



---

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**ESCUELA DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister Tecnológico en Sistemas de Generación Solar y Eólica.**

**Tema:**

**Diseño y simulación del crecimiento de un sistema fotovoltaico híbrido considerando el aumento de demanda en la planta industrial de la empresa productos SKS Farms “Paccari Chocolate”**

**Autor: Carlos Roberto Ruales Diaz**

**Director: Luis Daniel Andagoya Alba**

**Fecha: Septiembre del 2024**

*Sangolquí – Ecuador*



**Autor:** Carlos Roberto Ruales Diaz

**Título a obtener:** Magister Tecnológico en Energía Solar y Eólica

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador

**Correo electrónico:** [carlos.ruales@ister.edu.ec](mailto:carlos.ruales@ister.edu.ec)



**Dirigido por:** Luis Daniel Andagoya Alba

**Título:** Máster en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico / Ingeniero Eléctrico.

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador

**Correo electrónico:** [luis.andagoya@ister.edu.ec](mailto:luis.andagoya@ister.edu.ec)

### **Todos los derechos reservados**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

(RUALES DIAZ CARLOS ROBERTO)

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.



## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 23 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y simulación del Crecimiento de un Sistema Fotovoltaico Híbrido considerando el aumento de demanda en la planta Industrial de la Empresa Productos SKS Farms “PACCARI CHOCOLATE”** realizado por **Carlos Roberto Ruales Diaz** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,



firmado digitalmente por:  
LUIS DANIEL  
ANDAGOYA ALBA

Luis Daniel Andagoya-Alba  
Director del Trabajo de Titulación  
C.I.:1723285993  
Correo electrónico: [luis.andagoya@ister.edu.ec](mailto:luis.andagoya@ister.edu.ec)

## CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



## CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 13 de Septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

Por medio de la presente, yo, [Tu nombre completo], declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado " **Diseño y simulación del Crecimiento de un Sistema Fotovoltaico Híbrido considerando el aumento de demanda en la planta Industrial de la Empresa Productos SKS Farms "PACCARI CHOCOLATE"**", de la Maestría Tecnológica en Energía Solar y Eólica; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente

Carlos Roberto Ruales Diaz

CI: 1712749488

**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN EN  
BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO  
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA:** ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA

**AUTOR /ES:**

Carlos Roberto Ruales Diaz

**TUTOR:**

Luis Daniel Andagoya Alba

**CONTACTO ESTUDIANTE:**

09840469473

**CORREO ELECTRÓNICO:**

[carlos.ruales@ister.edu.ec](mailto:carlos.ruales@ister.edu.ec)

[carlitus1975@gmail.com](mailto:carlitus1975@gmail.com)

**TEMA:**

**Diseño y simulación del Crecimiento de un Sistema Fotovoltaico Híbrido considerando el aumento de demanda en la planta Industrial de la Empresa Productos SKS Farms “PACCARI CHOCOLATE”**

## **RESUMEN EN ESPAÑOL:**

El presente estudio se centra en el diseño y simulación del crecimiento de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” en Quito, Ecuador, con el propósito de atender su creciente demanda energética. A través de la herramienta PVsyst, se modelará y simulará la evolución gradual del sistema, considerando diversos escenarios de expansión y evaluando su rendimiento bajo distintas condiciones climáticas. La investigación tiene como objetivo determinar la capacidad del sistema fotovoltaico para satisfacer tanto la demanda actual, así como una posible creciente de la planta en el futuro, garantizando un suministro eléctrico confiable y sostenible. Se examinarán aspectos técnicos como la selección de componentes, la topología del sistema y los sistemas de control, con el fin de diseñar una arquitectura que sea escalable y flexible. Los resultados de este estudio proporcionarán a “Paccari Chocolate” información valiosa para tomar decisiones informadas sobre la inversión en energía solar, contribuyendo así a la transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema Fotovoltaico híbrido, demanda energética, suministro eléctrico, energía solar, PVsyst

## **ABSTRACT:**

The present study focuses on the design and simulation of the growth of a hybrid photovoltaic system for the industrial plant of the SKS Farms Products company “Paccari Chocolate” in Quito, Ecuador, with the purpose of meeting its growing energy demand. Through the Pvsyst tool, the gradual evolution of the system will be modeled and simulated, considering various expansion scenarios and evaluating its performance under different climatic conditions. The research aims to determine the capacity of the photovoltaic system to satisfy both the current demand, as well as a possible growing demand of the plant in the future, guaranteeing a reliable and sustainable electricity supply. Technical aspects such as component selection, system topology, and control systems will be examined in order to design an architecture that is scalable and flexible. The results of this study will provide “Paccari Chocolate” with valuable information to make informed decisions about investing in solar energy, thus contributing to the transition towards a cleaner and more efficient energy matrix.

**KEYWORDS:** Hybrid Photovoltaic System, energy demand, electricity supply, solar energy, Pvsyst.

## SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



## SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 23 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **Diseño y simulación del Crecimiento de un Sistema Fotovoltaico Híbrido considerando el aumento de demanda en la planta Industrial de la Empresa Productos SKS Farms "PACCARI CHOCOLATE"**, de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital "DsPace" del estudiante: **Carlos Roberto Ruales Díaz**, con documento de identificación No 1712749488, estudiante de la Maestría Tecnológica en SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software "TURNITING" y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,



Carlos Roberto Ruales Díaz  
CI: 1712749488



### **Dedicatoria:**

El siguiente trabajo presentado le dedico a Dios quien ha cuidado mi camino y me brindado salud y bienestar, también mis padres por haberme brindado todo su amor y apoyo incondicional que he necesitado para poder desenvolverme en el ámbito educativo, a mi familia que estuvo apoyándome en forma incondicional y de igual manera a la Srta. Mariela Sani la persona que me dio motivos para seguir adelante con mis proyectos de vida, recuperar mi alegría y enseñarme a que no debo rendirme pese a cualquier circunstancia.

### **Agradecimiento:**

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de este periodo de estudios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme el bienestar necesario en todo momento.

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

A toda mi familia y amistades que trabajaron conmigo durante mi carrera y aquellas personas con los que compartí conocimientos educativos dentro y fuera de la institución.

Le agradezco muy profundamente a mis profesores especialmente al MSc. Daniel Andagoya y PhD. Wilson Pavón al por su dedicación, paciencia y direccionamiento, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos académicos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional”.

A la empresa Productos SKS Farms, por facilitarme la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

## **Resumen**

El presente estudio se centra en el diseño y simulación del crecimiento de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” en Quito, Ecuador, con el propósito de atender su creciente demanda energética. A través de la herramienta PVsyst, se modelará y simulará la evolución gradual del sistema, considerando diversos escenarios de expansión y evaluando su rendimiento bajo distintas condiciones climáticas. La investigación tiene como objetivo determinar la capacidad del sistema fotovoltaico para satisfacer tanto la demanda actual, así como una posible creciente de la planta en el futuro, garantizando un suministro eléctrico confiable y sostenible. Se examinarán aspectos técnicos como la selección de componentes, la topología del sistema y los sistemas de control, con el fin de diseñar una arquitectura que sea escalable y flexible. Los resultados de este estudio proporcionarán a “Paccari Chocolate” información valiosa para tomar decisiones informadas sobre la inversión en energía solar, contribuyendo así a la transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente.

**Palabras claves:** Sistema Fotovoltaico híbrido, demanda energética, condiciones climáticas, suministro eléctrico, topología, energía solar, PVsyst

### **Abstract:**

The present study focuses on the design and simulation of the growth of a hybrid photovoltaic system for the industrial plant of the SKS Farms Products company “Paccari Chocolate” in Quito, Ecuador, with the purpose of meeting its growing energy demand. Through the PVsyst tool, the gradual evolution of the system will be modeled and simulated, considering various expansion scenarios and evaluating its performance under different climatic conditions. The research aims to determine the capacity of the photovoltaic system to satisfy both the current demand, as well as a possible growing demand of the plant in the future, guaranteeing a reliable and sustainable electricity supply. Technical aspects such as component selection, system topology, and control systems will be examined in order to design an architecture that is scalable and flexible. The results of this study will provide “Paccari Chocolate” with valuable information to make informed decisions about investing in solar energy, thus contributing to the transition towards a cleaner and more efficient energy matrix.

**Keywords:** Hybrid Photovoltaic System, energy demand, climatic conditions, electricity supply, topology, solar energy, PVsyst

## INDICE

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	III
Carta de Cesión de Derechos del Trabajo de Titulación .....	IV
Formulario para Entrega del Trabajo de Titulación en Biblioteca del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui .....	V
Solicitud De Publicación Del Trabajo De Titulación.....	VIII
<b>1 CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
1.1 Marco Teórico .....	1
1.2 Contextualización espacio temporal del problema.....	1
1.3 Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio .....	2
1.4 Cuerpo Teórico – Conceptual.....	9
1.4.1 Radiación Solar .....	9
1.4.2 Irradiancia Solar .....	10
1.4.3 Irradiación Solar .....	11
1.4.4 Radiación Solar en Ecuador .....	12
1.4.5 Medición y Modelado de Radiación Solar: .....	13
1.4.6 Efecto Fotovoltaico .....	13
1.4.7 Módulos Fotovoltaicos (Paneles solares) .....	14

1.4.8 Paneles de Silicio Monocristalino .....	15
1.4.9 Paneles de silicio Policristalino .....	15
1.4.10 Paneles de Película Delgada .....	16
1.4.11 Paneles de Perovskita .....	17
1.4.12 Paneles Bifaciales .....	18
1.4.13 Inversor (Convertidor de Corriente) .....	19
1.4.14 Inversores de Cadena (String Inverters) .....	19
1.4.15 Micro inversores .....	20
1.4.16 Optimizadores de Potencia .....	20
1.4.17 Estructura de montaje .....	21
1.4.18 Cables y conectores .....	23
1.4.19 Medidores Bidireccionales .....	26
1.4.20 Medidores Electromecánicos .....	27
1.4.21 Medidores Electrónicos .....	27
1.4.22 Medidores Inteligentes .....	28
1.4.23 Sistema de monitoreo .....	29
1.5 Diseños de sistemas Fotovoltaicos .....	31
1.6 Simulación en PVsyst .....	31
<b>2 CAPÍTULO II .....</b>	<b>33</b>
2.1 MARCO METODOLÓGICO .....	33

2.2 Enfoque Metodológico de la Investigación .....	33
2.2.1 Enfoque Cuantitativo .....	33
2.2.2 Enfoque Experimental .....	33
2.2.3 Tipo de Estudio.....	34
2.2.4 Justificación del Enfoque .....	34
2.3 Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis (caso de estudio) .....	35
2.4 Métodos empíricos y técnicas empleadas para la recolección de la información: .....	36
<b>3 CAPÍTULO III .....</b>	<b>38</b>
3.1 Fundamentos de la propuesta .....	38
3.1.1 Sostenibilidad energética.....	38
3.1.2 Importancia del diseño y simulación .....	39
3.1.3 Optimización del Rendimiento.....	40
3.1.4 Metodología .....	41
3.1.5 Impacto Social y Organizacional.....	42
3.2 Presentación del diseño Actual de 135kW .....	43
3.2.1 Componentes de la propuesta:.....	43
3.2.2 Estructuración de la propuesta.....	44
3.2.3 Ejecución de la propuesta .....	45
3.3 Descripción del caso propuesto con expansión a (990kW).....	50
3.3.1 Objetivo de la propuesta .....	50

3.3.2 Cálculo de la energía .....	50
3.3.3 Datos de radiación .....	55
3.3.4 Equipos Seleccionados .....	58
3.3.5 Cálculo de Perdidas .....	59
3.3.6 Cálculo de Potencia Mínima del generador:.....	60
3.3.7 Cálculo de numero de paneles .....	60
3.3.8 Cálculo del Inversor.....	62
3.3.9 Ejecución de la simulación .....	63
3.3.10 Resultados de la Simulación.....	65
4 Análisis de Resultados.....	<b>69</b>
5 Conclusiones.....	<b>70</b>
6 Recomendaciones .....	<b>72</b>
7 Referencias: .....	<b>73</b>
8 Anexos .....	<b>81</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registro Anual de Consumo.....	47
Tabla 2. Componentes del sistema Fotovoltaico de 135 kW .....	48
Tabla 3. Registro de demanda propuesta.....	50
Tabla 4. Diseño fotovoltaico propuesto para cubrir la demanda de los equipos .....	55
Tabla 5. Tabla de radiación diaria de la Planta Paccari Chocolate.....	57
Tabla 6. Arreglo fotovoltaico Propuesto .....	61
Tabla 7. Disposición de Inversores en el sistema Fotovoltaico.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiación solar.....	10
Figura 2. Irradiancia solar.....	11
Figura 3. Irradiación solar .....	12
Figura 4. Mapa de Insolación solar promedio en el Ecuador .....	13
Figura 5. Efecto Fotovoltaico .....	14
Figura 6. Módulo de Silicio monocristalino.....	15
Figura 7. Módulo de Silicio policristalino.....	16
Figura 8. Panel Solar de película delgada.....	17
Figura 9. Estructura de un panel de Perovskita .....	18
Figura 10. Panel Fotovoltaico Bifacial .....	18
Figura 11. Inversor Afore .....	19
Figura 12. Microinversor .....	20
Figura 13. Optimizador de Potencia .....	21
Figura 14, Estructuras y soportes para montaje(EcoInventos 2024, n.d.) .....	23
Figura 15. Cable de CC para FV .....	24
Figura 16. Conectores MC4 .....	25
Figura 17. Conector tipo Solar Two .....	25
Figura 18. Conector rápido de cierre .....	26
Figura 19. Medidor electromecánico bidireccional .....	27
Figura 20. Medidor electrónico bidireccional .....	28
Figura 21. Medidor Inteligente bidireccional .....	29
Figura 22. Sistema de monitoreo.....	31

Figura 23. Vista aérea de la planta fotovoltaica “PACCARI CHOCOLATE” .....	35
Figura 24. Clima y tiempo.....	46
Figura 25. Clima y tiempo en Quito(Weatherspark, n.d.) .....	47
Figura 26. Pantalla de acceso a PVsyst .....	49
Figura 27. Curva de demanda máxima por hora Día 1= 204kW .....	51
Figura 28. Curva de demanda máxima por hora Día 2= 204kW.....	51
Figura 29. Curva de demanda máxima por hora Día 3= 186kW.....	52
Figura 30. Curva de demanda máxima por hora Día 4= 182kW.....	52
Figura 31. Curva de demanda máxima por hora Día 5= 109kW.....	53
Figura 32. Curva de demanda máxima por hora Día 6= 149kW.....	53
Figura 33. Curva de demanda máxima por hora Día 7= 182kW.....	54
Figura 34. Curva de demanda máxima por hora Día 8= 204kW.....	54
Figura 35. Datos de Irradiación Global del sitio de la Planta Paccari Chocolate.....	56
Figura 36. Parámetros eléctricos de los paneles Ligth Green.....	58
Figura 37. Inversores utilizados en el diseño del sistema fotovoltaico .....	58
Figura 38. Parámetros eléctricos del inversor. ....	59
Figura 39. Definición del sistema para 990kW .....	64
Figura 40. Resumen del sistema para 990kW .....	64
Figura 41. Diagrama Unifilar del sistema de 990kW.....	65
Figura 42. Características del sistema fotovoltaico .....	66
Figura 43. Producción del sistema.....	66
Figura 44. Balance de resultados.....	67
Figura 45. Diagrama Unifilar del sistema propuesto.....	69

## INTRODUCCIÓN

### **Tema**

Diseño y simulación del Crecimiento de un Sistema Fotovoltaico Híbrido considerando el aumento de demanda en la planta Industrial de la Empresa Productos SKS Farms “PACCARI CHOCOLATE”

### **Planteamiento del Problema**

El crecimiento industrial de la planta "Paccari Chocolate" ha generado un aumento en la demanda energética, que no puede ser sostenido únicamente mediante el sistema eléctrico convencional. Esto crea una dependencia significativa en fuentes de energía no renovables, lo que incrementa los costos operativos y afecta negativamente al medio ambiente.

Además, las fluctuaciones en el suministro eléctrico representan un riesgo para la continuidad de la producción, lo que hace evidente la necesidad de un sistema energético alternativo que pueda suplir esta demanda de manera eficiente y confiable. A pesar de que ya existen estudios sobre sistemas fotovoltaicos y su integración en redes industriales, se ha identificado un vacío en cuanto a estudios específicos que aborden las particularidades de sistemas híbridos para empresas con una demanda energética creciente y características climáticas como las de Quito. Esto establece la prioridad de analizar y diseñar un sistema fotovoltaico híbrido escalable que pueda adaptarse a las necesidades cambiantes de la planta.

### **Problema científico**

¿Cómo diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico híbrido óptimo y escalable para la planta industrial “Paccari Chocolate” en Quito-Ecuador, tomando en cuenta las condiciones climáticas locales y la creciente demanda energética, ¿con el fin de garantizar un suministro eléctrico confiable y sostenible?

### **Preguntas científicas o directrices**

- ¿Cuál es la capacidad de generación de energía fotovoltaica necesaria para satisfacer la demanda actual y futura de la planta "Paccari Chocolate", considerando los patrones de consumo y los factores climáticos de Quito?
- ¿Qué tipo de configuración (topología) del sistema fotovoltaico híbrido es la más adecuada para la planta, considerando factores como la disponibilidad de espacio, la calidad de la red eléctrica y los costos de inversión?
- ¿Cuáles son los componentes óptimos (paneles solares, inversores, baterías, etc.) para el sistema fotovoltaico híbrido, en términos de eficiencia, durabilidad y costo, considerando las condiciones climáticas y la demanda energética de la planta?

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Simular y analizar un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial "Productos SKS Farms - Paccari Chocolate" en Quito, Ecuador, con el fin de satisfacer su creciente demanda energética de manera confiable y sostenible.

#### **Objetivos específicos**

- Dimensionar el crecimiento gradual del sistema fotovoltaico híbrido utilizando la herramienta PVsyst: Este objetivo se centra en la simulación del sistema para analizar su comportamiento a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones.
- Determinar la capacidad óptima del sistema fotovoltaico para cubrir la demanda actual y futura de la planta, calculando la cantidad exacta de energía que el sistema debe generar para satisfacer las necesidades de la empresa.
- Evaluar el desempeño del sistema bajo un escenario de expansión en diferentes condiciones climáticas y también seleccionando los componentes adecuados para la implementación del sistema los cuales deben ser más eficientes para las condiciones específicas de la planta.

## **Justificación**

El presente proyecto se justifica por la creciente necesidad de adoptar soluciones energéticas más sostenibles y eficientes, especialmente en el contexto del cambio climático y el agotamiento de los recursos fósiles. La implementación de este sistema fotovoltaico en la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” representa un paso significativo hacia la transición y a un futuro energético más limpio y renovable.

El modelado y la simulación precisos de sistemas fotovoltaicos son cruciales para maximizar su rendimiento y eficiencia. El uso de la herramienta como PVsyst permite realizara análisis detallados y simulaciones que son fundamentales para comprender como el sistema fotovoltaico puede comportare bajo diversas condiciones operativas. La capacidad de modelar detalladamente el sistema actual y evaluar diferentes escenarios permite optimizar el rendimiento del sistema, así como identificar y corregir posibles ineficiencias y prever como afectarán las nuevas expansiones. De esta manera permite la evaluación de condiciones operativas simulando el sistema bajo distantitos parámetros de carga, para asegurar la robustez y estabilidad del sistema.

La simulación de este modelo de expansión eficiente fotovoltaico no solo tendría un impacto directo a la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate”, sino que también aporta beneficios significativos a nivel sectorial y organizacional. La optimización y expansión del sistema fotovoltaico contribuyen a una mayor sostenibilidad al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y minimizar las emisiones de carbono, que es decisivo para el compromiso de la reducción del impacto ambiental y el cambio climático. Otro aspecto fundamental es la reducción de costos, si el sistema está bien diseñado y expandido puede reducir significativamente los costos operativos asociados con la energía, lo que repercute positivamente en la rentabilidad de la empresa.

## **Variables**

Se identifican las variables clave para el estudio del diseño y simulación de un sistema fotovoltaico híbrido en la planta "Paccari Chocolate":

**Dependientes.**

- La cantidad de energía que el sistema es capaz de generar (medida en kW o MW). Esta variable puede manipularse al cambiar la cantidad de paneles, la capacidad de los inversores, y la estructura del sistema. La capacidad óptima se evaluará para satisfacer la demanda energética actual y futura de la planta.

**Independientes.**

- Tamaño del sistema fotovoltaico: La capacidad de generación de energía del sistema, medida en kWp, es un factor clave que se puede modificar para evaluar diferentes escenarios.
- Tipo de componentes: La elección de paneles solares, inversores, y otros equipos puede variar, lo que influirá en la eficiencia y el costo del sistema.
- Topología del sistema: La forma en que se conectan los componentes del sistema (en serie, en paralelo, híbrida) es otra variable que se puede manipular para encontrar la configuración óptima.
- Condiciones climáticas: Los datos meteorológicos, como la radiación solar, la temperatura y la humedad, son variables externas que afectan directamente la generación de energía del sistema.

**Idea a defender y/o Hipótesis**

El diseño y simulación de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial "Paccari Chocolate" permitirá satisfacer la creciente demanda energética de la empresa de manera confiable y sostenible. El dimensionamiento de este sistema utilizando PVsyst, optimizará la capacidad de generación solar bajo diversas condiciones climáticas y escenarios de expansión, logrando una reducción significativa en la dependencia de fuentes de energía no renovable y contribuyendo a la transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente.

# 1 CAPÍTULO I

## 1.1 Marco Teórico

El estudio proporciona los fundamentos científicos y técnicos necesarios para el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial "Productos SKS Farms - Paccari Chocolate" en Quito, Ecuador. Se abordará el estado del arte en cuanto a sistemas fotovoltaicos, tecnologías híbridas de generación, herramientas de simulación como PVsyst, así como los principios y criterios técnicos para garantizar un suministro eléctrico confiable y sostenible.

## 1.2 Contextualización espacio temporal del problema.

- Contexto Macro: Situación Global y Latinoamericana

A nivel mundial, el aumento de la demanda energética y la necesidad urgente de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado una transición hacia fuentes de energía renovable, como la solar. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la energía solar fotovoltaica es una de las tecnologías que más ha crecido en las últimas décadas. En muchos países, la adopción de sistemas fotovoltaicos se ha acelerado debido a su viabilidad económica, el acceso a tecnologías avanzadas, y la presión de políticas globales para combatir el cambio climático. América Latina, en particular, ha aprovechado su alta radiación solar y ha incrementado la instalación de sistemas solares, especialmente en países como México, Brasil y Chile, donde las políticas energéticas han favorecido la inversión en energías renovables.

- Contexto Meso: Situación en Ecuador

En Ecuador, el sector energético está en una fase de transformación, impulsada por la necesidad de diversificar la matriz energética, que ha sido históricamente dependiente de fuentes hidroeléctricas. Sin embargo, el país cuenta con un gran potencial solar debido a su ubicación geográfica cercana al ecuador, lo que le otorga niveles de irradiación solar altos y constantes a lo largo del año. El Plan Nacional de Energía del Ecuador ha enfatizado la importancia de desarrollar más proyectos de energía renovable, incluyendo energía solar fotovoltaica, con el fin de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental. No obstante, la adopción de tecnologías solares en el



sector industrial aún es incipiente y representa una oportunidad significativa para la sostenibilidad del país.

- Contexto Micro: Situación en "Paccari Chocolate"

En el caso particular de la planta industrial de Productos SKS Farms "Paccari Chocolate", ubicada en Quito, Ecuador, el problema radica en la creciente demanda energética de la empresa debido a su expansión productiva. Actualmente, la planta depende en gran medida de la red eléctrica local, lo que genera altos costos energéticos y una mayor huella de carbono. Con el aumento de la producción y el compromiso de la empresa con la sostenibilidad, se vuelve crucial encontrar soluciones energéticas eficientes y renovables que no solo cubran la demanda actual, sino también la futura. El diseño de un sistema fotovoltaico híbrido aparece como una solución estratégica que permitiría a la empresa reducir costos, mejorar su eficiencia energética y alinearse con sus objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

En este contexto, la investigación busca abordar cómo la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido permitirá cubrir las necesidades energéticas de la planta de manera escalable y flexible, aprovechando al máximo la energía solar disponible en la región de Quito, y asegurando un suministro confiable en el tiempo.

### **1.3 Revisión de investigaciones previas sobre el objeto de estudio**

El artículo de (Mohammadi & Gezegin, 2022) presenta un estudio exhaustivo sobre el diseño y simulación de un sistema solar fotovoltaico (PV) de 5 MW en la provincia de Ghor, Afganistán, que actualmente carece de conexión a la red eléctrica nacional. Utilizando herramientas de simulación como PVSYST, PVGIS y HOMER, se realizó un análisis detallado de la capacidad de generación de energía solar en la región. Se seleccionó un sitio adecuado a 8.17 km del centro de la provincia, donde se implementaron 19,998 módulos solares de tipo monocristalino y 53 inversores Growatt, con una capacidad total de 5,300 kW. Los resultados anuales de generación de energía fueron de 11,938 MWh con PVSYST, 11,698 MWh con HOMER y 10,673 MWh con PVGIS, lo que demuestra que PVSYST ofrece la mayor producción de energía, superando a HOMER en 240 MWh y a PVGIS en 1,265 MWh. Este análisis sugiere que PVSYST es la herramienta más adecuada para evaluar el rendimiento del sistema ya que proporciona la mayor cantidad de energía, la construcción de este sistema solar

representa una solución viable y prioritaria para proporcionar energía sostenible y confiable a la provincia de Ghor, mejorando así las condiciones de vida y fomentando el desarrollo económico en la región. En cambio (Srivastava & Giri, 2017) detalla el diseño de un sistema fotovoltaico (PV) conectado a la red, realizado mediante el uso del software PVsyst, con el objetivo de optimizar la producción de energía para la Universidad Madan Mohan Malaviya, se llevó a cabo un análisis exhaustivo que incluyó la recopilación de datos de carga y condiciones climáticas y de irradiación solar en la ubicación específica. PVsyst se destacó por su capacidad para modelar diferentes configuraciones de sistemas fotovoltaicos, facilitando la selección de componentes adecuados, como 2000 módulos de 250 W y 10 inversores de 50 kW, mejorando así el rendimiento del sistema. La importancia de utilizar PVsyst radica en su precisión para predecir la producción de energía, evaluar pérdidas y determinar el rendimiento del sistema bajo diversas condiciones, lo que resulta crucial para garantizar la viabilidad económica y técnica del proyecto. Por otro lado el estudio de (Kumar et al., 2021) y su equipo se centra en el diseño y simulación de un sistema solar fotovoltaico autónomo utilizando el software PVsyst, con el objetivo de satisfacer las necesidades energéticas del departamento de ingeniería mecánica del Government Engineering College Bikaner. Se empleó un enfoque metodológico que incluyó la evaluación de la relación de rendimiento (PR) y el análisis de pérdidas en el sistema. Los resultados mostraron que el PR más alto se registró en diciembre (86%) debido a temperaturas más bajas de los módulos, mientras que el más bajo fue en abril (64%) por el aumento de temperatura. A lo largo del año, el PR promedio fue del 72.8%, y se determinó que el sistema podía proporcionar 1068.12 kWh de energía, lo que demuestra su viabilidad para aplicaciones off-grid. Concluye que, a pesar de las variaciones estacionales en el rendimiento, el sistema solar puede ser una solución efectiva para satisfacer las demandas energéticas locales, destacando la importancia de considerar las condiciones climáticas en el diseño de sistemas fotovoltaicos.

En este mismo contexto el estudio de (Grover et al., 2020) presenta el diseño y la simulación de una planta fotovoltaica de 20 MW en Devdurga, Karnataka, India, utilizando el software PVsyst. A través de simulaciones detalladas, se analizaron las trayectorias de los módulos fotovoltaicos y se evaluaron diferentes configuraciones de inclinación y orientación, lo que permitió obtener resultados realistas basados en datos geográficos. Los resultados indicaron una producción anual de energía de 44,854 MWh y una relación de rendimiento del

76.28%. Se observó que la temperatura de operación de los módulos fotovoltaicos influye significativamente en el rendimiento, y se identificaron pérdidas del 2% en la simulación. Lo que destaca la fiabilidad de PVsyst para estimar el tamaño de los componentes de sistemas solares integrados y la importancia de correlacionar los cálculos teóricos con datos reales para optimizar el diseño de plantas fotovoltaicas. En cambio en este artículo de (Jagadale et al., 2022) el estudio se centra en el diseño y simulación de una planta fotovoltaica conectada a la red de 250 kWp en Pune, India, utilizando el software PVsyst y datos de Meteonorm 8.0. Se evaluó el rendimiento del sistema mediante dos enfoques: uno con un ángulo de inclinación fijo durante todo el año y otro ajustando el ángulo mensualmente para maximizar la producción de energía. Los resultados mostraron que, aunque la radiación incidente máxima no garantizaba la generación de energía óptima debido a pérdidas térmicas significativas, se identificaron ángulos óptimos que mejoraron la energía inyectada a la red. Se puede destacar la importancia de ajustar el ángulo de inclinación para maximizar la eficiencia del sistema y destacan la viabilidad de la energía solar como una solución sostenible para satisfacer la creciente demanda energética, minimizando al mismo tiempo los impactos ambientales negativos.

También se debe mencionar el estudio de (Mohamed et al., 2022) que presenta el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red y montado en tierra utilizando módulos bifaciales, realizado mediante el software PVsyst. Se llevó a cabo un análisis comparativo entre sistemas bifaciales y mono faciales en un área de 235,579.25 m<sup>2</sup> en Malasia, optimizando parámetros geométricos como un ángulo de inclinación de 5°, un espacio entre módulos de 5.5 m y una altura de instalación de 1.5 m. Los resultados mostraron que el sistema bifacial generó un 4.48% más de energía en comparación con el sistema mono facial, a pesar de un albedo bajo de 0.25. Desde una perspectiva económica, el costo nivelado de energía (LCOE) del sistema bifacial fue de RM 0.084 por kWh, inferior al de RM 0.098 por kWh del sistema mono facial, lo que sugiere un fuerte potencial para reducir costos en la generación de electricidad, destacando la viabilidad técnica y económica de los módulos bifaciales, incentivando su adopción en proyectos futuros. Además en este estudio del diseño de un sistema híbrido fotovoltaico para un sistema de iluminación eficiente en energía (Tamoore et al., 2021), utilizando el software PVsyst para simular y optimizar el rendimiento del sistema. Se seleccionaron módulos fotovoltaicos monocristalinos de 400 W, un inversor híbrido de 10 kW y un banco de baterías Narada con una capacidad nominal de 1600 Ah, configurando el sistema con 4 cadenas paralelas, cada una

compuesta por 13 módulos en serie. A través de la simulación, se obtuvo una producción total anual de energía de 26.68 MWh, con una producción específica de 1283 kWh/kWp/año, lo que indica un rendimiento considerable del sistema. Además, se registró que el 77.4% de la energía generada fue utilizada directamente, mientras que el 22.6% se almacenó en el banco de baterías. Las pérdidas del sistema fueron analizadas, revelando un rendimiento promedio (PR) del 65.57%, con un PR máximo de 68.2% en diciembre y un mínimo de 62.7% en mayo. Este estudio aparte de analizar en que meses del año existe un mejor rendimiento, también sugieren que, a pesar de las pérdidas identificadas, el sistema híbrido fotovoltaico es una opción viable y eficiente para la iluminación, ofreciendo una solución sostenible que no solo reduce el consumo de energía de la red eléctrica, sino que también minimiza el impacto ambiental al contribuir a la reducción de emisiones de carbono en entornos urbanos. Este enfoque también se debe mencionar la publicación de (Reyna et al., 2022) en el diseño de una planta solar fotovoltaica de 5 MW, centrándose en la influencia de los datos climáticos en la producción de energía. Para llevar a cabo el estudio, se empleó un enfoque metodológico que incluyó la simulación de la planta utilizando el software PVsyst, donde se verificaron los cálculos mediante ecuaciones de diseño. Se utilizaron diferentes bases de datos climáticas, específicamente PVGIS, Meteonorm y NASA, para evaluar cómo estas variaciones afectan la producción de energía. Los resultados mostraron que la planta podría generar entre 8152 MWh/año y 9740 MWh/año, dependiendo de la base de datos utilizada, lo que resalta la importancia de seleccionar datos climáticos actualizados y precisos. Además, se realizó un análisis económico que incluyó el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), obteniendo un TIR del 12.70% y un VAN de \$575,588.77, lo que indica que el proyecto es económicamente viable y rentable, con un período de recuperación de 10 años. Este artículo enfatiza que el diseño de plantas solares debe considerar cuidadosamente la calidad y actualidad de los datos climáticos, ya que estos influyen significativamente en la producción de energía y en la toma de decisiones sobre la selección de equipos, lo que puede afectar la inversión inicial y la eficiencia del sistema y recomienda la comparación de múltiples fuentes de datos climáticos para optimizar el diseño y asegurar que se adapte a las condiciones climáticas reales del sitio. En la misma línea de diseño (Abdul Kader et al., 2021) realiza un estudio, basado en el software PVsyst y siguiendo la línea de investigación de Abdul Kader et al. (2021), presenta un análisis exhaustivo de la implementación de un sistema solar fotovoltaico

conectado a la red en Bangladesh. El objetivo principal era evaluar la viabilidad y eficiencia de esta tecnología en un contexto donde la demanda energética crece rápidamente y el potencial solar es elevado.

Utilizando el software PVsyst, se diseñó y simuló un sistema solar de 209 kWp, considerando factores como la orientación de los paneles, las condiciones climáticas locales y las pérdidas energéticas. Los resultados mostraron que el sistema es capaz de generar una cantidad significativa de energía eléctrica, reduciendo la dependencia de la red y los costos operativos. Además, el análisis económico indicó que la inversión en este tipo de sistemas puede ser altamente rentable a largo plazo, especialmente para el sector industrial, este estudio concluye enfatizando la importancia de la energía solar como una solución viable y sostenible para abordar los desafíos energéticos de Bangladesh. Los beneficios de esta tecnología incluyen la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de la dependencia de combustibles fósiles y la creación de un futuro energético más limpio y sostenible. El estudio recomienda la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en diferentes sectores, promoviendo así el uso de energías renovables en el país.

Siguiendo la misma estructura de investigación el siguiente estudio (Shirzad et al., 2023), se centra en el diseño y desarrollo de una planta de energía solar fotovoltaica conectada a la red, utilizando el software PVsyst para simular y optimizar el sistema. El método empleado incluyó la recopilación de datos meteorológicos específicos del sitio, así como la evaluación de la ubicación geográfica, la orientación de los paneles, la configuración de los arreglos y los parámetros de pérdida. Se seleccionaron módulos fotovoltaicos policristalinos de la empresa Trina, debido a su eficiencia en climas cálidos, con una eficiencia promedio del 15.29% y una garantía de 25 años. La simulación reveló que la planta podría generar aproximadamente 67,339 MWh anuales, con una producción específica de 1,738 kWh/kWp/año y un rendimiento del 75.16%. Los resultados también indicaron que la energía inyectada a la red era más alta en octubre, alcanzando 5,416,182 kWh, mientras que la menor inyección se registró en otros meses, lo que sugiere una variabilidad estacional en la producción de energía solar. Las técnicas del estudio enfatizan la importancia de un diseño meticuloso que maximice la captación de energía solar, así como la necesidad de considerar las condiciones climáticas locales al seleccionar los componentes del sistema. Además, se destaca que la implementación de esta planta no solo podría mejorar el acceso a la electricidad en Afganistán, sino también contribuir

a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, al sustituir fuentes de energía fósil. En conclusión, este estudio proporciona un enfoque integral para el desarrollo de sistemas de energía solar en contextos desafiantes, ofreciendo un modelo que podría ser replicado en otras regiones con necesidades similares. En Ecuador se realizó un estudio de un Sistema Fotovoltaico para Autoconsumo en la Comunidad El Limón, Portoviejo, Manabí, (David Sabando-Catagua et al., 2024), este estudio se centra en la simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red, diseñado para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad de El Limón. Para la simulación del sistema fotovoltaico, se utilizó el software PVsyst, versión 7.4.8, en modo de evaluación. El sistema simulado no incluyó una escena 3D ni sombras, lo que permitió centrarse en los parámetros fundamentales del sistema. Se seleccionaron módulos fotovoltaicos del modelo JKM 205PP-48, con una inclinación de 5 grados y orientación hacia el norte. La ubicación geográfica de El Limón se estableció con una latitud de  $-1.07^\circ$  y una longitud de  $-80.43^\circ$ , a una altitud de 54 metros sobre el nivel del mar. EL sistema fue diseñado con una potencia total de 3074 Wp, utilizando un inversor de 3 kW y un total de 15 módulos. Se analizaron diversos parámetros, incluyendo la producción de energía, las pérdidas del sistema y la viabilidad económica. La producción específica del sistema se calculó en 1391 kWh/kWp/año, lo que indica la cantidad de energía generada por cada kilovatio pico instalado. Los resultados de la simulación mostraron que el sistema fotovoltaico tenía una producción total de 4278.52 kWh/año, con un rendimiento promedio del sistema del 84.10%. La producción de energía varió mensualmente, siendo junio y julio los meses con mayor eficiencia debido a la menor pérdida térmica y mayor irradiación efectiva. Los valores de producción mensual oscilaron entre 317.6 kWh en septiembre y 443.0 kWh en abril. Las principales pérdidas del sistema se atribuyeron a factores como la temperatura (9.73%), desajuste de módulos (2.0%), cableado (0.95%) y eficiencia del inversor (2.02%). Estas pérdidas son inherentes a cualquier sistema fotovoltaico y representan desafíos técnicos que deben ser gestionados para maximizar la eficiencia energética.

Se debe manifestar que la implementación del sistema fotovoltaico en El Limón es viable tanto técnica como económicamente. La implementación de sistemas fotovoltaicos en regiones con alta irradiación solar, como El Limón, puede contribuir significativamente a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y a la mitigación del cambio climático. La energía solar es una fuente limpia y renovable que ayuda a reducir la huella de carbono y otros

contaminantes asociados con la generación de energía a partir de fuentes no renovables. Cabe mencionar que el estudio no solo proporciona una evaluación detallada del rendimiento y las implicaciones financieras de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la región, sino que también resalta la importancia de adoptar energías renovables para un futuro más sostenible.

También en este mismo nivel de investigación se encontró el estudio "Technical and Economic Study of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software: A Case Study", (Zaro, 2023), el cual se centra en el análisis técnico y económico de un sistema de energía solar fotovoltaica (PV) conectado a la red en Hebrón, Palestina. A continuación, se presenta un resumen extendido que incluye el método utilizado, los resultados obtenidos y las conclusiones técnicas, el estudio titulado "Technical and Economic Study of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software: A Case Study" realizado por Fouad Zaro se centra en el análisis técnico y económico de un sistema de energía solar fotovoltaica (PV) conectado a la red en Hebrón, Palestina. A continuación, se presenta un resumen extendido que incluye el método utilizado, los resultados obtenidos y las conclusiones técnicas. El estudio empleó el software PVsyst para diseñar y analizar un sistema de energía solar fotovoltaica en un entorno urbano. Este software es ampliamente utilizado para simular el rendimiento de sistemas fotovoltaicos, teniendo en cuenta factores como la radiación solar, la temperatura, la eficiencia de los paneles y las pérdidas de energía. Se realizó un análisis del potencial solar en la ciudad de Hebrón, utilizando datos sobre la radiación solar incidente y la posición del sol a lo largo del año. Esto permitió determinar la cantidad de energía solar que podría ser capturada por el sistema. Se diseñó un sistema de 100 kW, considerando la orientación y el ángulo de inclinación óptimos de los paneles solares. Se seleccionaron componentes clave, como módulos fotovoltaicos y un inversor, para garantizar un rendimiento eficiente.

Este estudio concluye que la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica conectado a la red en Hebrón es no solo viable desde el punto de vista técnico, sino también económicamente atractivo. La inversión en un sistema solar PV es financieramente justificable, con un período de recuperación relativamente corto y un alto retorno sobre la inversión, así se debe manifestar que la adopción de energía solar contribuirá a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, promoviendo un balance de emisiones más favorable y apoyando la transición hacia fuentes de energía más limpias. El uso de PVsyst permitió una evaluación detallada de las pérdidas del sistema y la optimización del diseño, asegurando que el sistema maximice la

producción de energía solar. El estudio demuestra que los sistemas de energía solar fotovoltaica son una solución viable y efectiva para abordar los desafíos energéticos en Hebrón, ofreciendo beneficios económicos y ambientales significativos.

## **1.4 Cuerpo Teórico – Conceptual**

En el estudio del diseño y simulación de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” en Quito, Ecuador, es fundamental abordar las concepciones teóricas actuales sobre sistemas fotovoltaicos híbridos, su aplicación en industrias y la integración con el suministro energético existente. La investigación se enmarca en la teoría de sistemas fotovoltaicos escalables y sostenibles, fundamentada en la creciente necesidad de adaptación energética ante la demanda industrial y las condiciones climáticas variables, la configuración y el tamaño de este tipo de sistemas varían según las necesidades de cada aplicación. A continuación, se detalla los componentes claves de un sistema fotovoltaico Híbrido:(Kong et al., 2020)

### **1.4.1 Radiación Solar**

La radiación solar es energía emitida por el sol y está compuesta por un conjunto de señales electromagnéticas que se distribuyen desde el infrarrojo hasta el ultravioleta y dentro del espectro.

La radiación solar puede variar según la ubicación geográfica, la época del año, la hora del día, la altitud, y las condiciones climáticas como la presencia de nubes(abril 2022, n.d.). Existen diferentes tipos de irradiación solar:

1. Radiación Directa: Es la radiación solar que llega directamente desde el sol sin ser dispersada ni reflejada por la atmósfera.
2. Radiación Difusa: Es la radiación solar que ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera y que llega al suelo desde todas las direcciones.
3. Radiación Global: Es la suma de la irradiación directa y la irradiación difusa que llega a una superficie horizontal.
4. Radiación Reflejada: Es la radiación que llega a la superficie después de ser reflejada por el suelo o superficies cercanas.



El entendimiento de la radiación solar es fundamental para la planificación y optimización de sistemas que aprovechan la energía solar, especialmente en sistemas fotovoltaicos.(Energy.gov-radiation)

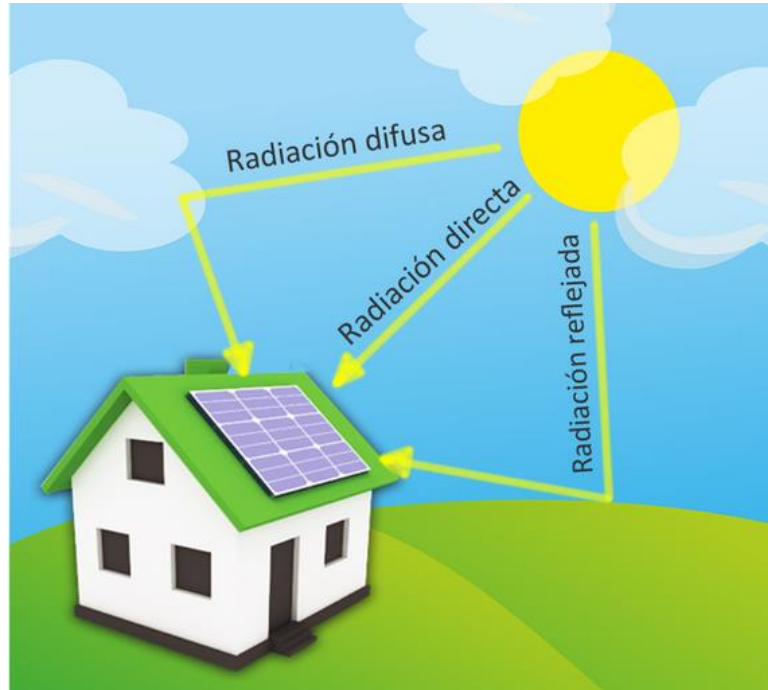


Figura 1. Radiación solar  
Fuente: (*La Radiación Solar - HelioEsfera* nd)

### 1.4.2 Irradiancia Solar

Es la intensidad de la radiación solar que mide la unidad de potencia por unidad de superficie. La unidad de medida es el Watt /metro cuadrado ( $W/m^2$ ) y comúnmente utilizado el kiloWatt / metro cuadrado ( $kW/m^2$ ). Como dato, las pruebas de los módulos fotovoltaicos en laboratorio, denominadas en inglés STC (Standard conditions) o en español CEM (Condiciones estándares de medida), se realizan simulando una condición de día soleado, esta simulación contempla proyectar sobre el módulo fotovoltaico una irradiancia de  $1 kW/m^2$ . Mientras incide la irradiancia proyectada sobre el módulo, se procede a medir las magnitudes eléctricas de salida (Potencia,  $V_{mpp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{mpp}$ ,  $I_{sc}$  y eficiencia).(Sepúlveda, 2014)

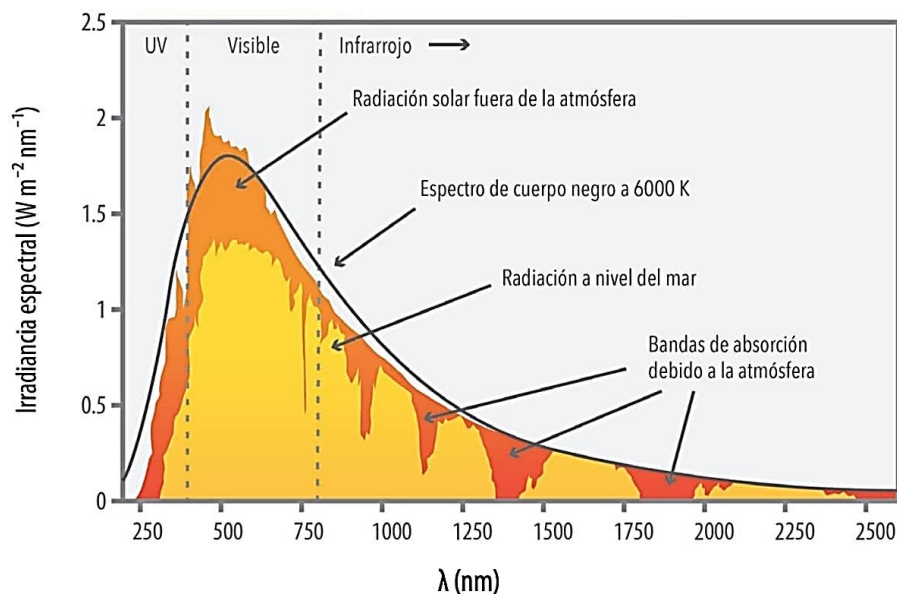


Figura 2. Irradiancia solar  
Fuente: (Meteorología-en-red.)

### 1.4.3 Irradiación Solar

Es la potencia por unidad de área recibida del Sol en forma de radiación electromagnética medida en el rango de longitud de onda del instrumento de medición. La irradiancia solar se mide en vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ) en unidades SI. La irradiación solar a menudo se integra durante un período de tiempo determinado para informar la energía radiante emitida en el entorno circundante (julios por metro cuadrado,  $\text{J/m}^2$ ) durante ese período de tiempo. Esta irradiancia solar integrada se denomina irradiación solar, exposición solar, insolación solar o insolación. (Hernández, 2003)

## Irradiación (H)

Unidad de Medida: Watt hora /  
m<sup>2</sup> / tiempo

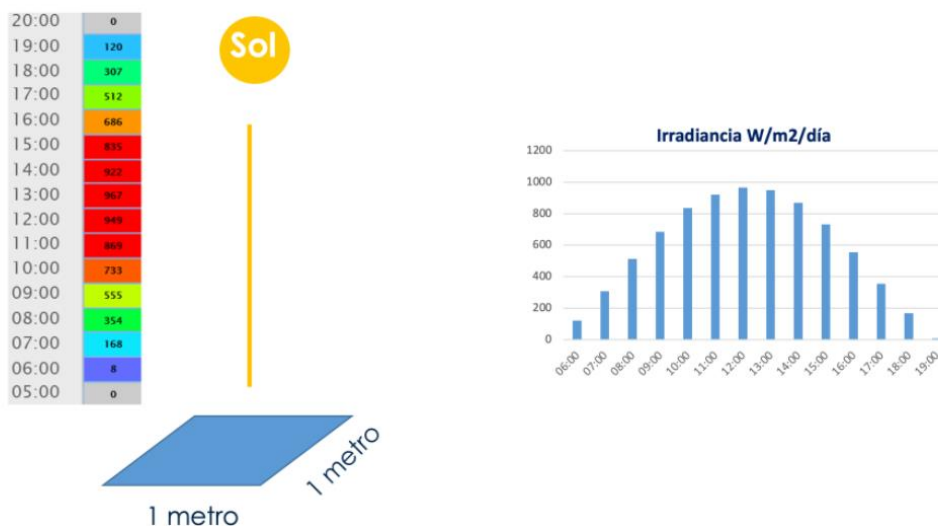


Figura 3. Irradiación solar

Fuente: (Diferencias entre radiación, irradiancia e irradiación solar - Ilumin)

### 1.4.4 Radiación Solar en Ecuador

Ecuador, gracias a su ubicación geográfica y condiciones climáticas, presenta un potencial solar considerable. Sin embargo, para aprovechar al máximo esta energía, es fundamental comprender las características específicas de la radiación solar en el país.

El país por su proximidad a la línea ecuatorial recibe una irradiación solar considerable alta durante todo el año. La irradiación promedio diaria puede oscilar entre 4.5 y 6 kWh/m²/día, dependiendo de la región y la altitud, por ejemplo, en las regiones de sierra y costa presentan niveles de irradiación más altos que en la amazonia donde la nubosidad es mayor. Estas características de irradiación solar hacen que Ecuador sea un lugar favorable para la instalación de sistemas fotovoltaicos, permitiendo una producción de energía relativamente constante a lo largo del año. (Hernández & LOJA, n.d.) (Enercitysa, n.d.)

Se debe también mencionar que esta irradiación en el país permite que los paneles solares operen cerca de su máxima capacidad, sin embargo, hay factores que pueden ser negativo, como la temperatura ambiente, ya que el calor puede afectar la eficiencia de los paneles solares, sin dejar de considerar que la calidad del panel, la orientación de los mismos y la presencia de sombras afectan el desempeño de los paneles. (Odio et al., 2019)

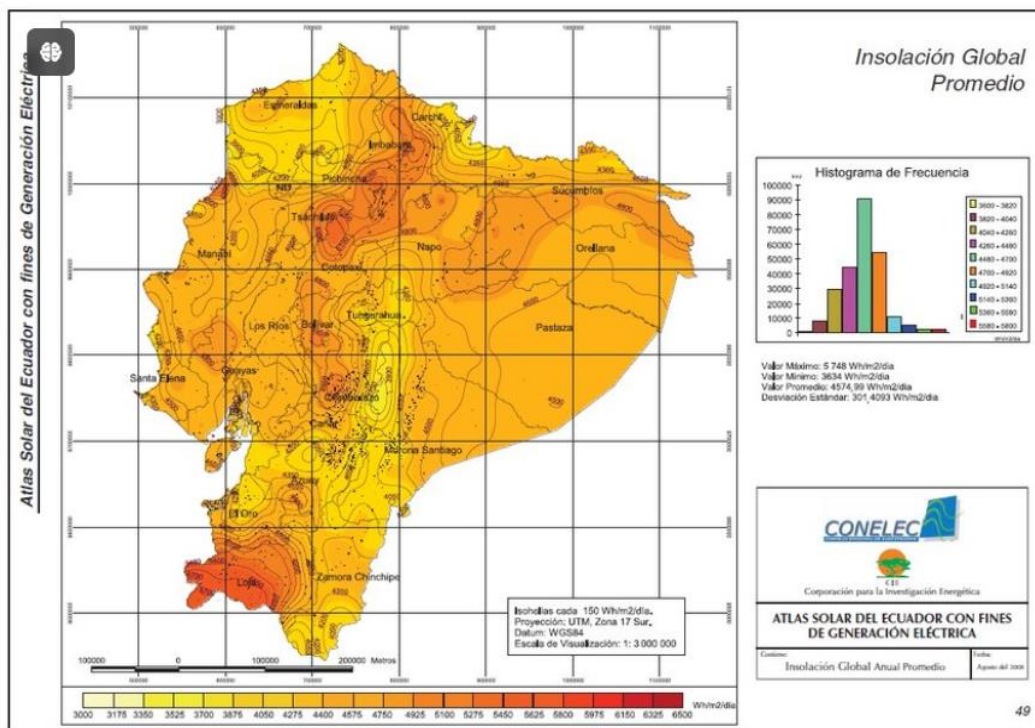


Figura 4. Mapa de Insolación solar promedio en el Ecuador  
 Fuente: (CONELEC, 2008)

#### 1.4.5 Medición y Modelado de Radiación Solar:

**Modelos de Radiación Solar:** Se han desarrollado modelos avanzados para estimar la radiación solar, como el modelo de la NASA (MODIS), el modelo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), y modelos basados en el satélite, que proporcionan datos precisos para la planificación de sistemas fotovoltaicos.

**Estaciones Meteorológicas:** Las estaciones meteorológicas y los sensores de radiación solar proporcionan datos en tiempo real que son cruciales para evaluar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. (Solarama, n.d.)

#### 1.4.6 Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es un fenómeno físico que ocurre cuando la luz, especialmente la luz solar, incide sobre ciertos materiales semiconductores, como el silicio, generando una corriente eléctrica. Los materiales semiconductores, como el silicio, tienen una estructura atómica que

les permite absorber fotones (partículas de luz). Cuando un fotón es absorbido por un electrón en el material semiconductor, este electrón adquiere suficiente energía para liberarse de su átomo y moverse a través del material. Si se crea una unión entre dos tipos diferentes de material semiconductor (unión p-n), los electrones liberados por la luz tienden a moverse hacia una región específica de esta unión, creando una diferencia de potencial eléctrico, es decir, un voltaje. Al conectar un circuito externo a esta unión, los electrones fluyen, generando una corriente eléctrica.

La eficiencia de una célula fotovoltaica depende de factores como el tipo de material semiconductor, calidad de la unión tipo PN, el diseño del panel y las condiciones ambientales. (Almeida et al., 2021)

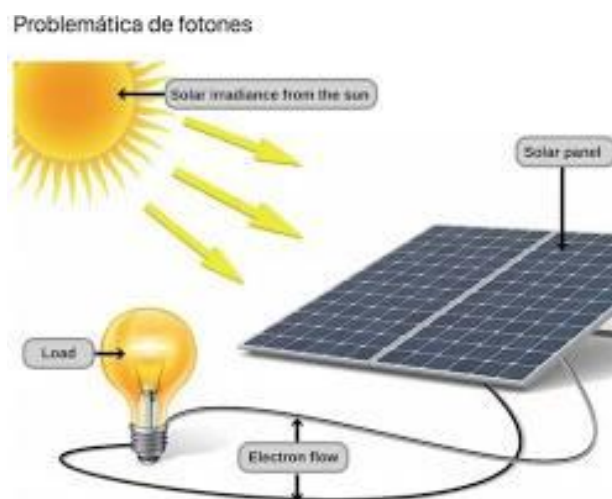


Figura 5. Efecto Fotovoltaico  
Fuente: (Pineda, José )

#### 1.4.7 Módulos Fotovoltaicos (Paneles solares)

Los módulos fotovoltaicos son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad mediante células solares de materiales semiconductores, como el silicio. Al recibir luz solar, generan un flujo de electrones que produce electricidad en corriente continua. Se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde sistemas pequeños en hogares hasta grandes plantas de energía solar, y son esenciales para la energía renovable, ya que disminuyen la dependencia de combustibles fósiles y promueven la sostenibilidad ambiental..(Green et al., 2019)

### 1.4.8 Paneles de Silicio Monocristalino

Se producen a partir de un solo cristal de silicio. Las obleas del cristal se cortan y se ensamblan para formar el panel. Esto resulta en una estructura uniforme que proporciona alta eficiencia, generalmente, los paneles de silicio monocristalino tienen una eficiencia alta, típicamente entre el 15% y el 22%. Esto significa que convierten una mayor proporción de la luz solar en electricidad en comparación con otros tipos de paneles. Tienen un color negro uniforme y una forma rectangular o cuadrada en los módulos. Ofrecen la mejor eficiencia en comparación con otros tipos de paneles, tienen una vida útil más larga y son más eficientes en condiciones de baja luminosidad y de igual manera son más costosos por su propio proceso de fabricación que es más complejo y el costo del material.(Forero Vélez & Esquivel Villamarin, 2020)



Figura 6. Módulo de Silicio monocristalino  
Fuente:(Placas-solares-Sotysolar)

### 1.4.9 Paneles de silicio Policristalino

Se producen a partir de silicio fundido en moldes, creando múltiples cristales en una sola oblea. Esto resulta en una estructura menos uniforme que los paneles monocristalinos. La eficiencia de los paneles policristalinos es generalmente menor que la de los monocristalinos, típicamente entre el 13% y el 17%, suelen tener un color azul oscuro moteado y una apariencia menos uniforme en comparación con los monocristalinos. Son menos costosos de fabricar que los

paneles monocristalinos, lo que puede hacerlos más económicos para la instalación, el proceso de producción es más simple y menos intensivo en energía, así como tienen menor eficiencia y rendimiento en comparación con los paneles monocristalinos.(Yang et al., 2022)(Rizwan et al., 2021)

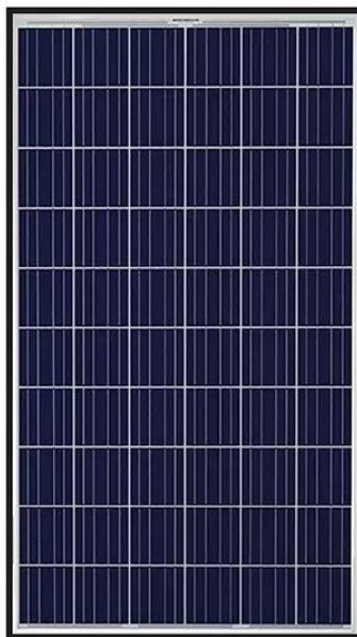


Figura 7. Módulo de Silicio policristalino  
Fuente:(Ecosolaresp - Panel-fotovoltaico)

#### 1.4.10 Paneles de Película Delgada

Utilizan una capa delgada de material fotovoltaico (como telurio de cadmio (CdTe), disulfuro de cobre e indio (CIGS), o silicio amorfo (a-Si)) depositada sobre un sustrato. La capa fotovoltaica puede ser tan delgada como un micrómetro. La eficiencia de los paneles de película delgada varía según el material, generalmente entre el 10% y el 12% para CdTe y CIGS, y puede ser menor para a-Si. Tienen una apariencia flexible y ligera, con colores que varían según el tipo de material, son más ligeros y flexibles, lo que permite su uso en superficies curvas y estructuras ligeras, al igual su fabricación puede ser menos costosa debido al menor uso de materiales.(Umiyati, 2021)



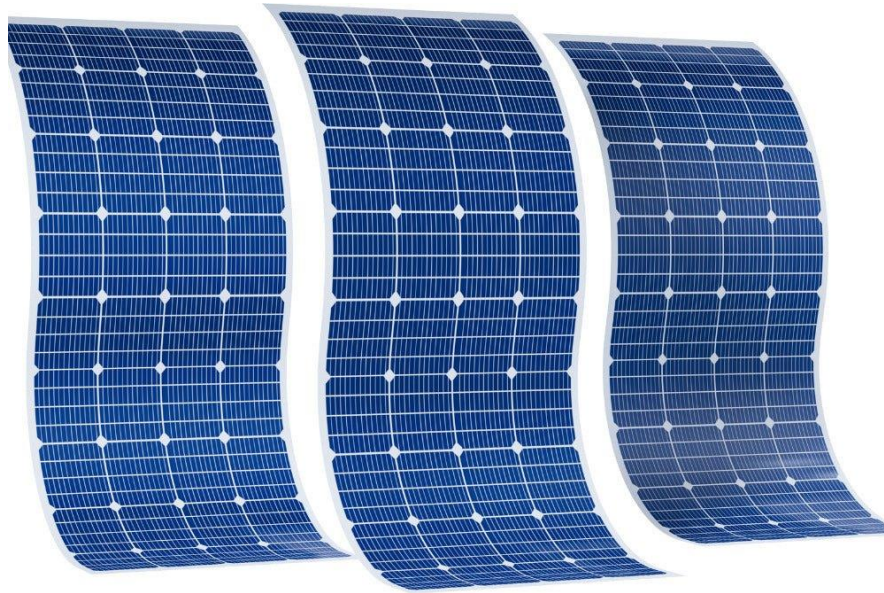


Figura 8. Panel Solar de película delgada  
Fuente: (SunergyWorks)

#### **1.4.11 Paneles de Perovskita**

Utilizan un material de perovskita (como el haluro de perovskita) que tiene una estructura cristalina similar a la del mineral de perovskita, estos paneles pueden ser fabricados mediante técnicas de deposición en capa delgada. La eficiencia de los paneles de perovskita ha mejorado rápidamente en los últimos años, alcanzando hasta el 25% en algunos casos en laboratorio, tienen una apariencia similar a los paneles de película delgada, pero su color puede variar dependiendo del material exacto utilizado.

Ofrecen alta eficiencia en comparación con otros tipos de paneles, con un gran potencial de mejora, y el costo de producción puede ser más bajo debido a la simplicidad de los procesos de fabricación.(Vanessa Martinez, n.d.)



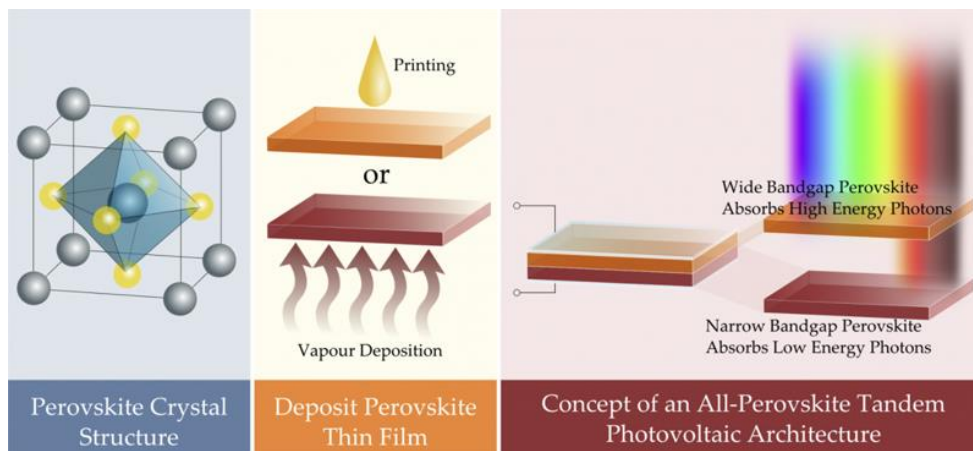


Figura 9. Estructura de un panel de Perovskita

Fuente: (Cientificos.PE, n.d.)

#### 1.4.12 Paneles Bifaciales

Están diseñados para capturar la luz solar desde ambos lados del panel. Utilizan células solares bifaciales que permiten la entrada de luz desde la parte frontal y trasera del panel, pueden generar entre un 10% y un 30% más de energía que los paneles tradicionales, dependiendo de la cantidad de luz reflejada desde el suelo y las condiciones de instalación, este tipo de paneles aumentan la generación de electricidad al capturar la luz reflejada desde el suelo y son útiles en instalaciones con espacio limitado, ya que pueden aprovechar mejor el área disponible. (Serna et al., 2022)

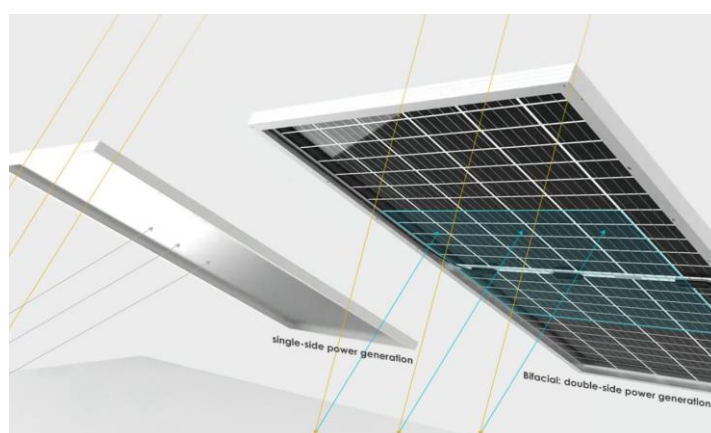


Figura 10. Panel Fotovoltaico Bifacial

Fuente: (NaturaEnergy, n.d.)

### 1.4.13 Inversor (Convertidor de Corriente)

El inversor es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC), que es la forma de electricidad que se utiliza en la mayoría de los hogares y redes eléctricas (Kjaer et al., 2005). Existen 3 tipos importantes de inversores que se detallan a continuación:

### 1.4.14 Inversores de Cadena (String Inverters)

Los inversores de cadena convierten la corriente continua (CC) producida por un grupo de paneles solares (una cadena o "string") en corriente alterna (CA). Los paneles solares se conectan en serie para formar una cadena, y el inversor de cadena convierte la electricidad generada por todos estos paneles de una vez. Un inversor de cadena puede gestionar múltiples cadenas de paneles solares, pero cada cadena debe estar conectada al mismo tipo de inversor. Generalmente son más económicos en comparación a los micro inversores y optimizadores de potencia debido a su diseño centralizado y menor número de unidades, tiene menor complejidad a en instalación y en el mantenimiento ya que solo necesita un solo inversor para varios paneles.(Yuan et al., 2022)



Figura 11. Inversor Afore  
Fuente: (2023, Afore, n.d.)

### 1.4.15 Micro inversores

Los micro inversores convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) a nivel del panel solar individual. Cada panel tiene su propio microinversor, lo que permite que cada uno opere de manera independiente. Cada panel solar está equipado con un microinversor, lo que permite una mayor flexibilidad en la disposición de los paneles y en la gestión de su rendimiento. Los micro inversores optimizan su rendimiento de cada panel individualmente minimizando las pérdidas debido al sombreado o las diferencias en el rendimiento de los paneles, de igual manera facilitan la expansión del sistema, ya que no es necesario cambiar el inversor principal para añadir paneles (Piliouguine et al., 2022)



Figura 12. Microinversor  
Fuente: (Systems, AP, n.d.)

### 1.4.16 Optimizadores de Potencia

Los optimizadores de potencia se colocan en el lado CC del sistema y trabajan en conjunto con un inversor de cadena. Cada optimizador se conecta a un panel solar y ajusta el punto de máxima potencia (MPPT) para ese panel específico, mejorando la producción de energía general del sistema. Los optimizadores de potencia permiten que cada panel opere a su máxima eficiencia de manera individual, mientras que el inversor de cadena se encarga de la conversión de CC a CA para todo el sistema, los optimizadores mejoran el rendimiento del sistema al optimizar cada panel individualmente, lo que es especialmente útil en instalaciones con sombreado parcial o paneles con diferentes orientaciones y ofrecen una solución intermedia entre los inversores de

cadena y los micro inversores, combinando algunas ventajas de ambos.(Tello Maita & Marulanda Guerra, 2017)(Quispe Morales & Paredes Anchatipán, 2024)



Figura 13. Optimizador de Potencia  
Fuente:(BBA:ES Optimizador-de-panel-solar, n.d.)

#### **1.4.17 Estructura de montaje**

Son los soportes que fijan los módulos fotovoltaicos en el lugar de instalación y son esenciales para un rendimiento óptimo, en este caso son fijas pero orientados de manera óptima para maximizar la captación de luz solar. A continuación, se detallan tipos de estructura de montaje:

##### **1.4.17.1 Montaje en Techo**

Es uno de los tipos más comunes de instalación, especialmente en residencias y edificios comerciales. Los paneles se montan directamente sobre el techo utilizando soportes y rieles diseñados para adaptarse a la estructura del techo. Aprovecha el espacio ya disponible sin necesidad de una estructura adicional en el suelo. Reduce la necesidad de permisos adicionales en algunos casos y puede no ser adecuado para todos los tipos de techos, y el acceso para mantenimiento puede ser más complicado.(Llonch, n.d.)

#### **1.4.17.2 Montaje en Suelo**

Los paneles se montan en estructuras de soporte en el suelo. Estas estructuras pueden ser fijas o móviles (seguidores solares) que ajustan la posición de los paneles para seguir el sol, tienen mayor flexibilidad en la orientación y el ángulo de inclinación de los paneles. Puede ser más fácil de mantener y reparar así como requiere más espacio y puede ser más costoso debido a la necesidad de cimentación y estructuras adicionales.(Energética 2020, n.d.)

#### **1.4.17.3 Montaje en Estructuras de Seguimiento**

Utilizan mecanismos de seguimiento que ajustan la orientación de los paneles para maximizar la captación de luz solar a lo largo del día. Aumenta la eficiencia de captación de energía al seguir el movimiento del sol y requiere mantenimiento adicional y puede tener un costo más alto debido a la complejidad del sistema.

En el diseño de estructuras de montaje para paneles solares, es fundamental considerar varios factores para optimizar su rendimiento y durabilidad. El ángulo de inclinación de los paneles debe ajustarse de acuerdo con la latitud del lugar y la estación del año para maximizar la captación de luz solar. Además, las estructuras deben ser capaces de soportar las cargas de viento y nieve específicas de la región para garantizar la estabilidad y longevidad de los paneles. Los materiales utilizados en la construcción de estas estructuras deben ser resistentes a la corrosión, especialmente en ambientes marinos o industriales. Las innovaciones actuales se centran en el desarrollo de materiales más ligeros y duraderos, como aleaciones de aluminio y plásticos reforzados, así como en la implementación de sistemas de seguimiento inteligentes que utilizan algoritmos y sensores para ajustar automáticamente el ángulo de los paneles en tiempo real, mejorando así su eficiencia.(Pazmiño et al., 2024)



Figura 14, Estructuras y soportes para montaje(EcoInventos 2024, n.d.)  
Fuente:(Eco Inventos 2024, n.d.)

## 1.4.18 Cables y conectores

Los cables y conectores juegan un papel crucial en los sistemas fotovoltaicos, son los componentes que transmiten la energía generada por los paneles solares al inversor y al sistema de distribución. A continuación, se detalla cada tipo de cable y conector utilizado en estos sistemas

### 1.4.18.1 Cables de Corriente Continua (CC) de sistemas Fotovoltaicos

Generalmente, se utilizan cables de cobre o aluminio recubiertos con materiales aislantes especiales para soportar las condiciones ambientales. Los cables fotovoltaicos suelen tener una clasificación de tensión de 600V o 1000V y deben ser resistentes a la intemperie, a la radiación UV, y a temperaturas extremas. Los cables de Calibre 4 mm<sup>2</sup> a 10 mm<sup>2</sup> son usados para conectar paneles solares a inversores o a otros componentes en sistemas de baja a media potencia. También existen cables de calibre mayor (12 mm<sup>2</sup> a 25 mm<sup>2</sup>) que se utilizan en sistemas de mayor potencia para minimizar las pérdidas de energía por resistencia, son diseñados para soportar ambientes exteriores y exposición prolongada al sol. Así su cómo tiene una alta capacidad de conducción de corriente y bajo riesgo de pérdida de energía. (Top Cables, n.d.)



Figura 15. Cable de CC para FV  
Fuente: (2023, GeneraRenovables, n.d.)

#### 1.4.18.2 Cables de Corriente Alterna (CA)

Los cables de CA suelen ser de cobre o aluminio con aislamiento adecuado para aplicaciones residenciales o comerciales, estos cables deben estar clasificados para tensiones de red estándar, como 240V o 480V, dependiendo de la instalación. Los calibres 10 AWG a 6 AWG son usados para conexiones en paneles de salida de inversores y para interconexión en sistemas fotovoltaicos residenciales y los cables de calibre mayor (4 AWG a 2 AWG) son usados en sistemas comerciales e industriales para manejar mayores cargas. Estos cables son diseñados para manejar las cargas de corriente alterna generada por los inversores. (Oriol Planas - Enginyer tècnic industrial, 2023)

#### 1.4.18.3 Conectores MC4

Son los conectores más comunes en sistemas fotovoltaicos. Permiten una conexión rápida y segura entre paneles solares y otros componentes del sistema, este conector tipo enchufe con bloqueo para evitar desconexiones accidentales. Están diseñados para soportar altas temperaturas y condiciones adversas, este tipo de conectores plug-and-play facilitan la instalación y simplifican el mantenimiento, así como son resistentes a la intemperie, al agua y a la radiación UV. (IGOYE, n.d.)





Figura 16. Conectores MC4  
Fuente: *Cables y conectores MC4(LeaderGroup)*

#### 1.4.18.4 Conectores de Tipo “Solar Two”

Se utilizan en aplicaciones que requieren una conexión rápida y que permiten la desconexión fácil para mantenimiento o reparación, suelen ser más robustos y seguros para evitar conexiones flojas. Están diseñados para garantizar una conexión sólida y evitar desconexiones accidentales, así como la desconexión y reconexión sin herramientas especiales. Costo: Pueden ser más caros que los conectores estándar debido a su diseño robusto.(CONTAC, PHOENIX, 2020)



Figura 17. Conector tipo Solar Two  
Fuente: *(Geya, n.d.)*



#### 1.4.18.5 Conectores Rápidos de Cierre (Push-In)

Son utilizados para simplificar la conexión de cables sin necesidad de herramientas adicionales. Son adecuados para aplicaciones en paneles y equipos con conectores estandarizados, permiten una conexión rápida con un mecanismo de resorte que asegura el cable en su lugar. Ahorran tiempo durante la instalación y reduce el riesgo de errores. De igual manera proporcionan una conexión segura y confiable sin herramientas y su durabilidad depende del diseño, algunos pueden ser menos duraderos en condiciones extremas.(Huawei, n.d.)

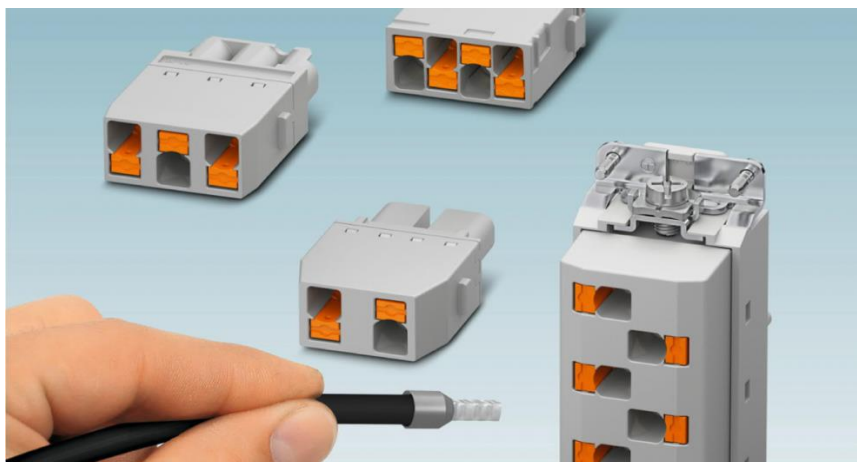


Figura 18. Conector rápido de cierre  
Fuente: *(conectividad - energia)*

La selección adecuada de cables y conectores es fundamental para la eficiencia, seguridad y durabilidad de un sistema fotovoltaico. Cada tipo de cable y conector tiene sus ventajas y desventajas, y su elección debe basarse en las especificaciones del sistema, el entorno de instalación, y las normativas locales. Las referencias proporcionadas ofrecen una base sólida para entender los aspectos técnicos y las mejores prácticas en la selección y uso de cables y conectores para sistemas fotovoltaicos.(SOLIS, 2022)

#### 1.4.19 Medidores Bidireccionales

Estos medidores pueden registrar tanto la energía que el sistema de generación envía a la red (exportación) como la energía que el usuario toma de la red (importación). Los medidores bidireccionales miden la energía que fluye desde la red hacia el sistema del usuario y la energía que regresa desde el sistema del usuario a la red, utilizan sensores y algoritmos para calcular el

flujo neto de energía en ambas direcciones. Los datos se presentan típicamente en términos de kilovatios-hora (kWh) para ambas direcciones. Algunos modelos avanzados también proporcionan información en tiempo real y datos históricos a través de interfaces digitales.(net metering).(Prakash et al., 2022)(Kaur et al., 2022). A continuación, se detalla los tipos de medidores bidireccionales.

#### 1.4.20 Medidores Electromecánicos

Estos medidores tradicionales utilizan un disco giratorio para medir el flujo de electricidad. La velocidad del disco es proporcional a la cantidad de energía consumida, son robustos y han sido utilizados durante décadas. Adicional tienen capacidades limitadas para medir el flujo bidireccional con precisión y carecen de características digitales avanzadas. (Enriquez-Enriquez et al., 2024)



Figura 19. Medidor electromecánico bidireccional  
Fuente:(JD-Eléctricos, 2021)

#### 1.4.21 Medidores Electrónicos

Los medidores utilizan tecnología digital para medir la energía, pueden registrar el flujo bidireccional y proporcionar datos detallados sobre el consumo y la generación de energía. Tienen mayor precisión y capacidad para registrar datos en tiempo real. A menudo incluyen capacidades de comunicación para integración con sistemas de gestión de energía, el

inconveniente principal es que pueden ser más costosos y complejos de instalar y mantener.(Alberto et al., 2019)



Figura 20. Medidor electrónico bidireccional  
Fuente:(2022, Fulgora)

#### 1.4.22 Medidores Inteligentes

Los medidores inteligentes son una evolución de los medidores electrónicos, que incluyen funciones avanzadas como comunicación remota, análisis de datos, y capacidad para integrarse con redes inteligentes (Smart grids). Permiten la monitorización en tiempo real, la gestión avanzada de la energía y la integración con aplicaciones de análisis de datos, requieren una infraestructura de comunicación adecuada y pueden tener un costo más alto.(Studocu,,)



Figura 21. Medidor Inteligente bidireccional  
Fuente: (2018, Romero Gaibor)

### 1.4.23 Sistema de monitoreo

Un sistema de monitoreo es un conjunto de herramientas y tecnologías diseñadas para supervisar y registrar el rendimiento, estado y comportamiento de un sistema o proceso en tiempo real. Estos sistemas pueden abarcar desde la vigilancia de equipos y procesos industriales hasta la gestión de redes eléctricas y sistemas fotovoltaicos. El principal objetivo es el monitoreo en tiempo real, proporcionando información actualizada sobre el estado y el rendimiento del sistema, generando informes detallados para la toma de decisiones y el mantenimiento. Analizando todos los datos de puede optimizar del rendimiento del sistema mejorando la eficiencia y la eficacia del sistema.(2020, Suárez, Ramón De Jesús López, n.d.)

Un sistema de monitoreo tiene los siguientes componentes principales.

#### **1.4.23.1 Sensores y Dispositivos de Medición**

Los sensores recogen datos físicos como temperatura, voltaje, corriente, y otros parámetros relevantes. Por ejemplo: Sensores de irradiación solar, sensores de temperatura y humedad, medidores de voltaje y corriente.

#### **1.4.23.2 Unidades de Adquisición de Datos (DAQ)**

Son dispositivos que reciben, procesan y almacenan datos provenientes de los sensores, su función principal es convertir señales analógicas a digitales, almacenar datos y transmitirlos a sistemas de análisis.

#### **1.4.23.3 Sistemas de Comunicación**

Comprende redes y protocolos para transmitir datos entre sensores, DAQs, y plataformas de análisis, pueden realizar comunicaciones inalámbricas, Ethernet, protocolos como MQTT.

#### **1.4.23.4 Plataforma de Análisis y Visualización**

Es un software que procesa los datos recibidos, realiza análisis y presenta la información de manera comprensible y realiza la visualización de datos en gráficos, generación de informes, alertas en tiempo real.

#### **1.4.23.5 Sistema de Alerta y Notificación**

Son mecanismos para alertar a los operadores sobre condiciones anormales o fallos, se puede recibir notificaciones por correo electrónico, mensajes de texto, alertas en la interfaz de usuario.

Los sistemas de monitorización y control son esenciales para la gestión eficiente y segura de aplicaciones que van desde sistemas fotovoltaicos hasta redes eléctricas y procesos industriales. La implementación de estos sistemas puede traer muchos beneficios, incluido un rendimiento optimizado, costos reducidos y seguridad mejorada. Sin embargo, también conllevan desafíos, como los costos iniciales y la necesidad de una integración y seguridad adecuadas. Las referencias proporcionadas proporcionan una descripción detallada de las últimas tendencias y desarrollos en tecnología de monitoreo. (Mosquera & Holguín, 2023)



Figura 22. Sistema de monitoreo  
Fuente:(2023, Afore, Energy)

### 1.5 Diseños de sistemas Fotovoltaicos

Representar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos es fundamental para su análisis, diseño y optimización. Con la simulación el modelado permite prever el rendimiento del sistema bajo diversas condiciones operativas, facilitando la toma de decisiones para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema.

Los sistemas fotovoltaicos se simulan para determinar la cantidad y tipo de paneles solares, inversores y demás componentes necesarios para satisfacer la demanda energética. Se debe realizar un análisis de rendimiento para evaluar la producción de la energía esperada y comparar los resultados con los datos reales, de esta manera se identificará oportunidades de mejorar la eficiencia y reducir los costos. El modelado estudia y simula el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas, de carga y de red. (John A.Duffie, 2013)(Guasch Murillo & Silvestre Berges, 2006)

### 1.6 Simulación en PVsyst

PVsyst es un software de simulación dedicado específicamente al diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos. A diferencia de entornos de simulación general como MATLAB/Simulink, PVsyst ofrece una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva y una amplia gama de herramientas y modelos adaptados a las particularidades de la energía solar fotovoltaica.

Modelado de Componentes en PVsyst

PVsyst proporciona una biblioteca extensa de componentes predefinidos para modelar de manera detallada los diferentes elementos de un sistema fotovoltaico:

**Módulos fotovoltaicos:** Incluye una base de datos de módulos comerciales con características eléctricas y de rendimiento detalladas, permitiendo también la definición de módulos personalizados.

**Inversores:** Modela diversos tipos de inversores (monofásicos, trifásicos) con diferentes topologías y eficiencias.

**Baterías:** Ofrece modelos para sistemas aislados o híbridos, considerando capacidad, eficiencia y profundidad de descarga.

**Cargas:** Permite definir cargas eléctricas de diversos tipos (constantes, variables en el tiempo) para simular el consumo de energía en el sistema.

## 2 CAPÍTULO II

### 2.1 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.2 Enfoque Metodológico de la Investigación

El presente estudio sobre el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico híbrido para la planta industrial Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” en Quito, Ecuador, adopta un enfoque cuantitativo y experimental. A continuación, se detallan las razones detrás de esta elección metodológica y cómo se aplica en el contexto de la investigación.

##### 2.2.1 Enfoque Cuantitativo

El estudio se basa principalmente en un enfoque cuantitativo debido a su objetivo de modelar y simular el rendimiento de un sistema fotovoltaico híbrido utilizando datos numéricos y herramientas de simulación. Este enfoque permite:

1. **Medición Precisa y Objetiva:** La utilización del software PVsyst para simular el sistema fotovoltaico permite realizar cálculos precisos sobre la producción de energía. El análisis de la capacidad óptima del sistema fotovoltaico, bajo diferentes escenarios de expansión y condiciones climáticas, se basa en datos cuantitativos para asegurar un suministro eléctrico confiable y sostenible.
2. **Resultados de PVsyst:** Se analizarán los resultados de la simulación para verificar la energía producida en forma anual o mensual, y comprobar cuanta energía se envió a la red.
3. **Generalización de Resultados:** El enfoque cuantitativo permite que los resultados obtenidos sean generalizables a otras instalaciones similares, facilitando la extrapolación de datos y la aplicación de los hallazgos a contextos industriales más amplios.

##### 2.2.2 Enfoque Experimental

El estudio también es experimental en la medida en que se simula la configuración y escenario de expansión del sistema fotovoltaico utilizando el software PVsyst. Las características de este enfoque incluyen:

1. **Diseño de Experimentos:** Se diseñará y evaluará el diseño de crecimiento y expansión del sistema, considerando la orientación de los paneles, el ángulo de inclinación, y las



condiciones climáticas. Esto permitirá identificar la configuración más eficiente y adecuada para satisfacer la demanda energética de la planta.

2. Evaluación de Desempeño: La simulación permitirá observar cómo se comporta el sistema bajo las condiciones del diseño, evaluando aspectos técnicos como la selección de componentes y la topología del sistema.
3. Adaptación y Escalabilidad: Se probará una estrategia de expansión para diseñar una arquitectura escalable y flexible que pueda adaptarse al crecimiento futuro de la demanda energética de la planta.

### **2.2.3 Tipo de Estudio**

El estudio puede clasificarse como:

- Descriptivo: Al simular el sistema fotovoltaico, se describe detalladamente cómo se configura y opera el sistema bajo diferentes condiciones. Se proporcionará una descripción completa de la capacidad del sistema, su rendimiento esperado y los aspectos técnicos involucrados.
- De Campo: Aunque el estudio principal se basa en, los resultados se contextualizarán en el entorno real de la planta industrial “Paccari Chocolate”. La investigación considera cómo el sistema fotovoltaico híbrido interactúa con el suministro eléctrico existente y aborda las necesidades energéticas específicas de la planta.
- Experimental: La simulación del escenario de expansión y condiciones climáticas se enmarca en un enfoque experimental, permitiendo la evaluación de diversas configuraciones y estrategias para optimizar el rendimiento del sistema.

### **2.2.4 Justificación del Enfoque**

La combinación de un enfoque cuantitativo y experimental permite una evaluación exhaustiva y precisa del sistema fotovoltaico híbrido. El enfoque cuantitativo asegura que los resultados sean objetivos y medibles, mientras que el enfoque experimental proporciona la flexibilidad necesaria para adaptar y optimizar el sistema según las condiciones específicas y futuras necesidades energéticas de la planta.

La metodología adoptada en este estudio proporciona una base sólida para la simulación, análisis y optimización del sistema fotovoltaico híbrido, facilitando la toma de decisiones

informadas sobre la inversión en energía solar y contribuyendo a una transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente.

### 2.3 Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis (caso de estudio)

La planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate”, ubicada en Quito, Ecuador, implementó inicialmente un sistema de generación distribuida para autoabastecimiento con una capacidad de 135 kW en inversores AC. Este sistema fotovoltaico consta actualmente de 213 módulos solares bifaciales monocristalinos de 630 W cada uno, de la marca Light Green. El proyecto se realizó conforme a la normativa vigente expedida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), específicamente la regulación ARCERNNR-001/2021, que establece las condiciones técnicas y comerciales para la instalación y operación de sistemas fotovoltaicos sincronizados con la red eléctrica.



Figura 23. Vista aérea de la planta fotovoltaica “PACCARI CHOCOLATE”

Fuente: (*Earth.google.com*)

El diseño del sistema se basó en un análisis detallado de las condiciones climáticas de Quito, donde la temperatura oscila entre 9°C y 19°C a lo largo del año. El módulo solar seleccionado, LG630BF, tiene una eficiencia del 23.3% y una capacidad de generar 630 W de potencia nominal, lo que lo hace ideal para las condiciones locales. La producción energética estimada para el sistema, calculada utilizando el software Helios cope, es de 208,899.1 kWh anuales, satisfaciendo el 99.84% de la demanda energética de la planta.

La implementación del sistema inicial incluyó un análisis de las pérdidas del sistema, identificadas mediante la ratio de rendimiento (Performance Ratio - PR), y la incorporación de protecciones eléctricas tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC) para garantizar la seguridad y eficiencia operativa del sistema. Además, se establecieron protecciones ante variaciones de voltaje y frecuencia, cumpliendo con los estándares IEC617227 e IEC62116, y se implementó un sistema de puesta a tierra adecuado para asegurar la actuación de las protecciones en caso de fallos.

El crecimiento continuo de la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” y la incorporación de nuevas máquinas y procesos han generado la necesidad de expandir el sistema fotovoltaico existente. Sin embargo, esta expansión debe planificarse cuidadosamente para evitar ineficiencias operativas, sobrecargas en la infraestructura eléctrica y posibles fallos en el suministro energético. Por lo tanto, la investigación se centrará en desarrollar un modelo matemático preciso del sistema fotovoltaico actual, utilizando herramientas avanzadas de simulación como PVsyst.

A través de este diseño, se evaluará el escenario de crecimiento, optimizando la infraestructura eléctrica y asegurando que cada nueva fase de implementación cumpla con las necesidades energéticas de la planta. Esta planificación estratégica permitirá mantener la eficiencia robusta y eficiente para el crecimiento del sistema energético de la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate”.

#### **2.4 Métodos empíricos y técnicas empleadas para la recolección de la información:**

La investigación se llevará a cabo mediante los siguientes métodos:

**Estudio Bibliográfico:** Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre técnicas de modelado y planificación de sistemas fotovoltaicos, así como el uso de herramientas de simulación PVsyst. Este estudio bibliográfico proporcionará una base teórica sólida para la investigación.

**Diseño del Sistema Actual:** Utilizando PVsyst, se desarrollará un modelo detallado del sistema fotovoltaico existente en la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate”. Este modelo incluirá todos los componentes eléctricos y considerará las condiciones climáticas locales. Se simulará el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios operativos para validar su eficiencia.

**Propuesta de Modelo de Expansión:** Con base en el modelo actual y utilizando PVsyst, se evaluará el escenario de crecimiento del sistema fotovoltaico. Y se propondrá que este plan de expansión optimice la capacidad de generación y la infraestructura eléctrica de la planta.

**Implementación y Verificación:** Se simulará el diseño de expansión propuesto y se verificarán los resultados mediante simulaciones avanzadas en PVsyst. Se evaluará el desempeño del sistema expandido bajo distintas condiciones operativas, asegurando que la solución propuesta satisfaga las necesidades energéticas de la planta de la empresa Productos SKS Farms “Paccari Chocolate” y contribuya a su sostenibilidad y eficiencia energética

### 3 CAPÍTULO III

#### 3.1 Fundamentos de la propuesta

A partir del análisis del contexto global, regional y específico de la empresa Paccari Chocolate, se establece una base sólida para proponer la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido como solución a la creciente demanda energética de la planta industrial. Así como también se fundamenta en la creciente necesidad global de transitar hacia un modelo energético más sostenible y eficiente. En este contexto, la implementación de sistemas fotovoltaicos emerge como una solución viable y prometedora para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático. Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia energética de la empresa, sino también contribuir a un futuro más limpio y renovable.

Específicamente, este proyecto se centra en el modelado, simulación y optimización de un sistema fotovoltaico para la planta de producción de "Paccari Chocolate". Los principios que sustentan esta propuesta son los siguientes:

##### 3.1.1 Sostenibilidad energética

La necesidad de sostenibilidad energética se ha convertido en un tema central en la agenda de "Paccari Chocolate", impulsada por la creciente preocupación por el cambio climático y el agotamiento de los recursos fósiles. En este contexto, la empresa reconoce que las prácticas energéticas actuales no son viables a largo plazo, tanto desde el punto de vista ambiental como económico. El cambio climático, resultado de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha generado fenómenos climáticos extremos, alteraciones en los ecosistemas y un aumento en el nivel del mar, lo que amenaza la producción agrícola y la calidad de los ingredientes que Paccari utiliza en sus chocolates. Al mismo tiempo, la dependencia de los combustibles fósiles, que son finitos y están en vías de agotamiento, plantea un riesgo significativo para la seguridad energética de la empresa. Ante esta realidad, Paccari Chocolate se ve impulsada a buscar alternativas energéticas que no solo sean eficientes en términos de producción y consumo, sino que también reduzcan su huella ambiental. Esto implica la adopción de fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, que ofrecen una forma de generar energía sin los efectos nocivos asociados con los combustibles fósiles.

La transición hacia soluciones energéticas sostenibles no solo es una responsabilidad ambiental para Paccari, sino que también representa una oportunidad económica. Al invertir en tecnologías

limpias y prácticas sostenibles, la empresa puede beneficiarse de una mayor eficiencia operativa, reducción de costos a largo plazo y una mejor imagen de marca. Esto es especialmente relevante en un mercado donde los consumidores son cada vez más conscientes del medio ambiente y valoran las marcas que demuestran un compromiso genuino con la sostenibilidad.

En conclusión, la necesidad de sostenibilidad energética es un imperativo que exige un cambio en la forma en que “Paccari Chocolate” produce y consume energía. Adoptar soluciones sostenibles no solo es crucial para mitigar el cambio climático y preservar los recursos naturales, sino que también representa una oportunidad para innovar y prosperar en un mundo que valora cada vez más la sostenibilidad. Al hacerlo, Paccari no solo se posiciona como un líder en la industria del chocolate, sino que también contribuye a un futuro más sostenible para todos.

### **3.1.2 Importancia del diseño y simulación**

El diseño y la simulación de sistemas fotovoltaicos se han convertido en herramientas esenciales para Paccari Chocolate en el diseño, optimización y evaluación de sus instalaciones energéticas. Al crear una representación digital de un sistema fotovoltaico real, los diseñadores de Paccari pueden analizar su comportamiento bajo diversas condiciones, lo que les permite tomar decisiones más informadas y estratégicas. A través del diseño, Paccari puede evaluar diferentes configuraciones de paneles solares, inversores y otros componentes del sistema. Esto es crucial para determinar la combinación más adecuada que maximice la generación de energía y minimice los costos operativos, lo que es especialmente importante para una empresa que busca mantener su competitividad en el mercado del chocolate.

Las simulaciones permiten predecir el rendimiento energético del sistema fotovoltaico bajo diversas condiciones climáticas, lo que facilita decisiones de inversión más acertadas. Por ejemplo, al conocer cómo variará la producción de energía en diferentes épocas del año, Paccari puede planificar mejor su consumo energético y optimizar su producción. Igualmente, el uso de herramientas de simulación ayuda a identificar problemas potenciales y cuellos de botella antes de implementar el sistema. Esto no solo optimiza el mantenimiento, sino que también reduce riesgos asociados con la operación del sistema, asegurando que la planta funcione de manera eficiente y continua. Paccari también puede evaluar diferentes escenarios, como cambios en la irradiación solar o variaciones en la demanda energética, para analizar la flexibilidad del sistema. Esto es fundamental para adaptarse a las fluctuaciones en la producción y garantizar que la

empresa pueda satisfacer la demanda de sus productos sin interrupciones. Por último, se realizan análisis económicos detallados que consideran costos de inversión, ingresos por venta de energía e incentivos fiscales. Esto ayuda a Paccari a determinar la viabilidad económica del proyecto de energía solar, asegurando que la inversión en sostenibilidad sea rentable a largo plazo.

En este contexto, herramientas como PVsyst se destacan por su capacidad para modelar sistemas complejos, incluyendo aquellos conectados a la red y sistemas híbridos. PVsyst permite a Paccari adaptar sus configuraciones y componentes a las necesidades específicas de su planta, incorporando datos climáticos detallados para simular el rendimiento del sistema en su ubicación particular.

### **3.1.3 Optimización del Rendimiento**

La optimización del rendimiento de un sistema fotovoltaico es un proceso crucial que implica el modelado del sistema actual y la evaluación de diferentes escenarios operativos. Este enfoque permite a las empresas, como Paccari Chocolate, identificar ineficiencias en la generación y el uso de energía, lo que es esencial para maximizar la eficiencia y la rentabilidad del sistema. Al crear un modelo digital del sistema fotovoltaico, se pueden simular diversas condiciones y configuraciones. Esto incluye la variación en la irradiación solar, cambios en la temperatura, y la influencia de factores externos como la sombra de edificios o árboles. A través de estas simulaciones, es posible detectar áreas donde el sistema no está funcionando de manera óptima, lo que permite implementar mejoras específicas. Por ejemplo, si se identifica que ciertos paneles están generando menos energía debido a la orientación o el ángulo de inclinación, se pueden ajustar para maximizar su exposición al sol. También, la evaluación de diferentes escenarios es fundamental para prever cómo las expansiones futuras del sistema afectarán su rendimiento. A medida que Paccari Chocolate crece y aumenta su demanda energética, es vital que el sistema fotovoltaico se adapte a estas necesidades. Al modelar posibles expansiones, como la adición de más paneles solares o la integración de nuevas tecnologías, se puede anticipar el impacto en la producción de energía y en la estabilidad del sistema. Esto asegura que cualquier ampliación se realice de manera que no comprometa la eficiencia ni la fiabilidad del sistema existente.

La robustez y estabilidad del sistema son factores clave para su éxito a largo plazo. Un sistema bien optimizado no solo garantiza un suministro energético constante y eficiente, sino que también reduce los costos operativos y minimiza el riesgo de fallos. Esto es especialmente

importante para Paccari, que depende de un suministro energético confiable para mantener su producción de chocolate y cumplir con las expectativas de calidad de sus clientes. En resumen, la optimización del rendimiento a través del modelado y la evaluación de escenarios es un proceso esencial para garantizar que el sistema fotovoltaico de Paccari Chocolate sea eficiente, robusto y capaz de adaptarse a las necesidades futuras. Este enfoque no solo mejora la sostenibilidad y la rentabilidad de la empresa, sino que también contribuye a su compromiso con la responsabilidad ambiental y la innovación en el sector del chocolate.

### **3.1.4 Metodología**

La propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en Paccari Chocolate se fundamenta en una metodología rigurosa que integra un enfoque sistemático del diseño y simulación. Este enfoque es esencial para garantizar que se utilicen técnicas actualizadas y adecuadas, lo que resulta en la obtención de resultados viables y efectivos. El diseño es el primer paso en esta metodología, donde se crea una representación digital del sistema fotovoltaico. Este modelo permite a los diseñadores y técnicos analizar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas y climáticas. Al utilizar software especializado, como PVsyst, se pueden simular diferentes configuraciones de paneles solares, inversores y otros componentes, lo que facilita la identificación de la combinación óptima que maximiza la generación de energía y minimiza los costos. La simulación permite la evaluación de escenarios futuros y la predicción del rendimiento energético del sistema. Esto es particularmente importante para Paccari, ya que la empresa debe anticipar cómo las variaciones en la irradiación solar, la temperatura y otros factores ambientales afectarán la producción de energía. Al realizar simulaciones, se pueden identificar ineficiencias y prever cómo las expansiones futuras del sistema impactarán su rendimiento, asegurando que el sistema sea robusto y estable a largo plazo.

La metodología rigurosa también implica la utilización de técnicas de análisis económico detalladas. Esto incluye la evaluación de costos de inversión, ingresos por venta de energía e incentivos fiscales, lo que permite a Paccari determinar la viabilidad económica del proyecto. Al integrar estos análisis en el proceso de diseño y simulación, la empresa puede tomar decisiones informadas que no solo optimizan el rendimiento energético, sino que también garantizan un retorno de inversión favorable. Este enfoque sistemático asegura que se sigan las mejores prácticas y estándares de la industria, lo que minimiza riesgos y maximiza la efectividad del



sistema. La combinación de modelado y simulación permite a Paccari identificar problemas potenciales antes de la implementación, optimizando así el mantenimiento y reduciendo costos a largo plazo.

### **3.1.5 Impacto Social y Organizacional**

La optimización y expansión del sistema fotovoltaico en Paccari Chocolate tiene un impacto significativo que va más allá de los beneficios inmediatos para la planta. Este enfoque no solo mejora la eficiencia energética y reduce costos operativos, sino que también establece un modelo de referencia que puede ser adoptado por otras empresas en el sector alimentario y más allá. Para Paccari, la implementación de un sistema fotovoltaico optimizado significa una mayor sostenibilidad y una reducción en la dependencia de fuentes de energía no renovables. Esto se traduce en menores costos de energía a largo plazo, lo que permite a la empresa reinvertir esos ahorros en otras áreas, como la innovación y el desarrollo de productos. Además, al utilizar energía solar, Paccari puede mejorar su imagen de marca, alineándose con las expectativas de consumidores que valoran la responsabilidad ambiental. Este compromiso con la sostenibilidad puede fortalecer la lealtad del cliente y abrir nuevas oportunidades en mercados que priorizan prácticas ecológicas. El éxito de Paccari en la optimización de su sistema fotovoltaico puede servir como un modelo inspirador para otras empresas en el sector alimentario. Al demostrar que la integración de tecnologías renovables es no solo viable, sino también beneficiosa, Paccari puede motivar a otras organizaciones a adoptar prácticas similares. Esto es especialmente relevante en un sector donde la competencia es feroz y la diferenciación a través de la sostenibilidad puede ser un factor decisivo para el éxito. La experiencia de Paccari puede ofrecer valiosas lecciones sobre la implementación de sistemas energéticos renovables, desde la planificación hasta la ejecución y el mantenimiento.

Además, el diseño desarrollado por Paccari no se limita al sector alimentario; su metodología de optimización puede ser adaptada y replicada en diversas industrias. La combinación de modelado y simulación utilizada para optimizar el sistema fotovoltaico puede aplicarse a otros sectores, como la manufactura, la logística y la construcción. Esto demuestra que la transición hacia energías renovables es una estrategia que puede beneficiar a una amplia gama de empresas, independientemente de su tamaño o sector.

## **3.2 Presentación del diseño Actual de 135kW**

Esta propuesta tiene como objetivo principal diseñar e implementar un sistema fotovoltaico híbrido altamente eficiente y sostenible para la planta industrial de "Paccari Chocolate" en Quito, Ecuador. El sistema estará diseñado para satisfacer la creciente demanda energética de la empresa, reducir su dependencia de la red eléctrica y minimizar su huella de carbono.

Un sistema fotovoltaico híbrido está diseñado para aprovechar la energía solar y garantizar un suministro eléctrico confiable, incluso en condiciones variables. Este tipo de sistema combina varios componentes clave que trabajan en conjunto para maximizar la eficiencia y la disponibilidad de energía. Así tenemos:

### **3.2.1 Componentes de la propuesta:**

#### **Sistema Fotovoltaico:**

- Paneles Solares Fotovoltaicos: Estos son el corazón del sistema, ya que son responsables de capturar la energía del sol y convertirla en electricidad. Para asegurar una producción energética óptima, se seleccionan paneles de alta eficiencia, que son capaces de generar más electricidad a partir de la misma cantidad de luz solar.
- Inversores: Una vez que los paneles solares generan corriente continua (CC), es necesario convertirla en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad que se puede inyectar a la red. Los inversores realizan esta transformación, permitiendo que la energía generada sea utilizada de manera efectiva en la planta.
- Estructura de montaje: En la planta fotovoltaica de Paccari Chocolate, las estructuras fijas que son una opción sencilla y económica para sostener los paneles solares. Son ideales para la ubicación, ya que la irradiación solar es alta y constante. Entre sus ventajas, destacan el bajo costo y el poco mantenimiento que requieren. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no se pueden ajustar a los cambios en la posición del sol a lo largo del día o las estaciones, lo que podría limitar su eficiencia
- Sistema de Monitoreo: Para maximizar la eficiencia del sistema, es importante tener visibilidad sobre su rendimiento. Un sistema de monitoreo permite supervisar en tiempo real tanto la producción como el consumo energético.

Con la implementación de este sistema de energía solar, Paccari Chocolate no solo mejorará su eficiencia energética, sino que también reforzará su compromiso con la sostenibilidad y el

cuidado del medio ambiente. Esto no solo beneficiará a la empresa, sino que también contribuirá a un futuro más verde para todos.

### **Herramientas de Modelado y Simulación**

- PVsyst: Se utilizará este software avanzado para el modelado y simulación de sistemas fotovoltaicos, que permite evaluar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas.
- Simulaciones de Carga: Modelos que simulan cómo el sistema fotovoltaico interactúa con las demandas energéticas de la planta bajo diferentes escenarios.

### **Metodología de la Implementación**

- Análisis Previo: Evaluación inicial de las necesidades energéticas de la planta y las condiciones ambientales locales.
- Diseño del Sistema: Configuración de los componentes fotovoltaicos y su disposición en función de los resultados del modelado y simulación.
- Implementación y Prueba: Instalación del sistema y realización de pruebas para verificar el rendimiento y la estabilidad.
- Optimización Continua: Monitoreo y ajustes basados en el rendimiento real del sistema para maximizar la eficiencia.

### **3.2.2 Estructuración de la propuesta**

- Evaluación Inicial: Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la demanda energética actual y futura de la planta de Productos SKS Farms “Paccari Chocolate”, considerando el crecimiento proyectado y las necesidades específicas de la operación. Esto permitirá establecer una base sólida para el diseño del sistema fotovoltaico.
- Diseño del Sistema: Se utilizarán herramientas avanzadas de simulación, como PVsyst, para modelar el sistema fotovoltaico. Esto incluirá la optimización de la disposición de los paneles solares y el dimensionamiento adecuado del sistema de almacenamiento, asegurando así un rendimiento máximo y la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones operativas.

### **Funcionamiento del Sistema**

- **Generación de Energía:** Los paneles solares instalados en la planta de Paccari Chocolate capturan la luz solar y la convierten en corriente continua (CC). Posteriormente, los inversores transforman esta corriente continua en corriente alterna (CA), que se utiliza para abastecer las necesidades energéticas de la planta o se puede inyectar a la red eléctrica.

### **3.2.3 Ejecución de la propuesta**

La propuesta de diseñar un sistema fotovoltaico híbrido on-grid para la planta industrial de “Paccari Chocolate” se fundamenta en la necesidad de cubrir de manera eficiente la creciente demanda energética de la empresa. Con el constante aumento de la producción, la planta requiere una solución sostenible que no solo provea un suministro eléctrico confiable, sino que también reduzca su dependencia de fuentes no renovables y disminuya su huella de carbono. En el marco teórico, hemos identificado los beneficios de la energía solar como una fuente renovable, la cual, combinada con tecnologías avanzadas de almacenamiento y control, puede ofrecer un sistema híbrido robusto que optimice la integración de la energía fotovoltaica.

Los estudios previos realizados en la industria y en el sector energético de Ecuador respaldan la viabilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos. El país cuenta con niveles de radiación solar promedio que permiten aprovechar al máximo esta fuente de energía. A su vez, la normativa ecuatoriana, como la regulación N°. ARCERNNR 001/2021, provee un marco claro para la integración de estos sistemas en la red nacional, garantizando que el sistema propuesto cumpla con los parámetros técnicos y normativos exigidos.

### **Descripción General del Diseño Actual (135kW)**

#### **Información de la planta Industrial**

Cliente: Productos Sks Farms Cía. Ltda.

Cedula/Ruc: 1791995112001

Contrato: 200015457258

Código Único: 1401977568

### Ubicación del proyecto:

Reinaldo Flores E2-23 E2 Aurelio Guerrero / Cdla. Hospitalaria/ Quitumbe - Quito

Latitud: -0.2933668311900

Longitud: -78.536712516800

### Características Climáticas

Quito se encuentra en una región de altitud elevada, lo que afecta la radiación solar. Los datos climáticos deben incluir irradiación solar media diaria y temperaturas promedio. En la ciudad, la temporada de lluvia es fresca y nublada y la temporada seca es cómoda y parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 9 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 21 °C.

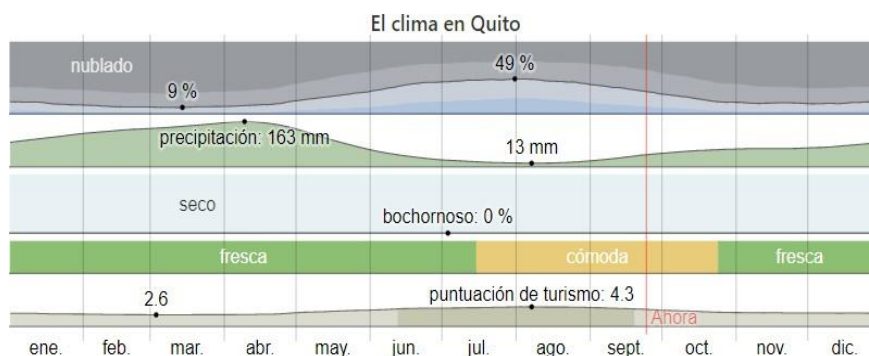


Figura 24. Clima y tiempo  
Fuente: (Weatherspark, n.d.)

### Temperatura Promedio

La temporada templada dura 2,0 meses, del 5 de agosto al 7 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 19 °C. El día más caluroso del año es el 20 de septiembre, con una temperatura máxima promedio de 19 °C y una temperatura mínima promedio de 9 °C. La temporada fresca dura 2,7 meses, del 2 de febrero al 25 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. El día más frío del año es el 16 de julio, con una temperatura mínima promedio de 9 °C y máxima promedio de 18 °C.

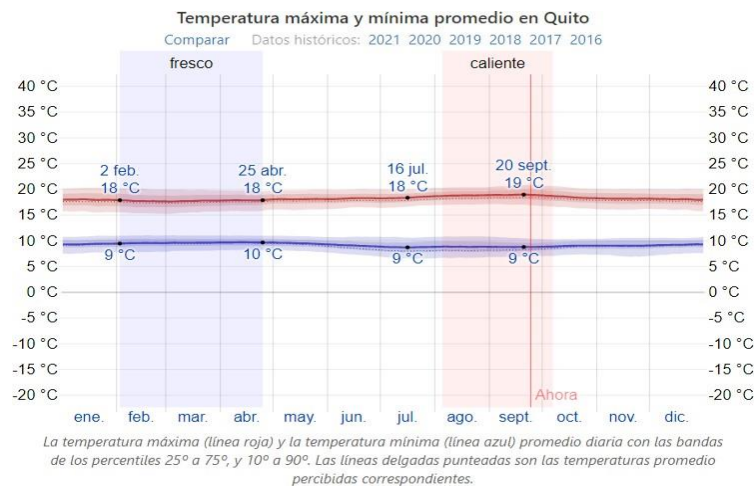


Figura 25. Clima y tiempo en Quito(Weatherspark, n.d.)

Fuente: (Weatherspark, n.d.)

### Tipo de Planta

La Empresa “Paccari Chocolate” es una planta industrial de procesamiento de alimentos, dedicada a la producción de chocolates orgánicos y otros derivados del cacao, utilizando tecnologías de procesamiento que garantizan la calidad y la sostenibilidad del producto.

### Perfil de la planta

La empresa Productos SKS Farms es una planta comprometida con reducir su huella ecológica y utiliza prácticas que respetan el medio ambiente, en este proceso integro un sistema fotovoltaico con el objetivo de cubrir parte de su demanda energética.

**Demanda Energética Actual:** A continuación, se detalla el dimensionamiento actual de la planta fotovoltaica a 440V.

**Dimensionamiento:** Fue realizado a través del consumo energético y los datos se registraron a través de un histórico de consumo.

Tabla 1. Registro Anual de Consumo

	Mes/Año	Consumo	Unidad
1	may-22	23534.22	kWh
2	abr-22	16067.33	kWh
3	mar-22	17234.05	kWh
4	feb-22	14845.17	kWh

5	ene-22	16655.95	kWh
6	dic-21	17247.13	kWh
7	nov-21	17597.31	kWh
8	oct-21	18509.69	kWh
9	sep-21	18336.37	kWh
10	ago-21	19427.94	kWh
11	jul-21	17893.90	kWh
12	jun-21	11550.04	kWh
<b>Total, Anual</b>		208,899.10	kWh/Año

Fuente: Propia

### Capacidad actual de la planta.

La planta fotovoltaica de Paccari Chocolate, tiene una capacidad de 135 kW, está diseñada para generar una cantidad significativa de energía limpia y renovable, utiliza paneles solares de alta eficiencia de 630kW instalados en los techos de la planta. El sistema está conectado a la red eléctrica y también suministra energía a las operaciones diarias de la planta, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y minimizando las emisiones de CO2.

A continuación, se presenta un detalle de los componentes del sistema fotovoltaico de la empresa:

Tabla 2. Componentes del sistema Fotovoltaico de 135 kW

<b>Inversor</b>	<b>Cantidad (unidad)</b>	<b>Paneles (unidad)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
60 kW	1	95	60
60 kW	1	94	60
15 kW	1	24	15
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>213</b>	<b>135</b>

Fuente: Propia

Se presenta una breve introducción del software utilizado para posteriormente diseñar y simular el caso propuesto con expansión.

### Herramienta de simulación (PVsyst) Breve Introducción

PVsyst es un software especializado en el diseño, simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos. Su funcionamiento se basa en modelar todos los componentes de un sistema solar, como paneles, inversores, y almacenamiento de energía, para simular su rendimiento bajo diferentes condiciones climáticas y de instalación. El software permite al usuario ingresar datos específicos del proyecto (ubicación, orientación, inclinación, y perfil de carga) y genera simulaciones detalladas sobre la producción de energía, pérdidas, y eficiencia del sistema. Además, PVsyst proporciona herramientas para el análisis de sombras, dimensionamiento del sistema, y comparación entre diferentes configuraciones, ayudando a optimizar el diseño y asegurar su viabilidad técnica y económica.

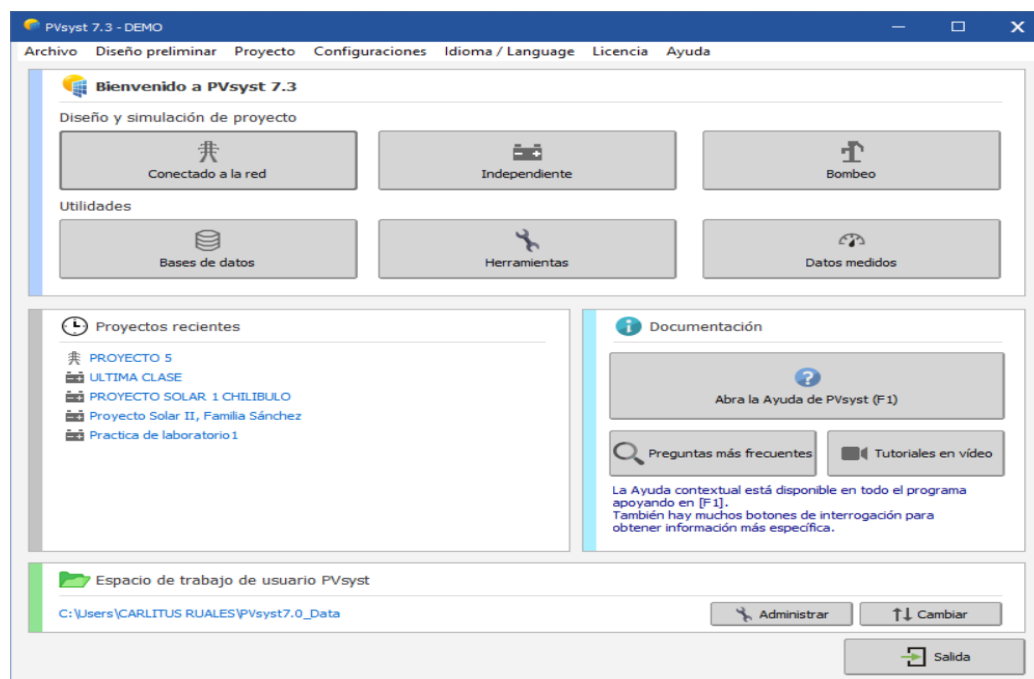


Figura 26. Pantalla de acceso a PVsyst  
Fuente: Software PVsyst Versión 7.3



### 3.3 Descripción del caso propuesto con expansión a (990kW)

#### 3.3.1 Objetivo de la propuesta

Objetivo Principal: Diseñar y simular un sistema fotovoltaico híbrido que pueda satisfacer la demanda energética actual a partir del sistema que ya está instalado de 135 kW.

Resultados Esperados: Garantizar un suministro eléctrico confiable y sostenible, con un sistema que sea escalable y flexible.

#### Análisis Inicial del Contexto Energético y la Demanda Actual

Se determina la demanda energía actual de la planta y desarrollar el diseño que se debería implementar para satisfacer la misma.

#### Recopilación de Datos de consumo Energético:

Se realizo la descripción de los equipos a los cuales se desea cubrir la demanda:

Tabla 3. Registro de demanda propuesta

DEMANDA A CUBRIR		
EQUIPO	POTENCIA (Kw)	VOLTAJE(V)
Mezcladora 1	18	440
Mezcladora 2	18	440
Mezcladora 3	18	440
Mezcladora 4	22	440
Mezcladora 5	55	440
Mezcladora 6	55	440
Mezcladora 7	18	440
	<b>204</b>	<b>440</b>

Fuente: Propia

#### 3.3.2 Cálculo de la energía

A partir de los equipos detallados anteriormente en los que observa la potencia de cada uno de ellos, se realizó un estudio de carga para determinar las horas de funcionamiento por día y determinar la demanda máxima a cubrir.

En las Figuras 27-34 se observa el detalle del estudio realizado para cada día y se eligió el Día 2 (Figura 28) como referencia para el diseño del sistema propuesto: Ya que en este día se tiene la mayor demanda de todos los equipos que es de 4112 kW.

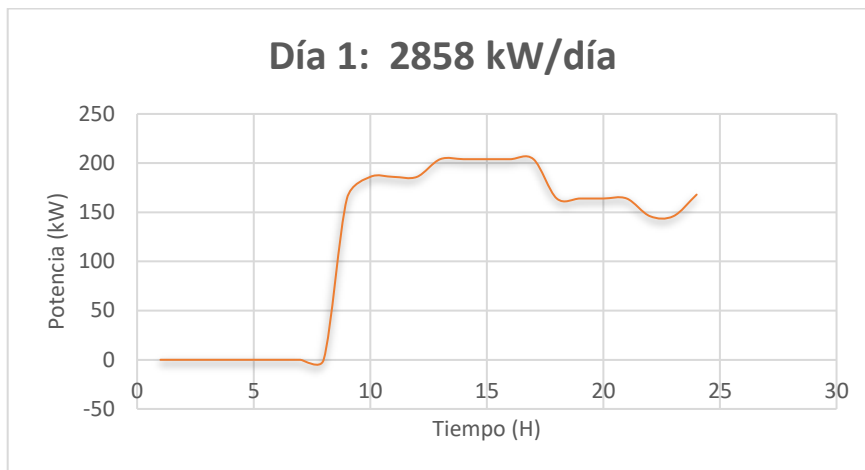


Figura 27. Curva de demanda máxima por hora Día 1= 204kW  
Fuente: Cálculo en Excel de la demanda Día 1

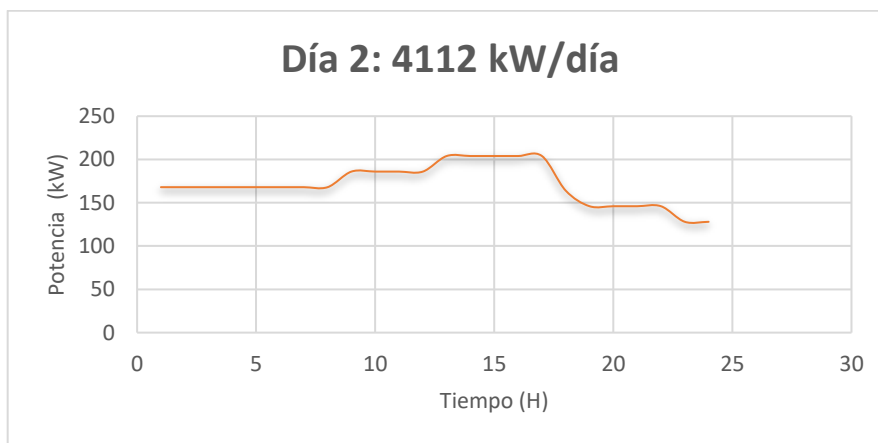


Figura 28. Curva de demanda máxima por hora Día 2= 204kW  
Fuente: Cálculo en Excel de la demanda Día 2

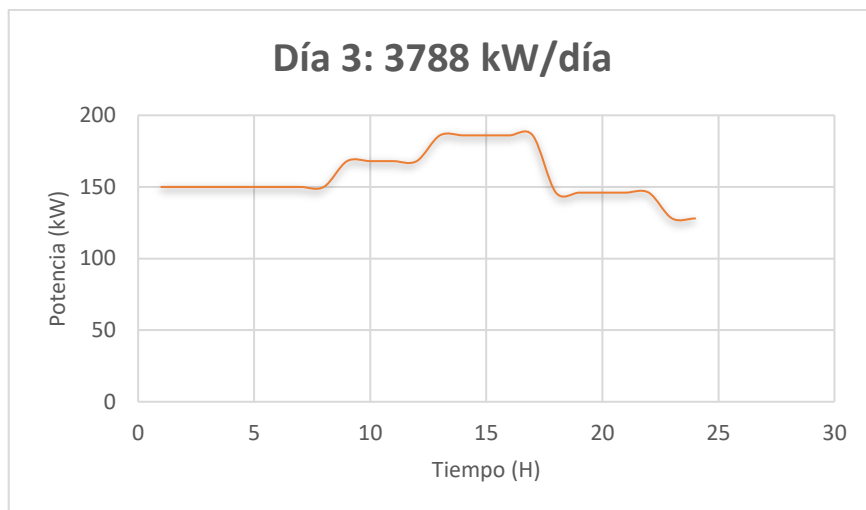


Figura 29. Curva de demanda máxima por hora Día 3= 186kW  
Fuente: Cálculo en Excel de la demanda Día 3

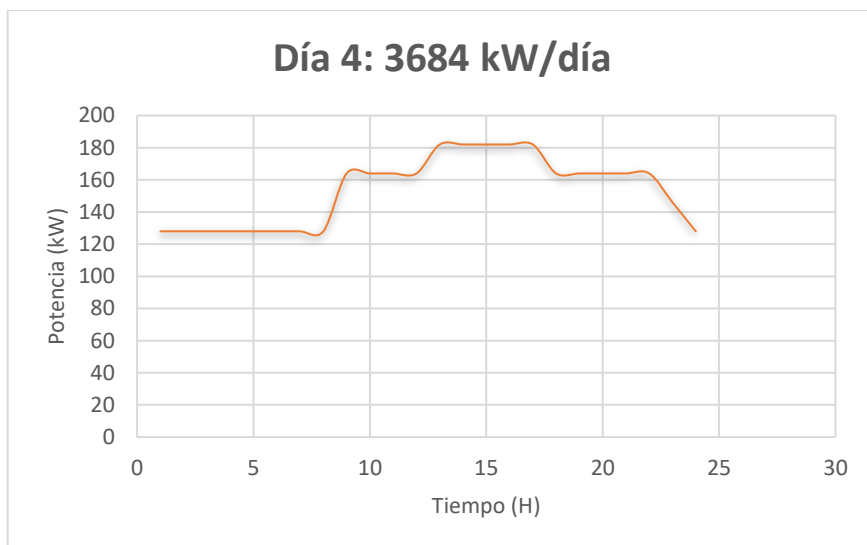


Figura 30. Curva de demanda máxima por hora Día 4= 182kW  
Fuente: Cálculo en Excel de la demanda Día 4

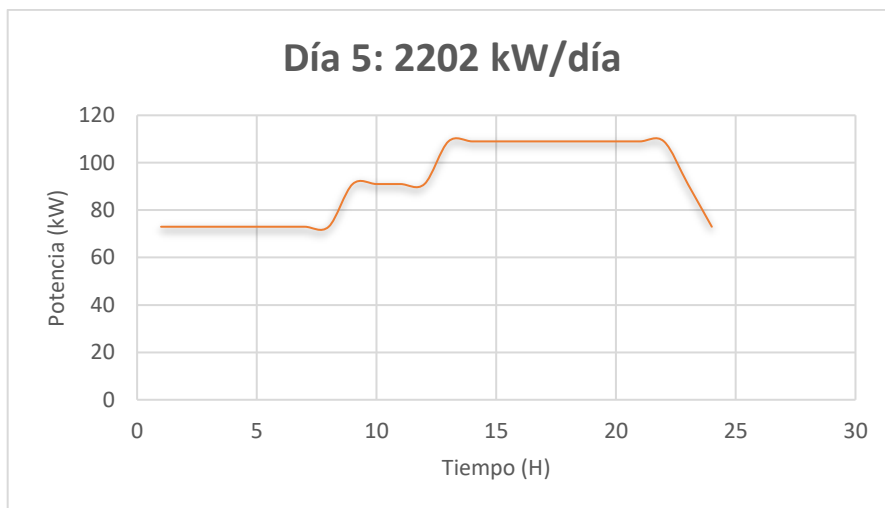


Figura 31. Curva de demanda máxima por hora Día 5= 109kW  
Fuente: *Cálculo en Excel de la demanda Día 5*

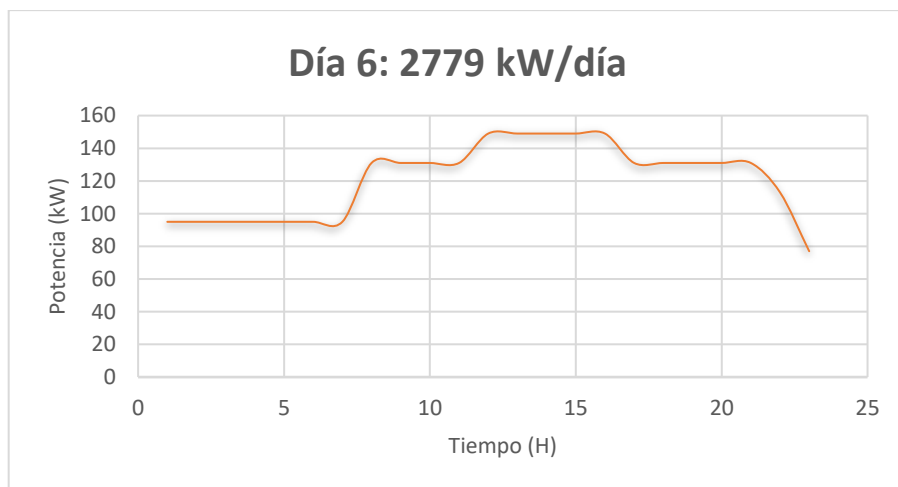


Figura 32. Curva de demanda máxima por hora Día 6= 149kW  
Fuente: *Cálculo en Excel de la demanda Día 6*

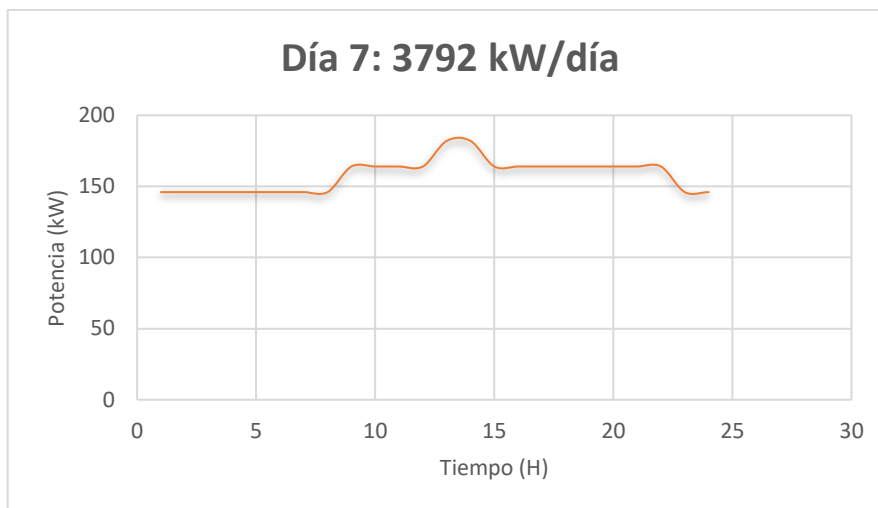


Figura 33. Curva de demanda máxima por hora Día 7= 182kW  
Fuente: *Cálculo en Excel de la demanda Día 7*

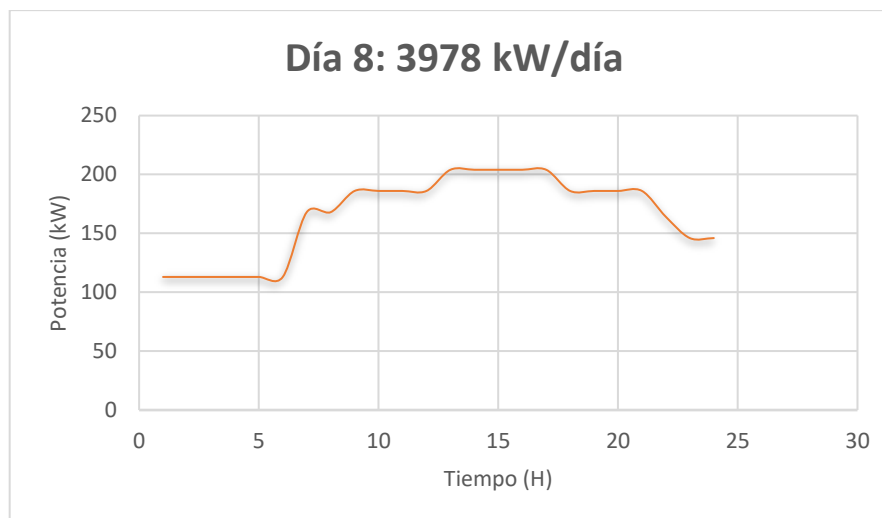


Figura 34. Curva de demanda máxima por hora Día 8= 204kW  
Fuente: *Cálculo en Excel de la demanda Día 8*

De acuerdo al análisis de los días realizados se puede verificar en la Figura. 28, Día2 la curva de demanda máxima es de 4112 kWh/día y también la demanda máxima por hora que es de 204kW, la cual se utilizará para el diseño por que cubre el escenario más crítico.

Para el diseño del sistema se realizó el cálculo de la energía total del consumo de las maquinas, aplicando la formula correspondiente:

$$\text{Energía}_{\text{total}} = \text{Numero}_{\text{equipos}} * \text{Potencia} * \text{Numero}_{\text{horas}}$$

De esta manera ya con el total de la energía como lo muestra la Tabla 4, podemos realizar el diseño del sistema fotovoltaico propuesto.

Tabla 4. Diseño fotovoltaico propuesto para cubrir la demanda de los equipos

<b>EQUIPO (Descripción)</b>	<b>NÚMERO (Cuantos Equipos)</b>	<b>POTENCIA (Pot. de cada equipo) (kW)</b>	<b>HORAS DE USO hr/día</b>	<b>ENERGÍA DIARIA (<math>E1=N1*P1*t1</math>) kWh/día</b>
Mezcladora 1	1	18	9	162
Mezcladora 2	1	18	10	180
Mezcladora 3	1	18	24	432
Mezcladora 4	1	22	17	374
Mezcladora 5	1	55	24	1320
Mezcladora 6	1	55	24	1320
Mezcladora 7	1	18	18	324
<b>TOTAL</b>				<b>4112</b>

Fuente: Propia

Para poder realizar los cálculos del diseño y dimensionamiento necesitamos los datos de irradiación del sitio.

### 3.3.3 Datos de radiación

En el software PVsyst generamos la radiación solar del sitio, para poder tener el dato real del HPS (Hora pico solar). Como lo muestra la Figura.35



PVsyst V7.3.0

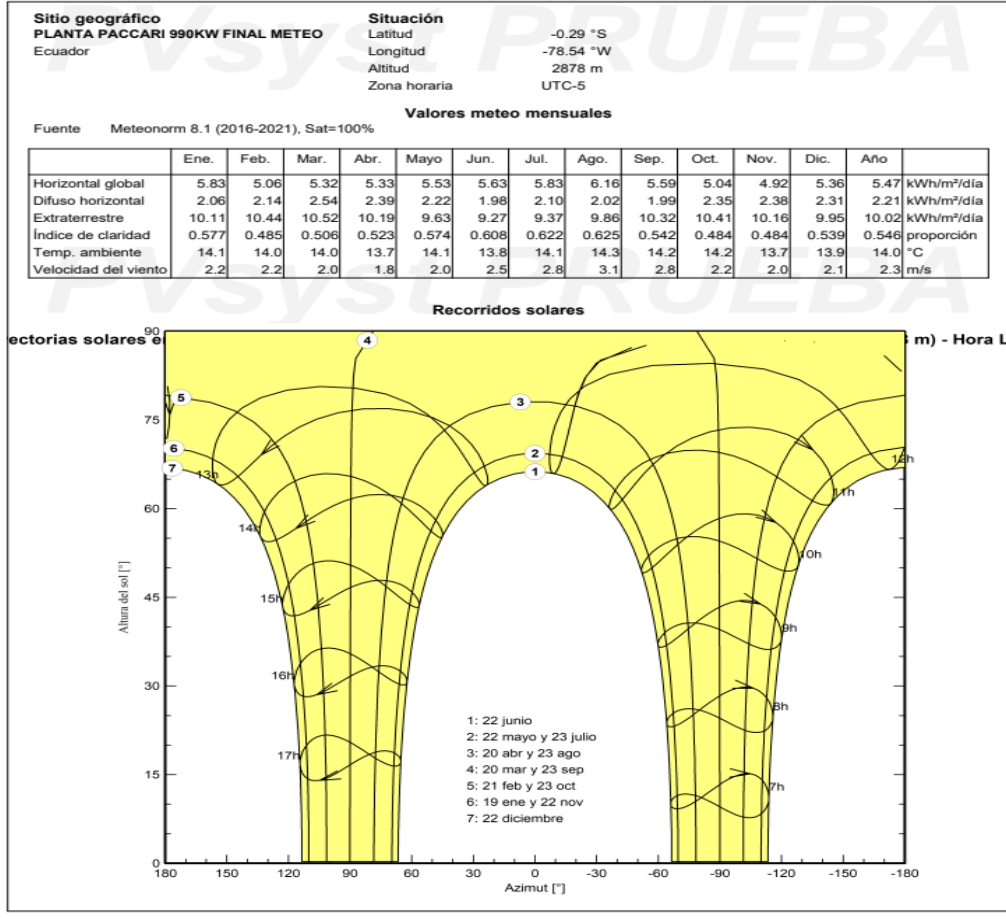


Figura 35. Datos de Irradiación Global del sitio de la Planta Paccari Chocolate  
Fuente: PVsyst

Tabla 5. Tabla de radiación diaria de la Planta Paccari Chocolate

Site: PLANTA PACCARI 990KW FINAL METEO

Country: Ecuador

Región: South América

Source: Meteonorm 8,1 (2016-2021)

Latitude: -0.2935°

Longitude: -785.368°

	<b>Irradiación horizontal Global</b>	<b>Irradiación difusa horizontal</b>	<b>Temp</b>
Mes	kWh/m <sup>2</sup> /día	kWh/m <sup>2</sup> /día	°C
January	5,83	2,06	14.1
February	5,06	2,14	14.0
March	5,32	2,54	14.0
April	5,33	2,39	13.7
May	5,53	2,22	14.1
June	5,63	1,98	13.8
July	5,83	2,10	14.1
August	6,16	2,02	14.3
September	5,59	1,99	14.2
October	5,04	2,35	14.2
November	4,92	2,38	13.7
December	5,36	2,31	13.9
Year	<b>5,46</b>	2,21	14.0

En la Tabla. 5 generada en PVSyst se obtiene la radiación solar diaria entonces a continuación seleccionamos el de menor valor, que es el que se utiliza para calcular el peor escenario.

HSP= 4,92



### 3.3.4 Equipos Seleccionados

#### Paneles solares

Se selecciono Módulos fotovoltaicos bifaciales de 630 W de potencia de la marca Light Green de la serie LG-630BF con los siguientes datos:

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC					
TYPE	LG 625BF		LG 630BF		
Rated Maximum Power(Pmax) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> [W]	625 <sup>(1)</sup>	535 <sup>(2)</sup>	630 <sup>(1)</sup>	540 <sup>(2)</sup>	630
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	50.0	49.8	50.2	50.0	50
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.7	41.5	41.9	41.7	42
Short Circuit Current(Isc) [A]	16.05	13.75	16.10	13.80	16.1
Maximum Power Current(Imp) [A]	15.01	12.90	15.05	12.96	15.0
Module Efficiency [%]	23%	19.9%	23.3%	20.2%	23.1
Power Tolerance (%)					+/- 3
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )					+0.048%/°C
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )					-0.270%/°C
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )					-0.35%/°C

Figura 36. Parámetros eléctricos de los paneles Ligth Green  
Fuente: Ligth Green

#### Inversores

En cuanto a los inversores de seleccionó de la marca Afore:



Figura 37. Inversores utilizados en el diseño del sistema fotovoltaico  
Fuente: Afore

Electrical Specifications	BNT050KTL	BNT060KTL
<b>Input (DC)</b>		
Max DC Power (W)	60000	72000
Max DC Voltage (V)	1000	1000
Rated /Recommended Voltage (V)	620	620
MPPT DC Voltage Range (V)	300~950	300~950
Start up DC Voltage (V)	320	320
Max DC Current (A)	36/36/36	40 /40 /40
Number of MPPT Tracker	3	3
Number of DC Connections ( set )	12	12
<b>Output (AC)</b>		
Max AC Power (W)	55000	66000
Nominal AC Power (W)	50000	60000
Max AC Current (A)	80	95
Nominal AC Current (A)	72.5	87
Nominal AC Voltage ( V )	3P+N+PE/3P+PE,230/400	
Nominal AC Frequency (Hz)	50/60	
Power Factor	0.99 (-0.8~+0.8)	
Output current THD	<3%	
<b>Power consumption</b>		
Power consumption at Night (W)	<1	
Power consumption at Standby (W)	<15	
<b>Power Efficiency</b>		
Max Efficiency	98.80%	99%
Euro Efficiency	98.45%	98.50%
MPPT Efficiency	99.90%	99.90%
<b>Safety and protection</b>		
Safety Standard	EN/IEC 62109-1/-2	
EMC Standard	EN/IEC 61000-6, EN61000-3	
Anti-islanding Protection	Internal	

Figura 38. Parámetros eléctricos del inversor.

Fuente: Afore

### 3.3.5 Cálculo de Perdidas

Constante  $K_c = 3\%$

Constante  $K_v = 1\%$

En Donde:

$K_c$  = perdida en el sistema

$K_v$  = perdidas del inversor

$K_T = (1 - (K_c + K_v))$

$K_T = (1 - (3 + 1))$

$K_T = -3\%$

### 3.3.6 Cálculo de Potencia Mínima del generador:

$$P_{mingen} = \frac{\text{Consumo diario} \left( \frac{kWh}{\text{año}} \right) * G_{cem} \left( \frac{KW}{m^2} \right)}{HPS * PR}$$

En donde:

$P_{mingen}$  = Potencia mínima del generador

$\text{Consumo diario}$  = Demanda de energía diaria

$G_{cem}$  = Relación de rendimiento

$PR$  = Eficiencia global del sistema

$$P_{mingen} = \frac{4112 * 1}{4,92 * 0,83}$$

$$P_{mingen} = 990,84 \text{ kWp}$$

Consumo Diario (kWh/d) Dia 2	HSP diario	GCEM	PR	$P_{min, gen}$	
4112	5,54	1	0.83	<b>990,84</b>	kWp

### 3.3.7 Cálculo de numero de paneles

Para la simulación de proyecto propuesto se seleccionó el mismo módulo solar LG630BF de 630W. Para obtener la cantidad de módulos solares necesarios para la instalación se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Numero } \text{modulos.solares} = \frac{P_{mingen}(kWp)}{P_{nom. modulo}(w)}$$

En donde:

$\text{Numero } \text{modulos.solares}$  = Numero de paneles para el sistema FV

$P_{mingen}(kWp)$  = Potencia mínima generada

$P_{nom. modulo}$  = Potencia nominal del panel FV

$$Numero_{modulos.solares} = \frac{990}{0,630}$$

$$Numero_{modulos.solares} = 1572,76$$

$P_{min, gen}$ (kW)	$P_{nom.modulo}$ (kW)	Paneles Calculados	Paneles reales	$P_{min, gen, real}$	
990.84	0.630	1572,76	<b>1572</b>	990.84	kWp

Determinamos como seria la distribución de los arreglos fotovoltaicos, en paneles e inversores incluyendo el diseño base de la planta Fotovoltaica. De igual manera se determinó la potencia mínima planeada de cada arreglo para poder ingresar en PVsyst, partiendo del diseño que ya está instalado(135kW), utilizando la siguiente formula:

$$Pot_{planeada} = Numero_{paneles} * Pot_{cad\ panel}$$

Tabla 6. Arreglo fotovoltaico Propuesto

Arreglos FV	Inversor (kW)	Paneles (cant.)	Potencia en planeada (kWp)
Arreglo 1	60	95	59,85
Arreglo 2	60	94	59,22
Arreglo 3	15	24	15,12
Arreglo 4	240	380	239,4
Arreglo 5	240	380	239,4
Arreglo 6	240	380	239,4
Arreglo 7	120	190	119,7
Arreglo 8	15	24	15,12
Total	990	1567	987,21

Fuente: Propia

### 3.3.8 Cálculo del Inversor

Par el cálculo del inversor se debe tomar como referencia la potencia de demanda en este caso es-.....Para el cálculo de la potencia del inversor se debe tomar en cuenta un margen de seguridad que sería del 25%, adicional como dato importante se debe considerar que la eficiencia es del 95%. A continuación, registraremos los datos necesarios y luego aplicaremos la formula correspondiente:

$$S_{inv} = F_s * \frac{P_{inv} - AC}{FP * Ef_{inv}}$$

De donde:

$S_{inv}$ = Potencia del Inversor

$F_s$  = Factor de Seguridad

$FP$ = Factor de Potencia

$P_i - AC$  = Potencia diaria pico

$Ef_{inv}$ = Eficiencia del Inversor

$$S_{inv} = 1,25 * \frac{204kw}{0,8 * 0,99}$$

$$S_{inv} = 329,57$$

$$S_{inv} = (3) * 329,57$$

$$S_{inv} = 989,0999kW = 989,09 Kva$$

Se determino el valor total del Inversor en Kva y de acuerdo a este valor se realizo la distribución de los Inversores para cada arreglo fotovoltaico del sistema.

Tabla 7. Disposición de Inversores en el sistema Fotovoltaico

Arreglos FV	Inversor (Kva)
Arreglo 1	60
Arreglo 2	60
Arreglo 3	15
Arreglo 4	240
Arreglo 5	240
Arreglo 6	239,4
Arreglo 7	120
Arreglo 8	15
Total	990

Fuente: Propia

### 3.3.9 Ejecución de la simulación

Con los cálculos obtenidos para el diseño de 990kW, se procederá a ingresar la información obtenida en el software PVsyst y se ejecutará la simulación para cubrir la demanda propuesta de la Planta “Paccari Chocolate”.

Ingresamos los arreglos de acuerdo a lo detallado en la Tabla 6, en la sección definición del sistema lo muestra la figura 39.

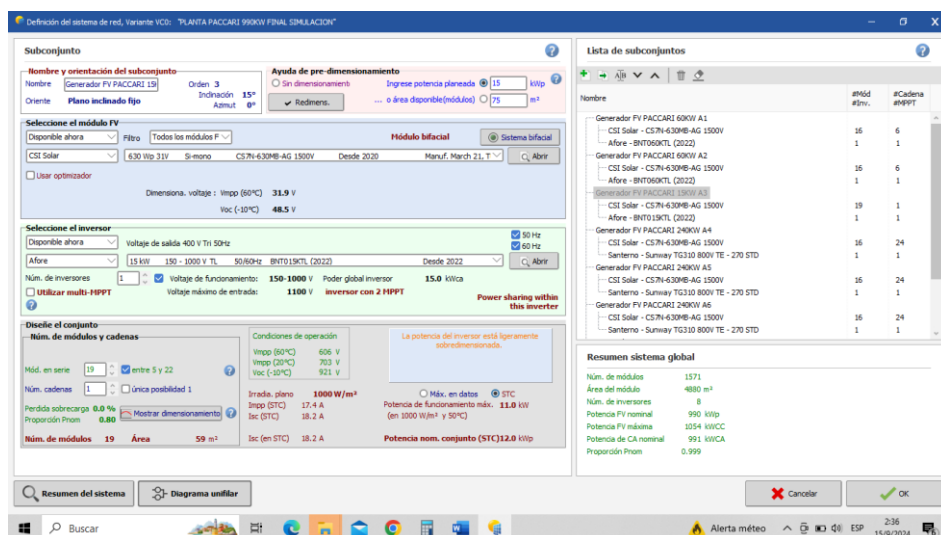


Figura 39. Definición del sistema para 990kW  
Fuente: Propia

Ya ingresado todos los arreglos de acuerdo al diseño, lo podemos verificar en el resumen total como la muestra la figura 40.

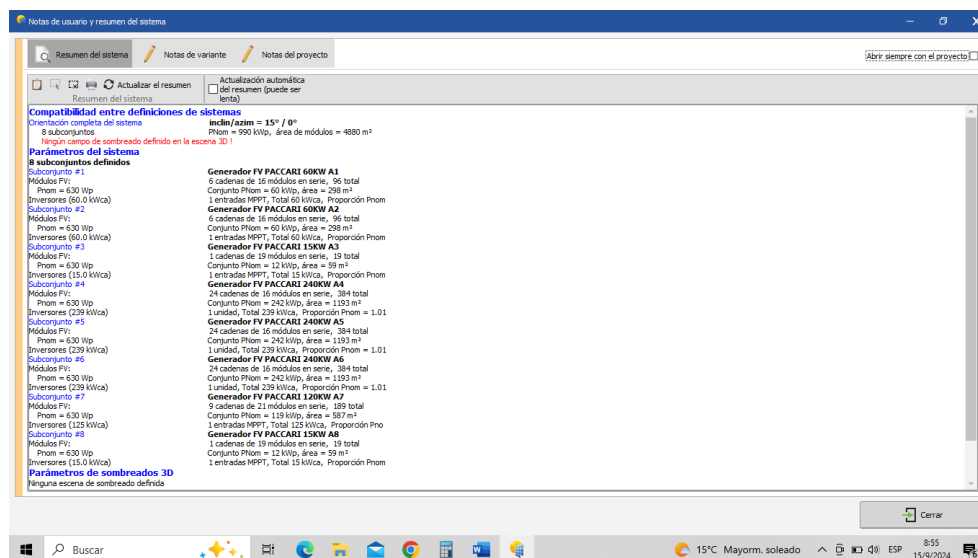


Figura 40. Resumen del sistema para 990kW  
Fuente: Propia

El resumen del arreglo también lo podemos ver en el diagrama unifilar que el software nos despliega, así como lo muestra la Figura 41. Aquí nos despliega las cadenas de paneles solares que están conectadas a cada inversor.

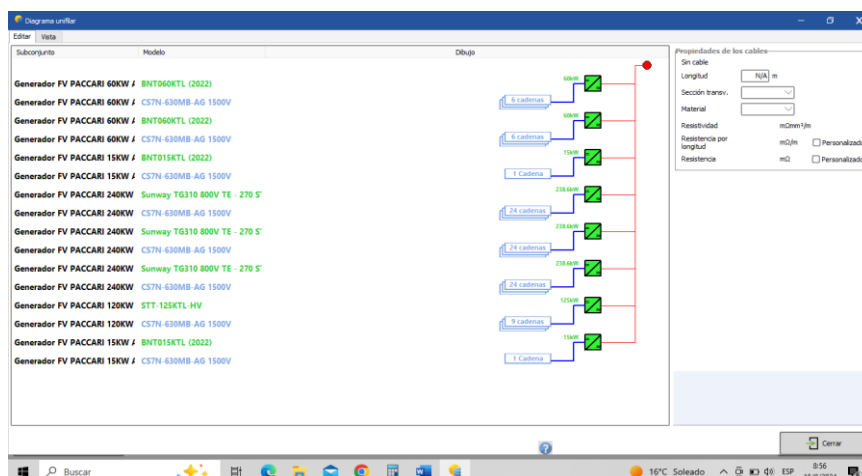


Figura 41. Diagrama Unifilar del sistema de 990kW  
Fuente: Propia

Después de ejecutada la simulación verificamos los resultados obtenidos y explicaremos los más importantes en el siguiente apartado.

### 3.3.10 Resultados de la Simulación

En la figura 42, podemos observar que despliega características generales del sistema fotovoltaico, como la potencia nominal del sistema FV que es de: 993kW<sub>p</sub>, el total de módulos fotovoltaicos: 1576, el área necesaria propuesta para la implementación: 4896 m<sup>2</sup>. También despliega en la parte inferior el valor de pérdida del cableado en DC en los arreglos fotovoltaicos.



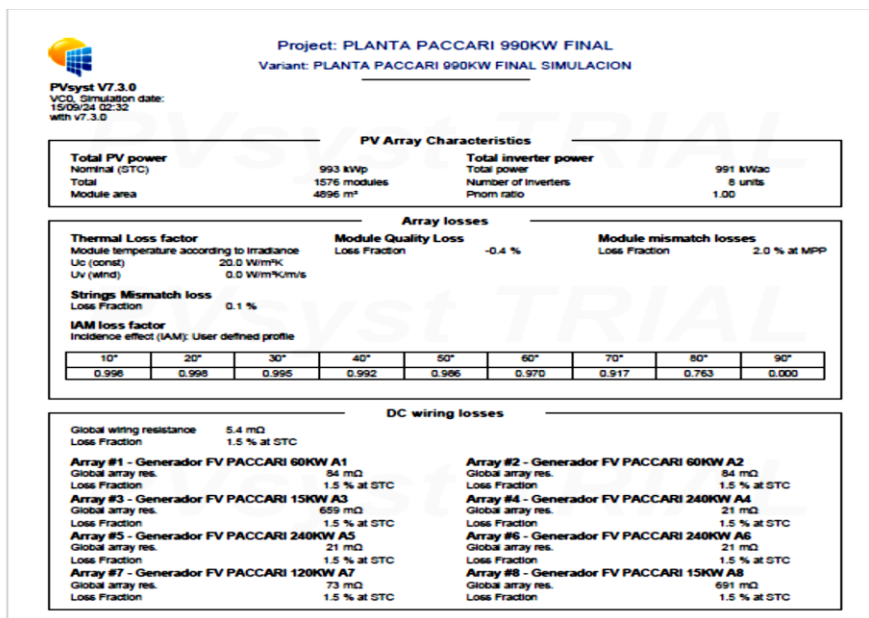


Figura 42. Características del sistema fotovoltaico  
 Fuente: Propia

**System Production**  
 Produced Energy

1720465 kWh/year

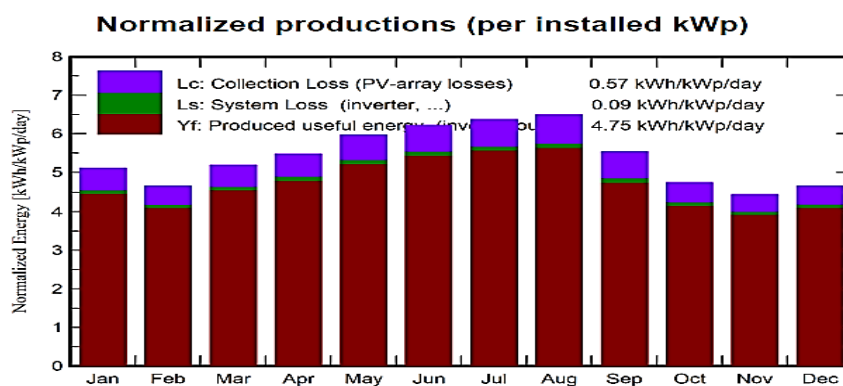


Figura 43. Producción del sistema  
 Fuente: Propia

Como nos muestra en la Figura 43, se observa la energía producida por la planta fotovoltaica en este caso la cantidad producida en el año es de 1720465kWh, este valor generado en el año nos permite evaluar el rendimiento del sistema. También podemos calcular la producción específica, que en este caso es 1720,65 kWp.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	180.8	63.85	14.12	158.3	153.3	140720	138097	0.879
February	141.7	60.02	14.02	130.7	127.4	116527	114362	0.881
March	164.9	78.77	14.01	160.7	157.2	143463	140832	0.882
April	159.9	71.72	13.74	164.2	161.0	146203	143447	0.880
May	171.5	68.75	14.07	184.9	181.6	164221	161186	0.878
June	169.0	59.40	13.83	186.6	183.5	165450	162371	0.877
July	180.8	65.24	14.07	197.5	194.1	174916	171787	0.876
August	191.0	62.62	14.32	201.3	197.9	177222	173972	0.870
September	167.8	59.70	14.19	166.0	162.7	144814	141984	0.862
October	156.2	72.87	14.15	147.4	143.5	131020	128484	0.878
November	147.7	71.29	13.73	133.3	129.7	119523	117153	0.885
December	166.2	71.72	13.91	144.6	140.1	129302	126791	0.883
Year	1997.6	805.95	14.02	1975.6	1932.0	1753381	1720465	0.877

Figura 44. Balance de resultados  
Fuente: Propia

En la tabla de la Figura 45, podemos detallar algunas columnas con los resultados obtenidos después de la simulación y que detallamos a continuación las principales:

- GlobHor (Global Horizontal Irradiation): Este valor de 19917,6 kWh/m<sup>2</sup>. representa la cantidad total de irradiación solar recibida en un plano horizontal durante el año. Es un indicador importante para evaluar la disponibilidad de energía solar en la ubicación del proyecto.
- DiffHor (Horizontal Diffuse Irradiation): Este valor de 805,95 kWh/m<sup>2</sup> indica la parte de la irradiación que llega de manera difusa, es decir, no directa, debido a la dispersión de la luz solar en la atmósfera. También es relevante para entender cómo las condiciones atmosféricas afectan la producción de energía.
- EArray (Effective Energy at the Output of the Array): La energía generada por el sistema fotovoltaico es de 1753381 kWh/m<sup>2</sup>. Este valor indica la energía efectiva generada por sistema FV, teniendo en cuenta todas las pérdidas y eficiencias del sistema.
- E\_Grid (Energy Injected into Grid): La cantidad de energía que se inyecta a la red eléctrica es de 1720465 kWh/m<sup>2</sup>, y este valor es primordial para evaluar el impacto del sistema en la red.

- Performance Ratio (PR): El valor es de 0.877 y es un indicador de la eficiencia del sistema, que compara la energía efectivamente producida con la energía que podría haberse producido bajo condiciones ideales.

La tabla proporciona una visión general de cómo se comporta el sistema a lo largo del año, permitiendo identificar las pérdidas en cada etapa del proceso de conversión de energía solar a eléctrica. Esto es esencial para optimizar el rendimiento del sistema y para la planificación de futuros proyectos.

Para revisar todas las características de los resultados se podrá revisarlos en el **Anexo 2**(Informe de simulación del sistema a 990kW)

La figura 45, representa una simplificación del sistema diseñado en un diagrama unifilar para facilitar la visualización y comprensión del sistema FV. En este diagrama muestra todos los componentes principales y su interconexión, en este caso se puede mencionar:

- Tipos de inversores: El sistema cuenta con varios inversores de distintas capacidades, lo que indica que es una instalación de tamaño medio o grande.
- Diseño de las cadenas: Cada inversor está vinculado a un número determinado de cadenas, lo que se ha implementado en el diseño para maximizar la producción de energía.



PVsyst V7.3.0  
VCO, Simulation date:  
15/08/24 02:32  
with v7.3.0

## Single-line diagram

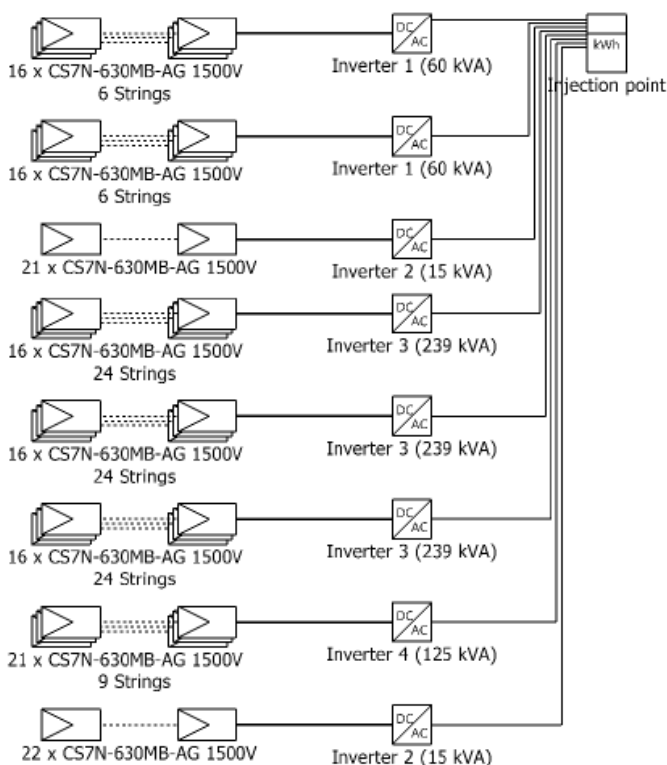


Figura 45. Diagrama Unifilar del sistema propuesto  
Fuente: Propia

## 4 Análisis de Resultados

### Paneles solares

Sistema	Paneles calculados	Paneles en simulación	Diferencia
990 kW	1572,76	1576	3,24

La diferencia en el número de paneles calculados y los que se simularon es mínima (3,24), lo que sugiere que tu simulación es bastante precisa y refleja de manera efectiva el cálculo teórico, esta mínima diferencia puede atribuirse a redondeos o variaciones menores en los datos de entrada.

**Potencia**

Potencia Calculada	Potencia simulada	Diferencia (kWp)
990,84 kW	993kW	2,16

Se puede evidenciar que la diferencia entre la potencia calculada (990,84 kW) y la potencia simulada (993 kW) es también pequeña (2,16 kWp), indicando que el diseño del sistema es coherente con los resultados esperados.

**Diferencia del sistema Actual al Propuesto**

Sistema Actual	Sistema Propuesto	Diferencia para aumento
213	1572	1359

La comparación entre el sistema actual (213 paneles) y el propuesto (1572 paneles) muestra un aumento significativo en la capacidad, lo que es un buen indicativo del potencial de expansión, que va a satisfacer la demanda energética creciente. Este cambio no solo aumentará la generación de energía, sino que también reducirá la dependencia de fuentes no renovables.

**Costo Global de la Planta Fotovoltaica**

Costo actual (135kW)	Costo Propuesto(990kW)	Porcentaje de Inversión
USD=130000	USD=953333,3	733,30%

El costo es significativamente mayor que el costo actual. Aunque este aumento en la inversión es considerable, también se debe evaluar los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos y la disminución de la huella de carbono.

**5 Conclusiones**

- Se determinó que la capacidad óptima del sistema fotovoltaico para cubrir la demanda de la planta es de 990 kW, lo que representa un aumento significativo en comparación con el sistema actual de 135 kW. Este aumento en la capacidad es esencial para garantizar un suministro eléctrico confiable y sostenible, alineándose con el objetivo de satisfacer la creciente demanda energética de la planta.
- La simulación realizada con PVsyst permitió dimensionar adecuadamente el sistema, determinando que se requerían 1576 paneles solares para alcanzar una capacidad total

de 990 kW. Este dimensionamiento asegura que el sistema pueda satisfacer la demanda energética actual de la planta "Paccari Chocolate", que se estimó en aproximadamente 1,500,000 kWh anuales. Este resultado confirma que el sistema está diseñado para cubrir no solo la demanda actual, sino también para adaptarse a un crecimiento futuro.

- La instalación de un sistema fotovoltaico híbrido ha demostrado ser una solución eficaz para satisfacer la creciente demanda energética de la planta "Paccari Chocolate". La simulación realizada con PVsyst ha permitido determinar las configuraciones más adecuadas de paneles solares e inversores, optimizando la captación de energía solar y asegurando un suministro eléctrico fiable.
- Se utilizaron componentes óptimos para el sistema, incluyendo paneles solares con una eficiencia del 18-20 % aproximadamente y un inversor con una eficiencia del 95-99%, esta selección es crucial para garantizar que el sistema opere de manera eficiente y duradera, cumpliendo con las condiciones climáticas específicas de Quito y la demanda energética de la planta. La elección de componentes de alta calidad también contribuye a la reducción de costos de mantenimiento a largo plazo.
- La implementación del sistema fotovoltaico híbrido ayudará a disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables, esto no solo favorecerá la sostenibilidad de la planta, sino que también posicionará a "Paccari Chocolate" como una de las empresas comprometidas hacia el uso de energías limpias y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
- El diseño del sistema facilita la adaptación ante futuros incrementos en la demanda energética. La capacidad de simular el escenario de expansión garantiza que el sistema pueda aumentar de manera eficiente, lo cual es fundamental para el crecimiento sostenible de la planta a largo plazo.
- La investigación y el desarrollo en el campo de la energía solar deben continuar, explorando nuevas tecnologías y métodos de optimización. La experiencia adquirida en este proyecto en la planta de PACCARI CHOCOLATE puede servir como base para futuros estudios y mejoras en la implementación de sistemas fotovoltaicos en otras industrias.

- Al evaluar el desempeño del sistema fotovoltaico bajo diversas condiciones climáticas, se ha logrado seleccionar componentes más eficientes y adecuados para la planta, lo cual es un aporte valioso para la confiabilidad del sistema a largo plazo.

## **6 Recomendaciones**

- Se recomienda en el futuro realizar un análisis del diseño junto con un análisis de calidad de energía, para observar el desempeño de los equipos alimentados y verificar la eficiencia del sistema fotovoltaico diseñado.
- Se sugiere realizar un estudio adicional en PVsyst, para determinar la orientación y el ángulo de inclinación óptimos de los paneles solares, considerando la variabilidad estacional de la radiación solar en Quito. Esto maximizará la captación de energía y, por ende, la producción anual del sistema.
- Se recomienda llevar a cabo un monitoreo en continuo del rendimiento del sistema una vez implementado. Esto permitirá identificar y corregir posibles ineficiencias, así como ajustar la operación del sistema a las condiciones climáticas cambiantes y a las necesidades energéticas de la planta.
- Es importante elegir módulos fotovoltaicos y equipos inversores que ofrezcan alta eficiencia y durabilidad, sería recomendable realizar un análisis comparativo de diferentes marcas y modelos, considerando no solo la eficiencia, sino también la garantía y el soporte técnico.
- Proporcionar una capacitación técnica adecuada al personal técnico encargado de la operación y monitoreo del sistema fotovoltaico. Esto asegurará que el equipo esté bien preparado para manejar cualquier eventualidad y optimizar el rendimiento del sistema.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de integrar un sistema de almacenamiento de energía (baterías) en una parte del sistema, para maximizar el uso de la energía generada durante el día y reducir la dependencia de la red eléctrica durante las horas pico o en condiciones de baja radiación solar. Esto podría mejorar aún más la sostenibilidad y la eficiencia del sistema.
- Se sugiere investigar y aprovechar posibles incentivos o compensaciones gubernamentales, o a su vez subsidios para la implementación de energías renovables.

Esto podría reducir significativamente los costos iniciales de inversión y mejorar la viabilidad económica del proyecto.

## 7 Referencias:

- /ilumin.online, E. S. (n.d.). *DIFERENCIAS ENTRE RADIACIÓN, IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR - ilumin | Cursos de Energía Solar*. Retrieved September 13, 2024, from <https://ilumin.online/diferencias-entre-radiacion-irradiancia-e-irradiacion-solar/>
- 2018, Romero Gaibor, E. H. (n.d.). *Dspace ESPOCH.: Implementación de un prototipo de medidor de energía residencial considerando las pérdidas no técnicas por hurto*. Retrieved September 13, 2024, from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8956>
- 2020, Suárez, Ramón De Jesús López, O. (n.d.). (PDF) *SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TIEMPO REAL*. Retrieved September 8, 2024, from [https://www.researchgate.net/publication/359221006\\_SISTEMA\\_PARA\\_EL\\_MONITOREO\\_DEL\\_CONSUMO\\_DE\\_ENERGIA\\_ELECTRICA\\_EN\\_TIEMPO\\_REAL](https://www.researchgate.net/publication/359221006_SISTEMA_PARA_EL_MONITOREO_DEL_CONSUMO_DE_ENERGIA_ELECTRICA_EN_TIEMPO_REAL)
- 2022, Fulgora, E. (n.d.). *Medidor Bidireccional ¿Qué es? ¿Cómo funciona y Cómo se Lee?* Retrieved September 13, 2024, from <https://fulgoraenergy.com/blog/medidor-bidireccional-cfe>
- 2023, Afore, E. (n.d.). *Sistema de monitorización de plantas fotovoltaicas - Afore New Energy*. Retrieved September 13, 2024, from <https://www.aforeenergy.es/product/monitor.html>
- 2023, GeneraRenovables, 2023. (n.d.). *Paneles solares en Ecuador - Genera Renovables*. Retrieved September 13, 2024, from <https://generarenovables.com/paneles-solares/>
- Abdul Kader, K., Abdul Mannan, M., Rahman, F., Islam Nahid, N., & Abedin, Z. (2021). Design and Analysis of an On-Grid Solar System Using PVsyst Software for Commercial Application Bilinear Observer View project Design and Analysis of an On-Grid Solar System Using PVsyst Software for Commercial Application View project Design and Analysis . *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 12(9), 316–322. <http://www.ijser.org>
- abril 2022, I. (n.d.). *DIFERENCIAS ENTRE RADIACIÓN, IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR - ilumin | Cursos de Energía Solar*. Retrieved September 10, 2024, from <https://ilumin.online/diferencias-entre-radiacion-irradiancia-e-irradiacion-solar/>
- Alberto, F., Alfonso, V., Alberto VÁZQUEZ-PALMA, J., & Gustavo, M. (2019). *Revista de Ingeniería Eléctrica Medidor bidireccional trifásico interconectado a la red con monitoreo de la generación de energía eléctrica del conjunto panel-microinversor Three-phase*



bidirectional meter interconnected to the network with monitoring of t. *Marzo*, 3(8), 21–32. [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu)

Almeida, R. A., Domingues, N. de L., Felix, J. P. S., & Ribeiro, G. A. (2021). Estudo sobre os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados a Rede/ Study on the components used in grid-connected photovoltaic systems. *Brazilian Journal of Development*, 7(8), 77752–77769. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-135>

BBA:ES Optimizador-de-panel-solar, B. E. (n.d.). *¿Qué es un optimizador de panel solar y cómo funciona?* | BBVA. Retrieved September 10, 2024, from <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/sostenibilidad/que-es-un-optimizador-de-panel-solar-y-como-funciona.html>

Cientificos.PE. (n.d.). *Los Nuevos Paneles Solares, la fiebre de las perovskitas* | Científicos.pe, Científicos Peruanos. Retrieved September 13, 2024, from <https://www.cientificos.pe/?p=363>

conectividad - energia, Ni. (n.d.). *Conector empalme rapido electrico 9842*. Retrieved September 13, 2024, from <https://nisatra.com/conectividad-y-energia-material-electrico/2359-conector-empalme-rapido-electrico-9842-5602377174633.html>

CONELEC. (2008). Atlas solar del ecuador. *Conelec*, 1–51. [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)

Constante, A., & Chipugsi, J. (2023). (n.d.). *Estudio de la eficiencia energética en la generación fotovoltaica, a partir de diferentes tecnologías y sus componentes*. Retrieved August 21, 2024, from <https://repositorio.utc.edu.ec/>

CONTAC, PHOENIX, 2020. (2020). *Conectores fotovoltaicos*.

David Sabando-Catagua, L., Agustín Vergara-Faubla, J., Cesar, J., & Segarra, G. (2024). Photovoltaic System for Self-consumption in the El Limón Community, Portoviejo, Manabí. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 8(2), 17–25. <https://doi.org/10.53730/IJPSE.V8N2.15052>

Earth.google.com. (n.d.). <https://earth.google.com/>. Retrieved September 18, 2024, from [https://earth.google.com/web/@-2.00000000,-77.50000000,11002324.37706771a,0d,35y,-0.0000h,0.0000t,0.0000r?utm\\_source=earth7&utm\\_campaign=vine&hl=es-419](https://earth.google.com/web/@-2.00000000,-77.50000000,11002324.37706771a,0d,35y,-0.0000h,0.0000t,0.0000r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419)

EcoInventos 2024, estructura de montaje E. (n.d.). *¿Cuál Es La Importancia De La Estructura De Montaje De Las Placas Solares?* Retrieved September 13, 2024, from <https://ecoinventos.com/importancia-estructura-montaje-placas-solares/>

Ecosolaresp - Panel-fotovoltaico. (n.d.). *Panel fotovoltaico policristalino Turbo Energy 250 Wp*

- *Ecosolar*. Retrieved September 13, 2024, from <https://www.ecosolaresp.com/tienda-solar/energia-fotovoltaica/paneles-solares/paneles-solares-fotovoltaicos-policristalinos/panel-fotovoltaico-policristalino-ptpv-60-250w/>
- Enercitysa. (n.d.). *Radiación solar en Ecuador y cómo funciona*. Retrieved August 20, 2024, from <https://enercitysa.com/blog/radiacion-solar-en-ecuador/>
- Energética 2020. (n.d.). *Tipos de estructuras para paneles fotovoltaicos: fijas a suelo, lastradas, móviles y flotantes | Artículos y entrevistas*. Retrieved September 8, 2024, from <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/la-energia-solar-fotovoltaica>
- Energy.gov-radation, 2022. (n.d.). *Solar Radiation Basics | Department of Energy*. Retrieved September 19, 2024, from <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- Enriquez- Enriquez, C. A., Cordero- Guzman, D. M., & Ramon- Poma, G. M. (2024). Sistemas de medición remota de energía eléctrica en la agencia Nabón CENTROSUR: factibilidad y beneficios analizados. *Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 5(15), e240278. <https://doi.org/10.46652/pacha.v5i15.278>
- Forero Vélez, B. A., & Esquivel Villamarin, C. D. (2020). Análisis del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos fabricados con silicio. *#ashtag*, 15, 35–35. <https://doi.org/10.52143/2346139X.694>
- Galviz, 2022. (n.d.). *Repositorio Institucional-Universidad Autónoma de Manizales: Dispositivo generador de energía eléctrica eficiente mediante paneles solares y luz artificial*. Retrieved August 21, 2024, from <https://repositorio.autonoma.edu.co/handle/11182/1368>
- Geya, conector two pole. (n.d.). *Conector solar de dos polos - Suministro de equipos eléctricos GEYA*. Retrieved September 18, 2024, from <https://www.geya.net/es/product/two-pole-solar-connector/>
- Green, M. A., Hishikawa, Y., Dunlop, E. D., Levi, D. H., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., & Ho-Baillie, A. W. Y. (2019). Solar cell efficiency tables (Version 53). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(1), 3–12. <https://doi.org/10.1002/pip.3102>
- Grover, A., Khosla, A., & Joshi, D. (2020). Design and simulation of 20MW photovoltaic power plant using PVSystem. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(1), 58–65. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i1.pp58-65>
- Guasch Murillo, D., & Silvestre Berges, S. (2006). Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*, 224. <https://www.tdx.cat/handle/10803/7037>
- Helioesfera.com/la-radiacion-solar. (n.d.). *La radiación solar - HelioEsfera*. Retrieved

September 13, 2024, from <https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/>

- Hernández, A. L. (2003). GEOSOL: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81317>
- Hernandez, O. A., & LOJA, U. N. DE. (n.d.). *La radiación solar global en la región sur de Ecuador. Aproximación a partir de modelos teóricos* / *Revista Tecnológica - ESPOL*. Retrieved August 19, 2024, from <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/392>
- Huawei, 2021. (n.d.). *Conectores de inserción - Conectores Push-in, Conectores Push On, Empalme Rápido, conectores Push Wire* / *Fabricante de bridas de plástico y acero inoxidable* / HUA WEI. Retrieved September 8, 2024, from [https://www.hwlok.com/es/category/Category\\_Push-in\\_Connectors.html](https://www.hwlok.com/es/category/Category_Push-in_Connectors.html)
- IGOYE, 2022. (n.d.). *Conector solar MC4: ¿Por qué es tan popular?* Retrieved September 8, 2024, from <https://igoyeenergy.com/es/por-que-es-popular-el-conector-solar-mc4/>
- Jagadale, P., Choudhari, A., & Jadhav, S. (2022). Design and Simulation of Grid Connected Solar Si-Poly Photovoltaic Plant Using PVsyst For Pune, India Location. *Renewable Energy Research and Applications*, 3(1), 41–49. [http://rera.shahroodut.ac.ir/article\\_2154.html](http://rera.shahroodut.ac.ir/article_2154.html)
- JD-Electricos, 2020. (n.d.). *¿CÓMO FUNCIONA EL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA?* Retrieved September 13, 2024, from <https://jdelectricos.com.co/medidor-de-energia-electrica/>
- John A.Duffie, W. A. B. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes-Third Edition*. 936. <http://www.amazon.com/Solar-Engineering-Thermal-Processes-Duffie/dp/0470873663>
- Kaur, S., Bala, ·Anju, & Parashar, A. (2022). Intelligent energy aware approaches for residential buildings: state-of-the-art review and future directions. *Cluster Computing*, 25(5), 3653–3670. <https://doi.org/10.1007/S10586-022-03573-8>
- Kjaer, S. B., Pedersen, J. K., & Blaabjerg, F. (2005). A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5), 1292–1306. <https://doi.org/10.1109/TIA.2005.853371>
- Kong, X., Wang, L., Li, H., Yuan, G., & Yao, C. (2020). Experimental study on a novel hybrid system of active composite PCM wall and solar thermal system for clean heating supply in winter. *Solar Energy*, 195, 259–270. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.11.081>
- Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2021). Design and Simulation of Standalone Solar PV System Using PVsyst Software A Case Study. *Materials Today: Proceedings*,

46, 5322–5328. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.785>

- LeaderGroup, 2024. (n.d.). *Solar Cable MC4 Connector Solar Wire Manufacturer H1Z2Z2 K*. Retrieved September 13, 2024, from [https://www.leadergroup-cn.com/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwxY-3BhAuEiwAu7Y6sxMMwIecrstv90VNWMf0cPmXv0bp-0voqWmDb3pcEUPKrXLAx-dT0BoCbfQQAxD\\_BwE](https://www.leadergroup-cn.com/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwxY-3BhAuEiwAu7Y6sxMMwIecrstv90VNWMf0cPmXv0bp-0voqWmDb3pcEUPKrXLAx-dT0BoCbfQQAxD_BwE)
- Llonch, T. (n.d.). *Tipos de Estructuras para Paneles Fotovoltaicos por Toni Llonch – Atecyr*. Retrieved September 8, 2024, from <https://www.atecyr.org/blog/2020/09/01/tipos-de-estructuras-para-paneles-fotovoltaicos-por-toni-llonch/>
- Melgar Astete, M. N. (2021). (n.d.). *Estudio del efecto de la temperatura y el lugar de operación en la eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos*. Retrieved August 21, 2024, from <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7375>
- Meteorologiaenred.com. (n.d.). *Irradiancia*. Retrieved September 10, 2024, from <https://www.meteorologiaenred.com/irradiancia.html>
- Mohamed, N. S. S., Sulaiman, S. I., & Rahim, S. R. A. (2022). Design of ground-mounted grid-connected photovoltaic system with bifacial modules using PVsyst software. *Journal of Physics: Conference Series*, 2312(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2312/1/012058>
- Mohammadi, S. A. D., & Gezegin, C. (2022). Design and Simulation of Grid-Connected Solar PV System Using PVSYST, PVGIS and HOMER Software. *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, 1(01), 36–41. <https://doi.org/10.56158/jpte.2022.24.1.01>
- Mosquera, D., & Holguín, I. (2023). Diseño e implementación de sistemas de monitoreo para sistema híbrido fotovoltaico. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1–101. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24672/1/UPS-GT004266.pdf>
- NaturaEnergy, C. (n.d.). *El Futuro de la Energía Fotovoltaica: Paneles Solares Bifaciales / Natura Energy es especialista en paneles solares e importador Victron Energy, Growatt, Pylontech, Ultracell, Voltronic*. Retrieved September 13, 2024, from <https://www.naturaenergy.cl/article/el-futuro-de-la-energia-fotovoltaica-paneles-solares-bifaciales>
- Odio, S. A., Zurita, M. T., Codena, J. G., Martí-nez, J., Asitimbay, J., & Zurita, E. T. (2017). Validación del recurso solar en el Ecuador para aplicaciones de media y alta temperatura. *INNOVA Research Journal*, 2(7), 34–45. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n7.2017.226>
- Oriol Planas - Enginyer tècnic industrial. (2023, August 31). *Cable solar (fotovoltaicos): importancia, marcas y precios*. <https://solar-energia.net/energia-solar->

fotovoltaica/elementos/cable-solar

- Pazmiño, I., Moreira, A., Intriago, J. C., Ponce, M., & Moreano, M. (2024). Análisis Comparativo del Potencial Energético Extraíble entre Paneles Fotovoltaicos Fijo y con Sistema de Seguimiento de un Eje Instalados en la ULEAM. *Revista Técnica "Energía,"* 20(2), 98–107. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.599>
- Piliouline, M., Sánchez-Friera, P., Petrone, G., Sánchez-Pacheco, F. J., Spagnuolo, G., & Sidrach-de-Cardona, M. (2022). New model to study the outdoor degradation of thin-film photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 193, 857–869. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.063>
- Pineda, José, P. (n.d.). *Qué es el Efecto Fotovoltaico - Energía Luminosa*. Retrieved August 31, 2024, from <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/efecto-fotovoltaico/>
- Placas-solares-Sotysolar. (n.d.). Placas solares Monocristalinas ¿Qué son y cómo funcionan? ? SotySolar. <https://Sotysolar.Es/Blog/Placas-Solares/Monocristalinas>. Retrieved September 13, 2024, from <https://sotysolar.es/blog/placas-solares/monocristalinas>
- Prakash, A., Shrivastava, A., & Tomar, A. (2022). *An Introduction to Smart Building Energy Management*. 1–13. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0375-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0375-5_1)
- Quispe Morales, L. A., & Paredes Anchatipán, A. D. (2024). Análisis comparativo de las tecnologías de inversores On Grid utilizados en sistemas conectados a la Red. *Tesla Revista Científica*, 4(1), e286. <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e286>
- Reyna, J. A., Henríquez, F., & Mora, D. (2022). Diseño de una planta solar fotovoltaica y la influencia de los datos climáticos en la producción de energía. *I+D Tecnológico*, 18(1), 82–99. <https://doi.org/10.33412/idt.v18.1.3476>
- Rizwan, M., Khan, W. S., & Zaman, K. (2021). Polycrystalline silicon solar cells. *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science: Solid State Synthetic Methods*, 271–285. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819720-2.00016-3>
- Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar: Factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos. *Mundo FESC*, 8, 60–65. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/50>
- Serna, J. P. C., Rubio-Clemente, A., & Arrieta, E. C. (2022). Evaluation of Reflective Surfaces for Bifacial Solar Panels using the Response Surface Methodology. *Ingeniería (Colombia)*, 27(3). <https://doi.org/10.14483/23448393.18069>
- Shirzad, S., Fazli, A., Zgham, W., & Fatemi, S. (2023). Design and Development of Grid-Connected Solar PV Power Plant Using PVsyst. *Academic Journal of Research and Scientific Publishing*, 5(52), 67–86. <https://doi.org/10.52132/AJRSP.E.2023.52.3>

- Solarama. (n.d.). *Conoce los 9 tipos de radiación solar y sus características*. Retrieved September 8, 2024, from <https://solarama.mx/blog/tipos-de-radiacion-solar/>
- SOLIS. (2022). *Seminario Solis, Episodio 44: La Importancia del Uso de Cables Fotovoltaicos en Sistemas Fotovoltaicos*. [https://www.solisinverters.com/mx/documentation/The\\_Importance\\_of\\_Using\\_Photovoltaic\\_Cables\\_in\\_Photovoltaic\\_Systems\\_06231450.html](https://www.solisinverters.com/mx/documentation/The_Importance_of_Using_Photovoltaic_Cables_in_Photovoltaic_Systems_06231450.html)
- Srivastava, R., & Giri, V. K. (2017). Design of Grid Connected PV System Using Pvsyst. *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 9(2), 92–96. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajbas.2017.92.96>
- Studocu. (n.d.). *Medidores Inteligentes bidireccionales - MEDIDORES INTELIGENTES Un medidor de energía inteligente - Studocu*. Retrieved September 8, 2024, from <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/gestion-empresarial/medidores-inteligentes-bidireccionales/21337387>
- SunergyWorks, 2022. (n.d.). *Comprensión de los tipos de paneles solares: una guía sencilla sobre monocristalinos, policristalinos y de película delgada: paneles solares, energía solar y fabricación de sistemas solares | energía solar*. Retrieved September 13, 2024, from <https://www.sunergyworks.com/es/comprension-de-los-tipos-de-paneles-solares-una-guia-amigable-para-monocristalinos-policristalinos-y-de-pelicula-delgada/>
- Systems, AP, L. (n.d.). *¿Qué es y cómo funciona un microinversor solar?: una guía inicial*. 2022. Retrieved September 10, 2024, from <https://latam.apsystems.com/microinversor-solar-que-es-y-como-funciona/>
- Tamoor, M., Bhatti, A. R., Farhan, M., Miran, S., Raza, F., & Zaka, M. A. (2021). Designing of a Hybrid Photovoltaic Structure for an Energy-Efficient Street Lightning System Using Pvsyst Software. *Engineering Proceedings 2021, Vol. 12, Page 45, 12(1)*, 45. <https://doi.org/10.3390/ENGPROC2021012045>
- Tello Maita, J., & Marulanda Guerra, A. R. (2017). Modelos de optimización para sistemas de potencia en la evolución hacia redes inteligentes: Una revisión. *DYNA*, 84(202), 102–111. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.63354>
- Top Cables, N. (n.d.). *Cables para instalaciones fotovoltaicas | Top Cable*. Retrieved September 8, 2024, from <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/cables-para-instalaciones-fotovoltaicas/>
- Vanessa Martinez, R. A. S. C. (n.d.). (PDF) *Celdas solares de perovskita como alternativa para la electrificación rural del Perú*. Retrieved September 8, 2024, from [https://www.researchgate.net/publication/351285309\\_Celdas\\_solares\\_de\\_perovskita\\_como\\_alternativa\\_para\\_la\\_electrificacion\\_rural\\_del\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/351285309_Celdas_solares_de_perovskita_como_alternativa_para_la_electrificacion_rural_del_Peru)

- Weatherspark. (n.d.). *El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo - Weather Spark*. Retrieved September 15, 2024, from <https://es.weatherspark.com/>
- Yang, R. Q., Huang, W., & Santos, M. B. (2022). Narrow bandgap photovoltaic cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 238, 111636. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111636>
- Yuan, X., Du, Y., & Su, J. (2022). Approaches and potentials for pool boiling enhancement with superhigh heat flux on responsive smart surfaces: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111974. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111974>
- Zaro, F. (2023). Technical and Economic Study of On-Gird Solar Rooftop PV system Using PV Syst Software: A Case Study. *International Journal of Environmental Engineering and Development*, 1, 127–133. <https://doi.org/10.37394/232033.2023.1.15>

## **8 Anexos**

Anexo 1: Informe de simulación del sistema a 135kW

Anexo 2: Informe de simulación del sistema a 990kW

Anexo 3: Data Sheet Panel Solar Ligth Green 630 kW

Anexo 4: Data Sheet Inversor Afore

Anexo 5: Hoja de Registro de funcionamiento de mezcladoras

Anexo 6: Hoja de cálculos de Energía y perdidas del sistema 990kW en MathCAD