5 A a 62 V. La tensión de eualización puede fijarse en un máximo de 62 V y el porcentaje de corriente de eualización puede fijarse en un máximo del 6 %.

ANEXO E. Resultados obtenidos de los informes de los sistemas simulados



Proyecto: SFCR30

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.5

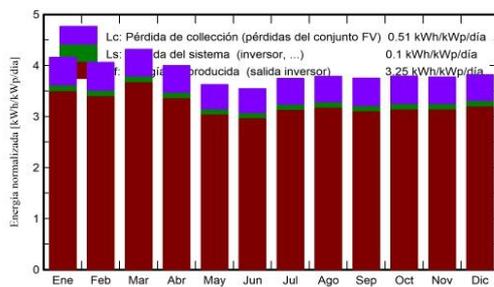
VC0, Fecha de simulación:
26/01/24 11:03
con v7.4.5

Resultados principales

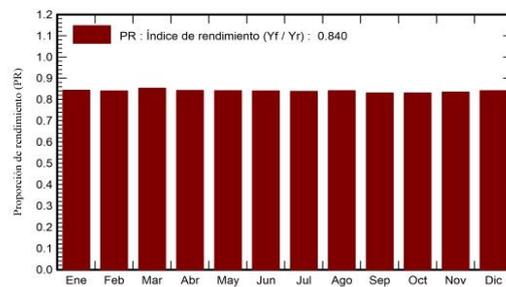
Producción del sistema

Energía producida	7586.28 kWh/año	Producción específica	1185 kWh/kWp/año
Energía usada	20040.00 kWh/año	Proporción rend. PR	84.02 %
		Fracción solar (SF)	28.71 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Enero	122.8	65.72	19.91	129.0	125.2	718.4	1670	502.1	194.7	1168
Febrero	114.5	62.72	20.30	113.7	110.1	630.2	1670	477.1	134.2	1193
Marzo	134.9	72.23	20.65	133.8	130.0	753.1	1670	554.4	176.8	1116
Abril	125.1	66.90	20.97	120.0	116.1	667.7	1670	487.6	159.7	1182
Mayo	121.2	64.17	21.25	112.5	108.2	625.5	1670	472.9	132.6	1197
Junio	114.0	59.10	21.08	106.3	102.2	590.9	1670	455.7	116.5	1214
Julio	124.9	62.31	21.16	116.2	111.8	643.8	1670	473.5	150.3	1197
Agosto	125.6	66.65	21.93	117.4	113.3	652.6	1670	493.8	138.5	1176
Septiembre	116.4	67.50	22.00	112.5	108.6	617.9	1670	458.9	139.2	1211
Octubre	119.7	68.51	21.34	117.6	114.0	646.2	1670	455.2	170.4	1215
Noviembre	112.2	63.60	20.37	113.3	109.9	625.4	1670	453.5	151.9	1217
Diciembre	114.4	63.55	19.92	118.4	114.4	657.8	1670	469.7	167.4	1200
Año	1445.6	782.96	20.91	1410.7	1363.8	7829.5	20040	5754.2	1832.1	14286

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_User	Energía suministrada al usuario
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energía del sol
GlobInc	Global incidente plano receptor	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EFrGrid	Energía de la red



Project: SFCR70

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.5

VC0, Simulation date:
26/01/24 11:23
with v7.4.5

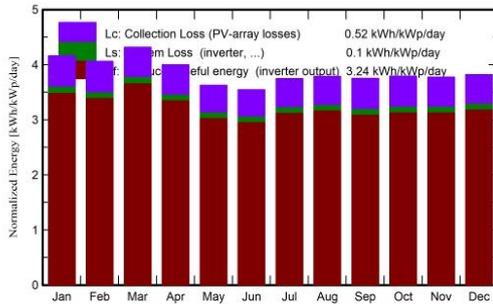
Main results

System Production

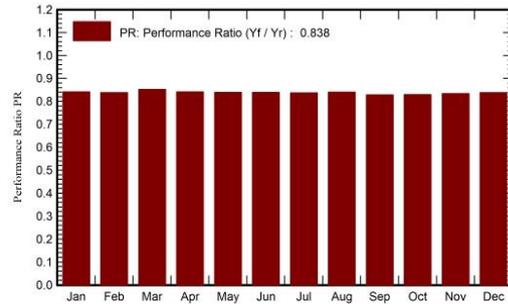
Produced Energy 17030.73 kWh/year
Used Energy 20040.00 kWh/year

Specific production 1183 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 83.83 %
Solar Fraction SF 37.76 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	122.8	65.72	19.91	129.0	124.8	1612	1670	631.8	931.6	1038
February	114.5	62.72	20.30	113.7	109.8	1415	1670	637.0	735.7	1033
March	134.9	72.23	20.65	133.8	129.7	1691	1670	672.6	969.1	997
April	125.1	66.90	20.97	120.0	115.8	1499	1670	634.7	818.8	1035
May	121.2	64.17	21.25	112.5	108.0	1404	1670	613.4	746.1	1057
June	114.0	59.10	21.08	106.3	101.9	1327	1670	632.3	652.1	1038
July	124.9	62.31	21.16	116.2	111.6	1446	1670	638.9	761.7	1031
August	125.6	66.65	21.93	117.4	113.1	1465	1670	639.4	780.5	1031
September	116.4	67.50	22.00	112.5	108.4	1387	1670	620.7	721.5	1049
October	119.7	68.51	21.34	117.6	113.7	1451	1670	608.2	796.3	1062
November	112.2	63.60	20.37	113.3	109.6	1404	1670	613.1	746.2	1057
December	114.4	63.55	19.92	118.4	114.1	1475	1670	625.2	803.8	1045
Year	1445.6	782.96	20.91	1410.7	1360.6	17576	20040	7567.2	9463.5	12473

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_User Energy supplied to the user
- E_Solar Energy from the sun
- E_Grid Energy injected into grid
- EFrGrid Energy from the grid



Project: SFCR100

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.5

VC0, Simulation date:
26/01/24 11:35
with v7.4.5

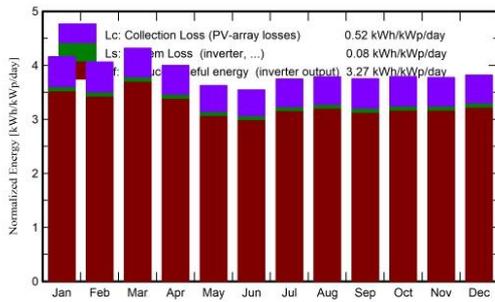
Main results

System Production

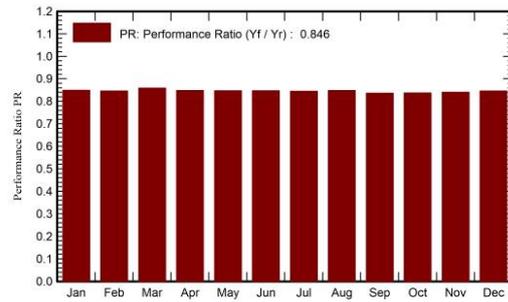
Produced Energy 22904 kWh/year
Used Energy 20040 kWh/year

Specific production 1193 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 84.56 %
Solar Fraction SF 40.19 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	122.8	65.72	19.91	129.0	124.8	2149	1670	675.3	1426	995
February	114.5	62.72	20.30	113.7	109.8	1887	1670	675.4	1170	995
March	134.9	72.23	20.65	133.8	129.7	2254	1670	704.1	1502	966
April	125.1	66.90	20.97	120.0	115.8	1999	1670	678.1	1277	992
May	121.2	64.17	21.25	112.5	108.0	1872	1670	654.1	1175	1016
June	114.0	59.10	21.08	106.3	101.9	1769	1670	678.4	1050	992
July	124.9	62.31	21.16	116.2	111.6	1927	1670	675.7	1208	994
August	125.6	66.65	21.93	117.4	113.1	1954	1670	675.7	1234	994
September	116.4	67.50	22.00	112.5	108.3	1849	1670	668.2	1138	1002
October	119.7	68.51	21.34	117.6	113.7	1934	1670	650.9	1238	1019
November	112.2	63.60	20.37	113.3	109.6	1872	1670	653.1	1175	1017
December	114.4	63.55	19.92	118.4	114.1	1967	1670	664.8	1257	1005
Year	1445.6	782.96	20.91	1410.7	1360.5	23433	20040	8053.5	14851	11986

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



Proyecto: SFA

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.5

VC0, Fecha de simulación:
26/01/24 11:44
con v7.4.5

Resultados principales

Producción del sistema

Energía solar utilizable 20040 kWh/año
Energía solar disponible 29935 kWh/año
Exceso (sin usar) 8708 kWh/año

Proporción rend. PR 55.49 %
Fracción solar (SF) 100.00 %

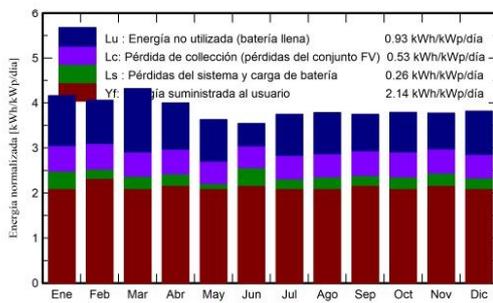
Pérdida de carga

Fracción de tiempo 0.0 %
Energía faltante 0 kWh/año

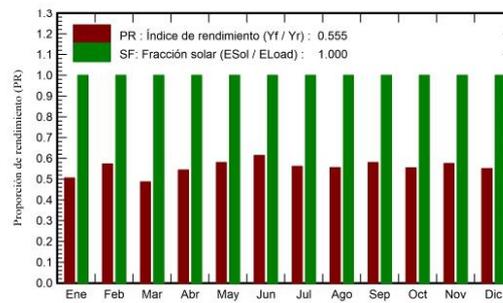
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)

Ciclos SOW 94.8 %
SOW estático 93.3 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac proporción
Enero	122.8	124.6	2754	880	0.000	1670	1670	1.000
Febrero	114.5	109.7	2411	687	0.000	1670	1670	1.000
Marzo	134.9	129.6	2905	1111	0.000	1670	1670	1.000
Abril	125.1	115.7	2558	790	0.000	1670	1670	1.000
Mayo	121.2	107.9	2388	730	0.000	1670	1670	1.000
Junio	114.0	101.8	2244	380	0.000	1670	1670	1.000
Julio	124.9	111.5	2463	722	0.000	1670	1670	1.000
Agosto	125.6	113.0	2498	724	0.000	1670	1670	1.000
Septiembre	116.4	108.2	2354	621	0.000	1670	1670	1.000
Octubre	119.7	113.6	2466	698	0.000	1670	1670	1.000
Noviembre	112.2	109.5	2383	608	0.000	1670	1670	1.000
Diciembre	114.4	113.9	2510	758	0.000	1670	1670	1.000
Año	1445.6	1359.1	29935	8708	0.000	20040	20040	1.000

Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 E_Avail Energía solar disponible
 EUnused Energía no utilizada (batería llena)
 E_Miss Energía faltante
 E_User Energía suministrada al usuario
 E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
 SoIFrac Fracción solar (EUtilizada / ECarga)

ANEXO F. Tablas del análisis económico.

SFCR 30%			
Año	Inversión	Ingreso	Flujo de caja
0	11340	-11340	-
1		704.655	-10635.345
2		704.655	-9930.69
3		704.655	-9226.035
4		704.655	-8521.38
5		704.655	-7816.725
6		704.655	-7112.07
7		704.655	-6407.415
8		704.655	-5702.76
9		704.655	-4998.105
10		704.655	-4293.45
11		704.655	-3588.795
12		704.655	-2884.14
13		704.655	-2179.485
14		704.655	-1474.83
15		704.655	-770.175
16		704.655	-65.52
17		704.655	639.135
18		704.655	1343.79
19		704.655	2048.445
20		704.655	2753.1
VAN			\$71.70
TIR			2.1%
PAYBACK			16.1
SFCR 70%			
Año	Inversión	Ingreso	Flujo de caja
0	20790	-20790	-
1		1581.84	-19208.16
2		1581.84	-17626.32
3		1581.84	-16044.48
4		1581.84	-14462.64
5		1581.84	-12880.8
6		1581.84	-11298.96
7		1581.84	-9717.12
8		1581.84	-8135.28

9	1581.84	-6553.44
10	1581.84	-4971.6
11	1581.84	-3389.76
12	1581.84	-1807.92
13	1581.84	-226.08
14	1581.84	1355.76
15	1581.84	2937.6
16	1581.84	4519.44
17	1581.84	6101.28
18	1581.84	7683.12
19	1581.84	9264.96
20	1581.84	10846.8

VAN \$147.76

TIR 4.3%

PAYBACK 13.1

SFCR 100%

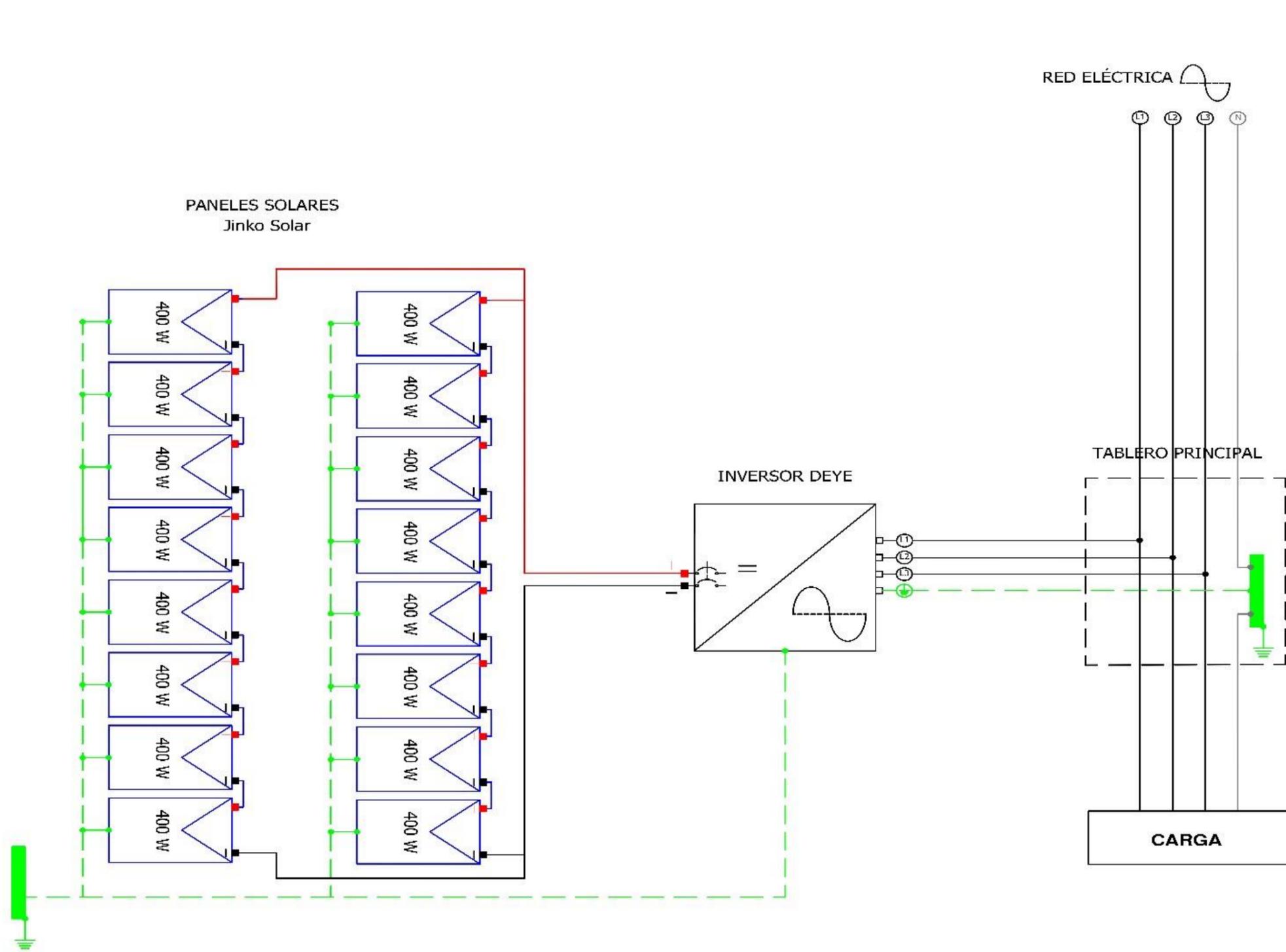
Año	Inversión	Ingreso	Flujo de caja
0	27110	-27110	-
1		2108.97	-25001.03
2		2108.97	-22892.06
3		2108.97	-20783.09
4		2108.97	-18674.12
5		2108.97	-16565.15
6		2108.97	-14456.18
7		2108.97	-12347.21
8		2108.97	-10238.24
9		2108.97	-8129.27
10		2108.97	-6020.3
11		2108.97	-3911.33
12		2108.97	-1802.36
13		2108.97	306.61
14		2108.97	2415.58
15		2108.97	4524.55
16		2108.97	6633.52
17		2108.97	8742.49
18		2108.97	10851.46
19		2108.97	12960.43
20		2108.97	15069.4

VAN \$323.35

TIR		4.5%	
PAYBACK		12.9	
SFA			
Año	Inversión	Ingreso	Flujo de caja
0	60280	-60280	-
1		2694.15	-57585.85
2		2694.15	-54891.7
3		2694.15	-52197.55
4		2694.15	-49503.4
5		2694.15	-46809.25
6		2694.15	-44115.1
7		2694.15	-41420.95
8		2694.15	-38726.8
9		2694.15	-36032.65
10		2694.15	-33338.5
11		2694.15	-30644.35
12		2694.15	-27950.2
13		2694.15	-25256.05
14		2694.15	-22561.9
15		2694.15	-19867.75
16		2694.15	-17173.6
17		2694.15	-14479.45
18		2694.15	-11785.3
19		2694.15	-9091.15
20		2694.15	-6397
21		2694.15	-3702.85
22		2694.15	-1008.7
23		2694.15	1685.45
24		2694.15	4379.6
25		2694.15	7073.75
VAN		\$546.32	
TIR		0.80%	
PAYBACK		22.4	

ANEXO G. Diagramas unifilares.

SFCR 30%



LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA

- PANEL SOLAR DE 400W
- INVERSOR DE CORRIENTE DC/AC
- ACOMETIDA
- TIERRA - TIERRA

MATERIALES Y EQUIPO

PANEL SOLAR DE 400 W
INVERSOR DE CORRIENTE DEYE

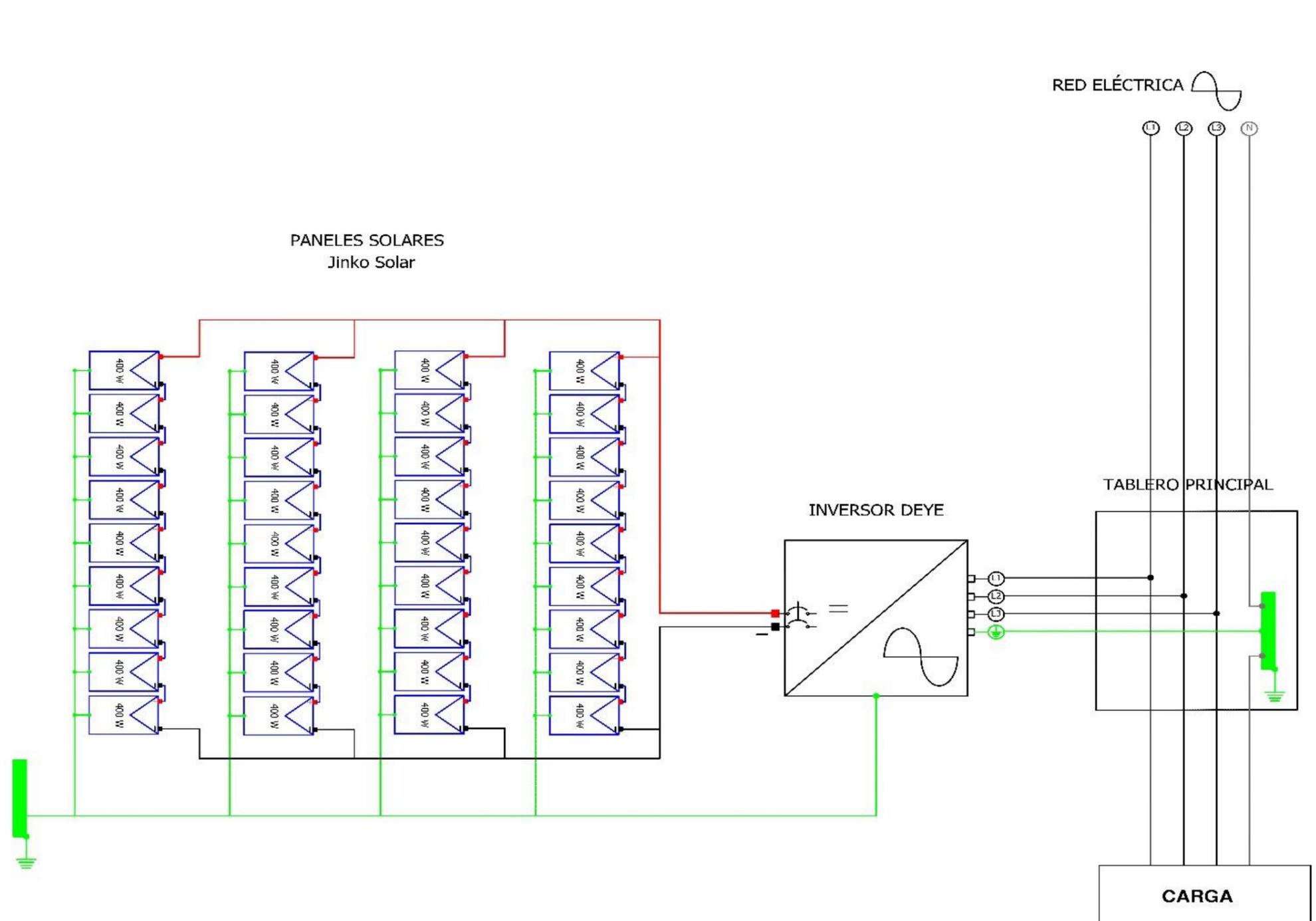
PROYECTO: SFCR30

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

TEVA: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA
RENOVABLE - MANIFIESTO PARA EL PLAN DE LA PAZ - 2023
INSTRUMENTADO POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

<small>NOMBRE: Dorothé Mollá Medina Ybraz</small>	<small>LÁMINA: 1</small>
<small>UBICACIÓN: Av. 17 de Julio 9-21, Barras</small>	<small>FECHA: ENERO 2024</small>

SFCR 70%



SIMBOLOGIA

	PANEL SOLAR DE 400W
	INVERSOR D. CORRIENTE L. DC/AC
	ACOMETIDA
	TERRA FISICA

MATERIALES Y EQUIPO

PANEL SOLAR DE 400 W
INVERSOR DE CORRIENTE DEYE

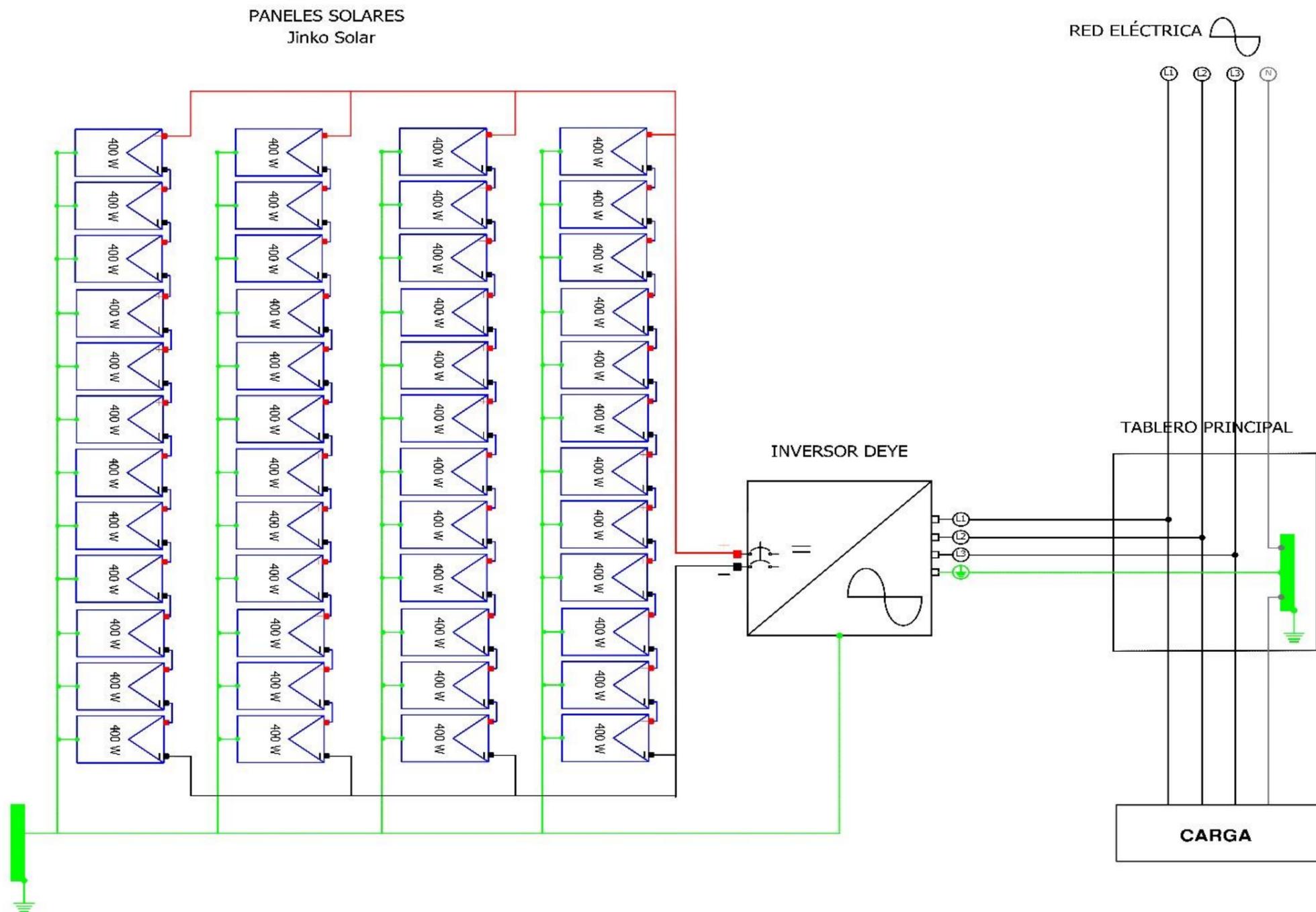
PROYECTO: SFCR70

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

TEMA: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA
DESARROLLO DE SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA SOSTENIBILIDAD
SOCIAL Y AMBIENTAL EN EL CONTEXTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DEL NORTE

NOMBRE: Doroteo Mollate Medina Yáñez	LÁMINA: 2
UBICACIÓN: Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra	FECHA: ENERO 2024

SFCR 100%



LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA

- PANEL SOLAR DE 400W
- INVERSOR DE CORRIENTE DE DEYE
- ACORPIETA
- TIERRA FISICA

MATERIALES Y EQUIPO

PANEL SOLAR DE 400 W
INVERSOR DE CORRIENTE DE DEYE

PROYECTO: SFCR100

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

TEMAS DE LA CURRÍCULO DE INGENIERÍA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BENIGNO E. USABO TÉCNICO EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y EN SISTEMAS DE
ELECTRIFICACIÓN EN EL SECTOR PÚBLICO Y PRIVADO DE LA UNIÓN DE REPÚBLICAS DEL NORTE

NOMBRE: Doroteo Nolasco Medina Yáñez	LÁMINA: 3
UBICACIÓN: Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra	FECHA: ENERO 2024

