



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO Y ESTRATEGIAS DE MEJORA
PARA UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 90 KW

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: Miguel Angel Ramirez Pazmiño
Steven Jordano Zurita Anzules

TUTOR: Ing. Julio Manuel Silva Becheran

Guayaquil – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Miguel Angel Ramirez Pazmiño con documento de identificación N° 0951887041 y Steven Jordano Zurita Anzules con documento de identificación N° 0930095161 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2024

Atentamente;



Steven Jordano Zurita Anzules

0930095161



Miguel Angel Ramirez Pazmiño

0951887041

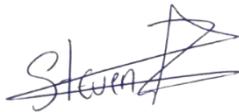
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Miguel Angel Ramirez Pazmiño con número de identificación N° 0951887041 y Steven Jordano Zurita Anzules con número de identificación N° 0930095161, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del proyecto técnico: **“ANÁLISIS DE RENDIMIENTO Y ESTRATEGIAS DE MEJORA PARA UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 90 KW”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO EN ELECTRICIDAD, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2024

Atentamente;



Steven Jordano Zurita Anzules

0930095161



Miguel Angel Ramirez Pazmiño

0951887041

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Manuel Silva Becheran con documento de identificación N° 0959623422 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE RENDIMIENTO Y ESTRATEGIAS DE MEJORA PARA UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 90 KW”**, realizado por Miguel Angel Ramirez Pazmiño con documento de identificación N° 0951887041 y por Steven Jordano Zurita Anzules con documento de identificación N° 0930095161, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2024

Atentamente;



Julio Manuel Silva Becheran

0959623422

ÍNDICE

UNIVERSIDAD	1
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	1
1.1. TÍTULO	1
1.2. INTRODUCCIÓN	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA	3
1.7. OBJETIVOS	4
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.8. METODOLOGÍA Y MEDIOS	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.2 ENERGÍA RENOVABLE	6
2.3 ENERGÍA FOTOVOLTAICA	7
2.4 RADIACIÓN SOLAR.....	8
2.5 RADIACIÓN DIRECTA	8
2.6 RADIACIÓN DIFUSA.....	9
2.7 GEOMETRÍA SOLAR	9
2.7.1. La rotación terrestre.....	10
2.7.2. Longitud y latitud	10

2.8	RECORRIDO SOLAR	11
2.9	HORAS SOL PICO	12
2.10	PANEL SOLAR.....	13
2.11	EFFECTO FOTOVOLTAICO	14
2.12	CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	15
2.13	TIPO DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	15
2.14	CONEXIONADO DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	16
2.15	EFFECTO SOMBRA.....	19
2.16	CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	19
2.16.1.	Efecto temperatura.....	19
2.16.2.	Efecto radiación.....	20
2.17	AJUSTE DE ÁNGULO.....	21
2.18	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS.....	22
2.19	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED.....	22
2.19.1.	Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red en el suelo.....	23
2.19.2.	Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red sobre la industria.....	24
2.20	INVERSOR FOTOVOLTAICO	24
2.20.1.	Onda cuadrada	26
2.20.2.	Onda modificada.....	26
2.20.3.	Onda senoidal	26
2.21	ELEMENTOS DE PROTECCIONES.....	27
2.22	ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	27
2.22.1.	Sistema fijo	28
2.22.2.	Seguidores solares.....	28
2.23	CABLES	29
2.24	NORMATIVA ECUATORIANA.....	29
2.25	SOFTWARE RETSCREEN	30
CAPÍTULO III		31
3.1	DESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO	31
3.1.1.	Selección del sitio.....	31
3.1.2.	Diseño del sistema.....	31
3.1.3.	Implementación del monitoreo.....	31
3.2	SELECCIÓN DE SITIO	32
3.3	CONDICIONES DEL SITIO.....	32

3.4	UBICACIÓN	35
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA	36
3.6	INCLINACIÓN DE LOS PANELES	36
3.7	DIMENSIONAMIENTO DE PANELES	37
3.7.1.	Tensión y corriente en el punto máximo de potencia.	38
3.8	DIMENSIONAMIENTO DE INVERSOR	42
3.8.1.	Potencia pico del sistema fotovoltaico:	42
3.8.2.	Factor de sobredimensionamiento:	42
3.8.3.	Normativas y regulaciones locales:	42
3.8.4.	Voltaje y corriente de operación del inversor:	44
3.8.5.	Corrección de la tensión y la corriente debido a las temperaturas.	44
3.8.6.	Cálculo para la temperatura más alta (32°C).	45
3.8.7.	Cálculo para la tensión de circuito abierto a la salida del panel con la temperatura del lugar:.....	46
3.8.8.	Cálculo para la corriente de corto circuito a la salida del panel con la temperatura del lugar.	46
3.8.9.	Cálculo para la temperatura más baja (22°C).	47
3.8.10.	Cálculo para la tensión de circuito abierto a la salida del panel con la temperatura del lugar.	48
3.8.11.	Cálculo para la corriente de corto circuito a la salida del panel con la temperatura del lugar.	48
3.8.12.	Corrección de la tensión en el punto de máxima potencia.	49
3.9	DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO.....	53
3.9.1.	Tramo 1.....	54
3.9.2.	Tramo 2.....	55
3.10	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	58
3.11	IMPLEMENTACIÓN DEL MONITOREO	59
3.12	GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.....	59
3.13	DISEÑO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO EN AUTOCAD.....	62
3.14	DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR.....	63
3.15	SIMULACIONES MEDIANTE RETScreen	64
3.16	PLAN DE MANTENIMIENTO	69
	CAPÍTULO IV.....	70
4.1	ANÁLISIS Y RESULTADOS	70
4.2	MONITOREO FÍSICO DEL SISTEMA	70

4.3	DATOS HISTÓRICOS Y MEDICIONES EN TIEMPO REAL	71
4.4	ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA	74
4.4.1.	Mejora por convección natural del aire.	75
4.5	COMPARACIÓN DE MODELOS Y SIMULACIONES	76
	CONCLUSIONES	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Energía renovable.....	7
Figura 2.	Energía fotovoltaica.....	8
Figura 3.	Radiación directa y difusa.....	9
Figura 4.	Rotación terrestre.....	10
Figura 5.	Longitud y latitud.....	11
Figura 6.	Valores referenciales de aire-masa en función de la altura solar.....	12
Figura 7.	Irradiación a lo largo de un día.....	12
Figura 8.	Partes del Panel Fotovoltaico.....	13
Figura 9.	Efecto Fotovoltaico.....	14
Figura 10.	Estructura de la célula fotovoltaica.....	15
Figura 11.	Tipos de paneles solares.....	16
Figura 12.	Paneles solares en serie y paralelo.....	17
Figura 13.	Paneles solares en paralelo.....	18
Figura 14.	Paneles solares en serie.....	18
Figura 15.	Efecto temperatura.....	20
Figura 16.	Efecto radiación.....	20
Figura 17.	Ajuste óptimo del Angulo.....	21
Figura 18.	Esquema de una planta fotovoltaica conectada a la red.....	23
Figura 19.	Inversor Fotovoltaicos Trifásico.....	25
Figura 20.	Onda senoidal, modificada y cuadrada.....	26
Figura 21.	seguidores solares.....	28
Figura 22.	Esquema de conexión a la red.....	29

Figura 23. RETScreen.....	30
Figura 24. Radiación solar diaria horizontal.....	33
Figura 25. Insolación directa anual promedio.....	34
Figura 26. Insolación difusa anual promedio.....	34
Figura 27. Ubicación planta fotovoltaica.....	35
Figura 28. Imagen del sitio.....	35
Figura 29. Efecto de la radiación en el panel.....	40
Figura 30. Efecto de la temperatura.....	41
Figura 31. Distribución galpones.....	42
Figura 32. Curva de eficiencia del inversor.	51
Figura 33. Diagrama unifilar inversor.	52
Figura 34. Gráfico de generación en un día de diciembre.	59
Figura 35. Gráfico de generación en una semana de diciembre.	60
Figura 36. Gráfico de generación mensual de diciembre.....	60
Figura 37. Gráfico de generación anual del año 2023.....	61
Figura 38. Gráfico de generación total de la plata fotovoltaica.	61
Figura 39. Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica.	62
Figura 40. Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica.....	63
Figura 41. Información de la instalación.	64
Figura 42. Condiciones del sitio.	65
Figura 43. Datos de las condiciones del sitio.....	65
Figura 44. Datos del panel e inversor.....	66
Figura 45. Datos de generación caso actual.....	67
Figura 46. Datos de generación caso hipotético.....	68
Figura 47. Generación anual del 2022.	71
Figura 48. generación anual del 2023.....	72
Figura 49. Generación actual del 2024.....	72
Figura 50. Mediciones actuales de potencia inyectada al inversor.....	73
Figura 51. Mediciones actuales de corriente y voltaje de entrada.	73
Figura 52. Mediciones actuales de salida AC.	74
Figura 53. voltaje de salida AC.....	74
Figura 54. Convección natural del aire.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. partes principales de sistema fotovoltaico conectado a la red.....	23
Tabla 2. Tabla climática – datos históricos del tiempo Guayaquil.....	32
Tabla 3. Tabla de valores de radiación solar.....	33
Tabla 4. Parámetros eléctricos del panel solar.....	40
Tabla 5. Parámetros mecánicos.....	41
Tabla 6. Rango de tensión y corriente para el inversor.....	50
Tabla 7. Valores entradas DC inversor.....	52
Tabla 8. Valores salida AC inversor.....	53
Tabla 9. Rendimiento del inversor.....	53
Tabla 10. conductores seleccionados para el sistema.....	56
Tabla 11. Coeficiente de conductividad en función a la temperatura.....	57
Tabla 12. Tabla de conductores.....	57
Tabla 13. Plan de mantenimiento.....	69
Tabla 14. Revisión física y medición de todo el sistema fotovoltaico.....	70
Tabla 15. Comparación de resultados.....	76

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis y mejoramiento de un sistema fotovoltaico de 90 kW ubicado en el kilómetro 15.5 de la vía Daule, tomando en cuenta la importancia de las fuentes de energía renovables y los desafíos del sistema solar debido al cambio climático. El desempeño de la planta se refleja en la producción eléctrica promedio diario, que no alcanza la capacidad estimada. Además, se destaca la necesidad de herramientas que faciliten la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

Los objetivos que se han establecido contribuyen al desarrollo de la evaluación del desempeño de la planta fotovoltaica, la identificación de factores que influyen en la efectividad y recomendaciones para planes de mejora. El proceso implica revisar documentos, realizar inspecciones en el sitio, examinar datos históricos, evaluar daños, simular el desempeño y crear indicadores clave. Para finalizar, este estudio proporciona recomendaciones específicas para mejorar la producción de energía solar al evaluar sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

The objective of this study is to carry out an analysis and improvement of a 90 kW photovoltaic system located at kilometer 15.5 of Daule road, taking into account the importance of renewable energy sources and the challenges of the solar system due to climate change. The performance of the plant is reflected in the average daily electrical production, which does not reach the estimated capacity. Furthermore, the need for tools that facilitate the transition towards more sustainable energy sources is highlighted.

The objectives that have been established contribute to the development of the evaluation of the performance of the photovoltaic plant, the identification of factors that influence the effectiveness and recommendations for improvement plans. The process involves reviewing documents, conducting site inspections, examining historical data, assessing damage, simulating performance, and creating key indicators. Finally, this study provides specific recommendations to improve solar energy production when evaluating photovoltaic systems.

CAPÍTULO I

1.1. TÍTULO

Análisis de rendimiento y estrategias de mejora para una planta fotovoltaica de 90 kW

1.2. INTRODUCCIÓN

La energía renovable puede abordar una gran diversidad de temas medioambientales como lluvia ácida, gases de efecto invernadero, residuos radioactivos y contaminación del aire. En 2003 se consumió en el planeta más de 10.5 mil millones de toneladas de petróleo equivalentes (Mtep). La energía consumida se reparte en: 2.400 mil millones de toneladas de carbón; 3.600 mil millones de toneladas de petróleo; 2.300 mil millones de toneladas de gas; 610 mil millones de toneladas de energía nuclear; 590 mil millones de toneladas de energía hidráulica y aún alrededor de 950 mil millones de toneladas de biomasa, principalmente madera. De todas, las geotérmicas, solares y eólicas producen escasamente algún tipo de energía (José Santamarta, 2004).

Hoy en día, la principal tarea a nivel mundial es la de transitar a una energía sostenible y que respeta el medio ambiente. En esas condiciones, los sistemas solares fotovoltaicos asumen un papel crucial suministrando alternativas renovables para cubrir la creciente demanda de electricidad. Sin embargo, la eficacia de los sistemas solares también puede verse mermada por obstáculos intrínsecos, como las variaciones en la generación de energía solar que cambian las condiciones climáticas (Garvía et al., 2018).

Este estudio se centra en un panel solar específico de 90 kW ubicado en el km 15,5 de la vía a Daule que estaba operando por debajo de sus especificaciones de ingeniería y diseño. Este mal desempeño no sólo afecta la capacidad de la instalación para cumplir con los objetivos de generación de energía, sino que también tiene implicaciones financieras que requieren atención inmediata. El análisis de una planta de energía solar de este tipo es crucial no sólo al nivel local. De hecho, contribuye significativamente hacia la transición global hacia una energía limpia y sostenible. La importancia estratégica de las energías renovables dada la abundancia y menores impactos ambientales, junto con la necesidad de abordar retos particulares que limitan la eficiencia de estas instalaciones son cruciales para asegurar el éxito de esta transición. Por consiguiente, el enfoque permitido por esta

investigación es de identificar los factores que particulares que han impactado la capacidad instalada de rendimiento en la planta, desarrollar las estrategias efectivas para mejorar la eficiencia de la planta. Para así permitirle finalmente a la planta en cuestión, que alcance su capacidad instalada nominal. Librándonos para ello, de las problemáticas dificultades para obtener los datos de medición necesarios para lograr este objetivo, revisión de los planos de mantenimiento de la planta actual, hasta la simulación de la magnitud y trazas de la radiación solar utilizando el software PVsyst.

La combinación de herramientas técnicas como laboratorios solares al aire libre y técnicas analíticas avanzadas nos permitirá entender las cuestiones puntuales que enfrenta una instalación y hacer recomendaciones detalladas para optimizar su rendimiento. Esta investigación no sólo beneficiará a estas instalaciones en particular, ya que el conocimiento que generaremos sobre estrategias de mejoramiento de plantas de energía solar será general. Esto contribuirá a hacer más eficientes y económicamente viables las plantas de generación de energía solar.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las plantas fotovoltaicas enfrentan problemas significativos cuando se trata de variabilidad en la producción de energía solar. Se presentan fluctuaciones en la producción de electricidad debido a las condiciones meteorológicas y la disponibilidad del sol hacen que sea difícil garantizar una fuente de energía estable.

La planta fotovoltaica de 90 kW ubicada en el Km 15.5 de vía a Daule está sufriendo problemas de rendimiento. La generación eléctrica promedio diaria actual es de 15.32 kW muy por debajo de su capacidad nominal de 89 kW. Se evidencia que el registro de generación anual de la misma es de 64.38 MWh en 2022 y disminuyó a 58.23 MWh en 2023 bajando la capacidad de generación de energía. Esto nos demostraría un problema continuo que está afectando el desempeño general de la planta fotovoltaica.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El estudio hace énfasis en una planta de generación solar de 90 kW ubicado en el km 15.5 vía a Daule que ha experimentado diversos problemas de rendimiento y sus objetivos económicos que han sido afectados. La planta ha operado a solo 17,21% de su capacidad nominal para generar una potencia promedio diaria de 15.32 kW, hay una disminución significativa en comparación con registros anteriores. El rendimiento se ve más afectado en el 2023 con 58.23 MWh y no superando al año 2022 con 64.38 MWh, haciendo este un serio desafío que requiere de una evaluación exhaustiva. El planteamiento resalta la importancia estratégica de analizar sistemas fotovoltaicos y realizar una contribución importante al tránsito global con energías más sostenibles.

El objetivo no es sólo es identificar los factores que han afectado el desempeño del funcionamiento de la planta fotovoltaica, sino desarrollar estrategias específicas para mejorar su eficiencia.

1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este estudio se enfoca en el análisis del rendimiento de la planta fotovoltaica de 90kW que está ubicada en el Km 15.5 de la vía a Daule, para determinar los problemas de rendimiento específicos de la planta fotovoltaica. A nivel conceptual, se tomará en cuenta únicamente los aspectos técnicos y operativos de la planta fotovoltaica para realizar un análisis detallado del rendimiento. Se debe de considerar que en este estudio no se abordaran las cuestiones financieras, regulatorias y otros que contribuyen a la generación distribuida de energía solar.

1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA

Autores Estudiantiles: La participación de estudiantes como autores de propuestas presenta no solo una experiencia académica única, sino que experiencia en el campo de la energía solar. Aplicar conceptos teóricos a situaciones prácticas mejorará nuestra capacidad técnica. Más aún, nos brindará una comprensión práctica y profunda acerca de los desafíos del mundo real como preparación para la vida laboral.

Dueños de la planta solar: La ejecución de las estrategias propuestas no sólo aumentará la capacidad de generación de energía, pero tendrá un impacto mensurable sobre la rentabilidad a largo plazo de la inversión de la compañía correspondiente. Además de la iniciativa, el impacto en la conversión de la compañía en un participante legítimo en la transición hacia la energía sostenible será más rentable. Al resolver ingeniosamente los problemas específicos a las fábricas, la compañía no solo aumentará su desempeño financiero, esto la convertirá en una figura clave en la carga hacia un desarrollo más sostenible, fortaleciendo sus credenciales tanto dentro como fuera del sector empresarial.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento de la planta fotovoltaica ubicada en el kilómetro 15.5 de la vía a Daule en las condiciones actuales de operación, Utilizando herramientas como RETScreen e INGECON SUN Monitor, para buscar estrategias permitan mejorar la eficiencia, con la responsabilidad de presentar propuestas concretas para optimizar la generación de energía en la instalación.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis detallado, siguiendo las normativas IEC 61724 e IEC 62446, para identificar y comprender los factores que afectan el rendimiento de la planta fotovoltaica.
- Analizar mediante el software RETScreen la radiación solar en una zona específica para determinar si es óptima la instalación y la capacidad de generación con el sistema propuesto.
- Implementar INGECON SUN Monitor para realizar un monitoreo detallado del comportamiento del sistema fotovoltaico, abarcando tanto el rendimiento pasado como el presente.
- Desarrollar estrategias específicas para mejorar la eficiencia de la planta fotovoltaica, proponer medidas de mantenimiento preventivo.

1.8. METODOLOGÍA Y MEDIOS

En este estudio se empleará el método científico del Análisis de datos, se analizarán los datos recopilados para identificar patrones, correlaciones y causas potenciales del bajo rendimiento de la planta. A continuación, se describirá las etapas de la metodología propuesta.

En la primera etapa se realizará una revisión exhaustiva de toda la documentación técnica y de diseño, que irá desde manuales operativos hasta especificaciones técnicas y registros de mantenimiento. A ello seguirá una recolección instantánea de datos operativos, acompañada con una visita al sitio que permitirá también una evaluación visual de los componentes físicos.

Se hará un análisis general del sitio en la segunda etapa para determinar si el lugar de la instalación ha sido óptimo por temas de sombreados, espacios y accesibilidad.

En la tercera etapa se hará un análisis técnico de cada uno de los componentes como el dimensionamiento de los paneles, inversores, cableado y protecciones para determinar una selección correcta de los componentes.

La cuarta etapa consta de realizar un análisis detallado de los datos históricos de generación, buscando patrones de rendimientos en diferentes condiciones. Este análisis abarcará las inspecciones de alta resolución para revelar daños como desgaste en los equipos.

Como última y quinta etapa se empleará el software RETScreen que permitirá evaluar el impacto potencial de estas estrategias, tomando en cuenta la irradiación solar de la planta fotovoltaica. Esto finalmente llevará a establecer indicadores claves de desempeño que servirán para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas.

CAPÍTULO II

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2 ENERGÍA RENOVABLE

En física, la energía se define como la capacidad de un objeto de realizar trabajo o desprender calor, expresada a través del cambio. Ejemplos obvios de este comportamiento incluyen la fuerza aplicada al pedalear una bicicleta, el flujo constante de agua en un río o el calor liberado al quemar carbón.

A lo largo de la historia, la gente ha utilizado todo tipo de fuentes de energía para trabajar o para mantenerse caliente. Primero, las personas o los animales usan energía. Entonces el viento y el agua se hicieron más fuertes. Posteriormente, además de la energía nuclear, también incluye el desarrollo de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo. Aunque en el futuro surgirán nuevas fuentes de energía, el suministro de energía humana siempre estará determinado por la importancia que tenga el agua potable en comparación con ella. Entre muchas fuentes de energía, la energía renovable destaca por sus características estables, inagotables e inagotables.

Cabe mencionar que la sostenibilidad de recursos como la biomasa depende de respetar los ciclos naturales. El sol juega un papel importante en todas las renovables energías: hace que el mundo sea diferente, crea viento (energía eólica) e influye en el ciclo del agua, hace la fotosíntesis de las plantas (biomasa) y la utiliza directamente de la planta. Energía térmica y células fotovoltaicas. Las fuentes de energía renovable incluyen energía eólica, energía solar y fotovoltaica, energía de biomasa y energía basadas en biomasa, hidroelectricidad (con el dominio del micro -tisular), la geografía energética y la energía oceánica de la energía energética.

También hay una sección sobre hidrógeno y pilas de combustible; Sostenemos que el hidrógeno es el combustible limpio del futuro y, en última instancia, se produce a partir de fuentes de energía renovables. La parte final de la serie está diseñada para ayudar a los niños a comprender todo sobre la energía limpia (Merino, 2009).



Figura 1. Energía renovable.

Fuente: AdminCDE (2020).

2.3 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El fenómeno de generar electricidad directamente a partir de la luz se llama efecto fotovoltaico y fue descubierto por el médico Antoine Becquerel en 1839. Este fenómeno implica el uso de materiales capitalizados. La naturaleza absorbe la radiación solar y la convierte en electricidad; Esta es una tarea realizada por células fotovoltaicas. Está bien (Puig et al., 2007).

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía solar en electricidad sin necesidad de intermediarios. El proceso se realiza mediante un generador fotovoltaico con la conexión de módulos fotovoltaicos, que reciben el nombre de células solares o células fotovoltaicas, y consta de pasos básicos. El conjunto de módulos fotovoltaicos crea una superficie plana que debe exponerse a la luz solar para generar electricidad, como se muestra en la Figura 2. Es importante convertir la energía solar en electricidad inclinándola y dirigiéndola hacia la superficie. Para lograr este objetivo, además de comprender los conceptos básicos y conceptos relacionados con el movimiento de la tierra alrededor del sol, es necesario determinar la ubicación de la superficie terrestre y medir la energía solar recibida en un lugar particular (Adler et al., 2013).



Figura 2. Energía fotovoltaica.

Fuente: Energía Fotovoltaica (2016).

2.4 RADIACIÓN SOLAR

La radiación total o universal es la energía solar que llega a la superficie terrestre y es la suma de la radiación directa y difusa. La radiación solar diaria oscila entre 06:00 y las 18:00 horas, y los valores diarios oscilan entre 500 y 10.000 W*h/m². La determinación de estas propiedades es necesaria para predecir y medir la eficiencia de la conversión de energía, ya sea fototérmica o fotovoltaica. La radiación solar global se compone principalmente de radiación directa y radiación dispersa (David et al., 2010).

2.5 RADIACIÓN DIRECTA

La radiación directa se refiere a la porción de la radiación solar que alcanza la Tierra sin sufrir dispersión atmosférica, siendo esta parte la que proviene directamente del Sol. En términos simples, la radiación extraterrestre se considera como radiación directa, ya que llega a la superficie terrestre sin desviarse debido a la atmósfera. Este fenómeno se distingue por su naturaleza directa y no dispersa, tal como se muestra en la figura 3 (Adalberto Tejeda Martínez, 2015).

2.6 RADIACIÓN DIFUSA

La radiación difusa es aquella que alcanza la Tierra después de haber sido dispersada por la atmósfera. Esta categoría de radiación abarca la recibida a través de las nubes y la proveniente del cielo, como se visualiza en la figura 3. En ausencia de radiación difusa, el cielo durante el día se presentaría negro, una condición análoga a la que se observa en la Luna, donde la falta de dispersión atmosférica no genera la luminosidad difusa característica de la Tierra (Adalberto Tejeda Martínez, 2015).

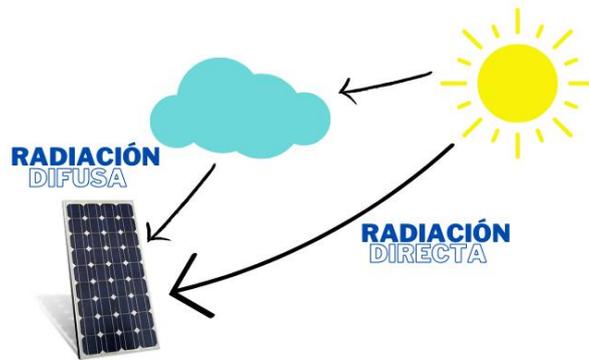


Figura 3. Radiación directa y difusa.
Fuente: engi (s.f.).

2.7 GEOMETRÍA SOLAR

Las formas del Sol y la Tierra juegan un papel importante a la hora de determinar la posición del Sol en relación con la Tierra. En el contexto del uso de la energía solar, es importante comprender la posición aparente del sol y el ángulo entre el sol y la tierra. Esta información ganará importancia en la siguiente sección, donde se examinan los conceptos básicos de astronomía. Por esta razón, considerando su importancia en la geometría solar, se enfatizan términos y explicaciones relacionados con el ángulo solar y sus interacciones (Axaopoulos, n.d.).

2.7.1. La rotación terrestre

La Tierra gira alrededor de su eje, llamado eje polar P-P. Los puntos donde este eje intercepta a la Tierra son el Polo Norte (Np) y el Polo Sur (Sp). El ecuador es un gran círculo perpendicular al eje que divide la Tierra en los hemisferios norte y sur, formando su plano el plano ecuatorial. Además, el horizonte (otro gran círculo de ESWN, perpendicular al eje zz) también recibió este nombre. Debido a que la Tierra gira sobre su eje todos los días, la posición del Sol en el cielo cambia de un día a otro y de una estación a otra. Además, su órbita elíptica alrededor del Sol cambia cada año, con el Sol ubicado en un punto de la elipse (Axaopoulos, n.d.).

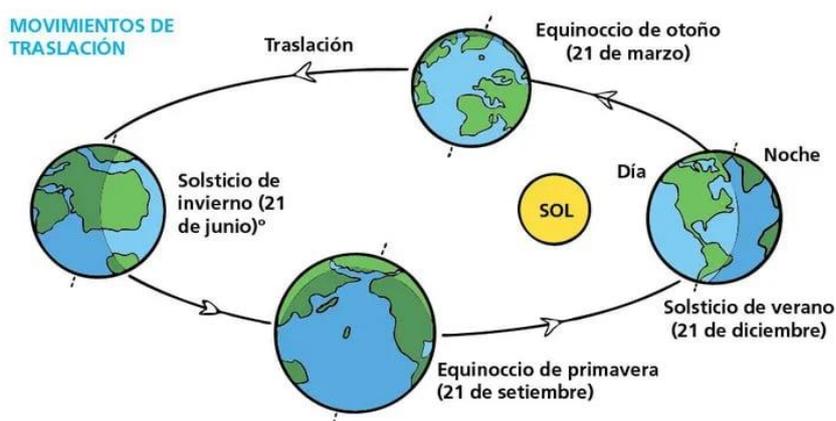


Figura 4. Rotación terrestre.

Fuente: abc (2019).

2.7.2. Longitud y latitud

El sistema de coordenadas geográficas le permite determinar la ubicación de un lugar en la Tierra utilizando dos ángulos: longitud (L) y latitud (ϕ). El plano utilizado en este sistema es el plano ecuatorial, perpendicular al eje de rotación de la Tierra y formado al cruzar la superficie terrestre en el ecuador. La latitud está determinada por la intersección de círculos paralelos a la superficie de la Tierra en el ecuador. Es el ángulo que forman el

plano ecuatorial y la línea que une el centro de la Tierra con un punto (T) de su superficie. Por definición, la latitud en el hemisferio norte es positiva y la latitud en el hemisferio sur es negativa. Para calcular la longitud, necesitas un plano perpendicular al ecuador y coincidente con el eje de rotación. Estos planos forman círculos que se cruzan llamados meridianos, que son dos círculos que se extienden de un polo al otro. La longitud 0 está marcada por el meridiano sobre Greenwich, Inglaterra. Se determina la longitud de cualquier lugar.

Igual al ángulo entre el primer meridiano y el meridiano que pasa por este lugar; Es positivo en lugares de Occidente y negativo en lugares de Oriente. A veces, el término oeste/este se utiliza después del valor de longitud (Axaopoulos, n.d.).

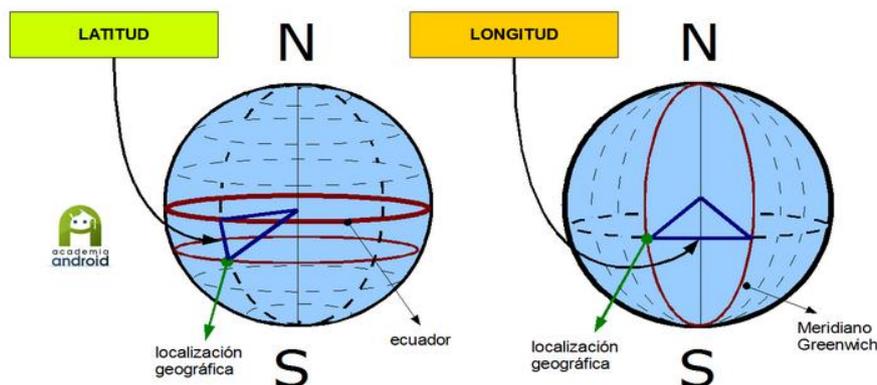


Figura 5. Longitud y latitud.
Fuente: Geolocalización (s.f.).

2.8 RECORRIDO SOLAR

Está claro que a medida que disminuye la distancia entre la Tierra y el Sol, aumenta la radiación solar. Esto sucede cuando el Sol está cerca de la Tierra, es decir, en un ángulo $\alpha = 90^\circ$. Es importante comprender el concepto de calidad del aire (MA), que es una

medida de la distancia que recorre la radiación solar a través de la atmósfera (Carlos & Castro, 2019).

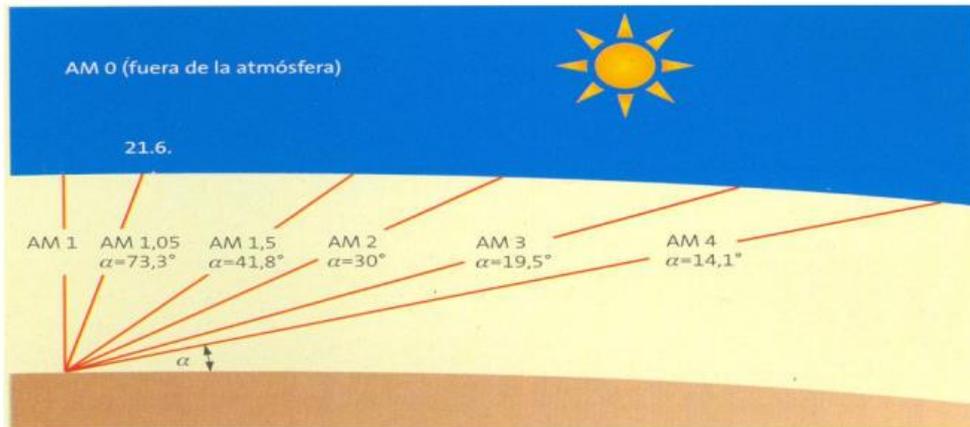


Figura 6. Valores referenciales de aire-masa en función de la altura solar
Fuente: Valdiviezo (2014).

2.9 HORAS SOL PICO

Las horas de irradiación diaria, también denominadas horas de luz, se refieren a las horas de máxima radiación solar, y su duración puede oscilar entre 3 y 7 horas al día, dependiendo de la ubicación y el mes específico de la instalación. La irradiancia hipotética estimada durante estas horas de luz es de alrededor de 1000 W/m². La Figura 7 ilustra la variación de la irradiancia a lo largo del día, mostrando la evolución completa y resaltando un rectángulo que representa las horas utilizadas para el cálculo, es decir, las horas de pico de radiación solar (Carlos & Castro, 2019).

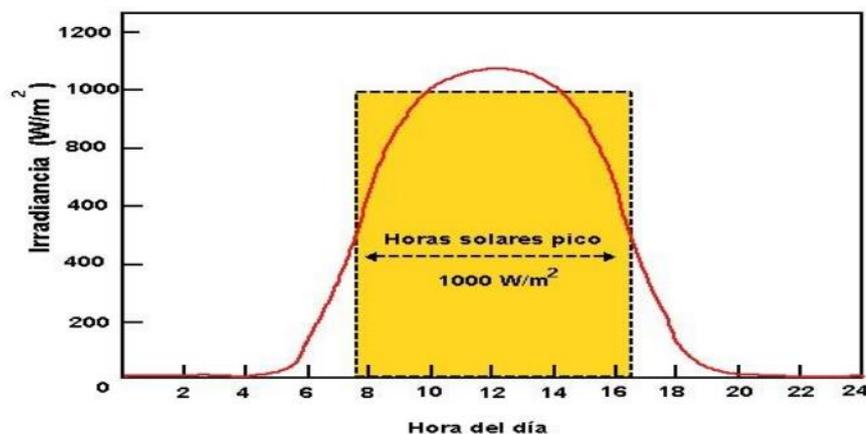


Figura 7. Irradiación a lo largo de un día.
Fuente: pareja (2010)

2.10 PANEL SOLAR

Los paneles fotovoltaicos (PV) se instalan en una matriz rectangular, donde una de las células fotovoltaicas está alojada en un marco de vidrio y aluminio anodizado. La función principal de este panel es dar soporte total a las células fotovoltaicas y protegerlas contra condiciones climáticas desfavorables. Aunque los paneles solares pueden durar hasta 30 años, las garantías del fabricante suelen estar limitadas a 20 años. El mantenimiento periódico incluye la limpieza de los cristales para evitar la obstrucción de las células fotovoltaicas y garantizar la eficiencia de la radiación solar. Los tipos más comunes de paneles fotovoltaicos incluyen la construcción "sándwich", que proporciona protección en ambos lados de las células fotovoltaicas. Se utilizan marcos de aluminio anodizado para evitar la oxidación y proporcionar resistencia para mantener unidos los paneles. La superficie colectora del panel emplea vidrio templado o plástico de alto impacto con alta transmisividad para la luz incidente. Los bordes del vidrio se protegen con un material esponjoso que asegura un cierre hermético. Una junta selladora, ubicada a lo largo del perímetro, previene la entrada de agua en el panel, evitando la oxidación de las conexiones internas. Además, las células fotovoltaicas se recubren con un material encapsulante transparente, como acetato de etil-vinilo.

La rigidez del panel se mejora mediante el uso de un soporte rígido, ya sea de plástico o metal. En la cara posterior del panel, se encuentra una superficie de soporte, que puede ser metálica o de plástico, contribuyendo a la eficiente disipación del calor hacia el exterior del panel (Pilco et al., 2008).

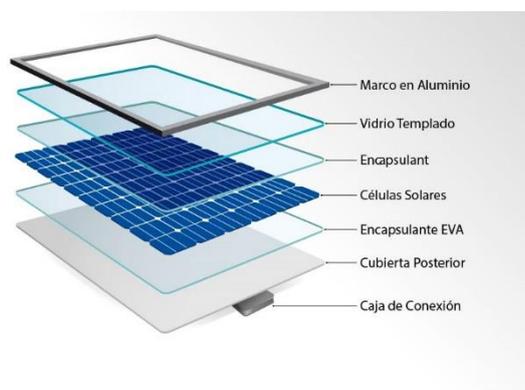


Figura 8. Partes del Panel Fotovoltaico.

Fuente: Ineldec (2021).

2.11 EFECTO FOTOVOLTAICO

El efecto fotovoltaico se produce cuando la luz solar que incide sobre un material ya sea silicio u otro semiconductor, absorbe fotones procedentes específicamente del Sol. La absorción de fotones provoca la liberación de electrones en la célula. Este proceso produce corriente eléctrica porque los dos lados de la batería están conectados por cables (Ing. Carlos Orbegozo, 2010).

Las células solares, elaboradas con semiconductores como el silicio, utilizan el efecto fotovoltaico para transformar directamente la energía solar en electricidad, tal como se representa en la figura 9.

En el semiconductor, como el silicio, la absorción de energía, especialmente de la luz solar, libera electrones, originando electrones libres y huecos con carga positiva en la estructura cristalina.

La separación de corriente y huecos se logra mediante una combinación de semiconductores tipo P y tipo N, creando así una unión PN y generando así una corriente eléctrica. Este proceso, llamado efecto fotovoltaico, convierte el semiconductor en un dispositivo eléctrico controlando la separación y creando un voltaje constante (Adler et al., 2013).

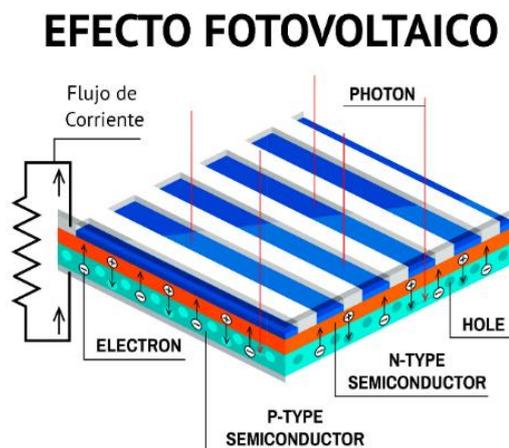


Figura 9. Efecto Fotovoltaico.

Fuente: Sebastián (2019).

2.12 CÉLULA FOTOVOLTAICA

El componente principal de todo sistema fotovoltaico es un generador, también conocido como célula fotovoltaica, cuya función principal es convertir la luz solar en electricidad. Cada celda fotovoltaica individual actúa como un diodo, con la región N expuesta a la radiación solar y la región P en la oscuridad, como se muestra en la Figura 10.

Mientras que el plano de la zona P está completamente metalizado y no requiere iluminación, el plano de la zona N tiene una estructura en peine que permite que la luz solar pase a través del semiconductor (Carlos & Castro, 2019).

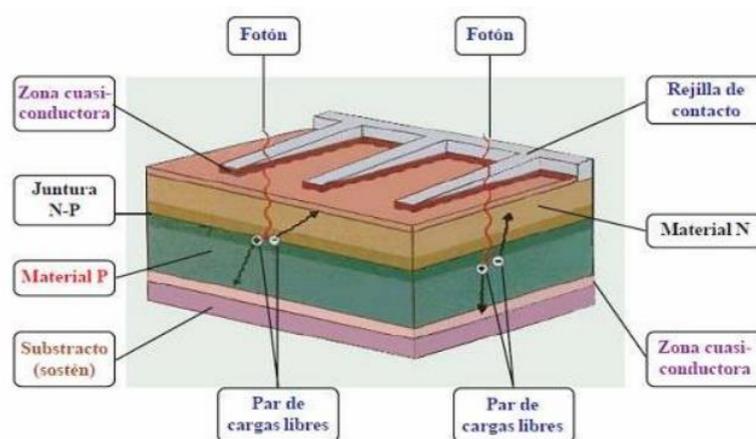


Figura 10. Estructura de la célula fotovoltaica.
Fuente: Días, Carmona (2010).

2.13 TIPO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

En la actualidad, se utilizan varios materiales semiconductores para la producción de células fotovoltaicas, y hay tres categorías principales de paneles solares que se clasifican según los semiconductores y cristales empleados en el proceso de fabricación:

- Paneles solares monocristalinos: Elaborados con una estructura cristalina uniforme de silicio. Aunque destacan por ser los más eficientes en la conversión de radiación solar en energía eléctrica, su coste es más elevado. Su rendimiento energético varía entre el 12% y el 16%.

- Paneles solares policristalinos: Son los más prevalentes en el mercado actual. Su producción implica el uso de diversas cantidades de cristales, de ahí su denominación de policristalinos. Aunque su eficiencia es menor en comparación con los monocristalinos, son más asequibles, con un rango de rendimiento energético situado entre el 11% y el 14%.
- Paneles solares amorfos: Elaborados con una fina capa de silicio amorfo. A pesar de ser menos eficientes en comparación con otros tipos, actualmente son los más asequibles, con un rendimiento energético que oscila entre el 4% y el 8%. Una ventaja de los paneles amorfos es que sus células solares siguen cargándose incluso en condiciones de radiación solar limitada, como en días sombreados (Carlos Robles, 2011).

TIPOS DE PANELES SOLARES



Figura 11. Tipos de paneles solares.

Fuente: AutoSolar (s. f.).

2.14 CONEXIONADO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Frecuentemente, la combinación de la corriente y el voltaje de un solo módulo fotovoltaico no cumple con los requisitos de un sistema en términos de voltaje e intensidad. Para alcanzar valores adecuados, es necesario agrupar varios módulos, teniendo en cuenta que la conexión en serie aumenta el voltaje del sistema, mientras que la conexión en paralelo incrementa la intensidad. El término "generador fotovoltaico" se utiliza para describir el conjunto completo de módulos en un sistema.

Al reunir módulos fotovoltaicos, resulta crucial que cumplan con la condición de ser completamente idénticos, lo que implica poseer las mismas características y provenir del mismo fabricante.

Se pueden realizar tres tipos de conexiones según las necesidades:

- Conexión en serie.
- Conexión en paralelo.
- Conexión serie/paralelo (Adler et al., 2013).

En la figura 12 tenemos una conexión serie/paralelo que se emplea para elevar tanto el voltaje como la corriente del sistema fotovoltaico.

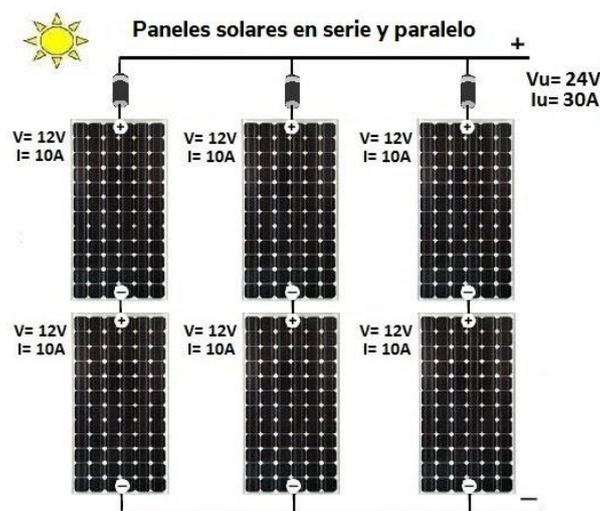


Figura 12. Paneles solares en serie y paralelo.
Fuente: MPPTSolar (2023).

En la figura 13 tenemos una conexión paralela que se utiliza para aumentar la corriente del sistema fotovoltaico.

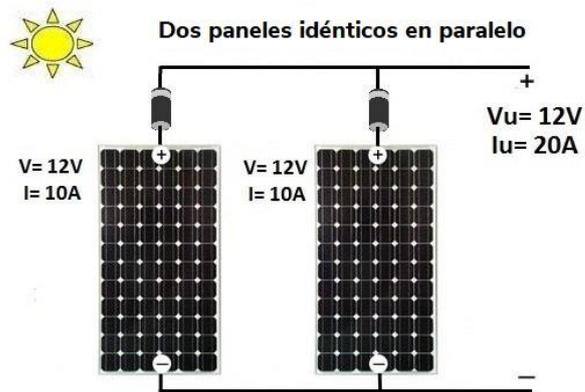


Figura 13. Paneles solares en paralelo.
Fuente: MPPTSolar (2023).

En la figura 14 tenemos una conexión en serie que se utiliza para aumentar el voltaje del sistema fotovoltaico.

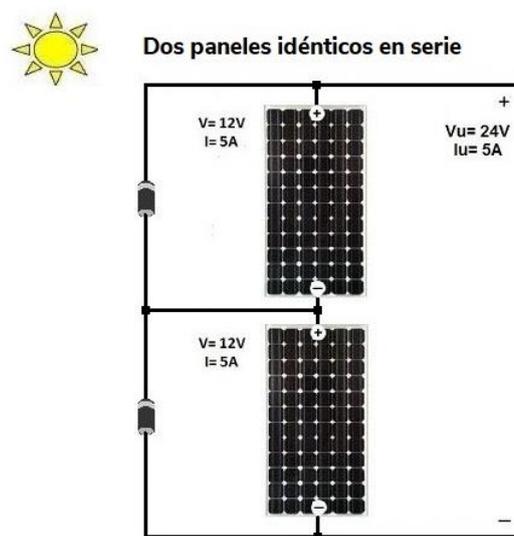


Figura 14. Paneles solares en serie.
Fuente: MPPTSolar (2023).

2.15 EFECTO SOMBRA

La existencia de sombras puede tener impactos negativos tanto en la eficiencia de la potencia generada como en la duración de vida de los paneles fotovoltaicos. Se aconseja enfáticamente evitar cualquier proyección de sombras sobre los paneles, ya que esto garantiza que permanezcan libres de sombras durante al menos 8 horas diarias, con un enfoque particular al mediodía y a lo largo de todo el año.

Evitar las sombras durante el máximo tiempo posible es esencial porque las sombras pueden afectar negativamente la producción de energía y también generar puntos calientes, lo que podría reducir la vida útil de las células solares. La presencia de sombras, incluso en una pequeña parte del sistema, puede desencadenar una disminución significativa en la eficiencia general del sistema.

Para garantizar la máxima eficiencia y durabilidad de los paneles, es crucial llevar a cabo un diseño cuidadoso de la disposición de los paneles y considerar factores como la ubicación, la inclinación y la posible obstrucción por sombras. Además, se pueden emplear tecnologías y dispositivos como diodos de derivación y sistemas de seguimiento solar para minimizar el impacto de las sombras y maximizar la captación de la luz solar durante el día. La planificación adecuada del emplazamiento y el mantenimiento regular son aspectos esenciales para garantizar el rendimiento óptimo de un sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil (Ángel et al., 2014).

2.16 CURVAS CARACTERÍSTICAS

2.16.1. Efecto temperatura.

La figura 15 muestra que, a medida que la temperatura desciende, la tensión de salida (junto con la potencia) tiende a incrementarse, mientras que la corriente permanece prácticamente constante. Esta observación se atribuye a las fluctuaciones en las propiedades del silicio que están vinculadas a la temperatura.

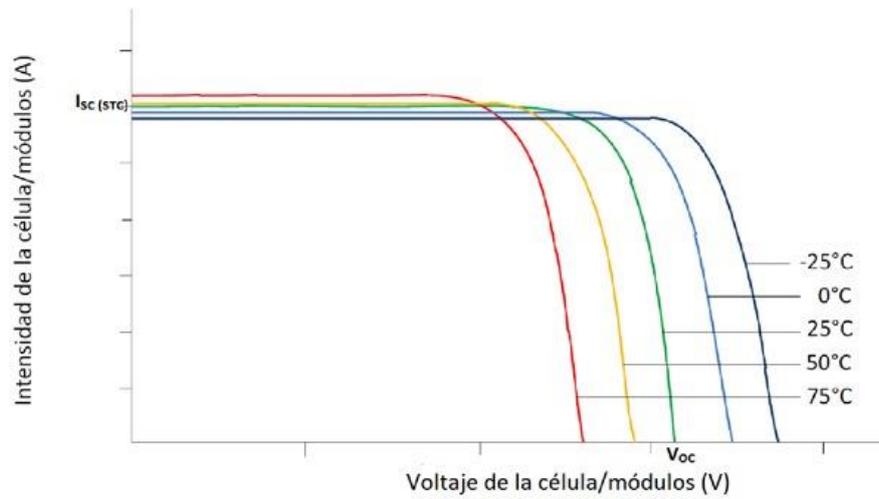


Figura 15. Efecto temperatura.
Fuente: ENERGÍAS RENOVABLES (s.f.).

2.16.2. Efecto radiación.

La Figura 16 muestra que a medida que aumenta la radiación, también aumenta la potencia generada por el panel.

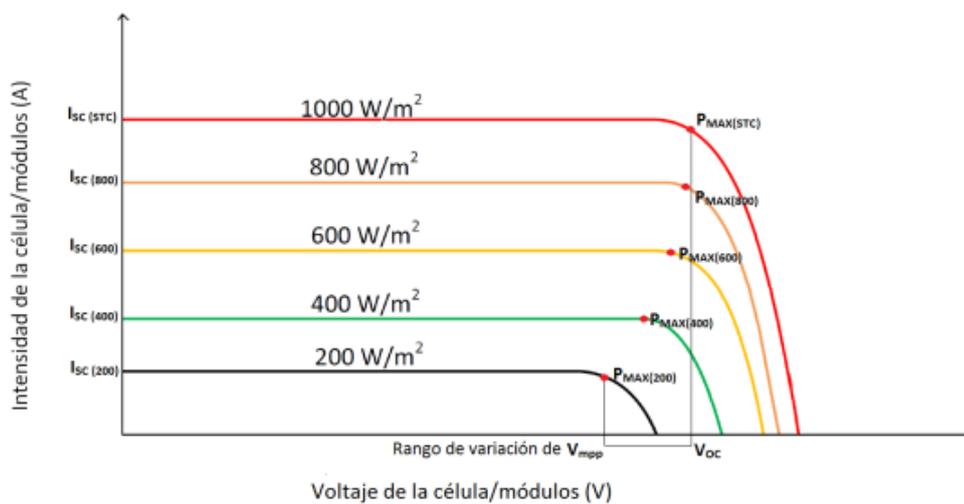


Figura 16. Efecto radiación.
Fuente: Ingelibre (2015).

2.17 AJUSTE DE ÁNGULO

Para capturar la máxima luz solar, la inclinación de los módulos debe ajustarse de modo que la superficie quede perpendicular a los rayos del sol. Dado que la posición del sol cambia durante el año, el ángulo óptimo de inclinación varía según la estación, ofreciendo varias opciones para cumplir con los requisitos específicos del sistema fotovoltaico. Es posible ajustar los módulos para optimizar la captación en verano, invierno o a lo largo de todo el año (Santos et al., 2018).

Este estudio se concentra en identificar el ángulo óptimo que maximiza la radiación solar a lo largo de todo el año. Aunque en un escenario ideal los módulos podrían ajustar su inclinación para seguir el movimiento solar mediante un seguidor solar, esta opción no siempre resulta factible ni práctica. En este trabajo se estudiará la ganancia de energía teniendo en cuenta el cambio de inclinación de los módulos, comparándolo con el rendimiento en ángulo constante a lo largo de un año (Gastelo-Roque, 2017).

En última instancia, el objetivo es asegurar que los paneles capturen la radiación solar de manera más perpendicular durante la mayor parte del año, sin comprometer la estética visual del sistema fotovoltaico cuando esté presente. De esta manera, se logrará una mayor producción de energía (Cordero, 2023).

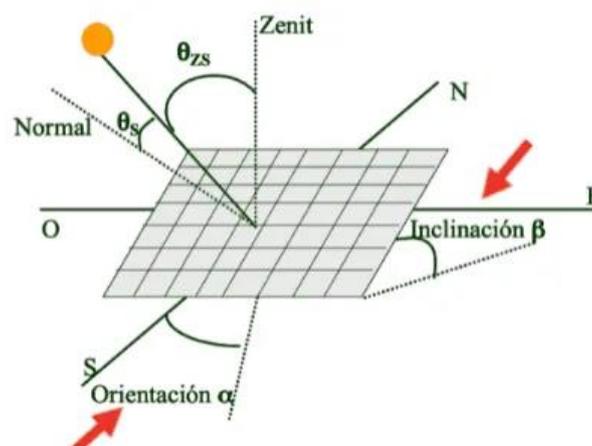


Figura 17. Ajuste óptimo del ángulo.

Fuente: Cordero (2023).

2.18 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

En las especificaciones técnicas del panel solar se da información de eficiencia, voltaje y amperaje, llamadas condiciones de prueba estándar o STC (Standard Test Conditions).

Estas medidas incluyen:

- Irradiación de 1000 W/m²
- Temperatura del panel de 25 ° C
- AM 1.5

Muchos factores influyen en el voltaje y la potencia producida por los paneles solares; Los más importantes son la radiación solar y la temperatura (Ángel et al., 2014).

2.19 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

La principal característica de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) es que funciona en conexión con la red eléctrica convencional. La energía generada por este sistema se utiliza para alimentar la carga correspondiente, mientras que el excedente se vierte a la red eléctrica. El objetivo principal de este tipo de sistema es fortalecer su producción energética y, a lo largo del tiempo, reducir el consumo anual de electricidad. Además, dependiendo de las regulaciones del país en cuestión, los propietarios pueden beneficiarse económicamente mediante compensaciones por la energía inyectada en la red.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red se divide en tres subsistemas principales, así como se describen en la tabla 1, los cuales son dimensionados según las necesidades y requisitos específicos (Mi et al., 2021).

Subsistemas	Descripción
Sistema generador (paneles solares)	Su principal tarea es convertir la energía solar en electricidad.
Sistema de inversor	Se encarga de convertir corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) a la frecuencia requerida.
Sistema de transformador	Su función es aumentar o reducir los niveles de voltaje.

Tabla 1. Partes principales de sistema fotovoltaico conectado a la red.
Fuente: Buele, Chazi (2019).

Los sistemas fotovoltaicos con sincronización a red son instalados en dos ubicaciones, ya sea en la parte superior de un edificio o en el suelo. La elección del lugar depende de la capacidad de los paneles para captar radiación solar (Mi et al., 2021).

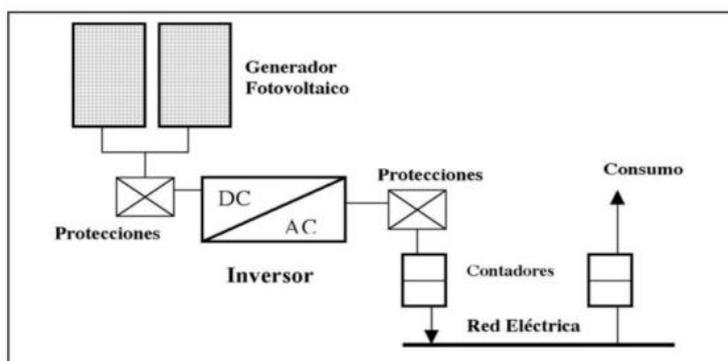


Figura 18. Esquema de una planta fotovoltaica conectada a la red.
Fuente: Cardenas (2019).

2.19.1. Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red en el suelo.

La característica fundamental de esta disposición es incrementar la generación eléctrica a lo largo de todo el año, utilizando un espacio mínimo y logrando costos más económicos. En estos sistemas, se puede implementar sistemas de seguimiento que emplean

dispositivos estáticos. Estos sistemas se configuran de manera que permiten una mejor exposición a la radiación solar, y mediante motores de corriente continua, se ajusta el ángulo de inclinación (sistema de seguimiento) de los paneles. Esto resulta en una posición perpendicular a los rayos solares, optimizando el rendimiento al captar radiación solar. En el caso de los sistemas estáticos, se fijan en una ubicación única (sin ajuste de inclinación) para maximizar la recepción de radiación solar (Mi et al., 2021).

2.19.2. Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red sobre la industria.

La implementación de un sistema fotovoltaico sobre edificaciones es más compleja que la variante anterior debido a la presencia de diversos factores. Estos incluyen limitaciones de espacio, consideraciones sobre la inclinación y orientación, así como la estructura misma de los edificios. Además, en comparación con otros tipos de instalaciones, los sistemas de seguimiento tienden a ser más limitados o incluso inexistentes en este contexto. De igual forma, se debe tener en cuenta la capacidad requerida ya que determina la cantidad de paneles solares que se instalarán o utilizarán, que a su vez está relacionada con la carga esperada (Mi et al., 2021).

2.20 INVERSOR FOTOVOLTAICO

Los sistemas fotovoltaicos producen corriente continua y los sistemas fotovoltaicos fuera de la red requieren un dispositivo llamado inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna en el dispositivo eléctrico que necesita ser reemplazado. El inversor juega un papel importante en la conversión de energía CC en energía CA, cambiando la forma de onda de salida y ajustando la calidad de la potencia de salida. Estos dispositivos pueden ser monofásicos o trifásicos, con diferentes tensiones nominales y diferentes capacidades de potencia. Existen tres tipos principales de inversores según la forma de onda de la tensión de salida:

- De onda cuadrada.
- De onda modificada o casi senoidal.
- De onda senoidal.

El inversor de onda cuadrada es más económico, pero presentan una alta distorsión armónica total (THD) y rendimientos más bajos. Por otro lado, los inversores quasi-senoidales muestran una THD del 20% y rendimientos superiores al 90%, siendo apropiados para la electrificación en áreas rurales. En el caso de los inversores senoidales, con una filtración cuidadosa de la señal, representan la elección óptima para alimentar cargas de corriente alterna, especialmente para dispositivos electrónicos sensibles.

Para cargas inductivas como motores, se busca una onda senoidal o una onda PWM con frecuencias elevadas para maximizar el rendimiento del motor y prevenir pérdidas por efecto Joule. En inversores autónomos, El valor RMS del voltaje de salida generalmente se ajusta usando un controlador PWM, que ajusta la duración de los pulsos de la señal de salida.

El funcionamiento general del inversor se basa en el puente de conmutación de semiconductores de potencia de salida y control, lo que hace que el pulso no esté regulado para reducir los armónicos y limpiar la onda sinusoidal (Abella & Abella, 2005).



Figura 19. Inversor Fotovoltaicos Trifásico.

Fuente: Ingeteam (s. f.)

2.20.1. Onda cuadrada

El transformador encargado de invertir el sentido de la corriente debe funcionar rápidamente. Cuando la corriente pasa por el lado primario del transformador, cambia de polaridad hasta cien veces por segundo. Por lo tanto, la corriente que sale del transformador secundario varía a una frecuencia de cincuenta ciclos completos por segundo. Para lograr esta inversión, El transformador se utiliza para cambiar la corriente que fluye a través de la bobina primaria del transformador. Esto crea un círculo cuadrado de la segunda parte. Aunque estos dispositivos son económicos, son menos eficientes y requieren la integración de filtros para reducir la posibilidad de compromiso (Work, 2017).

2.20.2. Onda modificada

Los inversores de onda sinusoidal modificada son una opción más avanzada y cara. Estos dispositivos utilizan tecnología de modulación de ancho de pulso, que cambia el ancho de onda lo más cerca posible de una onda sinusoidal. Aunque la señal de salida no es una onda sinusoidal verdadera, está cerca de serlo. El contenido armónico de la salida de estos inversores es menor que el de las ondas cuadradas. Estas unidades ofrecen la mejor relación calidad - precio y son ideales para equipos eléctricos como iluminación, televisores o convertidores de frecuencia (Work, 2017).

2.20.3. Onda senoidal

Un inversor que incorpora electrónica más avanzada tiene la capacidad de generar una onda senoidal pura. Estos inversores suelen tener eficiencias típicas superiores al noventa por ciento (90%), gracias a la integración de microprocesadores en su diseño. A pesar de tener un costo más elevado en comparación con los inversores de onda cuadrada o senoidal modificada, son ideales para aplicaciones donde se requiere una forma de onda senoidal precisa. Este tipo de inversores es especialmente esencial para algunos motores de inducción, dispositivos de control y equipos médicos que necesitan una forma de onda senoidal pura. No obstante, para cargas de otro tipo, se prefieren inversores menos costosos (Work, 2017).

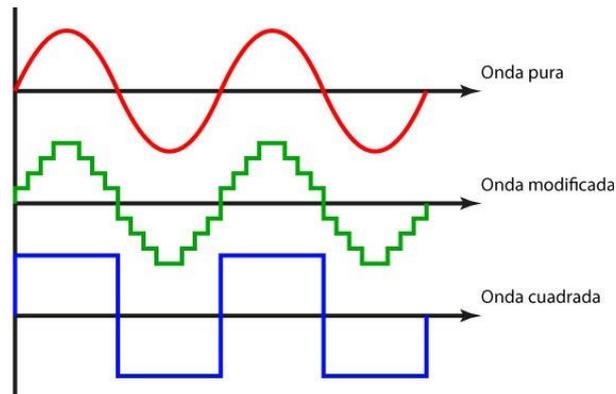


Figura 20. Onda senoidal, modificada y cuadrada.

Fuente: AutoSolar (s. f.).

2.21 ELEMENTOS DE PROTECCIONES

La protección juega un papel importante tanto en instalaciones eléctricas como fotovoltaicas. Su función principal es garantizar la seguridad de los trabajadores que manipulan el generador y facilitar la conexión y conexión, especialmente durante la reparación de equipos.

En una instalación fotovoltaica conectada a la red, la resistencia se calcula en función de la sección, al igual que en los consumidores. Es importante realizar estos cálculos para dispositivos alimentados por CC y dispositivos alimentados por CA. La protección debe adaptarse a la naturaleza del flujo de corriente en cada parte del cuerpo.

Cabe señalar que la corriente indirecta es diferente a la corriente alterna y a la hora de seleccionar la protección se tendrá en cuenta el mismo proceso utilizado en el cálculo de los conductores (Profesional Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, 2019).

2.22 ESTRUCTURA DE SOPORTE

La elección del tipo de estructura está condicionada por factores climatológicos, el propósito de la instalación y los requisitos particulares de cada proyecto. En nuestra situación, evaluaremos si es apropiado emplear seguidores solares u optar por un sistema de montaje fijo (Ángel et al., 2014).

2.22.1. Sistema fijo

Este sistema permanece en una posición fija, y para ello, se lleva a cabo un estudio para determinar la inclinación más adecuada. Aunque tiene una eficiencia menor en comparación con otros sistemas, resulta ser la opción más económica. Además, este sistema fijo presenta una durabilidad superior y demanda un mantenimiento mínimo. Dado que la inclinación no puede ajustarse, es necesario tener en cuenta factores como la lluvia y los efectos de sombra al seleccionar la inclinación adecuada (Ángel et al., 2014).

2.22.2. Seguidores solares

Especialmente cuando el cielo está despejado, tiene mucha radiación directa y pocas nubes, se recurre comúnmente a la implementación de seguidores solares. Aunque estos dispositivos aumentan los costos iniciales al requerir sistemas de control para ajustar la inclinación y seguir el movimiento solar, junto con componentes mecánicos como motores y engranajes, también demandan un mantenimiento periódico de dichos elementos. A pesar de estos costos adicionales, el seguimiento del sol a lo largo de su trayectoria suele resultar en un incremento en la generación de potencia. Actualmente, existen diversos tipos de seguidores solares disponibles en el mercado (Ángel et al., 2014).

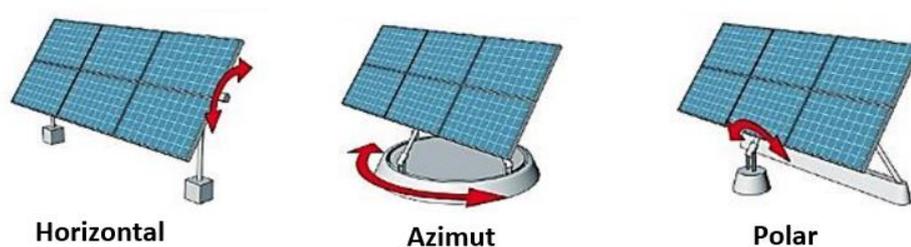


Figura 21. seguidores solares.
Fuente: Autodesk (s.f).

2.23 CABLES

En los sistemas optoelectrónicos, se requieren diferentes tipos de conductores a lo largo de la instalación porque se requieren diferentes propiedades para diferentes accesorios. La sección transversal del conductor es diferente en cada tramo dependiendo de la corriente que lo atraviesa.

Siguiendo las pautas de la Sección 50 del Código Nacional de Electricidad de 2006, los conductores alimentadores deben dimensionarse teniendo en cuenta una caída de tensión que no exceda el 2.5% (Profesional Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, 2019).

Los conductores o cables cumplen la función de transportar la electricidad entre diferentes puntos, facilitando la transferencia de energía desde la generación hasta la distribución. El dimensionamiento de estos cables se establece en función de la corriente y el voltaje presentes en el sistema (Mi et al., 2021).

2.24 NORMATIVA ECUATORIANA

Todas las plantas de energía fotovoltaica ya sean instaladas o planificadas, cumplen con los requisitos marcados por cada país. El objetivo principal de estos estándares es garantizar la seguridad y el buen funcionamiento del sistema al tiempo que se protege la integridad de los clientes y compradores. En el caso de Ecuador, la norma ARCONEL 003-18 establece requisitos para el funcionamiento sincrónico de plantas de energía fotovoltaica autoalimentadas con la red (Espinosa, 2019).

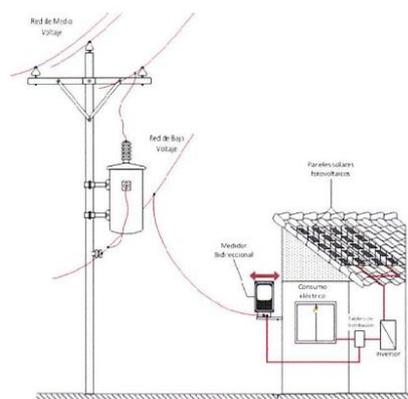


Figura 22. Esquema de conexión a la red.
Fuente: ARCONEL (2018).

CAPÍTULO III

3.1 DESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO

Se empleará las normativas IEC 61724 e IEC 62446 en el diseño de nuestro sistema fotovoltaico para asegurar eficiencia y confiabilidad. La IEC 61724 guiará la implementación del monitoreo, abordando medidas cruciales como la generación de energía y la supervisión continua de la corriente y el voltaje del sistema fotovoltaico. La IEC 62446 establecerá requisitos mínimos para documentación, verificación de instalación. La aplicación de estas normativas contribuirá a optimizar la operación del sistema y facilitará un monitoreo efectivo a lo largo del tiempo.

Según las normativas IEC 61724 e IEC 62446 los puntos que se van a tomar en cuenta para realizar el análisis de una planta fotovoltaica son los siguientes:

3.1.1. Selección del sitio

Se proporciona información sobre la selección del sitio de generación de energía eléctrica, considerando aspectos como las condiciones del sitio, la ubicación que se analizará, el sombreado y orientación de los paneles fotovoltaicos.

3.1.2. Diseño del sistema

A la hora de elegir un sistema se tendrán en cuenta requisitos como la pendiente de los paneles solares, el tamaño de los paneles y el tamaño del inversor. Se evaluará la configuración del sistema y el rendimiento.

3.1.3. Implementación del monitoreo

Proporcionar directrices sobre el funcionamiento del sistema de monitoreo para garantizar mediciones precisas a lo largo del tiempo.

3.2 SELECCIÓN DE SITIO

La norma IEC 62446, en relación con la selección del sitio para sistemas fotovoltaicos, enfatiza la necesidad de considerar cuidadosamente la ubicación y orientación del sistema. Destaca la importancia de evaluar la topografía y la orientación geográfica para maximizar la exposición solar óptima, teniendo en cuenta factores como la sombra y la inclinación. Además, aborda la importancia de realizar un análisis de sombreado para evaluar el impacto de estructuras cercanas. La norma también sugiere la evaluación de condiciones ambientales y climáticas, como velocidad del viento y radiación solar, para dimensionar adecuadamente los componentes del sistema. Finalmente, subraya la necesidad de realizar un análisis de factibilidad del sitio, considerando aspectos técnicos, para garantizar un diseño eficiente y confiable del sistema fotovoltaico.

3.3 CONDICIONES DEL SITIO

El sistema será instalado en las instalaciones de la empresa, ubicada en el kilómetro 15.5 de la vía a Daule, Parque Industrial Pascuales, Guayaquil, Ecuador.

Las condiciones climáticas se basarán en la información recopilada de la tabla climática

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Grados-días de calefacción 18 °C °C-d	Grados-días de refrigeración 10 °C °C-d
Enero	26,7	73,8%	132,37	3,42	101,5	2,3	26,1	0	518
Febrero	26,7	79,5%	219,24	4,42	101,5	2,1	25,2	0	468
Marzo	27,1	76,7%	213,90	3,39	101,4	2,2	25,0	0	530
Abril	27,1	76,3%	141,90	4,36	101,4	2,2	25,2	0	513
Mayo	26,4	74,1%	52,70	4,33	101,5	2,5	25,6	0	508
Junio	25,2	74,6%	21,00	3,58	101,6	3,2	25,8	0	456
Julio	24,4	74,8%	14,57	4,36	101,6	3,4	26,1	0	446
Agosto	24,3	73,6%	10,23	3,64	101,6	3,6	26,6	0	443
Setiembre	24,8	71,7%	13,80	5,69	101,6	3,6	26,9	0	444
Octubre	24,9	71,8%	17,98	4,17	101,6	3,6	26,8	0	462
Noviembre	25,4	70,7%	29,70	3,72	101,5	3,4	26,7	0	462
Diciembre	26,4	69,0%	50,22	4,61	101,5	3,0	26,8	0	508
Anual	25,8	73,8%	917,61	4,14	101,5	2,9	26,1	0	5.759
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a					m	10	0		

Tabla 2. Tabla climática – datos históricos del tiempo de Guayaquil.

Fuente: RetsScreen Expert (s.f.).

En cuanto a las temperaturas, se observa una variación anual de 2.3 °C (4.2 °F). Febrero presenta la mayor humedad relativa con un 79.5%, mientras que diciembre tiene la menor con un 69%. Marzo destaca como el mes con mayor cantidad de días lluviosos,

alcanzando un promedio de 25.33 días, mientras que noviembre registra la menor cantidad con solo 9.30 días de lluvia (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

Las gráficas de insolación solar son fundamentales para la instalación y diseño eficiente de un sistema fotovoltaico. En la figura 25 y 26 se muestra la insolación directa y difusa promedio durante el año. La radiación solar es un factor clave en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos porque es la fuente de energía convertida en electricidad mediante paneles solares. La cantidad de radiación solar que llega a un lugar específico afecta directamente el rendimiento y la eficiencia de un sistema fotovoltaico. Aquí hay algunos puntos clave sobre la importancia de la radiación solar en los sistemas fotovoltaicos. Se puede observar el valor anual, mensual y diario en la tabla 3.

Valor anual	
Radiación solar	1462 w/m ²
Valor mensual	
Radiación solar	1139 w/m ²
Valor diario	
Radiación solar	703 w/m ²

Tabla 3. Tabla de valores de radiación solar.
Fuente: EXA (2018).

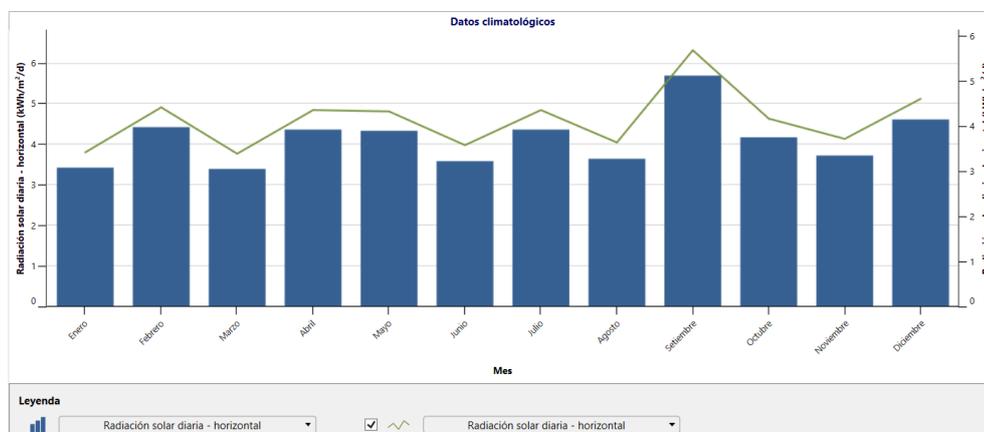


Figura 24. Radiación solar diaria horizontal.
Fuente: RetsScreen Expert (s.f.).

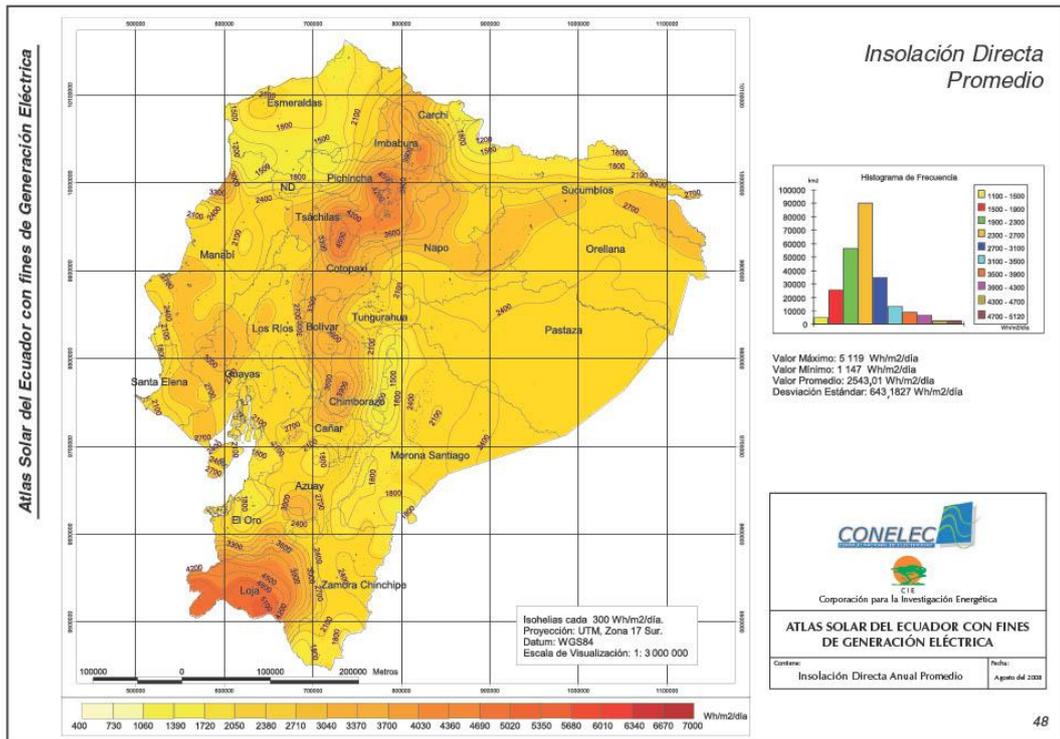


Figura 25. Insolación directa anual promedio.
Fuente: CONELEC (2008).

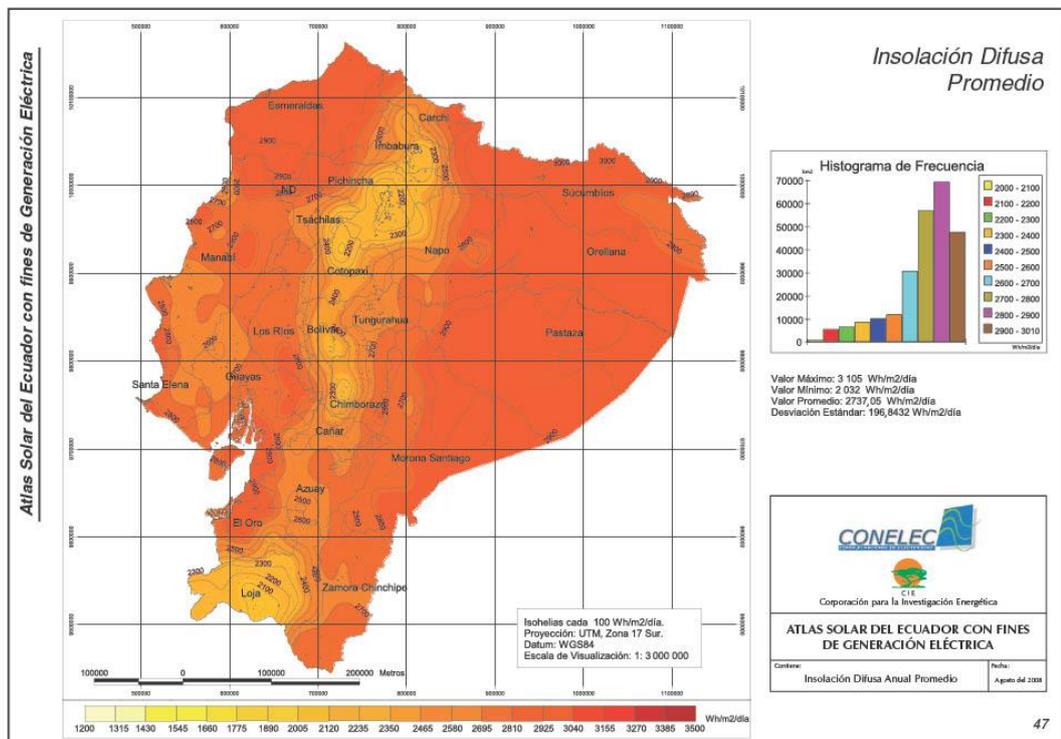


Figura 26. Insolación difusa anual promedio.
Fuente: CONELEC (2008).

3.4 UBICACIÓN

Se ha evaluado la conveniencia de situar la planta fotovoltaica en un área libre de sombras, edificaciones cercanas y vegetación. Sin embargo, se ha notado que la ubicación actual de la planta no es óptima estratégicamente. Los paneles solares se encuentran instalados en techos de zinc, lo cual genera calor y podría afectar su rendimiento. Además, el ángulo de inclinación del techo no está ajustado a la latitud óptima para la captación de energía solar.



Figura 27. Ubicación de la planta fotovoltaica.

Fuente: Google Maps (s. f.).

La figura 28 muestra la ubicación de la instalación fotovoltaica, demostrando que no existen obstáculos que puedan provocar sombras.



Figura 28. Imagen del sitio.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA

La norma IEC 62446, enfocada en el diseño de sistemas fotovoltaicos, establece requisitos cruciales para garantizar la eficiencia y seguridad del sistema. Aborda desde la disposición física de los paneles hasta la selección de componentes y su conexión eléctrica, priorizando la seguridad eléctrica, la eficiencia y la confiabilidad. Además, la norma destaca la necesidad de realizar evaluaciones detalladas del rendimiento y eficiencia, considerando factores geográficos y climáticos. Asimismo, hace hincapié en la importancia de documentación técnica completa, incluyendo detalles sobre la disposición del sistema, datos de rendimiento y manuales de operación, asegurando así un sistema fotovoltaico eficiente, seguro y debidamente documentado.

3.6 INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Es necesario determinar la pendiente óptima para maximizar la eficiencia de producción de energía de sus paneles solares. Lo cual impacta directamente en el rendimiento general del sistema fotovoltaico. La selección adecuada de esta variable está fuertemente influenciada por la latitud del lugar de instalación.

Considerando que la latitud de Guayaquil es 2.17° Sur, el concepto de instalación autónoma de paneles solares se puede calcular de la siguiente manera:

Inclinación verano: $L - 15^\circ = 12.83^\circ$

Inclinación invierno: $L + 15^\circ = 17.17^\circ$

Inclinación óptima: 2.17°

Donde:

L: latitud.

3.7 DIMENSIONAMIENTO DE PANELES

Se optó por una potencia de 89,000 W basándose en criterios económicos para lograr un equilibrio entre eficiencia y viabilidad financiera, buscando maximizar el rendimiento del sistema dentro de un presupuesto manejable y garantizando un retorno de inversión sostenible a largo plazo.

Los paneles seleccionados son de tipo monocristalino debido a su comprobada eficiencia superior.

El panel disponible en el mercado tiene una capacidad de 445 W y sus características más destacadas son:

- V_{mp} : El voltaje máximo es el voltaje al que funciona el panel solar a máxima potencia. Su valor es: (41.87 V).
- V_{oc} : Se refiere al voltaje de circuito abierto y representa el voltaje máximo del panel solar hasta que no fluye corriente. Su valor es: (50.26 V).
- I_{mp} : La corriente máxima pico se refiere al máximo flujo de corriente que puede generar el panel solar en condiciones ideales. Resultados del panel de selección: (10.63 A).
- I_{sc} : Esta es la corriente de cortocircuito, que es la corriente máxima que puede fluir a través de un panel solar cuando sus terminales están en cortocircuito. Su valor es: (11.29 A).
- La eficiencia del módulo es del 20.14%

La cantidad óptima de paneles solares fotovoltaicos necesarios para un sistema se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{\text{Potencia del generador fotovoltaico}}{\text{Potencia del panles fotovoltaico}} \quad (1)$$

$$N_p = \frac{89000 \text{ W}}{445 \text{ W}}$$

$$N_p = 200 \text{ paneles}$$

Se utilizarán 200 paneles fotovoltaicos con una potencia nominal de 445 W, tomada de la hoja características de fabricante que para este estudio se seleccionan paneles de referencia M6 SERIES CM144HBG.

Debido a que en el sistema fotovoltaico tenemos 10 circuitos compuestos por 20 paneles conectados en serie y paralelo, cada circuito tiene 20 paneles en serie y 10 circuitos en paralelo, como se muestra en la Figura 39, la corriente nominal de cada panel es 10.63. Y el voltaje nominal de cada placa es 41.87V, luego usaremos la siguiente ecuación para calcular el voltaje y la corriente nominales del sistema.

3.7.1. Tensión y corriente en el punto máximo de potencia.

Para determinar el voltaje total a máxima potencia. ($V_{mppTOTAL}$) El cálculo de los paneles fotovoltaicos se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$V_{mppt} = v_{mpp} \times N_s \quad (2)$$

Donde:

V_{mppt} : Tensión total.

v_{mpp} : Tensión.

N_s : Paneles en serie.

$$V_{mppt} = 41.87 \times 20$$

$$V_{mppt} = 837.4 \text{ V}$$

Para determinar la corriente proporcionada por la potencia máxima del panel fotovoltaico se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$I_{mppt} = I_{mpp} \times N_p \quad (3)$$

Donde:

I_{mppt} : Corriente total.

I_{mpp} : Corriente.

N_p : Paneles en paralelo.

$$I_{mppt} = 10.63 \times 10$$

$$I_{mppt} = 106.3 \text{ A}$$

Eso quiere decir que la corriente de cada circuito es de 10.63 A, entonces la corriente máxima del sistema es de 106.63, y el voltaje máximo de la planta fotovoltaica será de 837.4 V.

Los datos seleccionados de la Tabla 4 se recopilaron utilizando los siguientes datos, STC (condiciones de prueba estándar): irradiancia 1000 W/m², temperatura de la celda 25 °C, masa de aire 1.5.

Parámetros eléctricos STC CM144HBG - 445	
Max. Potencia de salida Pmax (W)	445
Tolerancia de potencia	0+3%
Max. Voltaje de potencia Vmp (V)	41.87
Max. Corriente de alimentación Imp (A)	10.63
Voltaje de circuito abierto Voc (V)	50.26
Corriente de cortocircuito Isc (A)	11.29
Rendimiento del módulo (%)	20.14

Tabla 4. Parámetros eléctricos del panel solar.
Fuente: LDKsolar (2020).

Está claro que a medida que aumenta la radiación, también aumenta la potencia producida por el panel. Este fenómeno se muestra en la Figura 29.

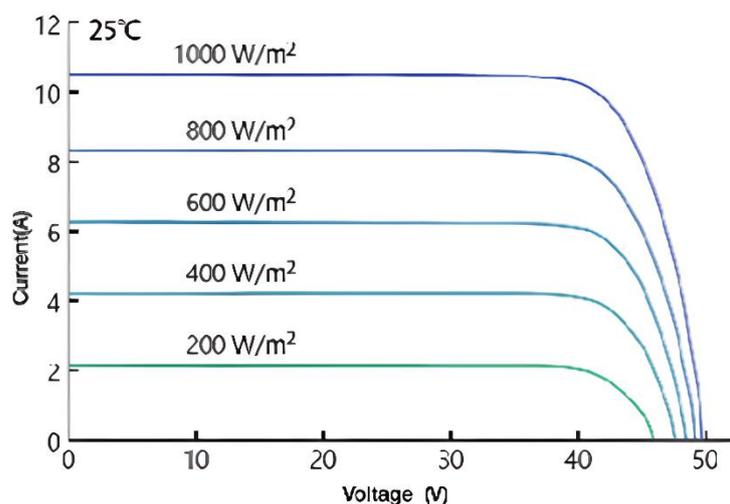


Figura 29. Efecto de la radiación en el panel.
Fuente: LDKsolar (2020).

En la figura 30 Se puede ver, por ejemplo, que la temperatura disminuye, la tensión de salida, al igual que la potencia, tiende a aumentar, mientras que la corriente permanece

casi constante. Este fenómeno se explica por el cambio de propiedades del silicio en función de la temperatura.

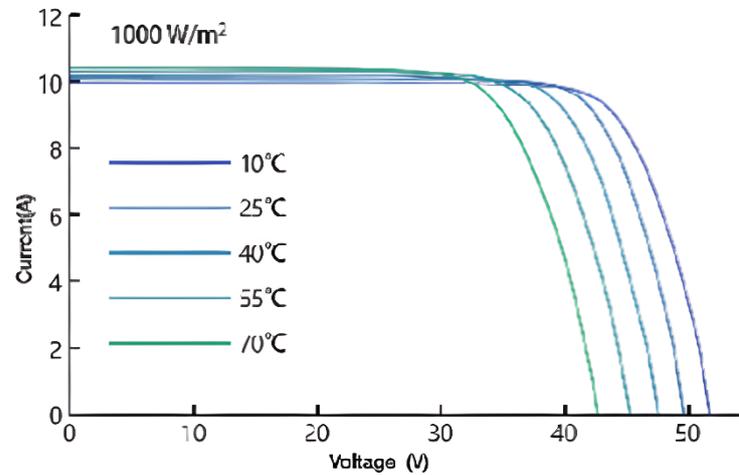


Figura 30. Efecto de la temperatura
Fuente: LDKsolar (2020).

PARÁMETROS MECÁNICOS	
Tipo de celda	Mono 166 x 83 mm
Número de celdas	144 pcs (2x(6x12))
Tamaño	2132 x 1048 x 30 mm
Peso	31.5Kg
Marco	Aluminio anodizado
Caja de empalme	IP67, 3 bypass diodos
Cable, longitud	4mm ² , 350 mm

Tabla 5. Parámetros mecánicos.
Fuente: LDKsolar (2020).

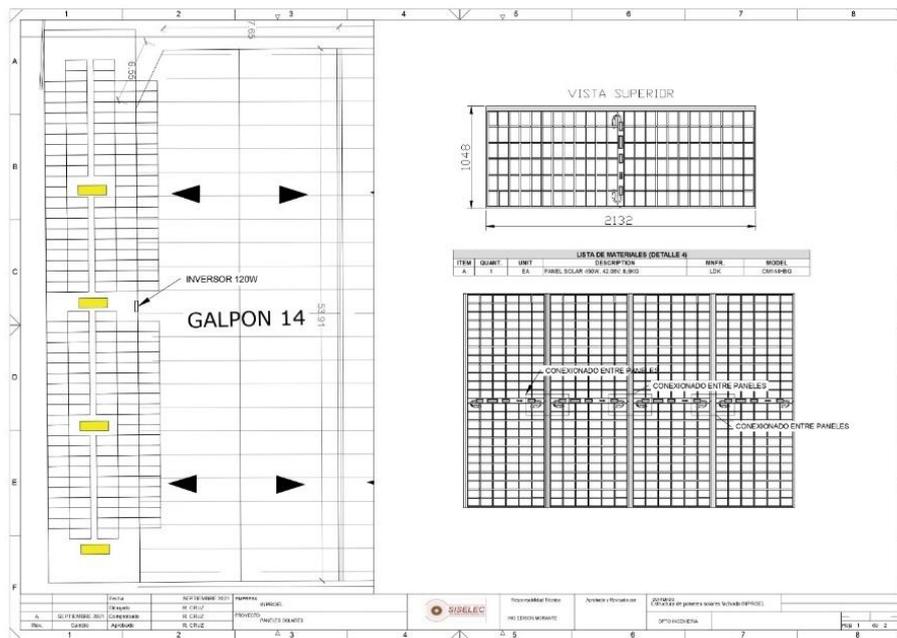


Figura 31. Distribución galpones.

Fuente: siselec (2021).

3.8 DIMENSIONAMIENTO DE INVERSOR

Para dimensionar un inversor fotovoltaico, necesitaríamos los siguientes datos:

3.8.1. Potencia pico del sistema fotovoltaico:

$$P = 89000 \text{ W}$$

3.8.2. Factor de sobredimensionamiento:

$$P_{\text{inversor}} = P \times \text{Factor de sobredimensionamiento} = 89000 \text{ W} \times 1.2 = 106800 \text{ W}$$

A menudo, se utiliza un factor de sobredimensionamiento de 1.2 para tener en cuenta las variaciones en la producción solar y permitir futuras expansiones.

3.8.3. Normativas y regulaciones locales:

De acuerdo con la Ley N° ARCERNNR 001-2021, a partir de abril de 2021, todas las personas podrán instalar paneles solares en su residencia o lugar de trabajo para generar electricidad para su propio uso. La legalización de los sistemas fotovoltaicos debe ser realizada por la empresa regional de transmisión de energía (compañía energética), que revisará el proceso antes de su aprobación.

Esta guía cubre la medición de medición que extiende aún más la vida de los proyectos fotovoltaicos. Este servicio sustituye a los contadores tradicionales por contadores bidireccionales que realizan dos funciones principales: controlar la conexión a la red pública para seguir funcionando incluso cuando el sistema fotovoltaico no esté funcionando; e inyectar más energía a la red pública. tiempo de día. Esta doble medida recoge este exceso como un crédito que se deduce de la energía utilizada en la red cuando el sistema fotovoltaico no está en funcionamiento, normalmente por la noche.

- Controlar la conexión a la red pública garantiza que la empresa siga operativa incluso si falla el sistema fotovoltaico.
- El exceso de electricidad que no se puede consumir durante el día se vierte a la red. Este cálculo bidireccional es un crédito por la energía que utiliza la red cuando el sistema fotovoltaico no está funcionando (normalmente por la noche).

Otros puntos para tomar en cuenta en la normativa son:

- Las regulaciones limitan la capacidad de las instalaciones comerciales a 1 MW y la capacidad de las instalaciones residenciales a 100 kW.
- El contrato firmado con la eléctrica se prorrogó por 25 años.
- La normativa permite la instalación de paneles solares aprovechando un espacio que no necesita estar ubicado en el lugar de trabajo.
- Los usuarios pueden almacenar la energía restante por hasta 24 meses (Del et al., 2021).

3.8.4. Voltaje y corriente de operación del inversor:

Para realizar una elección apropiada del inversor, es esencial considerar las especificaciones que se adecuen a la instalación. Además, se requiere un conocimiento preciso de Tensión en el punto de máxima potencia del panel fotovoltaico.

3.8.5. Corrección de la tensión y la corriente debido a las temperaturas.

Basado en información de voltaje y corriente proporcionada por el fabricante, estos están basados en una temperatura ambiente estándar de 25°C. Por lo tanto, es necesario ajustar estos valores para reflejar la temperatura específica del lugar donde se llevará a cabo la instalación.

Guayaquil, Ecuador, tiene un clima tropical cálido y húmedo. Las temperaturas promedio oscilan entre 22 °C y 32 °C.

Se emplearán ciertos criterios para calcular la temperatura de las células solares en la zona de instalación:

$$T_p = T_a + \frac{(T_{ocn} - 20) \times I}{800} \quad (4)$$

Donde:

T_p : Es el nivel de calor que llegará a la célula del panel solar.

T_a : La temperatura ambiente en la que se colocarán los paneles fotovoltaicos es importante.

T_{ocn} : Esta es la temperatura nominal del elemento bajo irradiación 800W/m², distribución espectral AM 1.5, temperatura ambiente 20°C y velocidad del viento 1m/s, ($T_{OCN} = 45^\circ C$).

I : Esta es la radiación medida, que dependerá del periodo de tiempo en que ocurrió ($I = 1000 \text{ W/m}^2$).

3.8.6. Cálculo para la temperatura más alta (32°C).

$$T_p = 32 + \frac{(45 - 20) \times 1000}{800}$$

$$T_p = 63.25^\circ\text{C}$$

Para calcular la tensión de circuito abierto (V_{oc}) medida en la salida de los paneles fotovoltaicos durante su funcionamiento a una temperatura de celda distinta de 25°C , el coeficiente de temperatura voltaje de circuito abierto (V_{oc}) proporcionado por el fabricante será utilizado para calcularlo a través de la siguiente fórmula.

$$v_{oc(x^\circ\text{C})} = v_{oc(25^\circ\text{C})} + \Delta T \times \Delta T_{oc(T)} \quad (5)$$

Donde:

$v_{oc(x^\circ\text{C})}$: Es la tensión que produce el panel solar cuando está en un ambiente con la temperatura ambiente del lugar de instalación.

$v_{oc(25^\circ\text{C})}$: La tensión de circuito abierto se proporciona por el fabricante del panel solar a temperatura estándar $v_{oc(25^\circ\text{C})} = 50.26 \text{ V}$

ΔT : La diferencia de temperatura entre la condición estándar del fabricante y la del sitio de instalación.

$\Delta T_{oc(T)}$: El panel tiene un coeficiente de temperatura en su tensión de circuito abierto.

$$\Delta T_{oc(T)} = -0.29\%/^\circ\text{C}$$

3.8.7. Cálculo para la tensión de circuito abierto a la salida del panel con la temperatura del lugar:

$$v_{0c(32^{\circ}C)} = 50.26 + (25 - 32) \times (-0.29)$$

$$v_{0c(32^{\circ}C)} = 52.29 \text{ V}$$

Para determinar la corriente de cortocircuito (I_{sc}) de los paneles solares operando a una temperatura diferente a $25^{\circ}C$, se utilizará el coeficiente de temperatura suministrado por el fabricante para I_{sc} . El cálculo se realizará con la siguiente fórmula.

$$I_{sc(x^{\circ}C)} = I_{sc(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta I_{sc(T)} \quad (6)$$

Donde:

$I_{sc(x^{\circ}C)}$: La corriente de cortocircuito del panel solar es la que se registra en el lugar donde está instalado, a temperatura ambiente.

$I_{sc(25^{\circ}C)}$: La capacidad del panel fotovoltaico a temperatura estándar proporcionada por el fabricante es la corriente de cortocircuito. $I_{sc(25^{\circ}C)} = 11.29 \text{ A}$

ΔT : La diferencia de temperatura entre la estándar y la del lugar determina la variación de temperatura en la instalación.

$\Delta I_{sc(T)}$: Este es el coeficiente de temperatura en su corriente de cortocircuito del panel

$$\Delta I_{sc(T)} = 0.048\%/^{\circ}C$$

3.8.8. Cálculo para la corriente de corto circuito a la salida del panel con la temperatura del lugar.

$$I_{sc(32^{\circ}C)} = 11.29 + (32 - 25) \times 0.048$$

$$I_{sc(32^{\circ}C)} = 11.62 A$$

Para determinar el voltaje de circuito abierto requerido para nuestro inversor, multiplicamos el voltaje de encendido ajustado según la temperatura configurada por el número entero de paneles fotovoltaicos conectados en serie. Este cálculo se puede realizar mediante la siguiente ecuación:

$$v_{0c(32^{\circ}C)INVERSOR} = v_{0c(32^{\circ}C)} \times Ns \quad (7)$$

$$v_{0c(32^{\circ}C)INVERSOR} = 52.29 \times 20$$

$$v_{0c(32^{\circ}C)INVERSOR} = 1045 V$$

Del mismo modo, para obtener la corriente de cortocircuito requerida, se multiplica la corriente de cortocircuito teniendo en cuenta la temperatura del lugar de instalación por el número de paneles fotovoltaicos conectados simultáneamente, según la siguiente ecuación:

$$I_{sc(32^{\circ}C)INVERSOR} = I_{sc(32)} \times Np \quad (8)$$

$$I_{sc(32^{\circ}C)INVERSOR} = 11.62 \times 10$$

$$I_{sc(32^{\circ}C)INVERSOR} = 116.2 A$$

3.8.9. Cálculo para la temperatura más baja (22°C).

$$Tp = 22 + \frac{(45 - 20) \times 1000}{800}$$

$$Tp = 53.25^{\circ}C$$

3.8.10. Cálculo para la tensión de circuito abierto a la salida del panel con la temperatura del lugar.

$$v_{0c(22^{\circ}C)} = 50.26 + (25 - 22) \times (-0.29)$$

$$v_{0c(32^{\circ}C)} = 49.38 \text{ V}$$

3.8.11. Cálculo para la corriente de corto circuito a la salida del panel con la temperatura del lugar.

$$I_{sc(22^{\circ}C)} = 11.29 + (22 - 25) \times 0.048$$

$$I_{sc(22^{\circ}C)} = 11.14 \text{ A}$$

Para determinar el voltaje de abierto requerido para nuestro inversor, multiplicamos el voltaje de encendido ajustado según la temperatura configurada por el número entero de paneles fotovoltaicos conectados en serie. Este cálculo se puede realizar mediante la siguiente ecuación:

$$v_{0c(22^{\circ}C)INVERSOR} = v_{0c(22^{\circ}C)} \times Ns \quad (9)$$

$$v_{0c(22^{\circ}C)INVERSOR} = 49.38 \times 20$$

$$v_{0c(22^{\circ}C)INVERSOR} = 987.6 \text{ V}$$

Asimismo, para calcular la corriente de cortocircuito necesaria, se debe multiplicar la corriente de cortocircuito ajustada a la temperatura local por el número de paneles solares conectados en paralelo, como se indica en la ecuación siguiente:

$$I_{sc(22^{\circ}C)INVERSOR} = I_{sc(22^{\circ}C)} \times Np \quad (10)$$

$$I_{sc(22^{\circ}C)INVERSOR} = 11.14 \times 10$$

$$I_{sc(22^{\circ}C)INVERTOR} = 111.4 A$$

3.8.12. Corrección de la tensión en el punto de máxima potencia.

Antes de seleccionar un inversor, es necesario tener en cuenta la potencia nominal máxima para la ubicación específica donde será instalado. Se realizará la instalación de los paneles solares tomando en consideración este criterio.

Para calcular cómo la temperatura afecta la tensión de máxima potencia, se debe usar la fórmula $V_{mpp}(T) = 0.8061 \times V_{oc}(T)$. Esta relación también se aplica a la variación de tensión, con $\Delta V_{mpp}(T) = 0.8061 \Delta V_{oc}(T)$. Por lo tanto, se concluye que:

$$\Delta V_{mpp(T)} = 0.80 \times (-0.29\%/^{\circ}C) \quad (11)$$

$$\Delta V_{mpp(T)} = -0.23\%/^{\circ}C$$

Luego asegúrese de que el voltaje alcanzado por el panel fotovoltaico sea el de máxima potencia a temperaturas específicas (22 °C y 32 °C, donde Para calcular la temperatura de la celda fotovoltaica en los casos de 53.25 °C y 63.25 °C, se aplicará la ecuación siguiente:

$$v_{mpp(63.25^{\circ}C)} = v_{mpp(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta V_{mpp(t)} \quad (12)$$

$$v_{mpp(63.25^{\circ}C)} = 41.87 + (63.25 - 25)x - 0.23$$

$$v_{mpp(63.25^{\circ}C)} = 32.92 V$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}C)} = v_{mpp(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta V_{mpp(t)} \quad (13)$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}c)} = 41.87 + (53.25 - 25)x - 0.23$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}c)} = 35.27 V$$

En resumen, podemos identificar el rango de voltaje de máxima potencia que el inversor necesita según la energía máxima generada por los paneles solares conectados en serie. Los resultados obtenidos son los siguientes.

$$v_{mpp(63.25^{\circ}c)} = v_{mpp(63.25^{\circ}c)} \times Ns \quad (14)$$

$$v_{mpp(63.25^{\circ}c)} = 32.92 \times 20$$

$$v_{mpp(63.25^{\circ}c)} = 658.4 V$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}c)} = v_{mpp(53.25^{\circ}c)} \times Ns \quad (15)$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}c)} = 35.27 \times 20$$

$$v_{mpp(53.25^{\circ}c)} = 705.4 V$$

Temperatura durante el año	Tensión de máxima potencia (Vmpp)	Tensión de circuito abierto (Voc)	Corriente de corto circuito (Isc)
Máxima temperatura (32°C)	658.4 V	1045 V	116.2 A
Mínima temperatura (22°C)	705.4 V	987.6 V	111.4 A

Tabla 6. Rango de tensión y corriente para el inversor.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En este caso específicamente usaremos el inversor 100TL STD que tiene como principales características:

- Tolerancia a fluctuaciones de voltaje.
- Capacidad de generar energía reactiva.
- Soporta conexión a la nube externa.
- Máxima eficiencia del 99,1%.
- Conectividad Ethernet y Wi-Fi incluida.
- Incluye servidor web integrado.
- Utiliza software de monitoreo INGECON® SUN Monitor.
- Adecuado para uso en interiores y exteriores (IP65).
- Alto desempeño en altas temperaturas.
- Disponibles diversas versiones para adaptarse a diferentes proyectos.
- Compatible con fuentes de energía nocturna.
- Equipado con 4 entradas digitales y 2 salidas digitales.
- Cumple con especificaciones para el mercado australiano (DRM0).

Beneficios que nos traerá: Alta eficiencia, así como podemos observar en la figura 32, y un fácil mantenimiento.

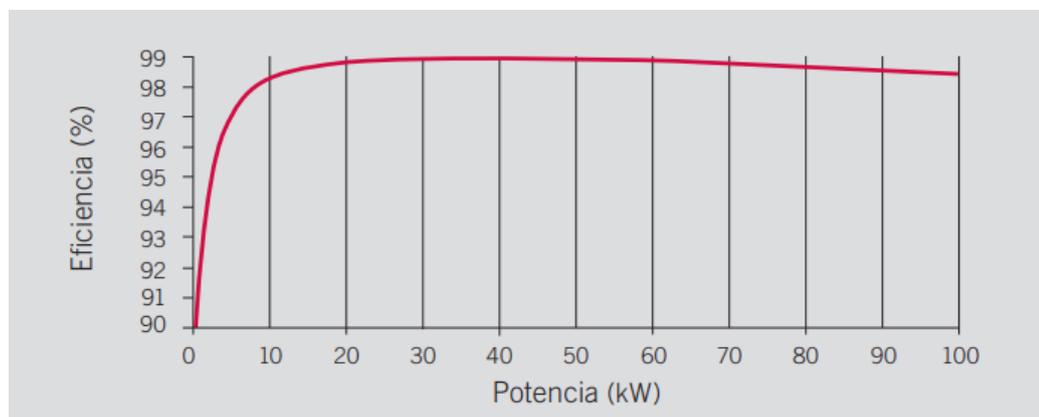


Figura 32. Curva de eficiencia del inversor.

Fuente: TECHNO SUN (s. f.).

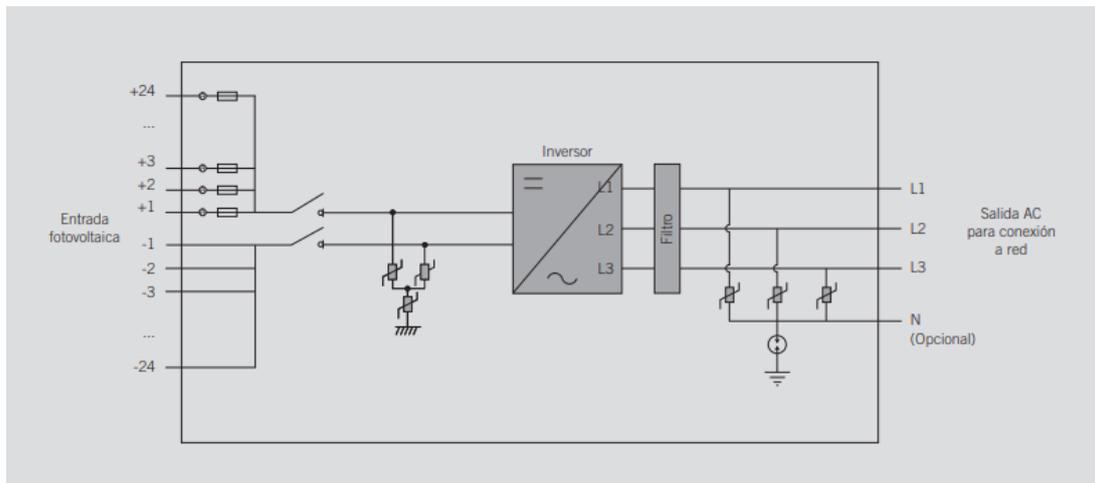


Figura 33. Diagrama unifilar inversor.
Fuente: TECHNO SUN (s. f.).

Valores (DC)	100 TL					
Rango pot. recomendado	56 - 80,2 kWp	91,1 - 130,5 kWp	96,2 - 137,8 kWp	101,2 - 145 kWp	106,3 - 152,3 kWp	111,3 - 159,5 kWp
Rango de tensión	513 - 850 V	513 - 850 V	541,5 - 850 V	570 - 850 V	598,5 - 850 V	627 - 850 V
Vmax	1.100					
Imax	185					
Isc	240					
(STD / PRO)	1 STD - 24 PRO					
MPPT	1					

Tabla 7. Valores entradas DC inversor.
Fuente: TECHNO SUN (s. f.).

Valores (AC)	100TL					
P. nominal	55,3 kW	90 kW	95 kW	100 kW	105 kW	110 kW
Máx. temperatura a Pnominal	50 °C					
Imax	145 A					
Vmax	220 V	360 V	380 V	400 V	420 V	440 V
Frecuencia	50 / 60 Hz					
Red	TT / TN					
Fp	1					
Fp ajustable	Sí. 0 - 1 (capacitivo / inductivo)					
THD(7)	<3%					

Tabla 8. Valores salida AC inversor.
Fuente: TECHNO SUN (s. f.).

Rendimiento	
Eficiencia máxima	99,10%

Tabla 9. Rendimiento del inversor.
Fuente: TECHNO SUN (s. f.)

Normativa de conexión a red: DIN V VDE V 0126-1-1, Arrêté du 23 avril 2008, EN 50438, EN 50439, EN 50549, CEI 0-21, CEI 0-16 VDE-AR-N 4105:2011-08, G59/3, P.O.12.3, AS4777.2, BDEW, IEC 62116, IEC 61727, UNE 206007-1, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, Brazilian Grid Code, South African Grid Code, Chilean Grid Code, DEWA 2.0, Jordanian Grid Code, Thailand MEA & PEA requirements

3.9 DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO

Debido a la variedad de conexiones en sistemas fotovoltaicos, se requieren distintos tipos de conductores a lo largo de la instalación. Las secciones transversales de los conductores se adaptan según la corriente en cada tramo, asegurando una posición adecuada en diferentes puntos y considerando los cambios en la corriente.

Tramo 1: Conexión de los paneles al inversor DC.

Tramo 2: Inversor a la Red eléctrica CA.

Los conductores de alimentación deben dimensionarse para soportar una caída de no más del 2,5%.

3.9.1. Tramo 1

En el tramo 1, La sección transversal del conductor se calculará utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{k \times \Delta v} \quad (16)$$

Donde:

S: Es la medida del área de la sección transversal del conductor en milímetros cuadrados (mm²).

L: Es la extensión del conductor (m).

I_{sc}: la corriente máxima que fluye a través de los conductores es la corriente de cortocircuito de los paneles (A).

Δv: La pérdida de voltaje (V) en los conductores, la cual puede ser máximo del 1.5% en conductores de corriente continua.

k: La conductividad es la característica del conductor.

Datos:

L: 76.63 m

I_{sc}: 11.29 A

Δv : 12.56 V

K: 56

$$S = \frac{2 \times 76.63 \times 11.29}{56 \times 12.56}$$

$$S = 2.46 \text{ mm}^2$$

3.9.2. Tramo 2

Por lo demás, el cálculo de la sección del conductor vendrá determinado por la ecuación:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{k \times \Delta v} \quad (17)$$

Donde:

S: Es la medida del área de la sección transversal del conductor en milímetros cuadrados (mm²).

L: Es la extensión del conductor (m).

I: La corriente máxima del inversor es de (A).

Δv : La caída de voltaje máxima permitida en conductores de CA es del 2.5%, causada por la caída de tensión en los conductores.

k: La conductividad es la característica del conductor.

Datos:

L: 90 m

I: 106.3 A

Δv : 11 V

K: 35

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 90 \times 106.3}{35 \times 11}$$

$$S = 43.04 \text{ mm}^2$$

Dado que los valores no han sido normalizados, se realizará la selección de conductores considerando dos aspectos: la sección del conductor debe ser superior a la calculada y el tipo seleccionado debe soportar la corriente adecuadamente para asegurar el funcionamiento correcto del sistema.

Datos calculados			Cable elegido	
Tramo	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Amperaje (A)
1	2.46 mm ²	76.63 m	2.50 mm ²	18 A
2	43.04 mm ²	90 m	53.50 mm ²	180 A

Tabla 10. conductores seleccionados para el sistema.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

La instalación de cables se realizará mediante instalación de tuberías abiertas o trefiladas, buscando minimizar la longitud del tendido para reducir pérdidas energéticas y costos, mientras se busca integrar armoniosamente con la arquitectura e instalaciones existentes

Material	20°c	70°c	80°c
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28

Tabla 11. coeficiente de conductividad en función a la temperatura.

Fuente: MPV solar (2023).

Sección del conductor	Corriente máxima admisible
mm ²	I(A)
1	9.6
1.5	13
2.5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	116
70	148
95	180

Tabla 12. Tabla de conductores

Fuente: factorysale (2023).

3.10 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos y otros sistemas eléctricos en general tienen componentes que pueden originar o transmitir sobrecorrientes, las cuales tienen el potencial de disminuir la vida útil de dichos componentes o incluso provocar su mal funcionamiento. La elección de los componentes se realiza en función de la corriente que fluye a través del cableado.

- Cortocircuitos y sobrecargas en la salida: La protección contra cortocircuitos y sobrecargas en la salida de un sistema fotovoltaico implica la desconexión automática ante condiciones anómalas. Este mecanismo asegura la integridad de los componentes y previene riesgos de seguridad.
- Anti – isla con desconexión automática: En sistemas fotovoltaicos implica la capacidad de desconectarse automáticamente de la red eléctrica principal durante un apagón, evitando la generación de energía independiente y garantizando la seguridad. Esta función cumple con normativas que prohíben la operación autónoma durante interrupciones en la red.
- Fallo de aislamiento: Indica la pérdida de separación eléctrica entre componentes en un sistema, como en instalaciones fotovoltaicas, lo que puede resultar en riesgos de cortocircuitos y descargas. Medidas de protección, como la detección automática y desconexión, son cruciales para prevenir daños y garantizar la seguridad del sistema.
- Sobretensiones AC con descargadores tipo 2: La protección implica que la instalación de dispositivos específicos para mitigar picos de voltaje en sistemas de corriente alterna. Estos descargadores tipo 2 aseguran la estabilidad del sistema eléctrico y protegen los equipos conectados.
- Sobretensiones DC con descargadores tipo 2: Los descargadores tipo 2 protegen contra sobretensiones en sistemas de corriente continua, asegurando la integridad de los componentes en instalaciones fotovoltaicas y sistemas similares.
- Fusibles de 25A (versión PRO): El uso de "fusibles de 25 amperios en sistemas fotovoltaicos" indica la aplicación de dispositivos de protección eléctrica con una capacidad de corriente de 25 amperios en circuitos específicos de instalaciones fotovoltaicas. Estos fusibles sirven para prevenir sobrecargas y garantizar la seguridad del sistema al desconectar el circuito en caso de corrientes anormales.

3.11 IMPLEMENTACIÓN DEL MONITOREO

La norma IEC 61724 proporciona directrices clave para la implementación efectiva del monitoreo en sistemas fotovoltaicos. En cuanto a la configuración del sistema, se enfatiza la importancia de definir parámetros y frecuencias de medición. La norma destaca la necesidad de mantener registros completos de datos del sistema, incluyendo información sobre generación de energía, rendimiento de componentes. En relación con la comunicación y acceso a datos, se proporcionan pautas para garantizar la disponibilidad de datos en tiempo real para los operadores. Por último, se sugiere la integración del sistema de monitoreo con sistemas de gestión de energía para una supervisión más eficiente y una toma de decisiones informada. Estas directrices aseguran un monitoreo preciso y confiable del rendimiento del sistema fotovoltaico.

3.12 GRÁFICO DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

El INGECON SUN Monitor de Ingeteam es un sistema de monitorización para instalaciones fotovoltaicas que recopila y presenta datos en tiempo real del rendimiento de inversores solares, facilitando la supervisión y el mantenimiento eficiente del sistema.

Se ha seleccionado un día de diciembre para analizar el funcionamiento diario del sistema fotovoltaico. Según la figura 34, el pico máximo es de 35 kWh y la generación diaria es de 152.27 kWh.

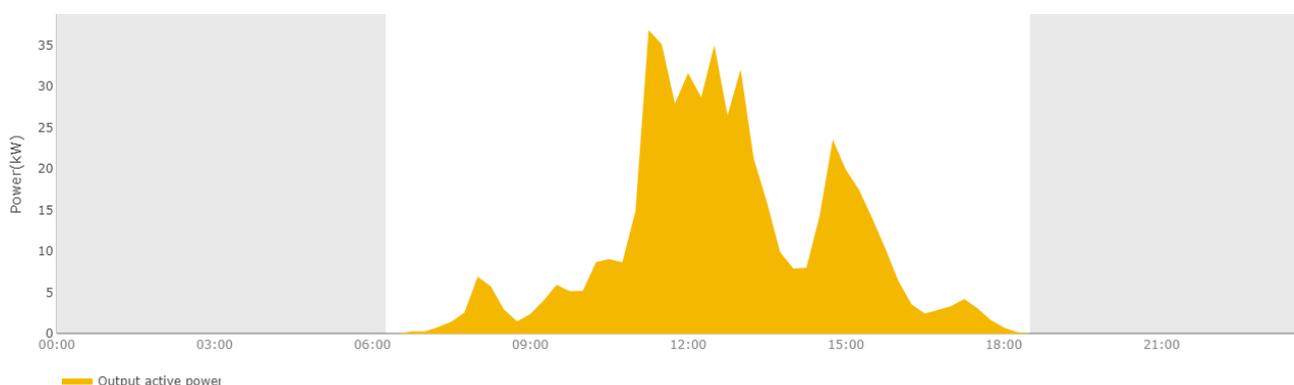


Figura 34. Gráfico de generación en un día de diciembre.

Fuente: Ramirez, zurita (2024).

Así mismo se analizará el comportamiento del sistema semanal, se ha escogido una semana de diciembre para poder ver como se está comportando el sistema fotovoltaico semanalmente y como se puede observar en la figura 35 el pico más alto es de 250 kWh y tenemos una generación semanal de 1.19 MWh.



Figura 35. Gráfico de generación en una semana de diciembre.

Fuente: Ramirez, zurita (2024).

En el análisis mensual podemos observar mucha variación, se puede observar en la figura 36. La variación mensual en la generación de energía de un sistema fotovoltaico puede atribuirse a factores estacionales, climáticos y eficiencia del sistema. La radiación solar, condiciones climáticas y posibles problemas técnicos influyen en estas fluctuaciones, destacando la importancia de un análisis detallado para comprender y optimizar el rendimiento del sistema. Mensual tenemos una generación de 5.14 MWh

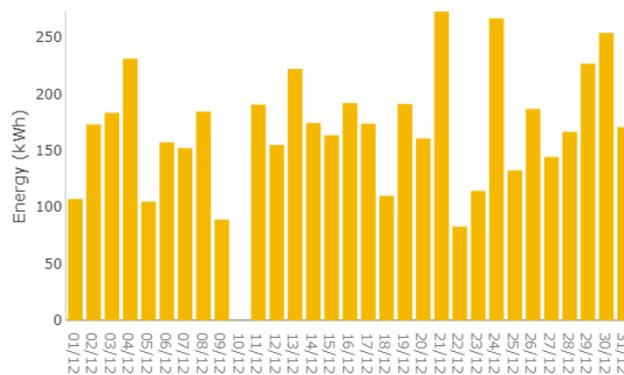


Figura 36. Gráfico de generación mensual de diciembre.

Fuente: Ramirez, zurita (2024).

Se puede observar en la figura 37 el comportamiento anual de generación de energía del sistema fotovoltaicos y se puede ver claramente que hay meses en los que la planta fotovoltaica no ha generado nada por problemas técnicos de la planta, eso afecta notoriamente el rendimiento general de la planta fotovoltaica. Tenemos una generación anual de 58.23 MWh.

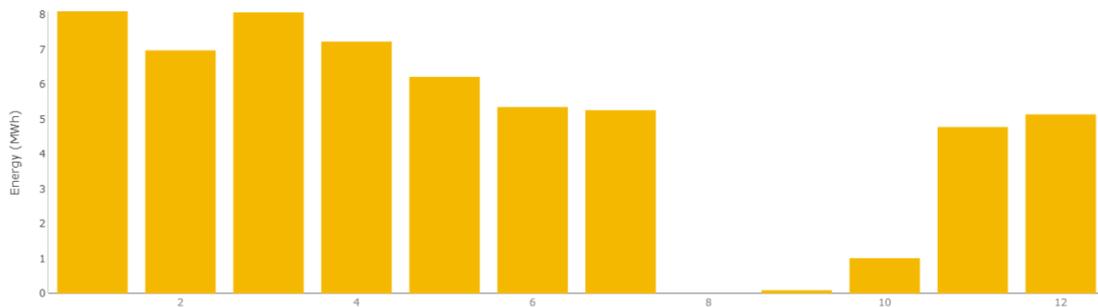


Figura 37. Gráfico de generación anual del año 2023.

Fuente: Ramirez, zurita (2024).

Considerando que la producción de energía de la planta solar fue de 64.38 MWh en 2022 y de 58.23 MWh en 2023, hay una variación de 6.15 MWh entre ambos años.



Figura 38. Gráfico de generación total de la plata fotovoltaica.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

3.14 DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR

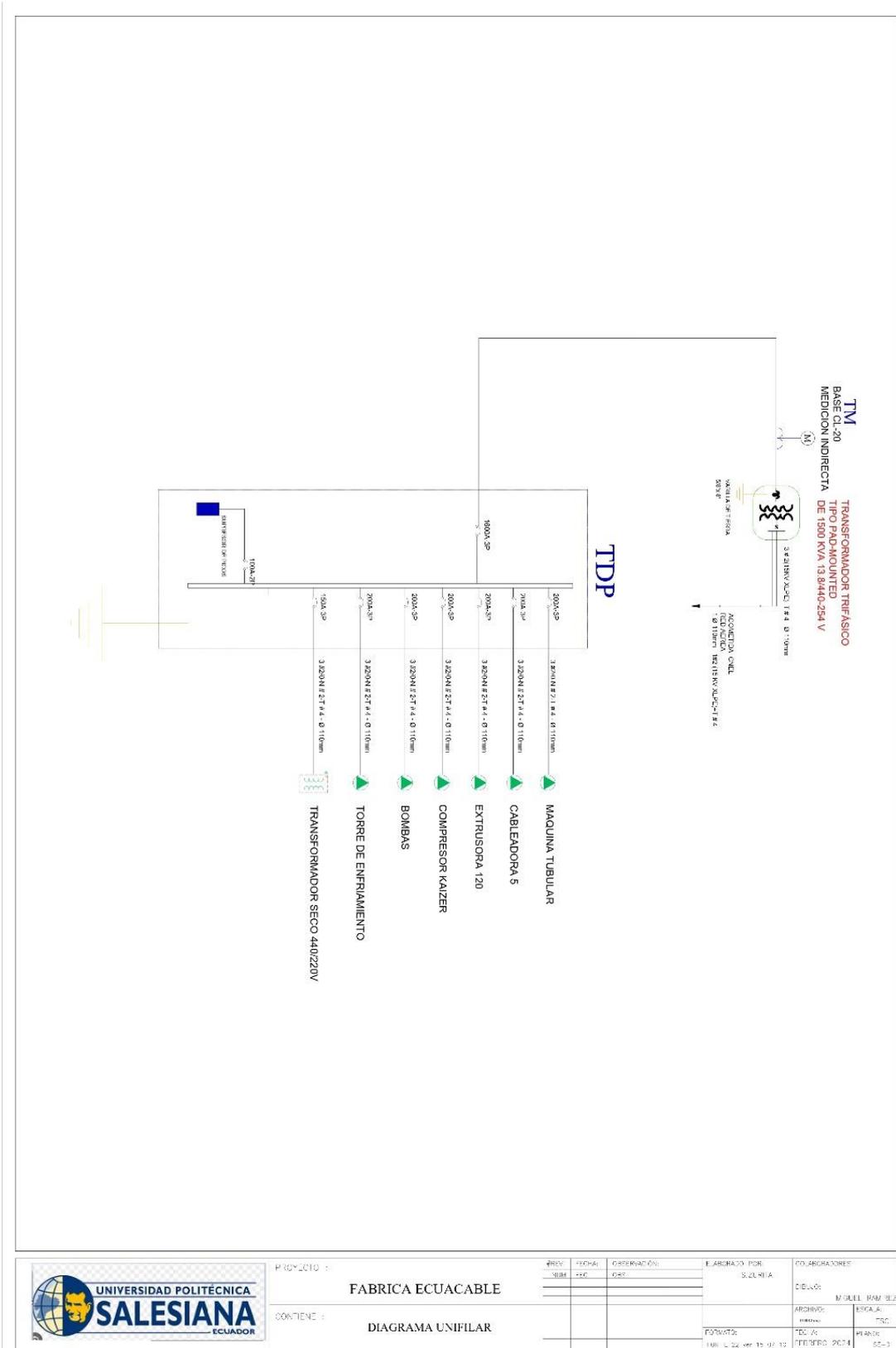


Figura 40. Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

3.15 SIMULACIONES MEDIANTE RETScreen

En el software RETScreen, se realizará un análisis detallado de datos climatológicos y viabilidad técnica para proyectos de energía renovable. El enfoque incluirá la evaluación de factores climáticos como radiación solar y velocidad del viento, así como la modelación del rendimiento de la tecnología seleccionada, como la solar. Este análisis combinado proporcionará información crucial para tomar decisiones informadas sobre la implementación de tecnologías sostenibles y eficientes.

Lo primero que se hará para poder obtener un informe correcto es colocar la información de la instalación como el tipo de instalación, el tipo de central de generación, la descripción de los kW instalados. Así podremos tener una breve descripción de la planta de generación que se va a analizar.

The screenshot displays the 'Instalación' (Installation) form in the RETScreen software. The form is titled 'Información de la instalación' and includes the following fields:

- Tipo de instalación: Central de generación
- Tipo: Fotovoltaico
- Descripción: 89 kW
- Preparado para: Ecuacable
- Preparado por: Ramirez, Zurita
- Nombre de la instalación: Arquetipo
- Dirección: Dirección
- Ciudad/Municipalidad: Guayaquil
- Provin./Estado: Guayas
- País: Ecuador

On the right side of the form, there is a preview image of solar panels under a blue sky with clouds. Below the image, the text reads: 'Foto | Imagen - Windwärts Energie, CC BY-NC-ND 2.0'.

Figura 41. Información de la instalación.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

El segundo paso consistirá en seleccionar la ubicación precisa para la instalación, con el fin de obtener los datos climatológicos y meteorológicos específicos del lugar. Accedamos a la sección "Localización" y escribamos en el campo de búsqueda el nombre del país y la ciudad donde se instalará la planta de energía solar. Una vez ubicados en el lugar deseado, hacemos clic en la ubicación de instalación para acceder a los datos climatológicos y meteorológicos de esa localidad. De esta manera, obtendremos información detallada del entorno donde se realizará la instalación.

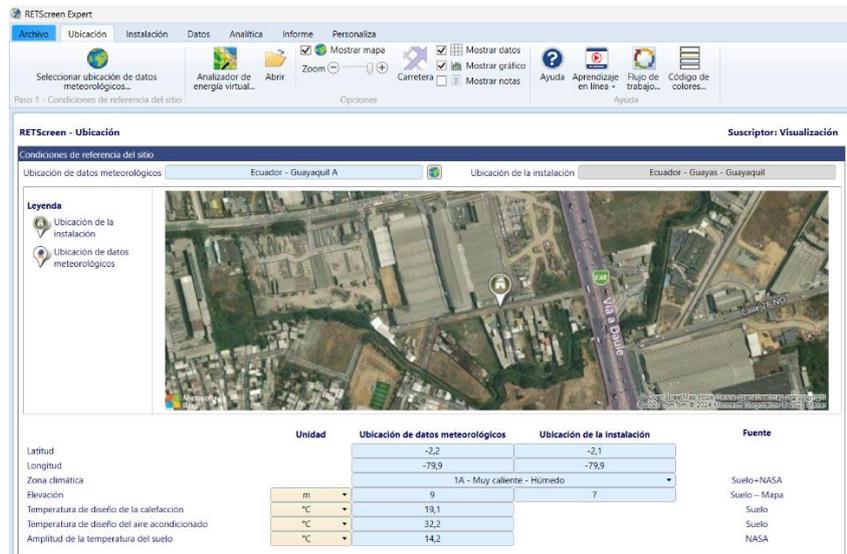


Figura 42. Condiciones del sitio.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

Al colocar el sitio donde se realizó la instalación, obtenemos la tabla de datos de las condiciones del sitio y un también nos va a proporcionar una gráfica para poder ver el comportamiento de la radiación solar diaria – horizontal.



Figura 43. Datos de las condiciones del sitio.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En el tercer paso, nos dirigimos al apartado de instalación, donde se nos solicitarán los detalles precisos tanto del panel solar como del inversor que utilizaremos en el proyecto fotovoltaico. Comenzamos ingresando la capacidad de generación de electricidad, que en este caso es de 89 kW. A continuación, se nos pide proporcionar información detallada sobre los paneles, incluyendo el fabricante, el modelo específico, el número de paneles, la eficiencia y las especificaciones de operación normal de las celdas. Estos datos pueden obtenerse directamente de la hoja técnica del panel solar.

En cuanto al inversor, se nos solicitan datos clave como la eficiencia, la capacidad y las pérdidas diversas. Estos detalles son cruciales para calcular de manera precisa el rendimiento del sistema fotovoltaico y asegurar una instalación óptima.

Fotovoltaico		
Tipo		Otro
Capacidad de generación eléctrica	kW	89
Fabricante		LDK M6 SERIES
Modelo		mono-Si - CM144HBG 445W
Número de unidades		200
Eficiencia	%	20,14%
Temperatura normal de operación de las celdas	°C	42
Coefficiente de temperatura	% / °C	0,26%
Área del colector solar	m ²	442
Factor de ajuste de la célula bifacial	%	0%
Pérdidas varias	%	10%
Inversor		
Eficiencia	%	99,1%
Capacidad	kW	110
Pérdidas varias	%	1%

Figura 44. Datos del panel e inversor.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

Finalmente, el sistema nos solicitará simular la evaluación de recursos, lo cual se refiere al modo de rastreo solar. En nuestra configuración, estamos utilizando un sistema fijo con una inclinación de aproximadamente 30° y un azimut de 180°. Esto indica que la cara de los paneles está orientada hacia el sur. Al proporcionar estos detalles, estamos definiendo la posición fija de los paneles solares, permitiendo así que el software realice una simulación precisa de la captación de recursos solares en función de la inclinación y las instrucciones específicas son necesarias para lograr una evaluación detallada de la

eficiencia del sistema y maximizar la generación de electricidad a partir de la energía solar disponible.

En el primer caso que es el caso actual que tenemos de la planta fotovoltaica, podemos observar una diferencia muy notoria con la realidad porque hay meses en el que la planta fotovoltaica no ha funcionado por cuestiones técnicas, también podemos observar que el mes con mayor generación de energía es septiembre. Obteniendo una generación de electricidad de 105802 kWh anual.

Fotovoltaico - Nivel 2

Evaluación de recursos

Modo de rastreo solar: Fijado

Inclinación: 30

Azimut: 180

Mostrar datos

Mes	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Radiación solar diaria - inclinado kWh/m ² /d	Tarifa de exportación de electricidad USD/kWh	Electricidad exportada a la red kWh
Enero	3,42	2,85	0,12	6.681,494
Febrero	4,42	3,74	0,12	7.875,449
Marzo	3,39	3,11	0,12	7.306,391
Abril	4,36	4,27	0,12	9.612,971
Mayo	4,33	4,53	0,12	10.534,699
Junio	3,58	3,79	0,12	8.586,753
Julio	4,36	4,66	0,12	10.877,855
Agosto	3,64	3,62	0,12	8.518,632
Setiembre	5,69	5,31	0,12	11.963,200
Octubre	4,17	3,63	0,12	8.520,476
Noviembre	3,72	3,10	0,12	7.030,225
Diciembre	4,61	3,57	0,12	8.294,980
Anual	4,14	3,85	0,12	105.803,126
Radiación solar anual - horizontal	MWh/m ²	1,51		
Radiación solar anual - inclinado	MWh/m ²	1,40		

Figura 45. Datos de generación caso actual.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En el segundo escenario, se eligió un sistema estático seguidores debido a la inviabilidad estratégica y económica de instalar paneles solares en solares en el techo de una empresa. La inclinación escogida, determinada en el lugar, es de 2.17°. Se realizaron simulaciones

con diferentes grados de inclinación para los paneles, y se determinó que el ángulo óptimo para captar la energía durante todo el año es de 2.17°. Asimismo, se eligió un azimut de 0°, considerando la ubicación de Guayaquil en el hemisferio sur. Esta orientación hacia el norte maximiza la captación de radiación solar.

En este escenario, septiembre también destaca como el mes con la mayor generación de energía. Se logró una producción anual de electricidad de 113.504 kWh. Estas decisiones de diseño y configuración subrayan la importancia de adaptar la instalación a las características específicas del entorno para optimizar la eficiencia y rendimiento del sistema fotovoltaico.

Fotovoltaico - Nivel 2

Evaluación de recursos

Modo de rastreo solar: Fijado

Inclinación: 2,17

Azimut: 0

Mostrar datos

Mes	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Radiación solar diaria - inclinado kWh/m ² /d	Tarifa de exportación de electricidad USD/kWh	Electricidad exportada a la red kWh
Enero	3,42	3,44	0,12	8.058,960
Febrero	4,42	4,44	0,12	9.334,489
Marzo	3,39	3,39	0,12	7.925,101
Abril	4,36	4,34	0,12	9.748,705
Mayo	4,33	4,28	0,12	9.967,778
Junio	3,58	3,54	0,12	8.033,697
Julio	4,36	4,31	0,12	10.069,016
Agosto	3,64	3,62	0,12	8.500,942
Setiembre	5,69	5,67	0,12	12.737,773
Octubre	4,17	4,18	0,12	9.791,626
Noviembre	3,72	3,74	0,12	8.495,570
Diciembre	4,61	4,66	0,12	10.840,933
Anual	4,14	4,13	0,12	113.504,590
Radiación solar anual - horizontal	MWh/m ²	1,51		
Radiación solar anual - inclinado	MWh/m ²	1,51		

Figura 46. Datos de generación caso hipotético.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

3.16 PLAN DE MANTENIMIENTO

Frecuencia	Actividades	Detalles
Mensual	Inspección visual	Revisar visualmente los paneles solares, conexiones y cables. Registrar la producción de energía.
Trimestral	Limpieza	Limpiar los paneles solares para eliminar suciedad.
	Verificación de tensión y corriente	Medir la tensión y corriente para garantizar valores normales.
Semestral	Inspección del sistema de montaje	Verificar la integridad estructural del sistema de montaje. Apretar conexiones y tornillos.
	Análisis de sombreado	Reevaluar la presencia de sombras que puedan afectar el rendimiento.
Anual	Pruebas eléctricas	Realizar pruebas eléctricas en inversores, cables y conexiones.
	Prueba de detección de puntos calientes	Realizar una prueba para detectar cualquier punto caliente en los paneles solares, lo que podría indicar problemas.
	Actualización del software	Asegurarse de tener la última versión del software del sistema de monitoreo. Realizar actualizaciones si es necesario.
	Capacitación del personal	Proporcionar formación sobre procedimientos y precauciones de mantenimiento.
Cada 5 años	Implementación de mejoras graduales	Considerar mejoras o actualizaciones graduales al sistema fotovoltaico.
	Evaluación del rendimiento	Realizar una evaluación detallada del rendimiento del sistema.

Tabla 13. Plan de mantenimiento
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

CAPÍTULO IV

4.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de las instalaciones solares para identificar áreas de mejora y se establecerán objetivos claros para aumentar la eficiencia y la producción de energía. Las mejoras se irán implementando paso a paso y se priorizarán iniciativas como el mantenimiento preventivo y la formación de los empleados.

4.2 MONITOREO FÍSICO DEL SISTEMA

Conexiones de entrada DC.	Conexiones de salida AC.	Estado de los paneles solares.
		
<p>Se realizó la revisión física respectiva para poder verificar que los cables de los circuitos estén en buen estado. También se realizó la respectiva medición de voltaje y corriente de los 10 circuitos. En este proceso se pudo localizar un conector del inversor que estaba en mal estado y, por lo tanto, no estaba haciendo contacto eléctrico. Por lo tanto, de los 10 circuitos solo teníamos habilitado 9 circuitos. Eso nos da considerable diferencia de la generación.</p>	<p>Se realizó la revisión física respectiva para poder verificar que los cables de la salida en AC estén en buen estado, también se realizó la respectiva medición de voltaje y corriente de corriente, voltaje de línea – línea y línea – neutro, mediante esta revisión se pudo verificar que todo está en buen estado y con medición correcta.</p>	<p>Se llevaron a cabo inspecciones físicas en los 200 paneles solares para evaluar su condición física. Como se puede observar en la imagen, podemos notar una ligera capa de polvo en el panel; eso afecta notoriamente al rendimiento del sistema fotovoltaico.</p>

Tabla 14. Revisión física y medición de todo el sistema fotovoltaico.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

4.3 DATOS HISTÓRICOS Y MEDICIONES EN TIEMPO REAL

Durante el año 2022, la planta fotovoltaica logró generar un total de 64.38 megavatios-hora (MWh) de energía, marcando un destacado desempeño en su producción. Sin embargo, en el año siguiente, 2023, esta cifra descendió a 58.23 MWh, indicando una disminución en la generación. La diferencia de 6.15 MWh entre ambos años señala un cambio notable en la capacidad de la planta para convertir la luz solar en electricidad utilizable. Es esencial reconocer estos ajustes y tomar acciones apropiadas para mejorar el rendimiento futuro y asegurar un suministro energético consistente.



Figura 47. Generación anual del 2022

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

Durante el transcurso del año 2023, se pudo constatar que la planta fotovoltaica enfrentó dificultades en su operatividad durante los meses de agosto y septiembre, momentos en los que se presentaron interrupciones en su generación debido a problemas de configuración del inversor fotovoltaico. Estas adversidades técnicas no solo perturbaron la producción energética en esos meses específicos, sino que también tuvieron un impacto sustancial en la generación total anual. Esta situación resalta la importancia de una gestión eficiente y un mantenimiento riguroso para garantizar un funcionamiento óptimo de la planta, así como la necesidad de abordar de manera proactiva cualquier inconveniente técnico que pueda surgir para mantener la continuidad en la generación de energía renovable.

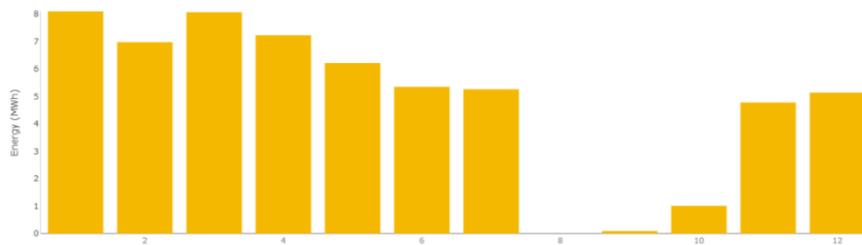


Figura 48. generación anual del 2023.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

Durante el mes de enero de 2024, la planta fotovoltaica registró una generación de energía de 5.53 MWh, lo que representa un comienzo sólido para el año en términos de contribución al suministro energético. En 2023, se generaron 8.1 MWh, lo que representa una diferencia de 2.57 MWh con respecto al año anterior. Este ligero declive podría atribuirse a variaciones en las condiciones climáticas, ajustes operativos o mantenimiento rutinario, resaltando la importancia de monitorear de cerca estos cambios para garantizar un rendimiento óptimo de la planta en el futuro.



Figura 49. Generación actual del 2024.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En la figura 50, se aprecian los datos correspondientes a la potencia generada por el sistema fotovoltaico. Destaca notablemente que el punto de máxima potencia se observa alrededor de las 11:30 a.m., donde alcanza su punto más alto con una potencia de 68 kW.

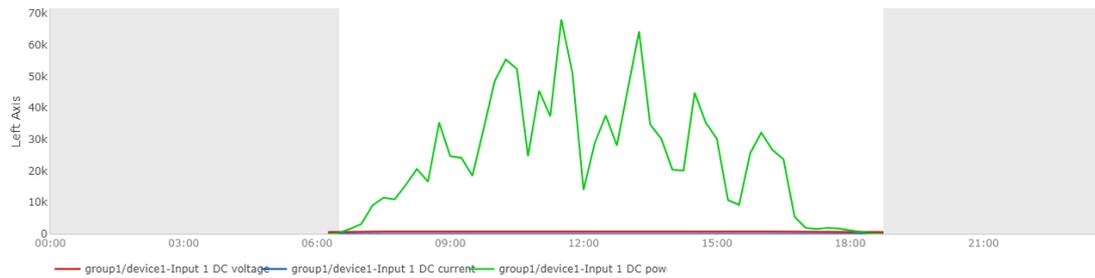


Figura 50. Mediciones actuales de potencia inyectada al inversor.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En la figura 51 se muestran los valores de entrada en corriente continua (DC) del sistema fotovoltaico, abarcando tanto la tensión de entrada como la corriente de entrada. Se evidencia que, a lo largo del día, la tensión de entrada se mantiene prácticamente constante, mientras que la corriente experimenta fluctuaciones significativas.

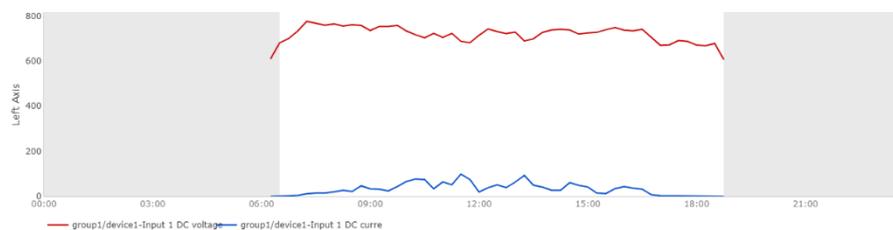


Figura 51. Mediciones actuales de corriente y voltaje de entrada.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En la figura 52, se analiza el comportamiento gráfico tanto de la potencia de salida como de la corriente de las tres fases de la salida del inversor. Se destaca la presencia de picos de corriente a lo largo del día, señalando momentos de mayor demanda en el sistema. Además, es notable que la corriente y la potencia exhiben una similitud gráfica, indicando una estrecha relación entre estos dos parámetros en el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

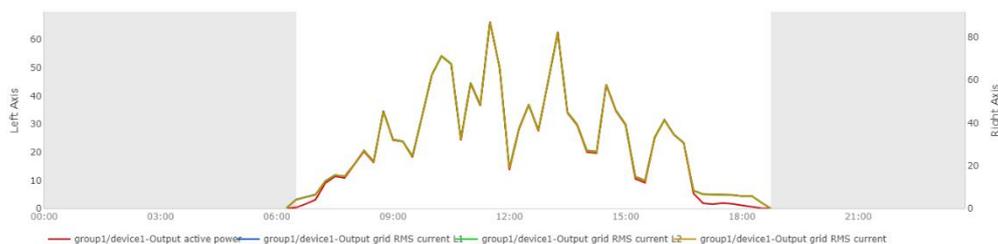


Figura 52. Mediciones actuales de salida AC.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

En lo que respecta al voltaje de salida en corriente alterna (AC), es notable la similitud con el voltaje de entrada en corriente continua (DC), ya que ambos muestran un comportamiento prácticamente lineal a lo largo de todo el día.

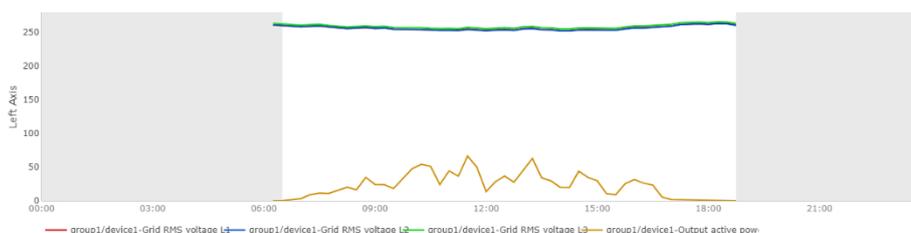


Figura 53. voltaje de salida AC.

Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

4.4 ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA

El análisis inicial se centró en la ubicación de la planta fotovoltaica, la cual está situada en un techo de zinc con una inclinación aproximada de 30°. Además, se observó que la planta se encuentra en un entorno industrial, donde hay maquinaria que también genera calor. Estos factores sugieren que los paneles solares podrían estar experimentando pérdidas de eficiencia debido al calor producido tanto por el techo como por la maquinaria, así como a la inclinación subóptima de los paneles.

Al evaluar la orientación e inclinación del sistema fotovoltaico en el kilómetro 15.5 de la vía a Daule, se notó que los paneles están orientados hacia el sur. Sin embargo, según el análisis realizado, Sería más conveniente que estuvieran dirigidos hacia el norte para

asegurar la máxima absorción de radiación solar durante todo el día. Esta discrepancia entre la orientación actual y la óptima sugiere la necesidad de ajustar la posición de los paneles para mejorar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

4.4.1. Mejora por convección natural del aire.

Tras una evaluación minuciosa del sitio, se llegó a la conclusión de que la mejora más idónea para el sistema fotovoltaico es la implementación de un sistema de enfriamiento de aire no forzado. Esta decisión se fundamenta en su capacidad para potenciar el rendimiento de los paneles solares sin generar gastos desproporcionados, lo que contribuye de manera significativa a la optimización de la eficiencia del sistema de generación solar.

El enfoque de mejora continua propuesto, se considera el óptimo por varias razones. En primer lugar, se debe tener en cuenta la ubicación actual de la planta fotovoltaica, que limita la posibilidad de implementar otras mejoras más radicales o costosas. Además, se está priorizando la opción más económica, lo que garantiza una inversión eficiente y sostenible en el tiempo. De esta manera, al concentrarse en mejoras graduales y focalizadas, se maximiza el potencial de optimización del sistema fotovoltaico dentro de las limitaciones y consideraciones específicas del entorno en el que se encuentra ubicado. Sistemas de enfriamiento de aire.

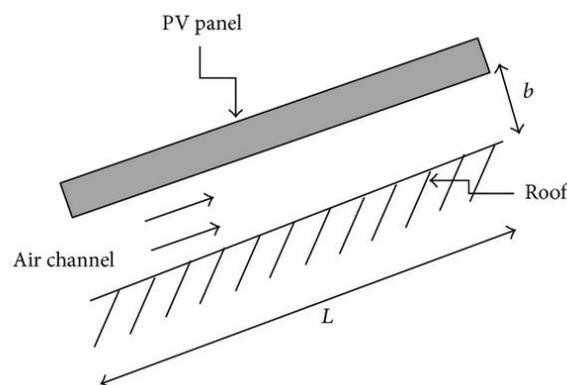


Figura 54. Convección natural del aire.

Fuente: Vincenzo Augugliaro (2013).

4.5 COMPARACIÓN DE MODELOS Y SIMULACIONES

Se va a comparar los resultados reales con las simulaciones y modelos previamente establecidos. Dos casos en particular, que es la disposición del sistema fotovoltaico actual y el que hemos propuesto.

	Simulación RETScreen		Datos INGECOM SUN	
Mes	Sistema actual kWh	Sistema propuesto kWh	Sistema actual 2022 kWh	Sistema actual 2023 kWh
Enero	6681	8058	0	8100
Febrero	7875	9334	3290	6980
Marzo	7306	7925	8670	8070
Abril	9612	9748	8770	7230
Mayo	10534	9967	6230	6220
Junio	8586	8033	2770	5350
Julio	10877	10069	5320	5260
Agosto	8518	8500	4350	0
Septiembre	11963	12737	4350	0
Octubre	8520	9791	4890	1010
Noviembre	7030	8495	8600	4780
Diciembre	8294	10840	7150	5140
Total	105796	113497	64390	58140

Tabla 15. Comparación de resultados.
Fuente: Ramirez, Zurita (2024).

Se puede observar en la tabla 15 que, en el sistema actual, la generación de energía fue de 64.39 MWh en el año 2022 y 58.14 MWh en el año 2023. En contraste, la simulación utilizando la configuración actual proyecta una generación de 105.79 MWh, mientras que la propuesta alternativa indica una generación de 113.49 MWh.

La comparación entre la configuración actual y la simulada revela una diferencia de 41.40 MWh considerando la generación en el año 2022. Al evaluar el sistema propuesto simulado frente al sistema actual simulado, la discrepancia se reduce a 7.7 MWh. Estos resultados destacan las potenciales mejoras en la eficiencia del sistema fotovoltaico propuesto en comparación con la configuración actual.

CONCLUSIONES

- Este estudio se centró en evaluar una planta fotovoltaica de 90 kW que enfrenta problemas de eficiencia. La misma planta fotovoltaica está ubicada sobre el techo de la industria, lo que provoca limitaciones como la inclinación de los paneles y la orientación e incluso los sistemas de seguimiento suelen ser inexistentes. Se propuso normativas como la IEC 61724 e IEC 62446 para el análisis del rendimiento del sistema fotovoltaico, cumpliendo las normativas se analizó la selección del sitio que se consideran puntos como las condiciones del sitio, el sombreado y la orientación de los paneles. Otros factores que se pudieron determinar que afectan el rendimiento es la cara de los paneles que están viendo hacia el sur y según el estudio que se realizó sobre la orientación de los paneles se determinó que deberían de estar viendo hacia el norte, uno de los puntos más importante es la inclinación de los paneles, realizando la revisión física se pudo observar que los paneles fotovoltaicos están en un ángulo de inclinación de 30°, realizando los cálculos de la inclinación óptima que sería la latitud del lugar de la instalación los paneles deberían de ser instalados con una inclinación de 2.17°. También se analizó la ubicación de la instalación de los paneles fotovoltaicos y se pudo determinar que los paneles solares no están ubicados en una zona estratégica por lo que están colocados sobre planchas de zinc y dentro de la industria hay maquinarias que producen calor, eso afecta al rendimiento de los paneles.
- El software RETScreen que se utilizó para analizar la radiación solar en la ubicación de la planta fotovoltaica, determinando la instalación óptima de paneles y evaluando la capacidad de generación del sistema propuesto. Se encontró que el diseño actual es

menos eficiente, indicando una ubicación subóptima y un ángulo inadecuado de los paneles. Esto resalta la importancia de un análisis detallado para maximizar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

- Se implementó INGECON SUN Monitor para tener un control de la generación pasada y actual del sistema fotovoltaico. Se pudo analizar el comportamiento anual desde la construcción de la planta fotovoltaica hasta la actualidad, esto nos permitió saber cómo se está comportando el sistema con respecto a sus datos históricos y realizar un análisis del comportamiento del rendimiento del sistema fotovoltaicos.
- Se propusieron medidas de mantenimiento preventivo y mejoras técnicas específicas como la mejora por convección natural del aire. Se destaca la importancia de una inspección adecuada para seleccionar la mejor opción de mejora y seguir el plan de mantenimiento propuesto en este estudio que tiene como finalidad mejorar la eficiencia de la planta fotovoltaica.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar el rendimiento inicialmente se debe de llevar a cabo una revisión detallada del sistema fotovoltaico para detectar áreas de mejora, mediante el análisis del rendimiento pasado, los datos de monitoreo y los informes de mantenimiento. Luego, se procede a establecer objetivos claros y factibles que permitan dividir las mejoras en etapas graduales y con mayor impacto para que se logre aumentar la eficiencia y la producción de energía.
- Se deben analizar detalladamente las gráficas de generación diaria para identificar los patrones y tendencias del rendimiento mediante los datos de monitoreo que proporciona INGECON SUN Monitor
- Se propone recalibrar el ángulo de los paneles para mejorar la captación de radiación solar, subrayando la importancia de estas mejoras en el rendimiento general de la planta.
- Se recomienda implementar el plan de mantenimiento propuesto para abordar los desafíos de eficiencia de manera proactiva, promoviendo la mejora continua y la durabilidad del sistema fotovoltaico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, C.-M. A., & Abella, M. A. (2005). *Sistemas fotovoltaicos Sistemas Fovoltavicos Sistemas fovoltavicos Contenido*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLAIICOS-libre.pdf?1438653204=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSistemas_fovoltavicos_Sistemas_Fovolt.pdf&Expires=1703625371&Signature=GQXpCplaQQkmsfPmVNO1CKck8skT9V95GDxfZX~4Sv4oEMIUHTqCTtYqxV-qu2q9nSut4m4e7iXka9WoDExX60puTVJNLMAXH-EWe2wd~nAssH27LzQ31Aj5mFf~q7~Vhc1KDVWzHObjW2Y1VvUqux1AReOceQMjFZnaoQl62wjnzDBl-rCzmBWlZ8Wwq9qZgRNngjVAV6NQjaiMHVrGKHVHDD~gYC1hiXaZkk0CCTdZBAbxIvJILVWPWfnuCto0587mq2~xO33B~67iJoExpz2FNxGkTfha1iSrCvs6QEFZwihcU5mLyokb6UckUieYUGsuL3QSBFDJS6b8EIOPnw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Adalberto Tejada Martínez, G. G.-A. (2015). *Prontuario Solar*.
https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf#page=12
- Adler, F., Berardi, M., García Pedrosa, M., Monticelli, F., & Morquecho, M. (2013). *Energía solar fotovoltaica Instalaciones Industriales*.
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/instalaciones-industriales/material/autogeneracion/renovables/solar/energia%20solar%202013.pdf>
- Ángel, M., Marín, H., Daniel, P., & Salas, V. (2014). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA*.
- Archived - RETScreen International Newsletter - 2012-06-05: Major Upgrade to RETScreen Software. (2012). *Web.Archive.Org*.
http://www.retscreen.net/ang/news_20120605_major_upgrade_to_retscreen_software.php
- Axaopoulos, P. (n.d.). *Principios de la Geometría Solar*.
- Carlos, J., & Castro, R. (2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA*.
- Carlos Robles. (2011). *Sistemas híbridos: una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares*.
[file:///C:/Users/TUF%20GAMING/Downloads/manfred,+Articulo+07+Vol+7+N+12-13%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/TUF%20GAMING/Downloads/manfred,+Articulo+07+Vol+7+N+12-13%20(1).pdf)

- CLIMATE-DATA.ORG. (2021). *DATOS Y GRÁFICOS DEL TIEMPO Y CLIMA EN GUAYAQUIL*. <https://en.climate-data.org/south-america/ecuador/provincia-del-guayas/guayaquil-2962/>
- Cordero. (2023). *Como debe ser la orientación e inclinación de placas Solares*. 1–1. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>
- David, R., Proaño, B., Valentina, G., & Gube, B. (2010). *Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador*.
- Del, R., Gobierno, E., Encuentro, D., & Lo Logramos, J. (2021). *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables “Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica.”* <https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/6.-Regulaciones-ARCERNNR-001-y-002-2021.-O.Salazar-20210721.pdf>
- Espinosa, S. R. (2019). *Sector Eléctrico del Ecuador y la actividad de Generación “Promoción de la Generación eléctrica.”*
- Garvía, L., Octavi, V., & Casamitjana, R. (2018). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI ANÁLISIS DE LA FINANCIACIÓN DE PROYECTOS RENOVABLES*.
- Gastelo-Roque, J. A. (2017). *Estimación de la radiación solar diaria y ángulos de inclinación óptimos para Lambayeque (Perú) utilizando el modelo de Hargreaves-Samani*. <https://www.researchgate.net/publication/327541883>
- Ing. Carlos Orbegozo. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. <https://n9.cl/eg9h1>
- José Santamarta. (2004). *Las energías renovables son el futuro*. <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>
- Merino, L. (2009). *Las energías renovables*. https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_GENERAL.pdf
- Mi, S., Ubicado En, R., Ciudad, L. A., Ibarra, D. E., Paul, C., & Cadena, T. (2021). *PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED PARA EL*.
- Pilco, D. A., #1, P., Jaramillo, J. L., & #2, P. (2008). *Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos*. <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- Profesional Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, C. DE. (2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA*.
- Puig, P., Jofra, M., & Electricidad, D. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN*. http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf

Santos, R. D., Castro Fernández, M., Santos Fuentefría, A., & Llanes, M. V. (2018). Influence analysis in the inclination angle into the photovoltaic power plant generation. *Revista de Ingeniería Energética*, 39(3), 148–149.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v39n3/rie02318.pdf>

Work. (2017). *Inversores de corriente para sistemas fotovoltaicos*.
https://editores.com.ar/sites/default/files/ie326_estabilizadores_work_inversores_corriente.pdf

ANEXOS



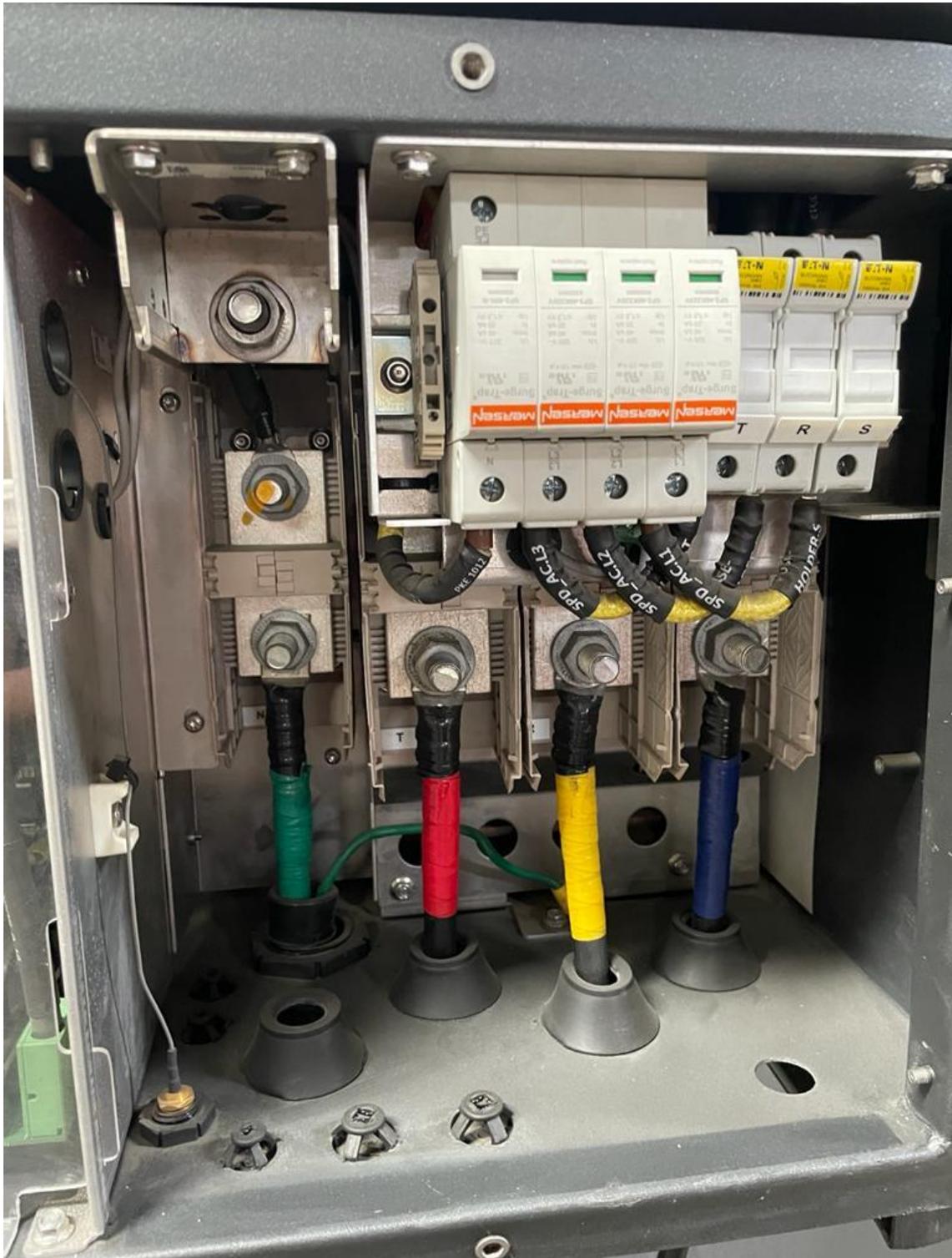
Anexo 1. Inversor de la planta fotovoltaica.

LISTADO DE MATERIALES PARA LA INSTALACION DE PANALES SOLARES EN PLANTA ECUACABLE		
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION
283,00	U	TUERCA MORDAZA C/RESORTE 3/8" GALVANIZADO ELECTROLITICO
7,00	1C	TORNILLO PUNTA BROCA 1/4x1 1/2
2290,00	1C	TORNILLO PUNTA BROCA 1/4x1 1/2
10,00	KG	ALAMBRE GALVANIZADO 18 1.25mm N/A 1.9886 19.89
6,00	1C	AMARRAS CABLES PVC 20CM NEGRAS 100UN N/A 1.4281 8.57
3,00	1C	AMARRAS CABLES PVC 30CM T12 NEGRAS 100UN T12 2.2862 6.86
2,00	UN	CAJA DE PASO 200 x 200 x 90mm PESADA MET.PINTADA BEAUCOUP I-0212 6.0592 12.12
2,00	UN	CINTA ELECTRICA 20 YARDAS ROJO N/A .5827 1.17
2,00	UN	CINTA ELECTRICA 20 YARDAS VERDE N/A .5677 1.14
2,00	UN	CODO EMT GALV 2 x 90 DIAMET 50.80mm N/A 3.6380 7.28
50,00	UN	CONECTOR PVC 1/2" PLASTIGAMA DIAMET 12.70mm N/A .3343 16.72
4,00	UN	CONECTOR EMT METALICO 2" DIAMET 50.80mm 16340 .8430 3.37
4,00	UN	CONECTOR P/FUNDA SELLADA 1 1/4" DIAMET 31.75mm 474 1.7036 6.81
1,00	UN	FUNDA SELL MET C/FORRO 1 1/4" DIAMET 31.75mm 6104 2.9274 2.93
8,00	UN	ABRAZADERA P/CHANEL GALV. 2" AB-CHN-50-00 .2865 2.29
12,00	UN	PERNO C/ARA/TUERCA 5/16 x 3/4" GALV. N/A .0948 1.14
2,00	1C	TORNILLO PUNTA BROCA 1/4x1 1/2 TORNILLO 7.7274 15.45
1,00	1C	TACOS FISCHER F6 L.13/16" BROCA 1/4" TORNILLO 8-10 100UN N/A .9086 .91
1,00	1C	TACOS FISCHER F10 L.2" BROCA 3/8" TORNILLO 14 -5/16" 100UN N/A 3.4931 3.49
8,00	UN	UNION EMT MET. 1 1/4" DIAMET 31.75mm 16520 .4897 3.92
10,00	UN	CHANEL 1/16 x 1.22m CHNL116-122-01 3.1398 31.40
10,00	M	FUNDA SELL MET C/FORRO 1 1/4" DIAMET 31.75mm 6104 2.9274 2.93
1,40	M	FUNDA SELL MET C/FORRO 1 1/4" DIAMET 31.75mm 6104 2.9274 4.10
2,00	M	FUNDA SELL MET C/FORRO 1 1/4" DIAMET 31.75mm 6104 2.9274 5.85
1,40	M	FUNDA SELL MET C/FORRO 1 1/4" DIAMET 31.75mm
450,00	UN	TUERCA MORDAZA CON RESORTE 3/8
225,00	UN	GRAPA MORDAZA GALV. 3P 1/2"
4.5	1C	ARANDELAS PLANAS GALV. 1/2"
7,00	UN	SPRAY GALV AL FRIO
147,00	UN	PANEL SOLAR 445 W - 10.63 A RH SOLAR
100,00	UN	TUBO PESADO PVC CONDUIT 1/2"x
20,00	UN	ABRAZADERA P/CHANEL GALV. 1/2"
2,00	UN	ELECTROCANAL CAN GALV 10x10CM
4,00	UN	ELECTROCANAL CAN GALV 10x10CM
6,00	UN	TAPA ELECTROCANAL P/ESC.10CM
2,00	UN	CONECTOR P/FUNDA SELLADA 3"
20,00	MT	CONECTOR FUNDA SELLADA 3"
190,00	UN	CANAL ESTRUCTURAL
1,00	UN	CABLE Cu FLEX TW #10 AWG 600V VERDE 100M
450,00	UN	perno Galv. De 3/8x3"
7,00	1C	TORNILLO PUNTA BROCA 1/4x1 1/2
6,00	UN	CABLE Cu PV WIRE #10AWG NEGRO
8,00	UN	CABLE Cu PV WIRE #10AWG ROJO
50,00	UN	CONECTOR PVC DE 1/2
7,00	UN	ELECTROCANAL ESC GALV 15x10CM
25,00	UN	ABRAZADERA P/CHANEL GALV.1 1/4
16,00	UN	ABRAZADERA P/CHANEL GALV. 2
12,00	UN	TUBO EMT GALV 1 1/4"x3M FUJI
6,00	UN	TUBO EMT GALV 2"
10,00	U	UNION EMT MET. 2"
1,00	1C	TIRAFONDOS 5/16 x 2" FIJER
1,00	U	CABLE Cu THHN/THWN FLEX #10 VERDE
30,00	U	TUBO PESADO PVC CONDUIT 1/2x3M
6,00	U	TERMINAL COMPRESION Cu/Al 2/0
1,00	U	BREAKER REGULABLE 3P 125/160A
360,00	M	CABLE AL XHHW/XHHW-2 #2/0 AWG
28,00	UN	CONECTORES MC4
1,00	UN	INVERSOR 110 KW

Anexo 2. Lista de materiales



Anexo 3. Datos del inversor fotovoltaico



Anexo 4. Salida trifásica del inversor.



Anexo 5. Placa electrónica y protecciones del inversor.



Anexo 6. Mediciones de corriente de cada circuito.



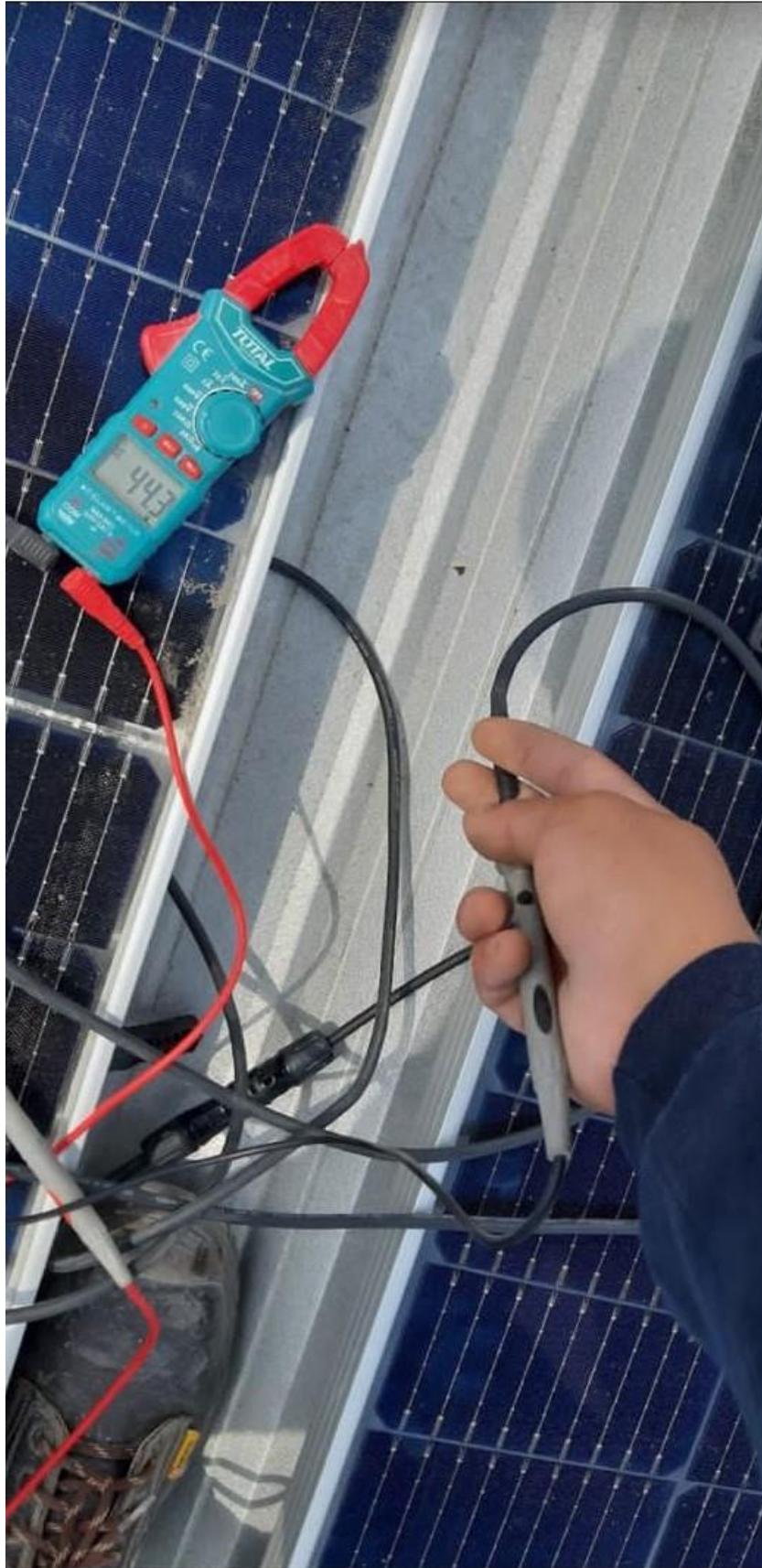
Anexo 7. Medición de corriente de salida línea 1



Anexo 8. Medición de corriente de salida línea 2



Anexo 9. Medición de corriente de salida línea 3



Anexo 10. Medición de voltaje de salida del panel.



Anexo 11. Paneles del sistema fotovoltaico.