



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**  
**Facultad de la Energía, las Industrias y los recursos Naturales no**  
**Renovables**

**Maestría en Telecomunicaciones**

**Análisis del impacto económico de la integración de sistemas**  
**fotovoltaicos en el sector industrial del Ecuador**

**Trabajo de titulación, previo a la**  
**obtención del Título de Magíster**  
**en Telecomunicaciones.**

**AUTOR:**

Ing. Javier Andrés Barrigas Álvarez

**DIRECTOR:**

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

**Loja-Ecuador**  
**2024**

## Certificación

Loja, 25 de septiembre del 2024

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis del impacto económico de la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial del Ecuador**, previo a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Javier Andrés Barrigas Álvarez**, con **cédula de identidad Nro.1104814700**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Javier Andrés Barrigas Álvarez**, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula:** 1104814700

**Fecha:** 25 de septiembre de 2024

**Correo electrónico:** javier.barrigas @unl.edu.ec

**Teléfono:** 0960651592

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica de texto completo del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Javier Andrés Barrigas Álvarez**, declaro ser el autor del trabajo de titulación denominado: **Análisis del impacto económico de la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial del Ecuador**, como requisito por el grado de **Magíster en Telecomunicaciones**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de septiembre del dos mil veinticuatro.

**Firma:**

**Cédula:** 1104814700

**Fecha:** 25 de septiembre de 2024

**Correo electrónico:** javier.barrigas @unl.edu.ec

**Teléfono:** 0960651592

## **Dedicatoria**

En primer lugar, dedico este trabajo de titulación a Dios, y de manera especial a mi madre Olga Castillo, quien creyó en mí, brindándome todo su apoyo, amor y comprensión, que ha sido una fuente de inspiración que me impulsa a alcanzar esta meta académica. A mi tío Héctor Barrigas, que, aunque ya no esté conmigo, siempre lo recuerdo, quién fue mi padre, y con su ejemplo y apoyo he logrado conseguir esta meta. Para ellos, mi eterna gratitud y amor.

A mi padre Fabián y mis hermanos Vanessa, Héctor David y Luís que han estado incondicionalmente dándome consejos para superar los desafíos y poder seguir adelante.

*Javier Andrés Barrigas Álvarez*

## **Agradecimiento**

A Dios en todo momento por sus bendiciones, y a mi familia por su amor y apoyo, que han sido un pilar fundamental para culminar este logro.

A mi tutor Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D., cuya sabiduría, orientación y paciencia han sido fundamentales en el desarrollo para alcanzar este hito. Gracias por su dedicación y por inspirarme a superar mis límites.

*Javier Andrés Barrigas Álvarez*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras .....	xii
Índice de Anexos.....	xiv
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco Teórico</b> .....	7
4.1. Energía renovable.....	7
4.2. Radiación solar.....	8
4.3. Sistemas Fotovoltaicos.....	10
4.4. Componentes .....	15
<b>4.4.1. Funcionamiento</b> .....	24
4.5. Estado actual de la producción de energía en el Ecuador .....	25
4.6. Sistemas fotovoltaicos para industrias .....	31
4.7. Desarrollo y tendencias de sistemas fotovoltaicos en entornos industriales .....	32
4.8. Sistemas fotovoltaicos en la industria ecuatoriana.....	33
4.9. Estudios de casos de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial. ....	35
4.10. Beneficio económico de la energía solar en la industria .....	37
<b>5. Metodología</b> .....	39
5.1. Herramientas metodológicas .....	39
<b>5.1.1. Simuladores</b> .....	39
5.2. Análisis económico .....	42

5.2.1.	LCOE .....	42
5.2.2.	ROI .....	43
5.2.3.	VAN .....	44
5.2.4.	TIR .....	44
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>46</b>
6.1.	Bajo Voltaje con demanda .....	51
6.2.	Medio voltaje con demanda .....	56
6.3.	Bajo voltaje con demanda horaria.....	57
6.4.	Medio voltaje con demanda horaria diferenciada .....	62
6.5.	Alto voltaje con demanda horaria diferenciada.....	64
6.6.	Alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2 –AV2).....	66
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>69</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>73</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>75</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>76</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>81</b>



## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Modelos de paneles fotovoltaicos. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Clasificación básica de las baterías que existen en el mercado. ....	19
<b>Tabla 3.</b> Baterías utilizadas en instalaciones solares. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Cargos tarifarios en el sector industrial en Ambato-Azogues-CNEL Bolívar-Centrosur-Cotopaxi-Norte-Riobamba-Sur. ....	26
<b>Tabla 5.</b> Cargos tarifarios sector industrial CNE El Oro-CNEL Esmeraldas-CNEL Guayas Los Ríos-CNEL Manabí-CNEL Milagro-CNEL Santa Elena-CNEL Santo Domingo-CNEL Sucumbíos-Galápagos. ....	28
<b>Tabla 6.</b> Cargos tarifarios sector industrial en CNEL Guayaquil .....	29
<b>Tabla 7.</b> Cargos tarifarios en Empresa Eléctrica Quito S.A. ....	30
<b>Tabla 8.</b> Diferencia entre softwares recomendados para el diseño de SFV. ....	40
<b>Tabla 9.</b> Facturación mínima según el consumo. ....	52
<b>Tabla 10.</b> Cálculos de la potencia producida por el SFV y comparación de la facturación mensual sin SFV y con SFV. ....	52
<b>Tabla 11.</b> Ahorro mensual con el sistema fotovoltaico. ....	53
<b>Tabla 12.</b> Variación del ahorro y egresos en el sistema en los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico. ....	54
<b>Tabla 13.</b> Inversión inicial para industria de bajo voltaje con demanda. ....	55
<b>Tabla 14.</b> Análisis de los indicadores financieros para baja potencia. ....	55
<b>Tabla 15.</b> Cálculos de ahorro anual para una industria de medio voltaje sin un sistema fotovoltaico y con el sistema implementado. ....	56
<b>Tabla 16.</b> Ahorro mensual con SFV. ....	56
<b>Tabla 17.</b> Análisis de los indicadores financieros para baja potencia. ....	57
<b>Tabla 18.</b> Costo de la energía dependiendo de la hora de consumo. ....	58
<b>Tabla 19.</b> Cálculos de facturación de un día para una industria de bajo voltaje con demanda horaria sin SFV y con el sistema implementado del SFV. ....	58
<b>Tabla 20.</b> Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de bajo voltaje con demanda horaria. ....	59
<b>Tabla 21.</b> Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de bajo voltaje con demanda horaria. ....	60

<b>Tabla 22.</b> <i>Variación del ahorro y egresos en el sistema en los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico de la industria de bajo voltaje con demanda horaria.</i> .....	60
<b>Tabla 23.</b> <i>Indicadores financieros de rentabilidad del sistema bajo voltaje con demanda horaria.</i> .....	61
<b>Tabla 24.</b> <i>Costo de la energía para la industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	62
<b>Tabla 25.</b> <i>Cálculos de facturación de un día para una industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada sin SFV y con el sistema implementado del SFV.</i> .....	62
<b>Tabla 26.</b> <i>Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	63
<b>Tabla 27.</b> <i>Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	63
<b>Tabla 28.</b> <i>Indicadores financieros de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	64
<b>Tabla 29.</b> <i>Costos de energía sector industrial de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	64
<b>Tabla 30.</b> <i>Cálculos de facturación de un día para una industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada sin SFV y con el sistema implementado del SFV.</i> .....	65
<b>Tabla 31.</b> <i>Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	65
<b>Tabla 32.</b> <i>Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	66
<b>Tabla 33.</b> <i>Indicadores financieros alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	66
<b>Tabla 34.</b> <i>Costos de energía sector industrial de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	66
<b>Tabla 35.</b> <i>Cálculos de facturación de un día para una industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2-AV2) sin SFV y con el sistema implementado del SFV.</i> .....	67
<b>Tabla 36.</b> <i>Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada Grupo 2 (AV-2).</i> .....	68
<b>Tabla 37.</b> <i>Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.</i> .....	68

<b>Tabla 38.</b> <i>Indicadores financieros alto voltaje con demanda horaria diferenciada Grupo 2 (AV-2).</i> .....	68
<b>Tabla 39.</b> Resultados de los indicadores financieros de los seis casos de estudio. ....	72

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Sistema eléctrico (Red Eléctrica   Elblogdeadripozo, n.d.).....	7
<b>Figura 2.</b> Ranking de los principales países productores de energía renovable en 2023 (Roca, 2023). .....	8
<b>Figura 3.</b> Crecimiento de las energías renovables en el mundo (Basantes, 2023).....	8
<b>Figura 4.</b> Espectro de emisión de radiación solar (Ordóñez, 2023).....	9
<b>Figura 5.</b> Tipos de radiación solar (SolarAction, 2013).....	9
<b>Figura 6.</b> Tipos de aprovechamiento de la energía solar (Vergara Prado, 2009). .....	10
<b>Figura 7.</b> Crecimiento fotovoltaico estimado (Jowett, 2024). .....	11
<b>Figura 8.</b> Funcionamiento de los elementos de un sistema fotovoltaico. ....	11
<b>Figura 9.</b> Sistemas sin conexión y sin baterías (Ingeoexpert, 2019).....	12
<b>Figura 10.</b> Sistemas sin conexión y con baterías (ETWCloud, 2024). .....	12
<b>Figura 11.</b> Sistema fotovoltaico sin vertido a la red (Autosolar, 2024). .....	13
<b>Figura 12.</b> Sistemas con conexión a la red con vertido sin baterías (Autosolar, 2024). .....	14
<b>Figura 13.</b> Sistemas fotovoltaicos mixtos (Prodergy, 2024). .....	14
<b>Figura 14:</b> Tipos de paneles solares térmicos (Rodríguez, 2023a). .....	16
<b>Figura 15.</b> Funcionamiento placa híbrida (Sabaca, 2024a). .....	18
<b>Figura 16.</b> Parámetros para el funcionamiento correcto de las baterías. ....	20
<b>Figura 17.</b> Conexión del regulador (Zeman, 2012). .....	21
<b>Figura 18.</b> Etapas del inversor.....	23
<b>Figura 19.</b> Esquema de conexión de los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos. ....	24
<b>Figura 20.</b> Sistema conectado a la red (Peña, 2023).....	25
<b>Figura 21.</b> Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo (Peña, 2023).....	25
<b>Figura 22.</b> Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica-Insolación directa anual promedio (CONELEC, 2008). .....	34
<b>Figura 23.</b> Generación Fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica(ARCERNNR, 2021).....	35
<b>Figura 24.</b> LCOE de las fuentes de generación de energía (Jorquera, 2018).....	43
<b>Figura 25.</b> Valores ingresados para simulación del sistema.....	48
<b>Figura 26.</b> Descripción general del sistema simulado en PVSyst.....	48

<b>Figura 27.</b> Resultados de la simulación en PVSyst. ....	49
<b>Figura 28.</b> Gráfico de consumo de la industria y producción diaria del SFV. ....	50
<b>Figura 29.</b> a) Consumo total del mes de julio; b) Producción total del SFV en el mes de julio..	50
<b>Figura 30.</b> Diagrama de configuración Smart Meter. ....	51
<b>Figura 31.</b> Costo del sistema fotovoltaico. ....	55
<b>Figura 32.</b> Costo para el SFV para una potencia de 12,96 kWp.....	57

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Descripción del software PVSystem.....	81
<b>Anexo 2.</b> Descripción del valor de costo SFV de 12,96 kWp obtenidos de la página. ....	83
<b>Anexo 3.</b> Descripción del valor de costo SFV de 84 kWp obtenidos de la página. ....	84
<b>Anexo 4.</b> Certificación de traducción del resumen.....	85

## **1. Título**

**“Análisis del impacto económico de la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial del Ecuador”**

## 2. Resumen

Este proyecto analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de sistemas fotovoltaicos (SFV) en el sector industrial de Ecuador. Se destaca la importancia de parámetros clave para el dimensionamiento de estos sistemas, como la radiación solar, la ubicación, la orientación e inclinación de los paneles, y la eficiencia de los componentes. Estos factores son esenciales para lograr un SFV eficiente, dado el alto consumo energético en la industria. El estudio examina el marco regulatorio en Ecuador, especificando que los sistemas industriales deben aprobarse por la distribuidora de energía local, responsable de instalar medidores bidireccionales. La normativa vigente establece límites de capacidad para sistemas residenciales e industriales, así como la posibilidad de acumular excedentes de energía hasta por 24 meses. En el análisis económico, se evaluaron seis casos de estudio, y en ninguno de ellos se logró una rentabilidad económica. Aunque en dos de los casos la TIR fue positiva, el VAN negativo mostró que las ganancias serían menores de lo esperado, con una TIR inferior al 8 % de la tasa de interés de la banca ecuatoriana, lo que reduce la viabilidad financiera del proyecto. Además, el costo unitario de la electricidad (LCOE) resultó ser alto en comparación con los valores internacionales. En conclusión, aunque los SFV representan una fuente sostenible y beneficiosa para el medio ambiente, los resultados muestran que no son económicamente viables para los casos analizados.

***Palabras Clave:*** sistemas fotovoltaicos, sector industrial, VAN, TIR, LCOE, ROI.



## 2.1. Abstract

This project analyzes the technical, economic, and environmental feasibility of implementing photovoltaic (PV) systems in the industrial sector in Ecuador. It highlights the importance of key parameters for the sizing of these systems, such as solar radiation, location, orientation and inclination of the panels, and the efficiency of the components. These factors are essential to achieve efficient PV systems, given the high energy consumption in the industry. The study examines the regulatory framework in Ecuador, specifying that industrial systems must be approved by the local power distributor, which is responsible for installing bi-directional meters. Current regulations establish capacity limits for residential and industrial systems, as well as the possibility of accumulating surplus energy for up to 24 months. In the economic analysis, six case studies were evaluated, and in none of them was economic profitability achieved. Although in two of the cases the IRR was positive, the negative NPV showed that profits would be lower than expected, with an IRR lower than 8 % of the Ecuadorian bank interest rate, which reduces the financial viability of the project. In addition, the unit cost of electricity (LCOE) turned out to be high compared to international values. In conclusion, although PV systems represent a sustainable and environmentally beneficial source, the results show that they are not economically viable for the cases analyzed.

**Keywords:** *photovoltaic systems, industrial sector, VAN, TIR, LCOE, ROI.*

### **3. Introducción**

#### **3.1. Problemática**

La energía hidroeléctrica actualmente en Ecuador desempeña un papel clave, esto se observa que en el 2011 esta energía tenía un 55 % en el mix eléctrico del país, y en el 2021 que creció al 79 %. Esta creciente dependencia se ha visto afectada por los cambios climáticos, y falta de inversión en infraestructura que dificultan la capacidad de las hidroeléctricas. La sequía es un problema evidente en el cambio climático que vivimos, la disminución de los caudales de los ríos ha mermado la capacidad de producción, por lo que se ha optado a la generación de energía mediante energía térmica, la cual es costosa y contaminante. Esta crisis trae consigo un gran impacto económico, generando pérdidas millonarias, especialmente en el sector industrial y comercial del país. También la falta de inversión en infraestructura es una problemática que está presente en nuestro país en los sistemas de generación de energía eléctrica por medio de las represas hidráulicas (ConsultoraMultiplica, 2024).

A lo mencionado anteriormente se añade que la mayor producción de energía en el Ecuador es por medio del petróleo, y con la poca producción y aprovechamiento de este material el gasto en producción es alto; y el segundo sector con mayor consumo de energía en Ecuador es el sector industrial. Por lo tanto, esto es perjudicial para las industrias las cuales por sus procesos exigentes y su equipamiento que tiene un gran consumo de energía, sus pagos mensuales son altos. En ocasiones la demanda de energía para realizar algunos procesos de la maquinaria no es abastecida por lo cual se puede producir una caída en la red eléctrica. Tomando en cuenta estos problemas se plantea este proyecto que analiza la factibilidad de implementar sistemas fotovoltaicos con conexión a la red en el sector industrial en el Ecuador.

#### **3.2. Justificación**

El creciente problema de la contaminación ambiental por la producción de energía eléctrica a nivel mundial mediante combustibles fósiles y el aumento de la población, ha hecho que los países por medio de la ONU (Organización de Naciones Unidas) desarrollen un plan para mitigar estos problemas, por lo cual se da a conocer los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que además de mitigar los problemas energéticos también fueron planteados para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad; los tres objetivos mencionados a continuación recalcan la necesidad de la mejora en la producción de energía y

el consumo de la misma a nivel mundial, para combatir problemas como la contaminación y el efecto invernadero que afectan al medio ambiente, y como se debe mejorar el sector industrial a nivel mundial; el objetivo 7 que garantiza el camino a una energía accesible, segura, sustentable y renovada, ya que es fundamental para el desarrollo de la agricultura, las empresas, las comunicaciones, la educación, la salud y el transporte, pero el desarrollo de estos sistemas sostenibles no están avanzando de forma rápida ya que más de 660 millones de personas no tienen acceso a energía eléctrica y casi 2000 millones dependen de la producción de energía por medio de combustibles contaminantes (*Energía - Desarrollo Sostenible*, n.d.), con esto, también el objetivo número 12 quiere garantizar modalidad de consumo y producción sostenible, ya que la población mundial en 2022 alcanzó los 8000 millones de personas, se necesita proporcionar los recursos naturales mínimos para mantener un estilo de vida aceptable, y el consumo excesivo de los recursos no renovables, como petróleo, gas natural y carbón, para la producción de energía, ha hecho que el mundo opte por la producción de energía por medio de recursos renovable, por su sostenibilidad en el tiempo y por el efecto beneficioso que se tiene en el medio ambiente, pero para esto hay que cambiar los hábitos de consumo de los combustibles fósiles a energías sostenibles. Es importante cambiar estos hábitos ya que en los últimos siglos por el consumo de energía por medio de combustibles fósiles se ha visto una degradación del medio ambiente del cual dependen los sistemas para un desarrollo en el futuro, con esto podríamos tener un parón en el desarrollo económico y social a nivel mundial. Este cambio se debe observar con la implementación y la fomentación de prácticas y normativas gubernamentales, que para la ONU se deben enfocar en: reducir la generación de residuos, el fomento de prácticas de economía circular, y el apoyo a políticas de contratación sostenible (*Consumo y Producción Sostenibles - Desarrollo Sostenible*, n.d.). Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, es el objetivo 11 de la ONU, es importante recalcar este objetivo por lo mencionado anteriormente del crecimiento de la población, ya que la urbanización de las ciudades provoca desigualdad, por lo que los niveles de consumo de energía y de contaminación en las ciudades está entre un 80 %, produciendo emisiones de carbono del 75 %, y debido a su población altamente concentrada y su ubicación estratégica, muchas ciudades son más indefensas a los efectos del cambio climático y los desastres naturales, por lo que mejorar la resiliencia urbana es esencial para evitar pérdidas humanas, sociales y económicas (*Ciudades - Desarrollo Sostenible*, n.d.).

Para el presente proyecto también se analizó como punto de partida el objetivo 9 de la ONU que trata de construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, para el medio ambiente es necesario que este sector industrial tome medidas las medidas necesarias ya que los procesos industriales aumentaron un 0,9 % las emisiones de carbono, a nivel económico se puede lograr que este sector cuente con nuevas tecnologías y facilitar el comercio internacional, y lograr que la industria sea más eficiente en el uso del recurso energético (Infraestructura - Desarrollo Sostenible, n.d.).

Para lo cual se analizará el potencial que tiene la energía solar, y el sector industrial ecuatoriano. En este proyecto de investigación se pretende dar un punto de partida a la implementación de estos sistemas, que pretenden mejorar la eficiencia energética del sector industrial, con respecto a su consumo eléctrico, sabiendo que la ejecución de varias actividades a veces necesita de un consumo elevado, más de lo que están recibiendo de la red eléctrica. También dar a conocer que la rentabilidad de estos sistemas son a largo plazo ya que su estimación de vida útil es de 25 años.

### **3.3. Objetivos**

En base a lo previamente descrito, la presente investigación se ha estructurado para dar cumplimiento a objetivos que permitan establecer un análisis de la factibilidad del funcionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en clientes industriales en Ecuador, por ello, se han planteado los siguientes objetivos:

General:

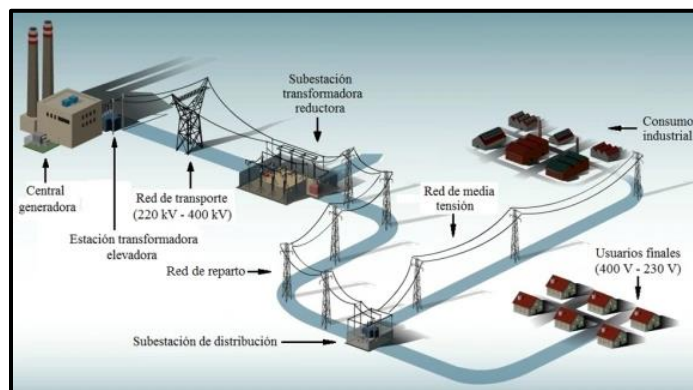
- Analizar los beneficios económicos de la implementación de sistemas fotovoltaicos en empresas industriales en Ecuador.

Específicos:

- Analizar el funcionamiento del sector eléctrico en clientes industriales.
- Identificar el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos aplicados al sector industrial.
- Establecer los posibles beneficios económicos que presentan los sistemas fotovoltaicos en clientes industriales.

## 4. Marco Teórico

La producción de energía eléctrica es una necesidad para sociedad actual, ya que en el estilo de vida actual la tecnología es indispensable para servicios públicos de iluminación, servicios de telecomunicaciones, entre otros; la electricidad en todo el mundo está transportada por un sistema eléctrico, que se muestra en la **Figura 1**, que es un conjunto de elementos que trabajan coordinadamente en un área determinada territorio para satisfacer su demanda de energía eléctrica.

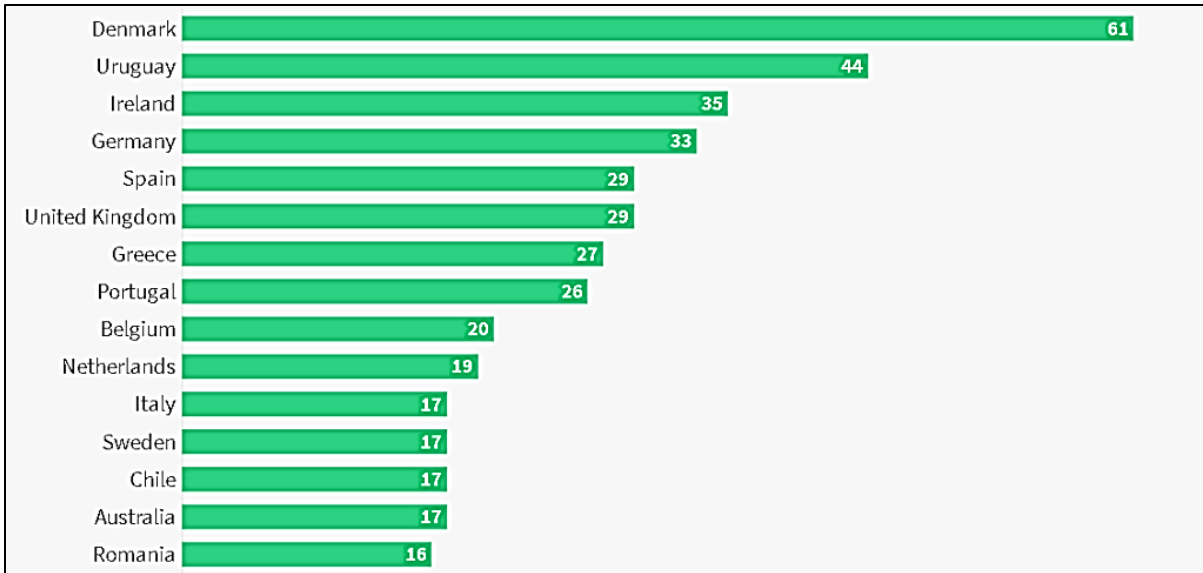


**Figura 1.** Sistema eléctrico (Red Eléctrica | Elblogdeadriposo, n.d.).

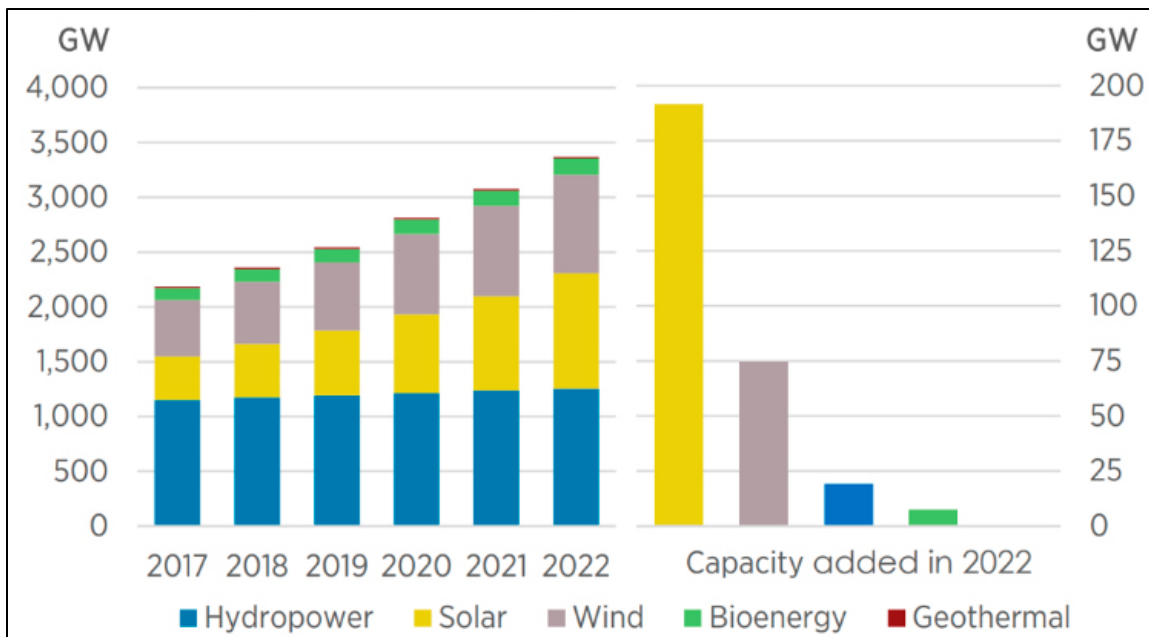
### 4.1. Energía renovable

Las fuentes de energía de origen fósil han provocado a nivel mundial un pacto negativo por la emisión de  $CO_2$ , por lo que, la energía renovable que se obtiene de fuentes naturales y que se reponen más rápido de lo que se consumen, lo que las hacen inagotables, es la alternativa efectiva de generación de energía. Dada la concientización social y las nuevas políticas sobre la situación mundial, donde el carbón, el petróleo y el gas natural son fuentes que están siendo explotadas al máximo, las cuales se están agotando y estas son fuente de contaminación, se ha optado por la generación de energía con recursos naturales, los cuales pueden ser: energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía hidráulica y bioenergía (Alvarado et al., 2021).

El crecimiento de la de energía por medio de recursos renovables a nivel mundial, según la Agencia Internacional de la Energía, ha experimentado una gran capacidad de 3870 GW en 2023, con lo que se observó que las energías renovables en el sector eléctrico representaron un 86 % (Las Energías Renovables Experimentaron En 2023 Un Crecimiento Récord, Pero Están Mal Repartidas, n.d.), en la **Figura 2** se muestra un ranking de los principales países con la mayor producción de energía renovable en 2023 y en la **Figura 3** se observa el crecimiento de las energías renovables.



**Figura 2.** Ranking de los principales países productores de energía renovable en 2023 (Roca, 2023).

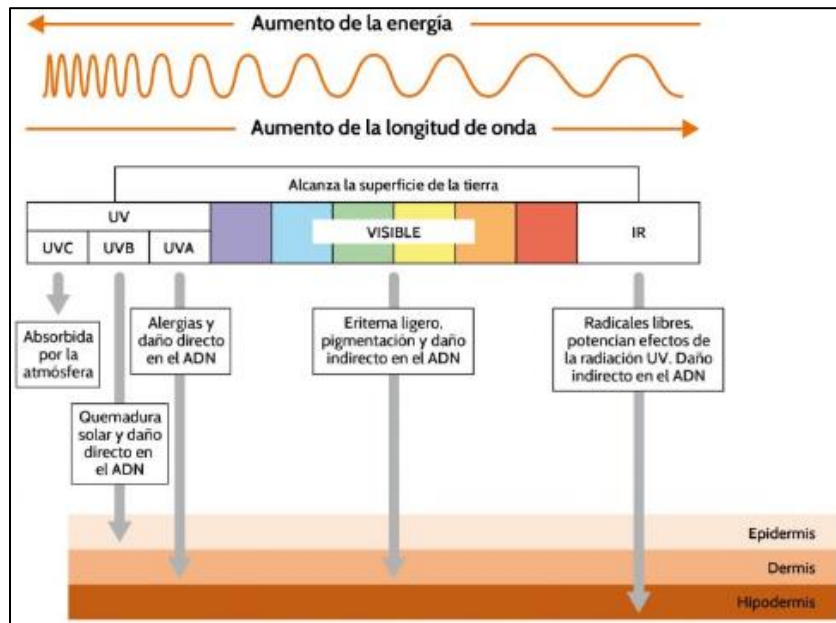


**Figura 3.** Crecimiento de las energías renovables en el mundo (Basantes, 2023).

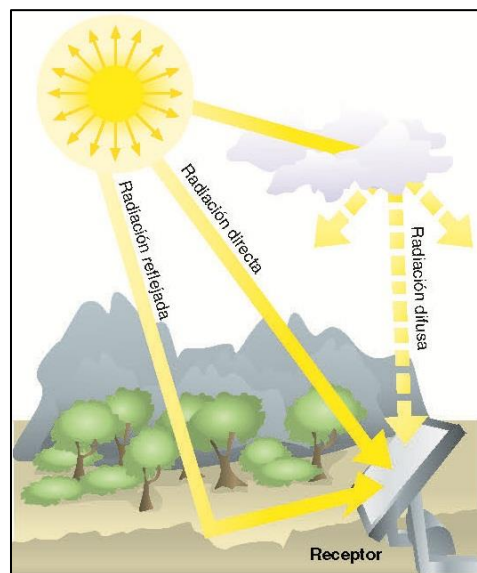
#### 4.2. Radiación solar

Es un tipo de energía que se obtiene del Sol, por eso, es una fuente de energía renovable, convirtiéndola en la fuente de energía más abundante del planeta, la radiación solar es el conjunto de energía electromagnética liberada, esta radiación va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta (Grijalva & Vélez, 2020). A continuación, se describen los tipos de radiación solar directa e indirecta, y en la **Figura 4** se observa el espectro de emisión de la radiación solar.

La radiación solar directa y la indirecta son los dos tipos principales para la eficiencia de los sistemas solares, pero la más eficiente es la directa ya que esta radiación llega con mayor cantidad de radiación solar a los paneles, entre mayor radiación reciba el panel solar mayor producción de energía eléctrica; mientras que la radiación solar indirecta se dispersa en la atmósfera, pero se podría utilizar para aumentar la eficiencia del sistema. En la **Figura 5** se observa cómo actúan los diferentes tipos de radiación en un panel solar.



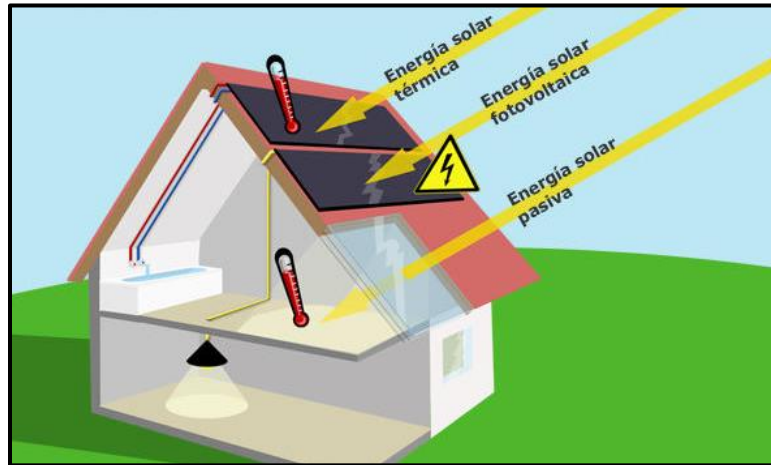
**Figura 4.** Espectro de emisión de radiación solar (Ordóñez, 2023).



**Figura 5.** Tipos de radiación solar (SolarAction, 2013).

Para Alvarado (2021), esta energía se aprovecha de tres formas, como se muestra en la **Figura 5**:

- Forma pasiva: uso de la energía en forma solar natural.
- Forma térmica: se calienta fluidos o aire por medio de la radiación solar.
- Sistemas fotovoltaicos: es la conversión de la energía solar en electricidad.

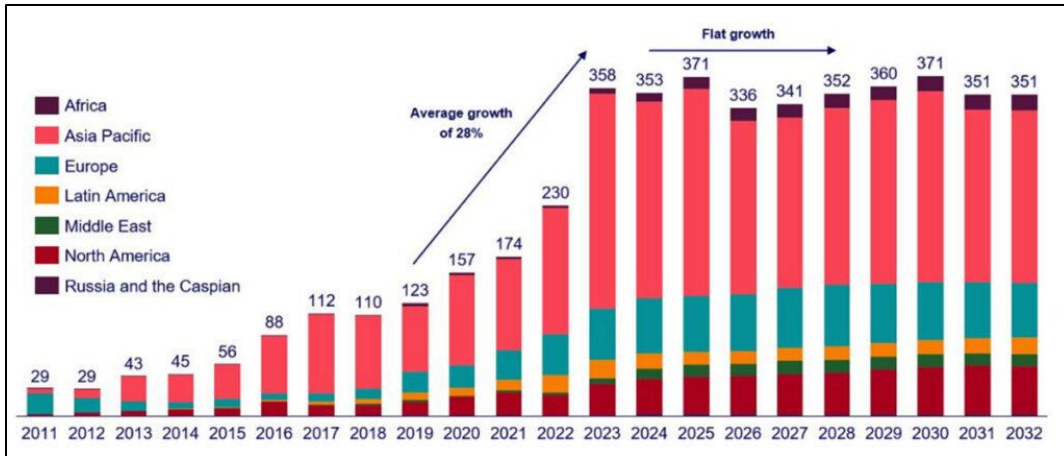


**Figura 6.** Tipos de aprovechamiento de la energía solar (Vergara Prado, 2009).

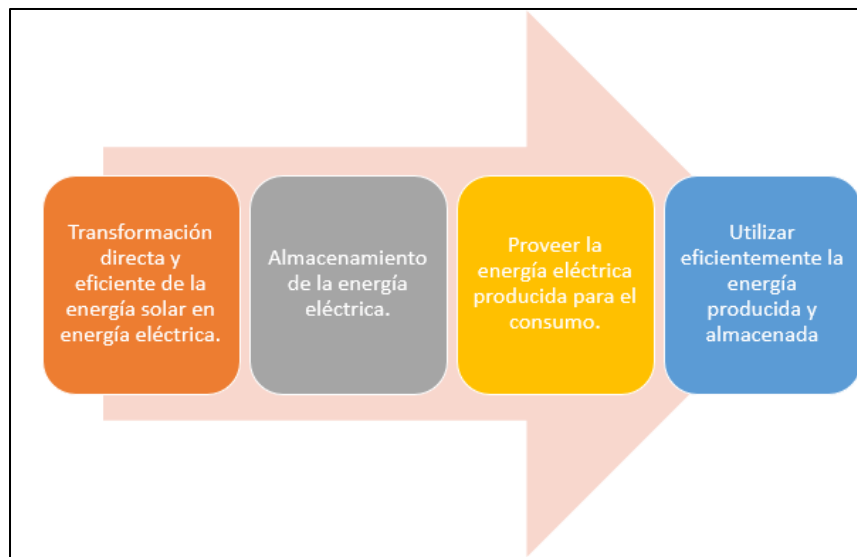
### 4.3. Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de diversos dispositivos que convierten la energía solar en energía eléctrica que pueda utilizarse de forma limpia para el medio ambiente, sobre todo sustentable y rentable para quienes necesiten implementar, esto se conoce como efecto fotovoltaico; el silicio es el principal elemento para la fabricación de su principal componente que es el panel, la cual puede generar una corriente eléctrica continua de 2 a 4 amperios, y un voltaje de 0,46 voltios (Grijalva & Vélez, 2020). El crecimiento de los sistemas fotovoltaicos entre 2019 y 2022 ha tenido un aumento del 28 %, de todas las fuentes de energía renovable, y en 2023 ha tenido un crecimiento del 56 % frente al 2022, en la **Figura 7** se muestra la tendencia del crecimiento de los sistemas fotovoltaicos en el mundo (JOWETT, 2024). Las funciones elementales de un sistema fotovoltaico se describen en la **Figura 8**.





**Figura 7.** Crecimiento fotovoltaico estimado (Jowett, 2024).

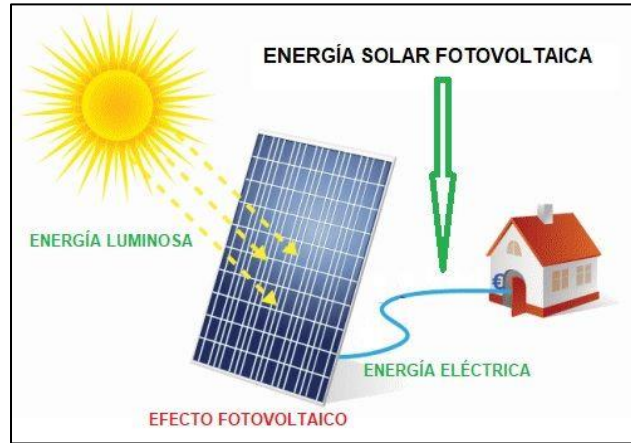


**Figura 8.** Funcionamiento de los elementos de un sistema fotovoltaico.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden dividir en:

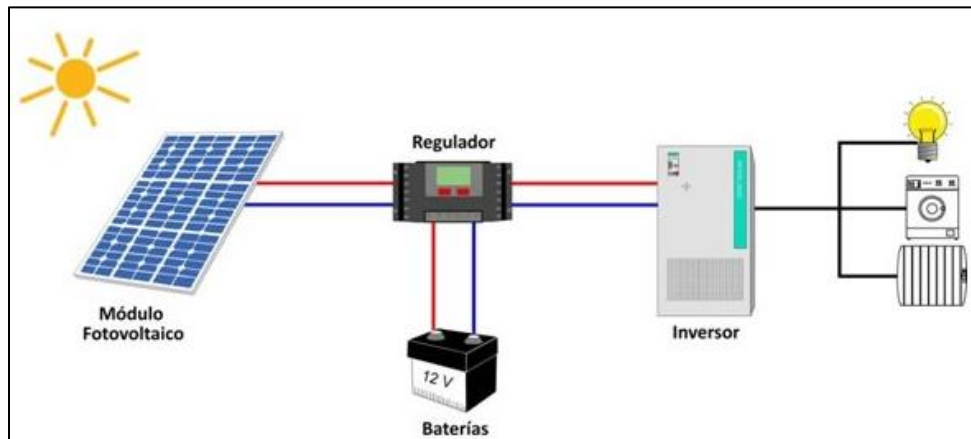
- Los sistemas sin conexión a la red y sin baterías: son sistemas que se integran directamente a la infraestructura, que no tienen una fuente de almacenamiento y que no tienen retroalimentación a la red eléctrica, en general estos sistemas son eficientes en el día, ya que suministran a la carga la energía eléctrica en el momento de producirlas. Para estos sistemas hay que tomar en cuenta el dimensionamiento del sistema, ya que depende del consumo energético que se tiene por las cargas conectadas al sistema, también se debe considerar la radiación solar dependiendo del lugar, la orientación y el ángulo de inclinación

de los paneles solares (Prasad & Bansal, 2011). En la **Figura 9** se muestra la conexión de estos sistemas.



**Figura 9.** Sistemas sin conexión y sin baterías (Ingeoexpert, 2019).

- Los sistemas sin conexión y con baterías: están diseñados para que un sistema de baterías garantice un funcionamiento continuo, es decir, que proporcione electricidad incluso de noche, cuando la cantidad de luz solar es insuficiente o inexistente, estos sistemas no se encuentran conectados a la red eléctrica (Prasad & Bansal, 2011). En la **Figura 10** se observa los componentes y la conexión de estos sistemas.

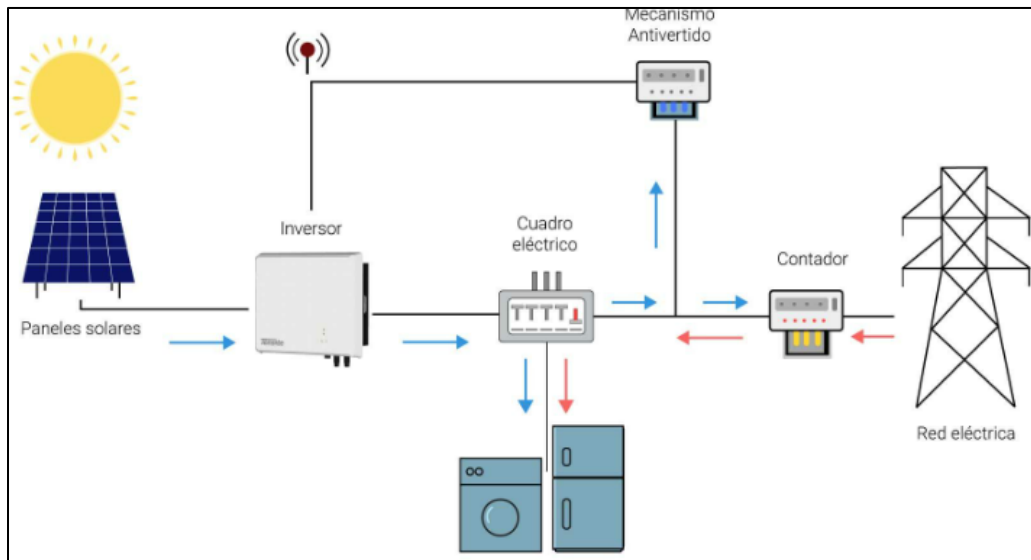


**Figura 10.** Sistemas sin conexión y con baterías (ETWCloud, 2024).

Sistemas con conexión a red: es un sistema fotovoltaico que cada vez son más utilizados, ya que tienen una ventaja económica ya que durante el día se utiliza el sistema para minorar la facturación del consumo eléctrico, y también se inyecta continuamente la energía sobrante hacia la red eléctrica, por esto se puede obtener una compensación por parte de la

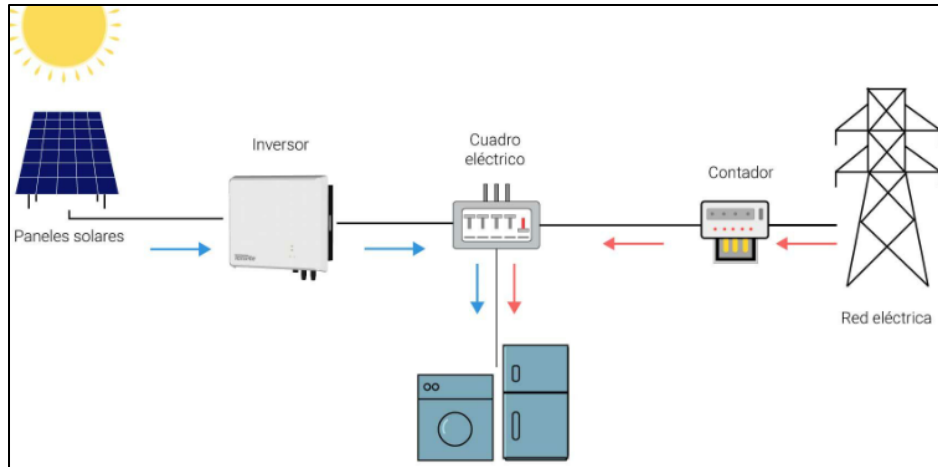
empresa distribuidora, que se refleja en la plantilla eléctrica (Prasad & Bansal, 2011). Estos sistemas se pueden clasificar en dos, los cuales son:

- **Conexión a la red sin vertido:** son sistemas solares donde se controla el excedente de la energía para que sea cero y no haya una devolución a la red eléctrica, esto se hace para cuando el consumo de los dispositivos es menor a la producción generada, esto hace que los sistemas bajen la producción automáticamente (Prasad & Bansal, 2011). En la **Figura 11** se observa el sistema sin vertido a la red eléctrica.



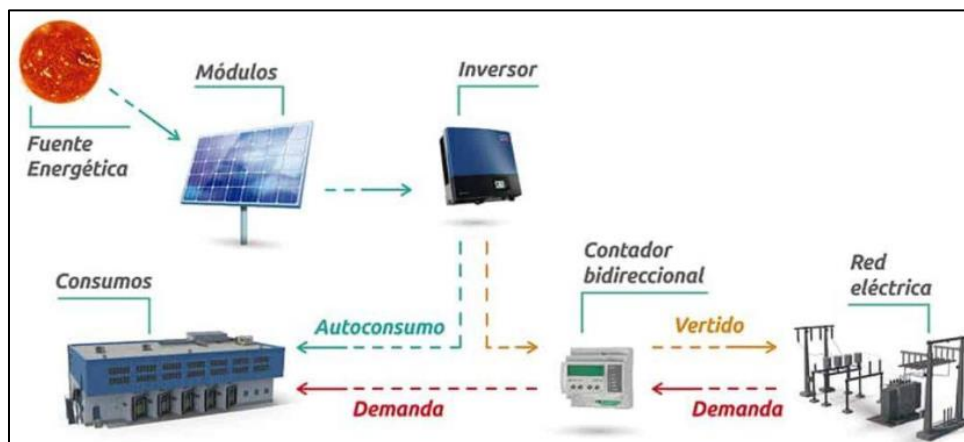
**Figura 11.** Sistema fotovoltaico sin vertido a la red (Autosolar, 2024).

- **Conexión a la red con vertido sin baterías:** es un sistema donde se pretende utilizar la máxima producción de energía de los sistemas, el excedente no se almacena en un sistema de baterías, sino que se trata de inyectar a la red eléctrica para obtener una compensación económica en la facturación eléctrica (Prasad & Bansal, 2011). En la **Figura 12** se muestran los componentes y el funcionamiento de estos sistemas.



**Figura 12.** Sistemas con conexión a la red con vertido sin baterías (Autosolar, 2024).

- Sistemas mixtos con vertido y baterías: estos sistemas su prioridad es el consumo de la energía generada por los sistemas fotovoltaicos, pero si es necesario se consume energía de otras fuentes como la de la red eléctrica y baterías, en estos sistemas el dimensionamiento es grande ya que aparte del consumo también se debe considerar que el excedente se debe verter en la red eléctrica. En la **Figura 13** se puede observar estos sistemas.



**Figura 13.** Sistemas fotovoltaicos mixtos (Prodergy, 2024).

En este proyecto nos enfocaremos en los sistemas fotovoltaicos con vertido a la red eléctrica pública y sin almacenamiento en baterías, porque se utilizará una generación de

energía fotovoltaicos similar al consumo promedio del sector industrial en Ecuador, que es de 13.040,66 kWh/mes (ARCERNNR, 2023a), con esto se podría conseguir que las industrias puedan tener una inyección energética extra para sus procesos en la maquinaria de alto consumo.

#### 4.4. Componentes

El sistema fotovoltaico incluye componentes principales: panel solar, baterías, regulador de carga, inversor y medidor bidireccional.

- Panel solar: son componentes individuales que se encargan de recolectar la energía solar a través de células fotovoltaicas para convertirla en electricidad de corriente continua. Para entender su funcionamiento podemos comparar una célula fotovoltaica como una batería, ya que al recolectar la luz solar se para los electrones y se forma una carga negativa y positiva; la cual es una diferencia de potencial que genera la corriente eléctrica. Este componente está diseñado para soportar condiciones y temperaturas extremas. Los paneles solares están fabricados de silicio, el cual es un elemento con buenas características para absorber la luz del sol y convertirla en electricidad (BBVA, 2023).

Existen varios tipos de paneles solares:


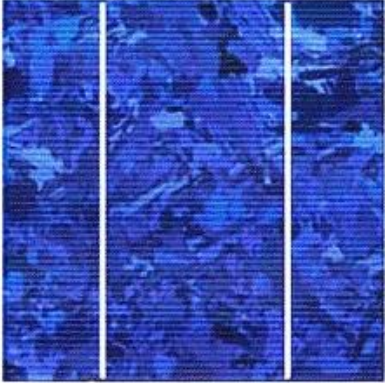
- Placas solares térmicas: se usan para captar la energía solar térmica para transformarla en energía calorífica, esto se da cuando el líquido que contienen estos paneles, ya sea agua o glicol, estos se mueven por los conductores, estos pasan al intercambiador de calor, y transfiere la energía a su uso. Existen dos tipos paneles solares térmicos de captador plano, y paneles solares térmicos de tubos de vacío, en la **Figura 14** se observan los tipos de panel térmicos. Se usa para calefacción y para calentar el agua sanitaria (Rodríguez, 2023b).


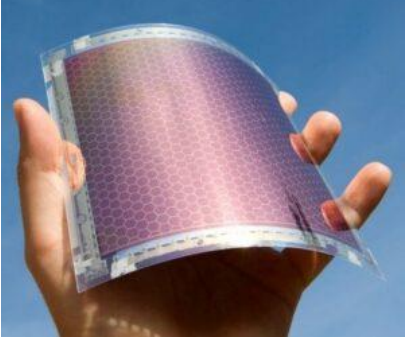



Figura 14: Tipos de paneles solares térmicos (Rodríguez, 2023a).

- Placas fotovoltaicas: En la **Tabla 1** se observan los diferentes tipos de los paneles fotovoltaicos. La conexión en serie de los módulos fotovoltaicos se hace para aumentar la tensión eléctrica deseada en la salida de estos; y la conexión en paralelo se hace para aumentar la corriente de salida del sistema.

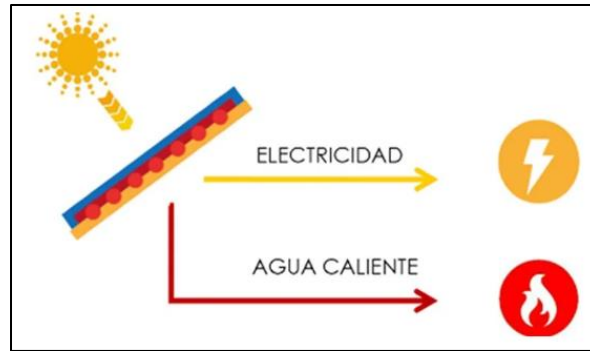
**Tabla 1.** Modelos de paneles fotovoltaicos.

Tipo	Imagen	Características
Célula de silicio Monocrystalina		<ul style="list-style-type: none"> <li>Estructura cristalina uniforme.</li> <li>Fabricadas en lingotes de forma cilíndrica con un índice de pureza elevado. Cortados en forma de obleas en capas finas.</li> <li>Costo de construcción y producción elevado.</li> <li>Color azul.</li> <li>Eficiencia de generación entre el 15 – 18 %.</li> </ul>
Célula de silicio Policristalino		<ul style="list-style-type: none"> <li>No tienen estructura cristalina uniforme.</li> <li>Fabricación en moldes rectangulares.</li> <li>Costo de construcción y producción bajo.</li> <li>Color irregular.</li> <li>Eficiencia de generación entre 12 – 14 %.</li> </ul>

<p>Célula de silicio Amorfo</p>		<p>No tiene estructura cristalina.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento y potencia se reducen conforme el tiempo.</li> <li>• Costo de construcción y producción bajos.</li> <li>• Comercialización y distribución limitada.</li> <li>• Eficiencia de generación entre 6 - 9 %.</li> </ul>
<p>OPV</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polímeros orgánicos capaces de reaccionar y liberar electrones en presencia de luz solar.</li> <li>• Elaboran por medio de procesos de impresión y de recubrimiento a alta velocidad y escalables, como las pinturas en spray.</li> <li>• Costo mucho más bajo que los tradicionales de silicio.</li> </ul>
<p>Thin-Film</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construyen en base a microestructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), o CIS en caso de no incluir al Galio, alojadas sobre un soporte flexible y liviano.</li> <li>• Aptas para ser instaladas sobre techos, fachadas de edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y automóviles.</li> <li>• Impacto ambiental bajo.</li> <li>• Un kilo de CIGS integrado en una celda solar produce cinco veces más electricidad que un kilo de uranio enriquecido integrado en una central nuclear.</li> </ul>

- Placas híbridas: estos son paneles que combinan la tecnología de los paneles fotovoltaicos y térmicos, por lo que genera electricidad y calor en un solo módulo, con esto se puede conseguir un ahorro en espacio; también se saca un aprovechamiento máximo y se mejora la capacidad de los paneles ya que se aprovecha el calor generado por los paneles. En la **Figura 15** se muestra cómo funciona este panel (Sabaca, 2024b).





**Figura 15.** Funcionamiento placa híbrida (Sabaca, 2024a).

- Baterías (sistema de almacenamiento): este es un componente importante porque almacena una corriente constante en caso de un corte de energía, su función concreta es almacenar el excedente de la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico, fundamentalmente se la usa en la noche cuando los paneles no están produciendo energía. Existen dos tipos de baterías: primarias y secundarias. Las primarias vienen cargadas lo cual las hace de un solo uso; mientras que las secundarias permiten la carga y descarga por un número de ciclos determinado.

Entre sus principales beneficios está:

- Asegurar abastecimiento,
- Se usa como sistema de respaldo (back up),
- Usadas especialmente en instalaciones aisladas.





También se pueden diferenciar las baterías solares dependiendo del material con que se fabrica, se muestra en **Tabla 2**; y en la **Tabla 3** observamos los modelos que son frecuentemente utilizados en estos sistemas. Generalmente se usan las baterías de plomo-ácido por sus características.



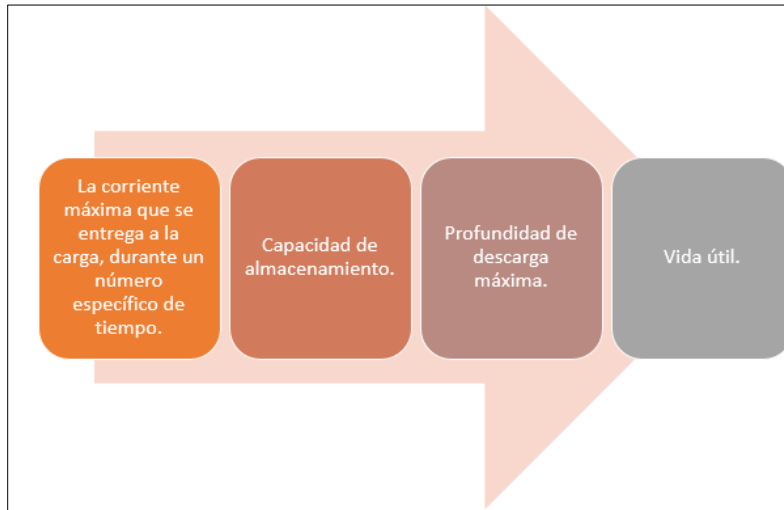
**Tabla 2.** Clasificación básica de las baterías que existen en el mercado.

Tipo de Baterías				
	Plomo ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hydride	Ión-liteo
Tensión por vaso (V)	2	1,2	1,2	3,6
Tiempo de recarga	8-16 horas	1 hora	2-4 horas	2-4 horas
Auto descarga por mes	<5 %	20 %	20 %	6 %
Número de ciclos	Medio	Elevado	Medio	Medio-bajo
Capacidad	30-50 Wh/kg	50-80 Wh/kg	60-120 Wh/kg	110-160 Wh/kg
Precio	Bajo	Medio	Medio	Alto

**Tabla 3.** Baterías utilizadas en instalaciones solares.

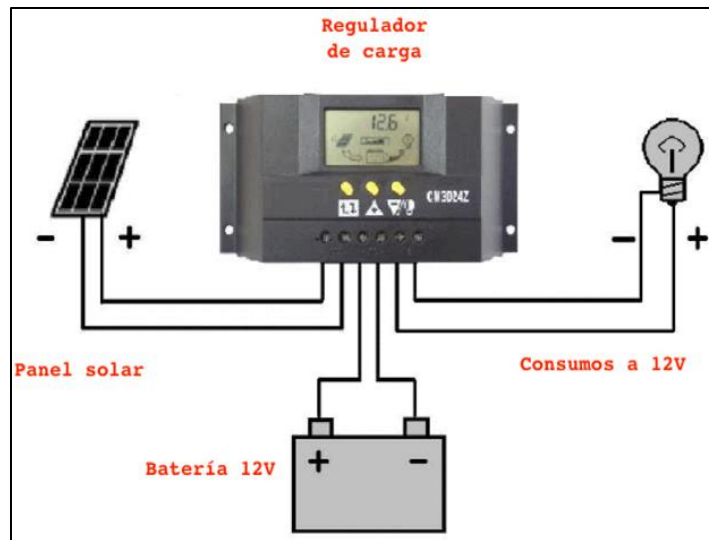
Tipo	Ventaja	Desventaja	Imagen
<b>Tubular estacionaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ciclado profundo.</li> <li>•Tiempo de vida largos.</li> <li>•Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precio elevado.</li> <li>•Disponibilidad escasa para ciertos lugares.</li> </ul>	 <p>OPZS Batería de ácido líquido</p> <p>OPZV Batería de GEL</p>
<b>Arranque (SLI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precio accesible.</li> <li>•Disponibilidad alta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>•Tiempo de vida corto</li> <li>•Escasa reserva de electrolito.</li> </ul>	
<b>Solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fabricación similar a los SLI.</li> <li>•Amplia reserva de electrolito.</li> <li>•Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tiempo de vida medio</li> <li>•No recomendado para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	
<b>Gel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tiempo de vida medio</li> <li>•No recomendado para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	

Para tener un buen funcionamiento de las baterías en el tiempo requerido se considera los siguientes parámetros, se muestra en la **Figura 16**:



**Figura 16.** Parámetros para el funcionamiento correcto de las baterías.

- Regulador de carga: responsable de gestionar la energía almacenada en la batería, en pocas palabras es el encargado de proteger a las baterías de la sobrecarga por parte del panel solar, y de la descarga total, cuando hay un consumo elevado. Este elemento se usa para sistemas fotovoltaicos aislados, autónomos o tipo isla. Los parámetros a medir de este componente es la intensidad de corriente y el voltaje que se inyecta a la batería (Zeman, 2012). Para entender el funcionamiento del regulador se muestra en la Figura 17 su conexión y para (Zeman, 2012) el funcionamiento básico se especifica a continuación.



**Figura 17.** Conexión del regulador (Zeman, 2012).

- Proteger a las baterías de descargas excesivas.
- Proteger a las baterías contra sobrecarga limitando la tensión.
- Evitar descargas nocturnas.
- Ajustar el procedimiento de carga según el tipo de batería.
- Protección contra la inversión de polaridad.
- Protección contra cortocircuitos y medir las temperaturas de las baterías.
- Protección contra sobretensiones en la entrada de los módulos fotovoltaicos.
- Protección contra sobreintensidades.

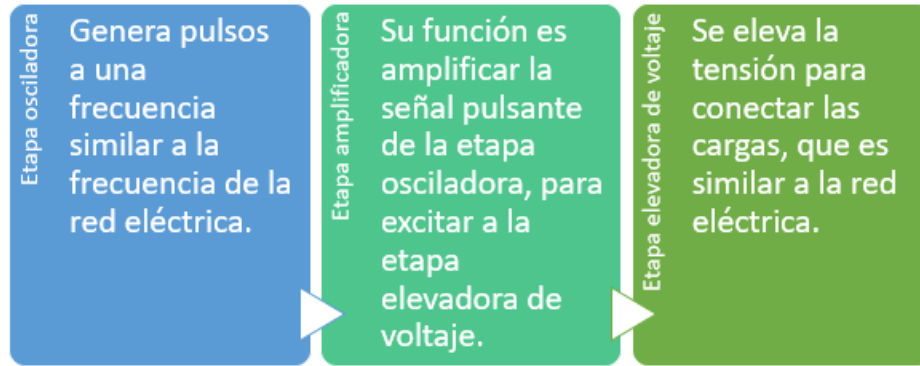
Los tipos más utilizados de los reguladores son: regulador PWM (Pulse Width Modulation), y regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking).

- Regulador PWM (Pulse Width Modulation): es un regulador de modulación de ancho de pulso, este regulador tiene un límite de corriente máxima la cual no se puede sobrepasar la corriente máxima. El funcionamiento de estos dispositivos es semejante a la de un interruptor que trabaja entre los

paneles fotovoltaicos y la batería. Entre las ventajas tenemos que es sencillo de instalar, su precio es accesible y tiene un tamaño cómodo, y un gran inconveniente es que no son útiles si se necesita el crecimiento del sistema porque estos reguladores solo permiten una corriente de 60 A. (Jiménez-Castillo et al., 2019).

- Regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking): son los más óptimos para maximizar su corriente en las salidas de las baterías, estos a diferencia de los PWM, si son capaces de adaptar la entrada de corriente de los sistemas fotovoltaicos a la tensión que tienen las baterías. Este regular ayuda a que los sistemas se puedan diseñar con su máxima potencia para mejorar la eficiencia energética, entonces los reguladores MPPT se los dimensiona dependiendo de la potencia que va a generar el sistema fotovoltaico y la tensión de las baterías, y son utilizados para sistemas con 32 y 72 células y en sistemas de conexión a la red (Leyva et al., 2006).
- Inversor: es el componente que transforma la energía continua, del regulador, a energía alterna, además se encarga de optimizar la generación fotovoltaica para mejorar la eficiencia en los paneles (Hassaine et al., 2014). Las características principales a considerar para incorporar un inversor al sistema se autoconsumo son:
  - Potencia máxima de transmisión
  - Un buen sistema de protección
  - La optimización de la generación del sistema fotovoltaico

También se hay que recalcar las etapas que conforman al inversor, se muestra en la **Figura 18**.



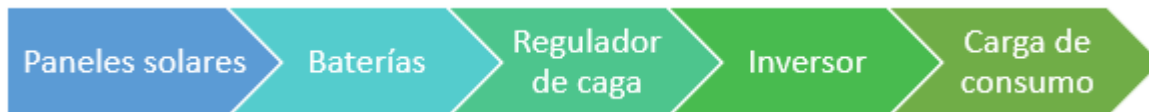
**Figura 18.** Etapas del inversor.

Hay que recalcar que se necesita un inversor dependiendo del sistema que se vaya a implementar, por eso existen varios tipos de inversores (Hassaine et al., 2014).

- Inversor fotovoltaico tipo cadena: este inversor se usa cuando los paneles solares están conectados en serie y agrupados en ramales, enviando toda la energía a un solo inversor. Hay que considerar que dependiendo de los ramales hay que colocar el mismo número de inversores. Estos se consideran para sistemas de gran tamaño.
- Inversores fotovoltaicos tipo central: los paneles solares solo se conectan a un único inversor, ya que estos cuentan con varias entradas o seguidores MPPT. Estos inversores están previstos para infraestructuras bastante grandes (parques fotovoltaicos).
- Microinversores: son de menor tamaño que los mencionados, estos se conectan a una sola placa solar, estos están diseñados para maximizar la potencia de cada panel solar y disminuir el efecto de sombra, su inversión es muy cara.
- Inversor-cargador: incorporan un sistema de carga, esta se encarga de dar corriente a las baterías en los días donde no hay mucha luz solar o cuando hay sobreproducción de energía.

- Inversores híbridos: estos nos ayudan en la gestión en la distribución de energía a las baterías, como a la red eléctrica. Este es una buena opción para los sistemas con vertido a la red y con baterías. Cuentan con un regulador que nos permite conectar a las baterías y a la red directamente.
- Medidor bidireccional: este componente nos ayuda a calcular la cantidad de energía generada por los paneles solares y la cantidad de energía suministrada por la empresa distribuidora para sumar el total y determinar la facturación mensual de consumo eléctrico. Este dispositivo registra: la energía recibida (energía de la red local), energía neta de los paneles solares, y el excedente que se envía a la red (Solar Inc, 2023).

En la **Figura 19** se muestra un esquema de conexión de los principales componentes de los sistemas fotovoltaicos.



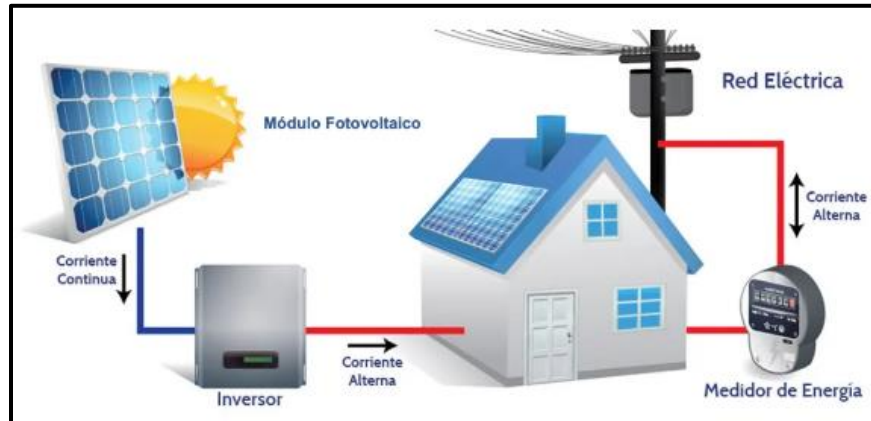
**Figura 19.** Esquema de conexión de los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos.

#### 4.4.1. Funcionamiento

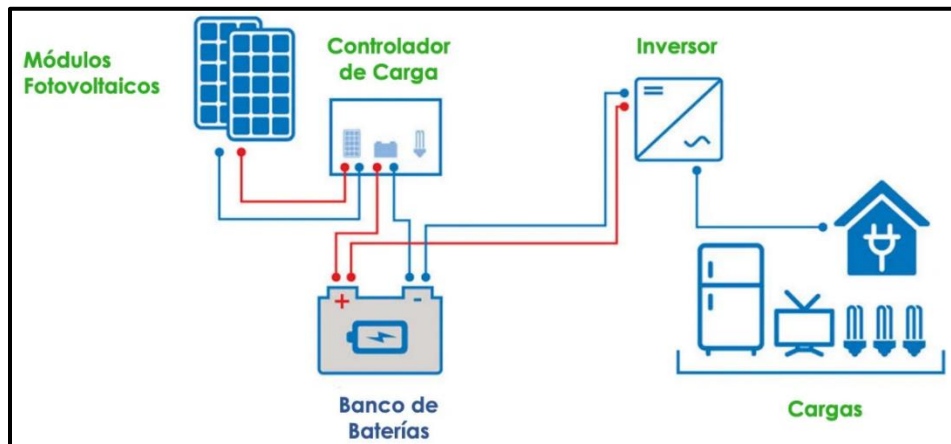
Conociendo cuales son los componentes principales de un sistema fotovoltaico, hay que entender cómo funcionan estos cuando se implementan; empezamos por el panel fotovoltaico o panel solar, el cual contiene células fotovoltaicas, estas células, generalmente se fabrican de silicio que es un semiconductor, que se unen para crear un módulo. El funcionamiento del semiconductor es absorbe la luz solar, lo cual deja los electrones libres, que tiene carga negativa, para que puedan fluir a través de la celda hacia la superficie frontal, creando un desequilibrio en la carga entre el frente y la parte posterior, por este desequilibrio se produce electricidad.

Luego, la corriente se transporta por medio de cables, esta se puede usar inmediatamente o se almacena en un sistema de baterías. En la **Figura 20** se observa cómo es

el funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red, mientras que la **Figura 21** muestra el funcionamiento de un sistema autónomo. Se toman estos dos escenarios, ya que son los más comunes, y para poder comprender cuales son los elementos que conforman un sistema fotovoltaico dependiendo de lo que requiera cada usuario.



**Figura 20.** Sistema conectado a la red (Peña, 2023).



**Figura 21.** Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo (Peña, 2023).

#### 4.5. Estado actual de la producción de energía en el Ecuador

En el Ecuador la producción de energía eléctrica está constituida por el 92 % por las centrales hidroeléctricas, 7 % de centrales térmicas y el 1 % de fuentes no convencionales (fotovoltaica, eólica, biomasa, biogás, geotermia, entre otras). Las políticas actuales en nuestro país tienen como objetivo incrementar la producción de energía con recursos renovables. Este documento analiza el potencial de la energía solar implementadas en la industria en Ecuador, ya que estas realizan procesos que requieren de un alto consumo, y con la distribución actual de energía estos procesos que demandan un alto consumo pueden llegar a colapsar la red de

distribución, y con los sistemas fotovoltaicos se intenta observar cómo se puede reducir en porcentaje en el consumo y como se mejora la producción en la industria. El sector de la industria está en el segundo lugar de consumidores de energía con el 25,69 % según las estadísticas anuales del 2022, con 6.137,30 GWh, a nivel nacional se reporta un consumo promedio mensual de los consumidores industriales de 13.040,66 kWh/consumidor (ARCERNNR, 2023a). El precio medio de la energía facturada en el sector industrial en 2022 está en 7,80 USD ¢/kWh y la facturación de servicio eléctrico es de 417,80 MUSD. En 2022 las pérdidas de energía de los sistemas de distribución fueron de 3662,60 GWh, en la región costa se dio la mayor pérdida, Esmeraldas (26,32 %), Manabí (25,07 %) y Los Ríos (22,81 %), lo cual, en el sector industrial, que es mayor en esta región, significó una pérdida por no poder producir (ARCERNNR, 2021).

Para el sector industrial de alto y medio voltaje, que tienen una restricción horaria, el factor de la demanda (FGDI) viene dada por:

$$FGDI = \begin{cases} 0,5 & \text{sí } \frac{DP}{DM} < 0,6 \\ 0,58833 * \frac{DP}{DM} + 0,4167 * \left(\frac{DP}{DM}\right)^2 & \text{sí } 0,6 \leq \frac{DP}{DM} \leq 0,9 \\ 1 & \text{sí } \frac{DP}{DM} \leq 1 \end{cases}$$

Para la facturación de acuerdo con las características del consumidor regulado, está dado por la siguiente ecuación:

$$FSPEE = E + P + PIT + C + P_{Bfp}$$

*Siendo:*

FSPEE = Factura por servicio público de energía eléctrica - USD

E = Facturación de Energía (USD)

P = Facturación de Demanda (USD)

PIT = Pérdidas en Transformadores (USD)

C = Comercialización (USD)

PBFP Penalización por bajo factor de potencia (USD)

En la **Tabla 4** se muestran los cargos tarifarios en el sector industrial en Ambato-Azogues-CNEL Bolívar-Centrosur-Cotopaxi-Norte-Riobamba-Sur.

**Tabla 4.** Cargos tarifarios en el sector industrial en Ambato-Azogues-CNEL Bolívar-Centrosur-Cotopaxi-Norte-Riobamba-Sur.



Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
Bajo voltaje con demanda			
	4,790	0,080	1,414
Bajo voltaje con demanda horaria			
08:00 hasta 22:00	4,790	0,065	1,414
22:00 hasta 08:00		0,069	
Medio voltaje con demanda			
	4,790	0,083	1,414
Medio voltaje con demanda horaria diferenciada			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,576	0,0897	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,1037	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0501	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0897	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,400	0,0837	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0967	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0501	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0837	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2)			
L-V 08:00 hasta 18:00	3,940	0,0678	7,066
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0543	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0678	

En la **Tabla 5** se muestran los cargos tarifarios en CNE El Oro-CNEL Esmeraldas-CNEL Guayas Los Ríos-CNEL Manabí-CNEL Milagro-CNEL Santa Elena-CNEL Santo Domingo-CNEL Sucumbíos-Galápagos.

**Tabla 5.** *Cargos tarifarios sector industrial CNE El Oro-CNEL Esmeraldas-CNEL Guayas Los Ríos-CNEL Manabí-CNEL Milagro-CNEL Santa Elena-CNEL Santo Domingo-CNEL Sucumbíos-Galápagos.*

Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
Bajo voltaje con demanda			
	4,790	0,080	1,414
Bajo voltaje con demanda horaria			
08:00 hasta 22:00	4,790	0,065	1,414
22:00 hasta 08:00		0,069	
General medio voltaje con demanda			
	4,790	0,093	1,414
Medio voltaje con demanda horaria diferenciada			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,576	0,0927	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,1067	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0750	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0927	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,400	0,0867	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0997	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0750	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0867	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2)			
L-V 08:00 hasta 18:00	3,940	0,0678	7,066

L-V 18:00 hasta 22:00		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0543	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0678	

En la **Tabla 6** se muestran los cargos tarifarios en CNEL Guayaquil

**Tabla 6.** *Cargos tarifarios sector industrial en CNEL Guayaquil*

Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
Bajo voltaje con demanda			
	4,055	0,082	1,414
Bajo voltaje con demanda horaria			
08:00 hasta 22:00	4,055	0,067	1,414
22:00 hasta 08:00		0,071	
Medio voltaje con demanda			
	4,003	0,085	1,414
Medio voltaje con demanda horaria diferenciada			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,003	0,0845	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0965	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0705	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0845	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado			
L-V 08:00 hasta 18:00	3,930	0,0785	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0895	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0695	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0785	

Alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2)			
L-V 08:00 hasta 18:00	3,940	0,0678	7,066
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0543	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0678	

En la **Tabla 7** se muestran los cargos tarifarios en Empresa eléctrica Quito S.A.

**Tabla 7.** Cargos tarifarios en Empresa Eléctrica Quito S.A.

Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
Bajo voltaje con demanda			
	4,182	0,078	1,414
Bajo voltaje con demanda horaria			
08:00 hasta 22:00	4,182	0,063	1,414
22:00 hasta 08:00		0,067	
Medio voltaje con demanda			
	4,129	0,091	1,414
Medio voltaje con demanda horaria diferenciada			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,129	0,0905	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,1045	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0740	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0905	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado			
L-V 08:00 hasta 18:00	4,053	0,0835	1,414
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0955	

L-V 22:00 hasta 08:00		0,0730	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0835	
Alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2)			
L-V 08:00 hasta 18:00	3,940	0,0678	7,0660
L-V 18:00 hasta 22:00		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00		0,0543	
S, D, F 18:00 hasta 22:00		0,0678	

#### 4.6. Sistemas fotovoltaicos para industrias

La industria utiliza la energía necesaria para los procesos industriales, como la conversión de materias primas para fabricar plásticos, vidrios, productos químicos, entre otros. Como sabemos estos procesos demandan de un alto consumo de energía eléctrica, y para solventar la falta de energía las industrias estas usan fuentes de energía externas que generalmente implica el consumo de gas natural y petróleo, para general electricidad.

El uso industrial de la energía solar a partir de los sistemas fotovoltaicos prevé generar electricidad para que las actividades industriales puedan realizarse sin interrupciones. Estos sistemas varían dependiendo del sector industrial, un sistema pequeño es eficaz para una industria de procesamiento de alimentos, mientras que un sistema grande es beneficioso para una industria de fabricación de químicos, y también depende de la zona geográfica (Dale & Benson, 2013).

En el sector industria el factor de la eficiencia energética es importante ya que se quiere utilizar menos energía de la empresa de distribución para realizar la misma tarea, por lo cual se recurre cada vez más a la energía renovable como herramienta para mejorar su eficiencia energética y lograr menores costos de energía (Dale & Benson, 2013). Se aumenta la eficiencia energética:

- Cuando se diseña un sistema fotovoltaico autónomo porque se combina con sistemas de almacenamiento en baterías, para reducir la dependencia de la

industria a depender de la red eléctrica cuando se está trabajando al mínimo (Alvarado et al., 2021).

- Cuando un sistema de energía solar puede mejorar la eficiencia energética al proporcionar datos sobre la optimización de procesos, recopilación, comparación y análisis de datos en tiempo real (Alvarado et al., 2021).

#### **4.7. Desarrollo y tendencias de sistemas fotovoltaicos en entornos industriales**

El desarrollo y las tendencias a nivel mundial que hay en torno a los sistemas fotovoltaicos en las industrias van orientados a: costo nivelado de la electricidad, comprensión del uso de la red eléctrica, integración con las nuevas tecnologías (IoT y la IA), y seguridad y confianza. Con el dimensionamiento de las cuatro recomendaciones mencionadas, se tiene que (*Las Nuevas Tendencias En Torno a La Energía Fotovoltaica* | Cintac, n.d.):

- Los avances en la digitalización son de gran ayuda para las actividades de monitoreo, pero también son un desafío constante por el incremento de las instalaciones solares. Con la tendencia a 5 G y las nubes de datos, se espera que hasta el 2025, al menos el 90 % de las plantas fotovoltaicas estén totalmente digitalizadas.
- Con la implementación de la inteligencia artificial (IA) se pretende obtener soluciones para optimizar el funcionamiento y generar resultados más completos y medibles, uno de los aspectos a mejorar en estos sistemas es la detección temprana de anomalías en la interconexión de los dispositivos.
- Se debe tomar en cuenta que poco a poco irán cambiando nuestros hábitos de consumo con las redes eléctricas, ya que en los próximos años la proporción de sistemas de producción autónoma de energía renovable con almacenamiento son cada vez más competitivos y accesibles a los consumidores.

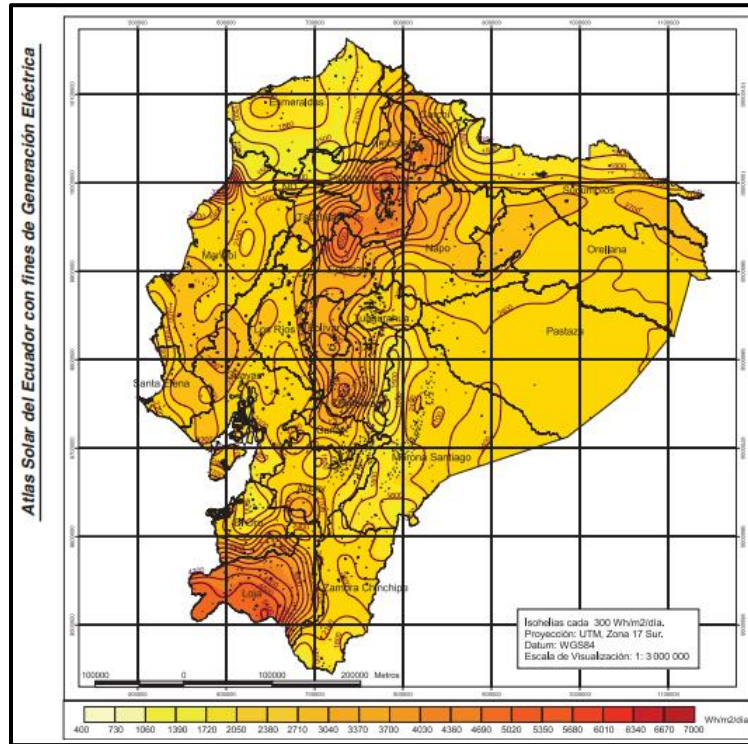
- Una nueva tecnología de información y comunicaciones, como las plantas energéticas virtuales (VPP), es la tecnología se aplicará extensamente en plantas de energía distribuida, para la gestión colaborativa.
- Los dispositivos de almacenamiento de energía como inversores y los PCS son elementos esenciales en una planta fotovoltaica, y a medida que aumenta el alcance y la dificultad de las plantas fotovoltaicas, la intervención humana en el mantenimiento de estos sistemas se ve dificultoso y demasiado costoso. El diseño modular permite un mantenimiento cada vez más automatizado y una expansión fluida.

#### **4.8. Sistemas fotovoltaicos en la industria ecuatoriana**

La empresa encargada de generar y suministrar el servicio eléctrico en Ecuador es CELEC (Corporación Eléctrica del Ecuador), también la comercialización de este servicio está a cargo de CNEL EP, y para garantizar la accesibilidad a toda la población está conformada por 11 unidades de negocio: Guayaquil, Guayas- Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro, Santa Elena, Los Ríos, Milagro, Bolívar, Santo Domingo y Sucumbíos y por Empresas Eléctricas: Quito, Ambato, Cotopaxi, Riobamba, Azogues, Centro Sur, Sur y Galápagos. Mientras que el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables realiza el control a las centrales hidráulicas y térmicas (*Corporación Eléctrica Del Ecuador* -, n.d.).

El Ecuador en la actualidad está teniendo un crecimiento significativo en los sistemas fotovoltaicos, esto se debe a las nuevas políticas implementadas y a los avances tecnológicos, pero esto lleva a que se presenten dos grandes desafíos que son la integración a la red y sostenibilidad financiera. El potencial de energía renovable en Ecuador a echo que el gobierno promueva esta energía, con el objetivo de alcanzar una participación del 15 % de energía limpia en la matriz energética para el año 2030, otro objetivo con la generación de energía limpia y renovable es reducir la vinculación de combustibles fósiles, aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero, crear empleos y dar acceso a la energía eléctrica a zonas rurales en el país. El potencial solar del país es enorme debido a su ubicación tropical, con una capacidad

de radiación solar de  $200 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ . Desde un punto de vista económico, el costo decreciente de la energía solar y el creciente costo de la electricidad en Ecuador están haciendo que las instalaciones solares sean cada vez más atractivas (Inca Yajamín et al., 2023). A continuación, se muestra la **Figura 22** del atlas solar del país con fines de generación eléctrica.



**Figura 22.** Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica-Insolación directa anual promedio (CONELEC, 2008).

De acuerdo con (Inca et al., 2023), el Ecuador tiene un potencial de producción de electricidad por medio de los sistemas fotovoltaicos de 61,5 GWh/año (35,7 GWp). Con la regulación ARCERNR 001-2021, emitida en abril del 2021, los sistemas fotovoltaicos deben ser legalizados por la empresa que distribuye la energía eléctrica en el sector, quien es el encargado de revisar los parámetros técnico para la aprobación; ya que esta empresa sustituye el medidor convencional por un medidor bidireccional, que cumple la función de inyectar la energía a la red, de inyectar a la red pública el excedente de la energía que no se consume (ARCONEL, 2021).

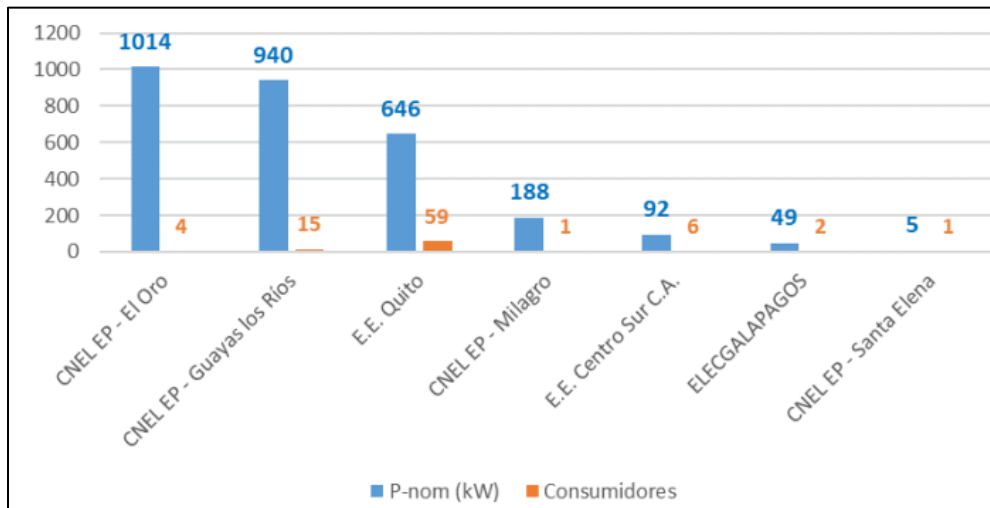
Otros puntos importantes que se debe considerar son:

- Para instalaciones corporativas el límite de producción es de 1 MW y para instalaciones residencial el máximo es de 100 kW.



- El convenio con la empresa eléctrica tiene una duración de 25 años renovables.
- También se permite la instalación de estos sistemas en espacios fuera del predio de operación.
- El excedente máximo que un usuario puede acumular es de 24 meses.

Actualmente en el país hay 88 sistemas fotovoltaicos instalados con una potencia nominal de 2,9 MWp. En la **Figura 23** se observa una gráfica de los sistemas fotovoltaicos instalados, su potencia nominal y el número de consumidores de esa energía.



**Figura 23.** Generación Fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica(ARCERNNR, 2021).

#### 4.9. Estudios de casos de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial.

Como se menciona, los beneficios en la industria de los sistemas fotovoltaicos, no solo se presentan económicamente, sino que también se consiguen en calidad de servicio y beneficios al medio ambiente. El mercado solar a nivel mundial tiene gran acogida, en el Ecuador se están tratando de adoptar modelos internacionales, sin embargo, no existen muchos casos de estudio, en el sector industrial en Ecuador las industrias estudiadas con la implementación de estos sistemas son la textil y la camaronera, y un sector que el Ecuador debería tener en consideración es de la minería que están teniendo impacto a nivel mundial, estos tres casos se describen a continuación.

- En el Ecuador la integración de sistemas fotovoltaicos se localiza una gran parte en el sector acuícola, ya que las fincas camaroneras generalmente están ubicadas en sitio remotos cerca de las costas o en islas, donde no existe conexión eléctrica nacional, y la implementación de esta red eléctrica nacional es muy costosa. Actualmente para solventar esta necesidad se utilizan motores diésel de combustión interna, por lo cual la implementación de los sistemas fotovoltaicos satisface la demanda eléctrica requerida para el cultivo intensivo y extensivo de camarones. En un estudio realizado en Puerto Pitahaya del cantón Arenillas, se observó que la radiación solar promedio era de 133 kWh/m<sup>2</sup>-mes, y se determinó que el costo de inversión de este sistema es de \$ 415,8, que es un valor que es aceptable para garantizar la recuperación rápida de la inversión y mejorar la eficiencia energética en este sector (Pesantez et al., 2021).
- Otro caso de estudio para aprovechar los sistemas fotovoltaicos es en la industria textil, en cual se observó que con la implementación de estos sistemas se puede lograr un ahorro del 30 %, los cálculos realizados dieron como resultado que al colocar 20 paneles solares en 3 filas se lograba generar aproximadamente 2000 kW a 4200 kW, esto dependiendo de la hora en la que se mide (Stalin Campozano Mendoza, 2022).
- Los sistemas fotovoltaicos en el sector minero a nivel mundial se han utilizado para solventar los problemas de suministro de energía, aparte de tener efectos positivos en la parte económica como en la parte ambiental. Una aplicación de estos sistemas en este sector es el tratamiento de drenaje de ácidos en minas

abandonadas, esto en Corea, que usa estas instalaciones abandonadas que ya contaban con estos sistemas fotovoltaicos. En EEUU se han implementado instalaciones fotovoltaicas de 1 MW, para reducir el consumo de la red eléctrica ya que se observó que se consume alrededor de 115 MW al mes (Choi & Song, 2017).

Para los modelos de negocio que ofrece Ecuador se puede tomar como punto de partida 3 modelos que se están estudiando en el mercado norteamericano. Estos tres modelos son (Muñoz-Vizhñay et al., 2018):

- Modelo 1: la empresa encargada de la distribución de la electricidad, son los propietarios de los sistemas fotovoltaicos, por lo cual están encargados de su instalación, puesta en operación y su mantenimiento, pero la energía sobrante de los sistemas fotovoltaicos que se devuelve a la red pertenece a la empresa distribuidora.
- Modelo 2: la empresa distribuidora da el financiamiento para la compra de los equipos y componentes de los sistemas fotovoltaicos, para que el exceso de la energía se devuelve a la red y las industrias tiene compensación de la energía (neteo de la energía).
- Modelo 3: la empresa distribuidora contrata la energía de los sistemas fotovoltaicos que generan las industrias por medio del PPA, evitando una relación directa con los mismos.

#### **4.10. Beneficio económico de la energía solar en la industria**

El beneficio de las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos está dado por la inversión en el equipamiento, costos de operación y mantenimiento, por la energía generada por el sistema y su capacidad de almacenamiento de energía. La ecuación para obtener el costo total de inversión para la generación fotovoltaica se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$C = \left\{ \left[ \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} \right] + OM \right\} \frac{I_{nv}}{8,76 * C_F}$$

*Siendo:*

r = tasa de descuento

N = vida útil del sistema

OM = costos anuales de operación y mantenimiento

$I_{nv}$  = inversión inicial total

$C_F$  = factor de capacidad

Los resultados obtenidos mediante la ecuación dependen del lugar donde se implementen los sistemas fotovoltaicos, lo que se pretende es que los sistemas fotovoltaicos se conviertan en una fuente de energía competitiva en el Ecuador, para lo cual se están adoptando nuevas políticas para afrontar las tecnologías convencionales (Muñoz-Vizhñay et al., 2018).

Otros beneficios que se buscan para el sector industrial son:

- La disminución de interrupciones del servicio
- Reducir la facturación eléctrica
- Mayor eficiencia energética
- Apoyo de los gobiernos
- Bajos costos en mantenimiento
- Autoconsumo de electricidad

## **5. Metodología**

Para desarrollar este proyecto se realiza una investigación descriptiva, para revisar y observar la actualidad, características y naturaleza de la industria ecuatoriana por medio del consumo eléctrico que es necesario para la ejecución de sus actividades, y observar los beneficios económicos que se obtendrían con la implementación de los sistemas fotovoltaicos.

También se utiliza un enfoque cuantitativo, para mostrar las propiedades de los sistemas fotovoltaicos, para obtener los mejores servicios económicos en la industria ecuatoriana, y poder tener como resultado un potencial modelo de negocio para las empresas que prestan el servicio de distribución eléctrica.

Para el diseño se compararán varios softwares, para elegir el que nos permitan la simulación para realizar un análisis técnico-financiero, partiendo de los datos del consumo energético que se obtiene de la Agencia de Regulación y control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Este diseño se utilizará para analizar los casos de estudio de industrias de bajo voltaje con demanda y medio voltaje con demanda.

Para los cuatro casos restantes, que son bajo voltaje con demanda horaria, medio voltaje con demanda horaria diferenciada, alto voltaje con demanda horaria diferenciada y alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo-AV2), se realiza el análisis con un estudio de caso real de un cliente industrial dedicado a la producción de alimentos en la provincia de Pichincha. El monitoreo de este sistema de monitoreo se realiza mediante [www.solarweb.com](http://www.solarweb.com) de la empresa Fronius.

### **5.1. Herramientas metodológicas**

#### **5.1.1. Simuladores**

- PVSys: es un software que ayuda al estudio, dimensionamiento y análisis para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Se puede analizar casos como sistemas conectados a la red, instalaciones para autoconsumo, instalaciones aisladas de la red, y de sistemas de bombeo solar. Este simulador tiene la herramienta concreta de utilizar una zona específica, con su latitud y longitud, dando un valor aproximado de la irradiación solar del sector, otra función importante es que nos permite

determinar la orientación de los paneles fotovoltaicos para tener la mejor eficiencia energética, y por último también nos da un estimado de los cálculos de las necesidades económicas y rentabilidad del sistema (*Acelerador PVSYST | Academia Energía Solar, n.d.*).

- PVSol: es un software de simulación que permite la simulación de diseños y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, con la capacidad de analizar los módulos fotovoltaicos de un sistema, también tiene un apartado 3D con el cual se puede analizar el nivel de sombra. Cuenta con una base de datos con componentes fotovoltaicos y sobre el clima de las zonas donde se vaya a implementar, para obtener una simulación detallada, cambiar la orientación de los paneles, cambios de conexión y distribución de equipos (PV\*SOL Premium 2020 Software de Simulación de Sistemas Fotovoltaicos, n.d.).
- Helioscope: es una herramienta para el diseño de sistemas fotovoltaicos, este permite realizar análisis de sombras, cálculos de rendimiento de energía. Es un software que no necesita descargarse ya que se encuentra de manera libre en la web. Se puede seleccionar el ángulo de los paneles, también tiene una gran variedad de paneles disponibles, una gran variedad de inversores (HelioScope, Herramienta Para Sistemas Fotovoltaicos | KeeUI Solar, n.d.).

En la **Tabla 8** se detalla las diferencias entre los distintos simuladores consultados.

**Tabla 8.** *Diferencia entre softwares recomendados para el diseño de SFV.*

Helioscope	PVSol	PVSys
------------	-------	-------

Las bases de datos meteorológicos integrados provienen de diferentes fuentes.	Las bases de datos meteorológicos integrados provienen de Meteonorm, Solscast y PVGIS.	Las bases de datos meteorológicos integrados sólo son de Meteonorm.
Toda la Interfaz 3D es a partir de imágenes satelitales.	La interfaz 3D tiene su propio motor gráfico con imágenes satelitales, archivos importados, planos, etc.	Tiene una interfaz 3D embebida en el software con elementos geométricos primitivos.
No existe asistente de diseño.	Existe un asistente de diseño para la configuración de módulos, inversores, baterías y demás equipos.	Existe un asistente de diseño en función del área disponible o la potencia deseada.
Es un software en línea, por lo tanto, no está ligado a un PC.	Ligado a un computador.	Ligado a un computador.
Sin adición de equipos manual (se envía solicitud con tiempo de respuesta de 3 días hábiles).	Se puede agregar manualmente un nuevo equipo de ser necesario, mediante una interfaz propia del software.	Se puede agregar manualmente un nuevo equipo de ser necesario, mediante una interfaz propia del software.
Análisis de sombreado.	Análisis de sombreado.	Análisis de sombreado.
El cableado no es personalizable.	El cableado se puede personalizar y existe asistente para el cálculo del grosor adecuado del conductor para reducir pérdidas.	El cableado no es personalizable.
Soporte para optimizadores de potencia.	Soporte para optimizadores de potencia.	Soporte para optimizadores de potencia.
Diagrama unifilar con componentes exportable.	Diagrama unifilar con componentes exportable.	No es exportable el diagrama unifilar.
No existe opción de exportar plano de módulos y cableado.	Plano de disposición de módulos y cableado exportable.	No existe opción de exportar plano de módulos y cableado.
Flujo de trabajo un poco lento al ser en línea.	Flujo de trabajo proporcional a la capacidad del computador	Flujo de trabajo proporcional a la capacidad del computador
Base de datos de equipos integrada	Base de datos de equipos integrada.	Base de datos de equipos integrada.
Análisis económico en versión beta.	Existe análisis financiero con tarifas Net-metering, inyección y compra.	Existe análisis financiero con tarifa de inyección fija y variable.

Reporte exportable en PDF.	Reporte personalizable y exportable en formatos PDF y Word para modificar con membretes empresariales.	Reporte exportable en PDF.
No permite la adición de perfiles de carga ni ajustar concretamente al consumo del lugar.	Permite la personalización de perfiles de carga, inclusión de equipos unitarios e importación de reportes de consumo medido.	Permite la personalización de perfiles de carga.
No se puede determinar el flujo total de energía en el sistema completo.	Ofrece un diagrama con el resumen del flujo de energía del sistema, es decir, la energía generada en donde se consumió.	Ofrece un diagrama con el resumen del flujo de energía del sistema, es decir, la energía generada en donde se consumió.
Base de datos de equipos en soporte de extensión PAN.	Soporta la importación de archivos de base de datos tipo PAN.	Los archivos PAN son nativos de este software.
No permite simulación de sistemas aislados, con instalación de baterías, ni autoconsumo.	Permite la simulación de múltiples sistemas FV inclusive con la adición de vehículos eléctricos, generadores auxiliares, cargas térmicas, entre otros.	Permite la simulación de sistemas conectados a la red, sistemas aislados y bombeo solar.

Para el presente proyecto se utiliza el software PVSyst, porque nos permite tener una prueba gratuita de 30 días con toda la base datos, y también es una herramienta fácil de utilizar, y nos proporciona cálculos y un análisis de los sistemas fotovoltaicos, por medio de datos meteorológicos y colocando parámetros específicos que requiere el usuario. También cuenta con un gran catálogo de componentes que conforman el sistema.

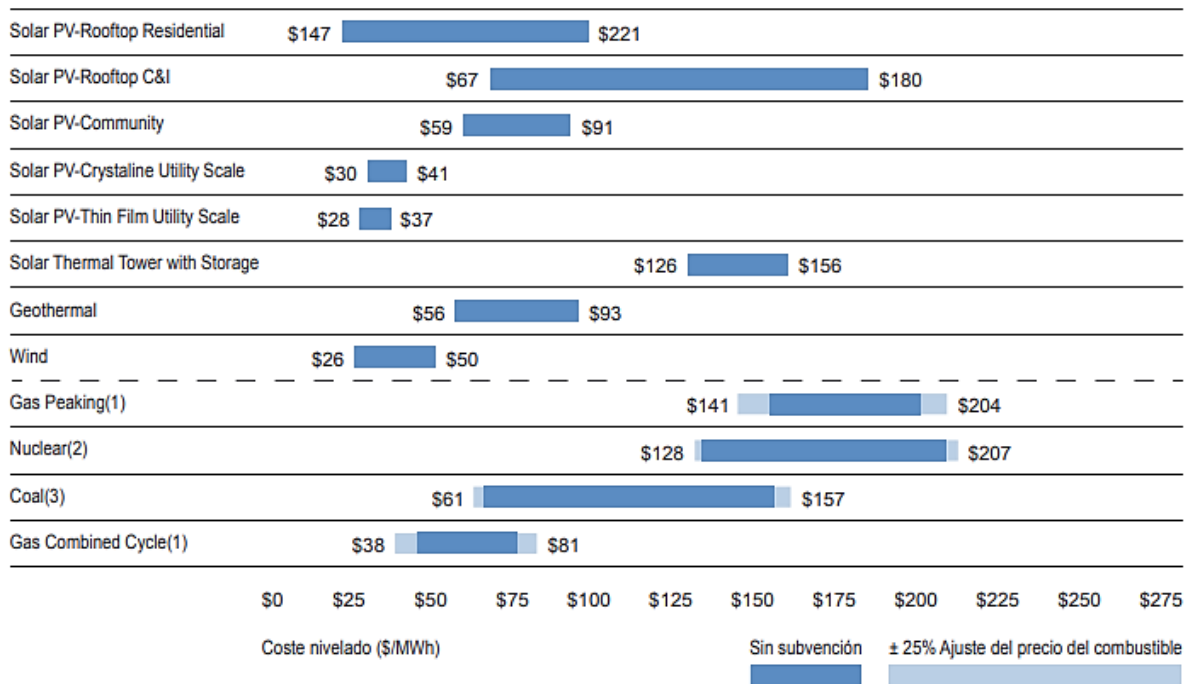
## **5.2. Análisis económico**

### **5.2.1. LCOE**

El coste energético nivelado (LCOE/Levelized Costo of Energy), sirve para calcular el coste por kilovatio hora (kWh), para cualquier tipo de generación eléctrica. Este parámetro contabiliza todos los costes de generación de energía de todos los sistemas a lo largo de su vida útil, y se divide entre la producción de energía total. Este parámetro nos ayuda a comparar la generación de los distintos sistemas, y observar cual es el más eficiente, dependiendo del lugar



(Lcoe, 2022). En la **Figura 24** observamos el LCOE según la fuente de generación, lo que se puede obtener de la Figura es que la generación eólica y solar son las más rentables.



**Figura 24.** LCOE de las fuentes de generación de energía (Jorquera, 2018).

La medida de este parámetro viene dada en dólares por kilovatio hora, la expresión es:

$$LCOE = \frac{\text{Costos totales de la planta generadora (\$)}}{\text{Energía total generada (kWh)}}$$

Como se mencionó la fórmula tiene relación directa con la vida útil de planta generadora, pero también se debe tomar en cuenta para los costes totales de la planta generadora lo siguiente: gastos de compra, mantenimiento, logística, instalación y su desmontaje, y depreciación. Este parámetro considera la capacidad nominal instalada, la eficiencia de la planta y el factor planta por lo que la energía que se va a conseguir de la planta es un valor real.

### 5.2.2. ROI

El retorno de inversión (ROI/Return on Investment), es la ganancia o rentabilidad que se obtiene después de hacer la inversión. Para el sector energético nos da un valor del beneficio económico que se tiene como resultado al disminuir el consumo de energía. Lo que se quiere lograr con este indicador es saber si un producto o servicio es rentable (Pinelo & Miguel, n.d.).

La fórmula que describe a este parámetro es:

$$ROI = \frac{Ganancias - Inversión}{Inversión} * 100$$

### 5.2.3. VAN

Valor Actual neto (VAN), este parámetro es importante analizar, porque evalúa la viabilidad financiera de un proyecto a invertir, ayuda a medir la rentabilidad del proyecto con los valores de ganancia y costes futuros del valor presente, y se espera por medio de su cálculo que se genere mayor ingreso que el que se invierte.

Este parámetro evalúa la rentabilidad, calculando desde el valor presente, los valores futuros ligados a la inversión, descontados a una tasa de interés específico. Los parámetros a tomar en consideración son: inversión inicial, inversión durante el proceso, flujo neto de efectivo, tasa de oportunidad, y el período de tiempo (Qué Es El VAN: Cómo Se Calcula y Cómo Se Interpreta, n.d.).

La fórmula para calcular este parámetro viene dada por:

$$VAN = Beneficio Neto Actualizado - Inversión Inicial$$

La unidad de medida es monetaria.

Si el VAN > 0: la inversión produce beneficios, sobre la inversión inicial.

Si el VAN = 0: no se generan ganancias, ni pérdidas.

Si el VAN < 0: el proyecto no es viable económicamente.

### 5.2.4. TIR

Tasa interna de retorno (TIR), es un parámetro que nos permite observar la rentabilidad que ofrece la inversión, nos dice cuanto se ganará o cuánto se perderá, entre mayor sea el valor del TIR mayor será su rentabilidad (Tasa Interna de Retorno (TIR): ¿Qué Es? Fórmula y Ejemplos, n.d.).

La fórmula para el cálculo del TIR es:

$$TIR = \frac{Valor\ final - Valor\ inicial}{Valor\ inicial} * 100$$

Para el valor inicial hay que conocer los gastos que se van a realizar en el proyecto; para el valor final se estima un porcentaje de lo que se puede vender.

Si TIR > 0: tiene una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida o coste de oportunidad.

TIR < 0: el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

TIR = 0: el proyecto es indiferente, ya que ni ganamos ni perdemos.

## 6. Resultados

En el presente capítulo se analizan los cálculos realizados para conocer el ahorro económico que puede obtener un cliente industria al implementar un sistema fotovoltaico con conexión a la red eléctrica. El análisis se realiza para seis casos de consumo industrial, los cuales son:

1. Industrias de bajo voltaje con demanda: Se aplica a los consumidores que destinan la energía eléctrica a actividades diferentes al uso doméstico, comercio, industria y servicios públicos y privados. Para considerar de bajo voltaje se estima que el nivel de voltaje del consumidor debe ser menor a 0,6 kV (ARCERNNR, 2023).

Estos sistemas en la industria se utilizan para procesos de fabricación en pequeña escala, donde se prioriza el control preciso y la seguridad por su menor riesgo de carga eléctrica. Estos sistemas se utilizan para alimentar cintas transportadoras, motores pequeños, sistemas de iluminación y paneles de control (LENMARK, 2023).

2. Industrias de medio voltaje con demanda: Se aplican a los consumidores, mencionados en punto anterior, de medio voltaje, cuyo voltaje de suministro en el punto de entrega es entre 600 V y 40 kV. En caso de que un consumidor de este nivel de voltaje sea medido con bajo voltaje, la distribuidora debe considerar un recargo equivalente al 2% de los montos medidos de potencia y energía debido a las pérdidas de potencia y energía del transformador (ARCERNNR, 2023).

Estos sistemas se utilizan especialmente en la industria que requiere una mayor cantidad de energía, como la industria manufacturera a gran escala, la minería, y la petroquímica. Estos sistemas se caracterizan por lograr un equilibrio entre eficiencia energética y transmisión de energía. Se usan estos sistemas para alimentar bombas, compresores y maquinaria pesada (LENMARK, 2023).

3. Industrias de bajo voltaje con demanda horaria: se refiere a toda industria cuya potencia contratada o demanda facturable, sea superior a 10 kW, y deben disponer de un medidor o registrador de demanda horaria que permita identificar el requerimiento de potencia y los consumos de energía en los periodos horarios de punta, medio y base. En el Ecuador estos periodos están distribuidos de la siguiente manera: horario de punta va desde las 18:00 hasta las 22:00, el horario medio desde las 08:00 hasta las 18:00 y el base desde las 22:00 hasta las 08:00 (ARCERNNR, 2023b).

4. Industrias de medio voltaje con demanda horaria diferenciada: se aplica a los consumidores industriales de medio voltaje que tienen un registrador de demanda horaria que les permite rastrear la demanda y el consumo de energía en los períodos de punta, media y base del día (ARCERNNR, 2023b).
5. Industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada: Se aplica a los consumidores industriales, cuyo voltaje de suministro en el punto de entrega es mayor a 40 kV y hasta 138 kV (ARCERNNR, 2023).

Se encuentran comúnmente en industrias como la generación de energía, la transmisión y la industria pesada. Estos sistemas se utilizan para alimentar grandes motores eléctricos, transformadores y procesos industriales complejos. Están diseñados para una transmisión eficiente de energía a larga distancia, reduciendo las pérdidas de energía en cables extendidos (LENMARK, 2023).

6. Industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2 –AV2): se aplica a industrias que requieren un suministro de energía en voltajes superiores a 138 kV. Esta tarifa está diseñada para fomentar la inversión industrial al ofrecer un costo más bajo en comparación con otras tarifas industriales. La AV2 es aproximadamente un 40% más económica que ciertas franjas horarias del grupo AV1 y se sostiene mediante la redistribución de costos en el sistema eléctrico, no mediante subsidios directos del Estado (ARCERNNR, 2023b).

Para los datos del sistema fotovoltaico que se simuló en el software PVSyst, se ingresa una potencia de 42 kWp para arreglo según su orientación, se usa orientación este y oeste en el simulador, obteniendo una potencia total de 84 kW del sistema, dada esta potencia el simulador calcula que el sistema necesita 152 módulos fotovoltaicos en total de 550 kWp, teniendo una distribución de 19 módulos fotovoltaicos en 4 cadenas por cada orientación, y 8 inversores de 20 kWca para todo el sistema, dando una potencia promedio de 1045 kW/mes, ya que la normativa dispuesta por ARCERNNR dicta que no se puede generar una potencia mayor a la que se consume normalmente, estos resultados se muestran en la **Figura 25**, y en la **Figura 26** se muestra un resumen del sistema donde se observa la inclinación, azimut y los valores mencionados anteriormente; y en la **Figura 26** se muestran los resultados obtenidos por mes en el simulador, pero la columna que se va a utilizar para los cálculos es la de EArray,

que es la producción del sistema fotovoltaico. Estos datos se utilizan para analizar los casos de estudio para industrias de bajo voltaje con demanda y medio voltaje con demanda.

Definición del sistema de red, Variante VCO: "Nueva variante de simulación"

**Subconjunto**

**Nombre y orientación del subconjunto**  
 Nombre: oeste Orden: 1  
 Oriente: Orientación #1 Inclinación: 20° Azimut: -90°

**Ayuda de pre-dimensionamiento**  
 Sin dimensionamiento Potencia planeada: 42.0 kWp  
 Redimens. ... o área disponible(módulos): 196 m<sup>2</sup>

**Seleccione el módulo FV**  
 Disponible ahora: [dropdown] Filtro: Todos los módulos F Módulos necesarios aprox.: 76  
 JA Solar 550 Wp 35V Si-mono JAM72-S30-550-MR Desde 2021 Manufacturer-RETIC [Abrir]  
 Usar optimizador  
 Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) 36.6 V  
 Voc (-10°C) 54.6 V

**Seleccione el inversor**  
 Disponible ahora: [dropdown] Voltaje de salida 400 V Tri 50Hz  
 Huawei Technologies 20 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-20KTL-M5-400V Desde 2022 [Abrir]  
 Núm. de inversores: 2  Voltaje de funcionamiento: 200-1000 V Poder global inversor: 40.0 kWca  
 Utilizar multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: 1100 V **inversor con 2 MPPT** Reparto de potencia en este inversor

**Diseñe el conjunto**

**Núm. de módulos y cadenas**  
 Mód. en serie: 19  entre 6 y 20  
 Núm. cadenas: 4  entre 4 y 5  
 Pérdida sobrecarga: 0.0 %  
 Proporción Pnom: 1.05 [Dimensionamiento]

**Condiciones de operación**  
 Vmpp (60°C): 696 V  
 Vmpp (20°C): 804 V  
 Voc (-10°C): 1037 V  
 Irradia. plano: 1000 W/m<sup>2</sup>  
 Impp (STC): 52.4 A  
 Isc (STC): 56.0 A  
 Isc (en STC): 56.0 A  
 Máx. en datos  STC  
 Potencia de funcionamiento máx.: 43.8 kW (en 1143 W/m<sup>2</sup> y 50°C)  
**Potencia nom. conjunto (STC) 41.8 kWp**

[Resumen del sistema] [Diagrama unifilar]

Figura 25. Valores ingresados para simulación del sistema.

Compatibilidad entre definiciones de sistemas	
Orientación #1 1 subconjunto	<b>inclin/azim = 20° / -90°</b> PNom = 42 kWp, área de módulos = 196 m <sup>2</sup>
Orientación #1: Ningún campo de sombreado definido para la orientación no 1 !	
Orientación #2 1 subconjunto	<b>inclin/azim = 20° / 90°</b> PNom = 42 kWp, área de módulos = 196 m <sup>2</sup>
Orientación #2: Ningún campo de sombreado definido para la orientación no 2 !	
Parámetros del sistema	
<b>2 subconjuntos definidos</b>	
Subconjunto #1	<b>oeste</b>
Orientación #1	Inclinación/Azimut = 20.0° / -90.0°
Módulos FV:	4 cadenas de 19 módulos en serie, 76 total
Pnom = 550 Wp	Conjunto PNom = 42 kWp, área = 196 m <sup>2</sup>
Inversores (20.0 kWca)	1 entradas MPPT, Total 40 kWca, Proporción Pnom
Subconjunto #2	<b>este</b>
Orientación #2	Inclinación/Azimut = 20.0° / 90.0°
Módulos FV:	4 cadenas de 19 módulos en serie, 76 total
Pnom = 550 Wp	Conjunto PNom = 42 kWp, área = 196 m <sup>2</sup>
Inversores (20.0 kWca)	1 entradas MPPT, Total 40 kWca, Proporción Pnom
Parámetros de sombreado 3D	
Ninguna escena de sombreado definida	

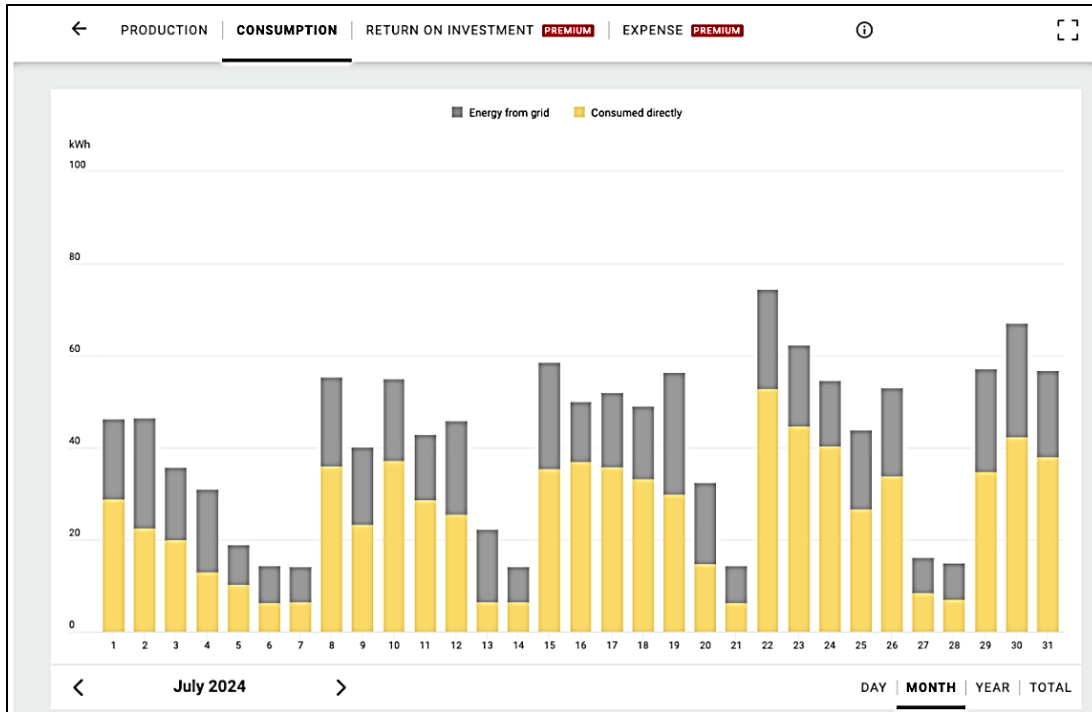
Figura 26. Descripción general del sistema simulado en PVSystem.

	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	178.7	70.40	14.22	173.3	170.5	12949	12632	0.872
February	139.9	71.87	14.13	135.3	133.0	10173	9916	0.877
March	164.3	77.98	14.10	159.1	156.6	11930	11631	0.875
April	159.6	64.80	13.83	154.3	151.9	11524	11232	0.871
May	171.0	68.22	14.17	165.8	163.1	12426	12116	0.874
June	169.0	54.73	14.03	163.7	161.0	12265	11960	0.874
July	180.6	63.22	14.25	175.0	172.2	13111	12793	0.874
August	191.1	64.97	14.61	185.2	182.5	13765	13434	0.868
September	167.7	67.25	14.38	162.5	160.0	12114	11813	0.870
October	155.4	65.41	14.23	150.3	147.9	11181	10890	0.867
November	146.8	71.26	13.83	142.2	139.7	10645	10368	0.872
December	165.2	60.14	14.01	160.0	157.3	11953	11648	0.871
Year	1989.3	800.24	14.15	1926.7	1895.7	144037	140432	0.872

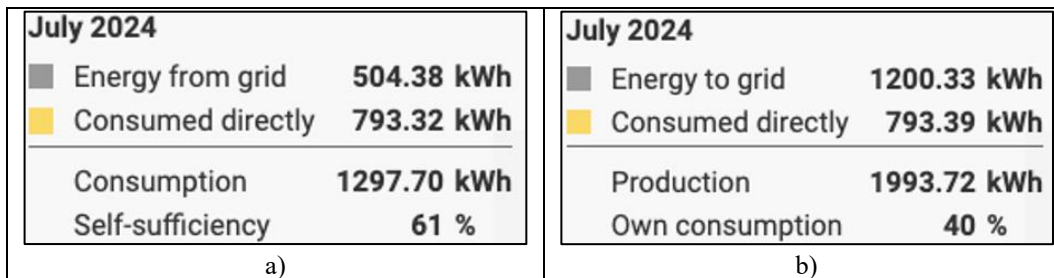
**Figura 27.** Resultados de la simulación en PVSyst.

Las otras columnas representan: GlobHor (irradiación global), DiffHor (irradiación difusa horizontal), T\_Amb (temperatura ambiente), GlobInc (incidencia global), GlobEff (efectivo Global, corr. para IAM y sombreados), E\_Grid (energía inyectada a la red), PR (relación de calidad).

Para bajo voltaje con demanda horaria, medio voltaje con demanda horaria diferenciada, alto voltaje con demanda horaria diferenciada y alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo-AV2), se realiza el análisis mediante un caso de estudio real, en la **Figura 28** se muestra el gráfico del consumo y de la producción fotovoltaica. También se muestra en la **Figura 29 a)** el consumo y en la **Figura 29 b)** se muestra la producción en el mes de julio. Se calculó que la potencia es de 12,96 kWp en este sistema, dando un número total de paneles solares de 32 de 450 kWp, con un azimut de 15° que viene por defecto en la página.



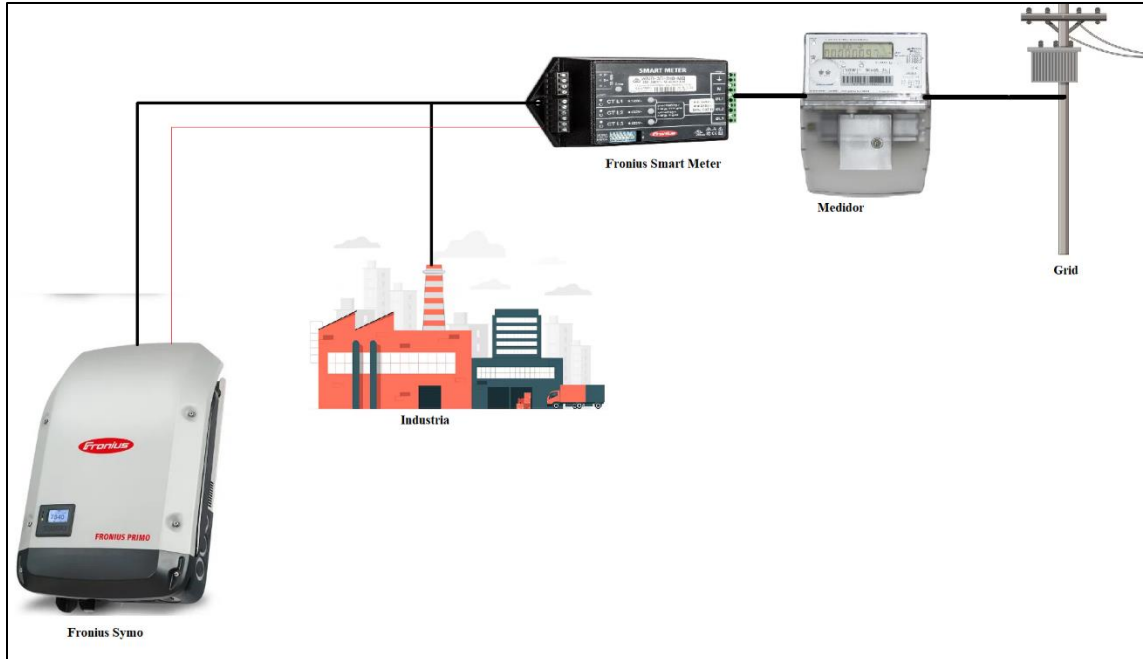
**Figura 28.** Gráfico de consumo de la industria y producción diaria del SFV.



**Figura 29.** a) Consumo total del mes de julio; b) Producción total del SFV en el mes de julio.

Para el caso de estudio se tiene un dispositivo llamado Smart Meter que es el encargado de monitorear y de la obtención de los datos de la producción fotovoltaica, el consumo y de la energía entregada a la red en el inversor de la marca Fronius, estos datos se reflejan en las **Figuras 28** y **Figuras 29**, el diagrama de conexión se muestra en la **Figura 30**.





**Figura 30.** Diagrama de configuración Smart Meter.

### 6.1. Bajo Voltaje con demanda

En el siguiente apartado se analiza el pago por el consumo eléctrico de las industrias de bajo voltaje con demanda sin un sistema fotovoltaico, en comparación con el pago de consumo eléctrico al implementar el sistema fotovoltaico, en la **Tabla 10** se muestra la potencia de consumo mensual que es de 13.040,66 kWh/mes, esto según el balance energético nacional del 2022 realizado por el Ministerio de Energía y Minas; y para el valor de la energía lo obtenemos del pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica, el cual para este caso es de 0,08 USD/kWh. Para obtener el valor del pago se multiplica la potencia que consume la industria al mes ( $P_{ti}$ ) por la energía ( $E$ ).

$$\text{Facturación sin SFV} = P_{ti} * E$$

$P_{ti}$ : Potencia de consumo de la industria

$E$ : Energía (USD/kWh)

En la simulación realizada, se obtuvo la potencia mensual que produce el sistema fotovoltaico, que se describe en la columna PSFV, estos valores los vamos a multiplicar por la energía para obtener la potencia neta ( $P_{neto}$ ) que se obtiene restando la potencia de consumo normal de la industria menos la potencia producida del sistema; si el valor sale negativo se lo coloca en la columna de saldo, que es un saldo a favor.

$$P_{neto} = P_{ti} - PSFV$$

PSFV: Potencia del sistema fotovoltaico (kWh)

Para obtener el nuevo valor de facturación con el sistema fotovoltaico, se multiplica la potencia neta por la energía, en caso que se tenga un saldo a favor se coloca un cero en la potencia final a facturar, y el saldo se resta a la facturación del mes siguiente. Para obtener el valor que se va a pagar se multiplica la potencia final a facturar por la energía.

$$\text{Facturación con SFV} = \text{Potencia final a facturar} * E$$

Para aquellos valores que se obtengan cero, en la facturación se coloca el mínimo a pagar por el consumo, se muestra en la **Tabla 9**, según el consumo.

**Tabla 9.** Facturación mínima según el consumo.

Consumo (kWh)	Pago (\$)
Hasta 50	5,96
Hasta 100	10,61
Hasta 150	15,38
Hasta 200	20,21
Hasta 250	25,16
Hasta 300	30,21
Hasta 350	35,38
Hasta 500	51,11
Hasta 700	78,61
Hasta 1.000	120,31
Hasta 1.500	205,76
Hasta 2.500	480,96
Hasta 3.500	916,96

**Tabla 10.** Cálculos de la potencia producida por el SFV y comparación de la facturación mensual sin SFV y con SFV.

Mes	Pti (kWh/mes)	Energía (USD/kWh)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh/mes)	Pneto (kWh/mes)	Saldo (kWh/mes)	Potencia final a facturar (kWh/mes)	Facturación con SFV (\$)
Enero	13.040,66	0,08	1.043,25	12.949	91,66	0	91,66	7,33
Febrero	13.040,66	0,08	1.043,25	10.173	2.867,66	0	2.867,66	229,41
Marzo	13.040,66	0,08	1.043,25	11.930	1.110,66	0	1.110,66	88,85
Abril	13.040,66	0,08	1.043,25	11.524	1.516,66	0	1.516,66	121,33

Mayo	13.040,66	0,08	1.043,25	12.426	614,66	0	614,66	49,17
Junio	13.040,66	0,08	1.043,25	12.265	775,66	0	775,66	62,05
Julio	13.040,66	0,08	1.043,25	13.111	-70,34	-70,34	0	5,96
Agosto	13.040,66	0,08	1.043,25	13.765	-724,34	-794,68	0	5,96
Septiembre	13.040,66	0,08	1.043,25	12.114	926,66	0	131,98	10,56
Octubre	13.040,66	0,08	1.043,25	11.181	1.859,66	0	1.859,66	148,77
Noviembre	13.040,66	0,08	1.043,25	10.645	2.395,66	0	2.395,66	191,65
Diciembre	13.040,66	0,08	1.043,25	11.953	1.087,66	0	1.087,66	87,01
<b>Total</b>			12.519,03					983,17

En la siguiente **Tabla 11** observamos el valor que se ahorró implementando el sistema fotovoltaico, esto lo podemos obtener restando la facturación normal menos la facturación con el sistema fotovoltaico.

$$\text{Ahorro} = \text{Facturación} - \text{FSFV}$$

**Tabla 11.** Ahorro mensual con el sistema fotovoltaico.

Mes	Facturación sin SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Ahorro (\$)
Enero	1.043,25	7,3328	1.035,92
Febrero	1.043,25	229,4128	813,84
Marzo	1.043,25	88,8528	954,40
Abril	1.043,25	121,3328	921,92
Mayo	1.043,25	49,1728	994,08
Junio	1.043,25	62,0528	981,20
Julio	1.043,25	5,96	1.048,88
Agosto	1.043,25	5,96	1.101,20
Septiembre	1.043,25	74,1328	969,12
Octubre	1.043,25	148,7728	894,48
Noviembre	1.043,25	191,6528	851,60
Diciembre	1.043,25	87,0128	956,24
<b>Total</b>	12.519,03	983,17	11.222,89

La tasa de degradación anual de los sistemas fotovoltaicos, que representa la pérdida de eficiencia de los paneles solares con el tiempo, es de 0,5 %. Esto significa que cada año, los paneles solares pierden alrededor del 0,5 % de su capacidad de generación de energía (Large et al., 2015). A continuación, en la **Tabla 12** se muestran el cálculo de depreciación generado durante los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico, y también se muestra los egresos por el mantenimiento anual del sistema, en el año 15 se debe tomar en cuenta el valor del cambio de los inversores, para este caso se tiene un inversor Huawei Technologies SUN2000-20KLT-

M5-400V, que tiene un costo de \$ 4.000, para este sistema se utilizan 4 dando un total de \$ 16000, este valor se vuelve a agregar a los 15 años ya que se deben cambiar los inversores.

**Tabla 12.** Variación del ahorro y egresos en el sistema en los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico.

Año	Ahorro anual SFV (\$)	Egresos anuales SFV (\$)
1	11.222,89	164.236,05
2	11.166,77	817,09
3	11.110,94	817,09
4	11.055,38	817,09
5	11.000,11	817,09
6	10.945,11	817,09
7	10.890,38	817,09
8	10.835,93	817,09
9	10.781,75	817,09
10	10.727,84	817,09
11	10.674,20	817,09
12	10.620,83	817,09
13	10.567,73	817,09
14	10.514,89	817,09
15	10.462,31	16.817,09
16	10.410,00	817,09
17	10.357,95	817,09
18	10.306,16	817,09
19	10.254,63	817,09
20	10.203,36	817,09
21	10.152,34	817,09
22	10.101,58	817,09
23	10.051,07	817,09
24	10.000,82	817,09
25	9.950,81	817,09

El valor del sistema fotovoltaico se obtiene de la página [www.solecuador.com](http://www.solecuador.com) que se muestra en la **Figura 31**. Para el valor del mantenimiento se toma el 0.5 % (Almarza, 2016).



**Figura 31.** Costo del sistema fotovoltaico.

**Tabla 13.** Inversión inicial para industria de bajo voltaje con demanda.

Egresos	
Instalación SFV	\$ 163.418,96
Mantenimiento del sistema	\$ 817,09
Total, inversión inicial	\$ 164.236,05

Los indicadores financieros, VAN, TIR, ROI Y LCOE, se los muestra en la **Tabla 9**, se toma una tasa de interés del 8 %, que es el valor recomendado para tasas de interés activas, dada por el Banco Central del Ecuador.

**Tabla 14.** Análisis de los indicadores financieros para baja potencia

<b>TIR</b>	4 %
<b>VAN</b>	\$ -49.210,69
<b>ROI</b>	32 %
<b>LCOE</b>	\$ 1,39

Podemos notar en la **Tabla 13** el valor del VAN es negativo y el valor del TIR es positivo lo que significa que podemos recuperar nuestra inversión, pero se gana menos de lo que se esperaba, en otras palabras para el caso de estudio el VAN es negativo lo cual nos indica que no tiene viabilidad y ni rentabilidad el proyecto, el TIR nos indica un bajo porcentaje de rentabilidad en comparación con el costo de oportunidad, porque el TIR es menor al 8 % de la tasa de interés de la banca financiera estimada en Ecuador. Mientras que el ROI positivo nos señala que las ganancias o el retorno de la inversión es mayor a los gastos; y para estos casos se estima que deber ser mayor a 400 % (Guía de Retorno de Inversión (ROI) En Paneles Solares., n.d.), y finalmente el LCOE es el valor del costo unitario de la electricidad por toda la vida útil del sistema, que para este caso es de \$1,43, lo cual nos indica que es un valor alto

comparado con los valores dados por IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), que para el 2022 el valor del LCOE para estos sistemas es de \$0,049 (Ini, 2023).

## 6.2. Medio voltaje con demanda

Para obtener el valor de la facturación inicial se multiplica la potencia de consumo de la industria por el valor de energía, ya explicado anteriormente. En la **Tabla 14** se muestran los valores de la potencia que produce el sistema fotovoltaico, la facturación sin el sistema fotovoltaico y la nueva facturación con el sistema fotovoltaico, y por último el ahorro total que se obtiene implementando el sistema fotovoltaico.

**Tabla 15.** Cálculos de ahorro anual para una industria de medio voltaje sin un sistema fotovoltaico y con el sistema implementado.

Mes	Pti (kWh/mes)	Facturación sin SFV (\$)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh/mes)	Pneto (kWh/mes)	Saldo (kWh/mes)	Potencia final a facturar (kWh/mes)	Facturación con SFV (\$)
Enero	13.040,66	0,091	1.186,70	12.949	91,66	0	91,66	8,34106
Febrero	13.040,66	0,091	1.186,70	10.173	2.867,66	0	2.867,66	260,95706
Marzo	13.040,66	0,091	1.186,70	11.930	1.110,66	0	1.110,66	101,07006
Abril	13.040,66	0,091	1.186,70	11.524	1.516,66	0	1.516,66	138,01606
Mayo	13.040,66	0,091	1.186,70	12.426	614,66	0	614,66	55,93406
Junio	13.040,66	0,091	1.186,70	12.265	775,66	0	775,66	70,58506
Julio	13.040,66	0,091	1.186,70	13.111	-70,34	-70,34	0	5,96
Agosto	13.040,66	0,091	1.186,70	13.765	-724,34	-794,68	0	5,96
Septiembre	13.040,66	0,091	1.186,70	12.114	926,66	0	131,98	12,01018
Octubre	13.040,66	0,091	1.186,70	11.181	1.859,66	0	1.859,66	169,22906
Noviembre	13.040,66	0,091	1.186,70	10.645	2.395,66	0	2.395,66	218,00506
Diciembre	13.040,66	0,091	1.186,70	11.953	1.087,66	0	1.087,66	98,97706
Total			14.240,40					1.145,044

En la **Tabla 15** se muestra el ahorro mensual que genera la implementación de SFV, y en la **Tabla 16** se muestran los indicadores financieros para la industria que trabaja con media potencia.

**Tabla 16.** Ahorro mensual con SFV.

Mes	Facturación sin SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Ahorro (\$)
Enero	1.186,70	8,34106	1.178,36
Febrero	1.186,70	260,95706	925,74
Marzo	1.186,70	101,07006	1.085,63
Abril	1.186,70	138,01606	1.048,68
Mayo	1.186,70	55,93406	1.130,77
Junio	1.186,70	70,58506	1.116,12
Julio	1.186,70	5,96	1.193,10

Agosto	1.186,70	5,96	1.252,62
Septiembre	1.186,70	84,32606	1.102,37
Octubre	1.186,70	169,22906	1.017,47
Noviembre	1.186,70	218,00506	968,70
Diciembre	1.186,70	98,97706	1.087,72
<b>Total</b>	14.240,40	1.145,044	13.095,36

**Tabla 17.** Análisis de los indicadores financieros para baja potencia.

<b>TIR</b>	5%
<b>VAN</b>	\$ -30.019,43
<b>ROI</b>	54%
<b>LCOE</b>	\$ 1,39

Podemos notar en la **Tabla 16** el valor del VAN es negativo y el valor del TIR es positivo al igual que el primer caso, con lo que significa que podemos recuperar nuestra inversión, pero con una ganancia menor de lo que se esperaba. Lo mencionado anteriormente se recalca en el ROI que es positivo, lo que nos señala que las ganancias o el retorno de la inversión es mayor a los gastos, aunque la ganancia es mínima, ya que el valor es del 54 %, lo que indica que es un retorno igual a lo invertido, y finalmente el LCOE es el valor del costo unitario de la electricidad por toda la vida útil del sistema en este caso es mayor a lo estipulado en la planilla tarifaria por lo que no es óptima.

### 6.3. Bajo voltaje con demanda horaria

Para el análisis de resultados en los casos con demanda horaria y demanda horaria diferenciada, como se explica al principio del capítulo, se realiza mediante un caso de estudio real en la provincia de Pichincha. El valor del sistema fotovoltaico se obtiene de la página [www.solecuador.com](http://www.solecuador.com) que se muestra en la **Figura 32**. Para el valor del mantenimiento se toma el 0,5 % (Almarza, 2016).



**Figura 32.** Costo para el SFV para una potencia de 12,96 kWp

Para este caso se describe en la **Tabla 18** los valores de costo de la energía dependiendo de la hora a la que se factura, para este caso se tiene solamente dos valores de facturación.

**Tabla 18.** Costo de la energía dependiendo de la hora de consumo

Hora	Energía (USD/kWh)
08:00 hasta 22:00 horas	0,063
22:00 hasta 08:00 horas	0,067

En la **Tabla 19** de consumo y de producción del sistema fotovoltaico, los cuales se los describe en un día y por horas ya que el costo de la energía varía dependiendo la hora de consumo. Para obtener la facturación se lo realiza como en los casos anteriores multiplicando la Pti por energía; para estos casos tenemos un excedente (que se representa con valor negativo), esto se puede notar en la columna de la potencia neta (Pneto), y en la columna de excedente es el resultado de multiplicar todos los valores negativos de Pneto por la energía, y en la columna Pfinal se multiplica los valores positivos por la energía, para luego sumarlos por separado y restar sus resultados para obtener el valor de facturación al implementar el SFV; y para sacar el ahorro se resta el total de la suma de la facturación sin el sistema fotovoltaico menos la facturación final del SFV, esto se muestra en la **Tabla 19**.

**Tabla 19.** Cálculos de facturación de un día para una industria de bajo voltaje con demanda horaria sin SFV y con el sistema implementado del SFV.

Fecha y hora	Pti (kWh)	Energía (USD/kWh)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh)	Pneto (kWh)	Facturación del excedente (\$)	Facturación con SFV (\$)
7/1/2024 0:00	0,611	0,067	0,041	0,000	0,611	0,000	0,041
7/1/2024 1:00	0,604	0,067	0,040	0,000	0,604	0,000	0,040
7/1/2024 2:00	0,608	0,067	0,041	0,000	0,608	0,000	0,041
7/1/2024 3:00	0,603	0,067	0,040	0,000	0,603	0,000	0,040
7/1/2024 4:00	0,601	0,067	0,040	0,000	0,601	0,000	0,040
7/1/2024 5:00	0,596	0,067	0,040	0,000	0,596	0,000	0,040
7/1/2024 6:00	0,596	0,067	0,040	0,166	0,430	0,000	0,029
7/1/2024 7:00	0,726	0,067	0,049	2,813	-2,087	-0,140	0,000
7/1/2024 8:00	1,773	0,067	0,119	5,731	-3,958	-0,265	0,000
7/1/2024 9:00	3,609	0,063	0,227	6,754	-3,145	-0,198	0,000
7/1/2024 10:00	4,086	0,063	0,257	9,332	-5,246	-0,330	0,000
7/1/2024 11:00	3,858	0,063	0,243	9,767	-5,909	-0,372	0,000
7/1/2024 12:00	5,971	0,063	0,376	9,258	-3,287	-0,207	0,000
7/1/2024 13:00	2,126	0,063	0,134	8,261	-6,135	-0,387	0,000
7/1/2024 14:00	1,557	0,063	0,098	8,131	-6,574	-0,414	0,000



7/1/2024 15:00	2,905	0,063	0,183	5,882	-2,977	-0,188	0,000
7/1/2024 16:00	5,156	0,063	0,325	2,651	2,505	0,000	0,158
7/1/2024 17:00	4,836	0,063	0,305	1,196	3,640	0,000	0,229
7/1/2024 18:00	2,406	0,063	0,152	0,035	2,371	0,000	0,149
7/1/2024 19:00	0,593	0,063	0,037	0,000	0,593	0,000	0,037
7/1/2024 20:00	0,608	0,063	0,038	0,000	0,608	0,000	0,038
7/1/2024 21:00	0,601	0,063	0,038	0,000	0,601	0,000	0,038
7/1/2024 22:00	0,608	0,063	0,038	0,000	0,608	0,000	0,038
7/1/2024 23:00	0,613	0,067	0,041	0,000	0,613	0,000	0,041
Total	46,251		2,943	69,977		-2,501	1,001

Para calcular el total del año se toman los valores de consumo y de producción del mes de julio en el caso de estudio, para los meses de abril, junio, septiembre y noviembre se suman estos valores hasta el día 30, para febrero se suma hasta el día 28, y para el resto de meses se realiza como el mes de julio ya que cuentan con 31 días, para el ahorro se resta la facturación del consumo menos el resultado de facturación de excedentes menos facturación con SFV, al obtener un resultado negativo que se lo toma como valor a favor del cliente en facturación final se coloca el mínimo a pagar en ese mes de consumo, se toma ese valor de facturación final ya que los excedentes son mayores, esto nos da un saldo a favor del cliente, por lo que debe pagar un mínimo, esto se muestra en la **Tabla 20**.

**Tabla 20.** Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de bajo voltaje con demanda horaria.

Mes	Pti (kWh/mes)	Facturación (\$)	Psfv (kWh/mes)	Facturación Excedentes SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Facturación final (\$)	Ahorro total (\$)
Enero	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Febrero	1116,720	71,276	1769,258	-66,099	25,079	5,96	65,316
Marzo	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Abril	1241,098	79,177	1916,296	-70,223	27,771	5,96	73,217
Mayo	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Junio	1241,098	79,177	1916,296	-70,223	27,771	5,96	73,217
Julio	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Agosto	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Septiembre	1241,098	79,177	1916,296	-70,223	27,771	5,96	73,217
Octubre	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
Noviembre	1241,098	79,177	1916,296	-70,223	27,771	5,96	73,217
Diciembre	1297,845	82,784	1993,719	-72,578	28,827	5,96	76,824
TOTAL	15166,027	967,468	23390,475	-855,038	337,948	71,52	895,948

En la **Tabla 21** se muestra el total del mes generado del SFV, el número negativo se lo obtiene de restar la facturación del SFV menos los excedentes, este es un valor a favor del cliente ya que es negativo, el valor real a facturar es de \$ 5,96 y para el ahorro total se lo obtiene de restar el valor de la facturación final menos la facturar sin SFV.

**Tabla 21.** Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de bajo voltaje con demanda horaria.

	Valor a favor (Descuento)	Valores totales
<b>Valor a pagar con el SFV en un mes</b>	-43,751	5,96
<b>Ahorro del mes de julio (\$)</b>		39,032
<b>Ahorro anual (\$)</b>		895,948

En la **Tabla 22** se muestra la depreciación del sistema en los 25 años de vida útil que como ya se explicó anteriormente, la pérdida de eficiencia de los paneles solares con el tiempo, es de 0,5 %. Esto significa que cada año, los paneles solares pierden alrededor del 0,5 % de su capacidad de generación de energía (Large et al., 2015). También en la misma tabla se observa los gastos que se tiene en el sistema desde el año uno donde es la instalación y en los años posteriores se considera el egreso por mantenimiento, hasta el año 15 donde se suma el valor del cambio de inversores, en este caso los inversores son Fronius Primo 3,8-1 208-240 WLAN/LAN/Webserver, que tienen un precio unitario de \$ 1.647,53, se usan para este sistema 3 inversores dando un total de \$ 4.942,59.

**Tabla 22.** Variación del ahorro y egresos en el sistema en los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico de la industria de bajo voltaje con demanda horaria.

Año	Ahorro anual SFV (\$)	Egresos anuales SFV (\$)
1	895,948	26631,314
2	891,468	132,494
3	887,011	132,494
4	882,576	132,494
5	878,163	132,494
6	873,772	132,494
7	869,403	132,494
8	865,056	132,494
9	860,731	132,494
10	856,428	132,494
11	852,145	132,494
12	847,885	132,494
13	843,645	132,494

14	839,427	132,494
15	835,230	5075,084
16	831,054	132,494
17	826,898	132,494
18	822,764	132,494
19	818,650	132,494
20	814,557	132,494
21	810,484	132,494
22	806,432	132,494
23	802,400	132,494
24	798,388	132,494
25	794,396	132,494

Para saber si el sistema es viable financieramente, se analizan los indicadores del VAN, TIR, LCOE y ROI, los resultados obtenidos para este caso se muestran en la **Tabla 23**, para obtener el valor del VAN se toma la tasa de interés dada por el Banco Central del Ecuador del 8 %.

**Tabla 23.** *Indicadores financieros de rentabilidad del sistema bajo voltaje con demanda horaria.*

<b>VAN</b>	\$ -17.448,58
<b>TIR</b>	-6 %
<b>ROI</b>	-29 %
<b>LCOE</b>	\$ 14,95

Se analiza que la rentabilidad para este sistema no es bueno ya que los valores del VAN es negativo lo que indica que no se recupera la inversión inicial, por lo que no se obtiene una ganancia para cubrir los gastos que requiere el sistema en el periodo de tiempo estimado, y el indicador TIR también es negativo por lo que podemos concluir que la rentabilidad en los intereses a recibir por la inversión van hacer bajos, porque nos indica que la inversión generará un rendimiento inferior a la tasa de descuento.

Los analizado anteriormente se reafirma con el resultado del ROI que también es negativo, lo que nos señala hay pérdidas en el rendimiento económico de la inversión, ya que los gastos son mayores a los ingresos y finalmente el LCOE es el valor del costo unitario de la electricidad por toda la vida útil del sistema, lo que es un valor mayor al estimado en el pliego tarifario por lo que nos indica que no es beneficioso para la industria.

#### 6.4. Medio voltaje con demanda horaria diferenciada

El análisis para obtener los valores de facturación si SFV y con SFV es igual al caso anterior. Para la industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada se consideran los costos de energía de lunes a viernes en tres periodos, y sábado y domingo el valor cambia desde las 18:00 hasta las 22:00, estos valores se observan en la **Tabla 24**.

**Tabla 24.** Costo de la energía para la industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.

Hora	Energía (USD/kWh)
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	0,0905
L-V 18:00 hasta 22:00 horas	0,1045
L-V 22:00 hasta 08:00 horas	0,074
S, D 18:00 hasta 22:00	0,0905

En la **Tabla 25** se muestra los valores de la potencia de consumo de la industria y la producción del SFV en un día de consumo, también se muestra la facturación de la energía sin el sistema fotovoltaico y la facturación de la energía con el SFV.

**Tabla 25.** Cálculos de facturación de un día para una industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada sin SFV y con el sistema implementado del SFV.

Fecha y hora	Pti (kWh)	Energía (USD/kWh)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh)	Pneto (kWh)	Facturación del excedente (\$)	Facturación con SFV (\$)
7/1/2024 0:00	0,611	0,074	0,045	0,000	0,611	0,000	0,045
7/1/2024 1:00	0,604	0,074	0,045	0,000	0,604	0,000	0,045
7/1/2024 2:00	0,608	0,074	0,045	0,000	0,608	0,000	0,045
7/1/2024 3:00	0,603	0,074	0,045	0,000	0,603	0,000	0,045
7/1/2024 4:00	0,601	0,074	0,044	0,000	0,601	0,000	0,044
7/1/2024 5:00	0,596	0,074	0,044	0,000	0,596	0,000	0,044
7/1/2024 6:00	0,596	0,074	0,044	0,166	0,430	0,000	0,032
7/1/2024 7:00	0,726	0,074	0,054	2,813	-2,087	-0,154	0,000
7/1/2024 8:00	1,773	0,074	0,131	5,731	-3,958	-0,293	0,000
7/1/2024 9:00	3,609	0,091	0,327	6,754	-3,145	-0,285	0,000
7/1/2024 10:00	4,086	0,091	0,370	9,332	-5,246	-0,475	0,000
7/1/2024 11:00	3,858	0,091	0,349	9,767	-5,909	-0,535	0,000
7/1/2024 12:00	5,971	0,091	0,540	9,258	-3,287	-0,297	0,000
7/1/2024 13:00	2,126	0,091	0,192	8,261	-6,135	-0,555	0,000
7/1/2024 14:00	1,557	0,091	0,141	8,131	-6,574	-0,595	0,000
7/1/2024 15:00	2,905	0,091	0,263	5,882	-2,977	-0,269	0,000

7/1/2024 16:00	5,156	0,091	0,467	2,651	2,505	0,000	0,227
7/1/2024 17:00	4,836	0,091	0,438	1,196	3,640	0,000	0,329
7/1/2024 18:00	2,406	0,091	0,218	0,035	2,371	0,000	0,215
7/1/2024 19:00	0,593	0,105	0,062	0,000	0,593	0,000	0,062
7/1/2024 20:00	0,608	0,105	0,064	0,000	0,608	0,000	0,064
7/1/2024 21:00	0,601	0,105	0,063	0,000	0,601	0,000	0,063
7/1/2024 22:00	0,608	0,105	0,064	0,000	0,608	0,000	0,064
7/1/2024 23:00	0,613	0,074	0,045	0,000	0,613	0,000	0,045
Total	46,251		4,098	69,977		-2,115	1,368

En la **Tabla 26** se muestra la facturación del consumo por meses sin SFV y los valores de facturación y excedentes de facturación, incluyendo el ahorro por meses y total del año, igual que en el caso anterior los excesos son mayores, por lo que se debe pagar el mínimo descrito en la facturación final. Para la **Tabla 27** se muestra un resumen de los valores descritos en la **Tabla 26**.

**Tabla 26.** Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.

Mes	Pti (kWh/mes)	Facturación (\$)	Psfv (kWh/mes)	Facturación Excedentes SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Facturación final (\$)	Ahorro total (\$)
Enero	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Febrero	1116,720	99,363	1769,258	-92,302	34,001	5,96	93,403
Marzo	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Abril	1241,098	110,431	1916,296	-97,976	37,736	5,96	104,471
Mayo	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Junio	1241,098	110,431	1916,296	-97,976	37,736	5,96	104,471
Julio	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Agosto	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Septiembre	1241,098	110,431	1916,296	-97,976	37,736	5,96	104,471
Octubre	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
Noviembre	1241,098	110,431	1916,296	-97,976	37,736	5,96	104,471
Diciembre	1297,845	115,557	1993,719	-101,245	39,239	5,96	109,597
TOTAL	15.166,027	1.349,982	23390,475	-1192,917	459,619	71,52	1.278,462

**Tabla 27.** Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.

	Valor a favor (Descuento)	Valores totales
Valor a pagar con el SFV en un mes (\$)	-62,005	5,96
Ahorro del mes de julio (\$)		10,597

Ahorro anual (\$)		1.278,462
-------------------	--	-----------

Teniendo estos valores y la inversión inicial se puede calcular los indicadores financieros para observar la viabilidad del sistema, estos valores se muestran en la **Tabla 28**.

**Tabla 28.** *Indicadores financieros de medio voltaje con demanda horaria diferenciada.*

<b>VAN</b>	\$ -13.528,13
<b>TIR</b>	-4 %
<b>ROI</b>	1 %
<b>LCOE</b>	\$ 14,95

Al igual que en el caso de bajo voltaje con demanda horaria la rentabilidad para este sistema no es factible ya que se obtienen valores negativos en el VAN y en el TIR se obtiene un valor negativo también, por lo que si se tienen estos valores negativos el proyecto no es rentable económicamente, porque solo se obtienen pérdidas. El ROI es positivo, pero es un valor muy bajo, lo que indica que los ingresos son ligeramente superiores a los gastos y el LCOE es muy alto para estos sistemas comparándolos con el valor que se establece en el plan tarifario para este tipo de clientes.

### 6.5. Alto voltaje con demanda horaria diferenciada

Para el caso para industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada se consideran los costos de energía de lunes a viernes en tres periodos y sábado y domingo otro costo desde las 18:00 hasta las 22:00, estos valores se observan en la **Tabla 29**.

**Tabla 29.** *Costos de energía sector industrial de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.*

Hora	Energía (USD/kWh)
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	0,0835
L-V 18:00 hasta 22:00 horas	0,0955
L-V 22:00 hasta 08:00 horas	0,073
S, D 18:00 hasta 22:00	0,0835

Para obtener los valores de facturación sin el SFV y con la implementación del SFV, se usa el mismo análisis de los dos casos anteriores, los resultados se muestran en la **Tabla 30**, en la **Tabla 31** se muestra la facturación del consumo por meses sin SFV y los valores de facturación y excedentes de facturación con el SVF por meses, incluyendo el ahorro por meses y total del año, y en la **Tabla 32** los resultados de la facturación total al implementar el sistema fotovoltaico y el ahorro total.

**Tabla 30.** Cálculos de facturación de un día para una industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada sin SFV y con el sistema implementado del SFV.

Fecha y hora	Pti (kWh)	Energía (USD/kWh)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh)	Pneto (kWh)	Facturación del excedente (\$)	Facturación con SFV (\$)
7/1/2024 0:00	0,611	0,073	0,045	0,000	0,611	0,000	0,045
7/1/2024 1:00	0,604	0,073	0,044	0,000	0,604	0,000	0,044
7/1/2024 2:00	0,608	0,073	0,044	0,000	0,608	0,000	0,044
7/1/2024 3:00	0,603	0,073	0,044	0,000	0,603	0,000	0,044
7/1/2024 4:00	0,601	0,073	0,044	0,000	0,601	0,000	0,044
7/1/2024 5:00	0,596	0,073	0,044	0,000	0,596	0,000	0,044
7/1/2024 6:00	0,596	0,073	0,043	0,166	0,430	0,000	0,031
7/1/2024 7:00	0,726	0,073	0,053	2,813	-2,087	-0,152	0,000
7/1/2024 8:00	1,773	0,073	0,129	5,731	-3,958	-0,289	0,000
7/1/2024 9:00	3,609	0,084	0,301	6,754	-3,145	-0,263	0,000
7/1/2024 10:00	4,086	0,084	0,341	9,332	-5,246	-0,438	0,000
7/1/2024 11:00	3,858	0,084	0,322	9,767	-5,909	-0,493	0,000
7/1/2024 12:00	5,971	0,084	0,499	9,258	-3,287	-0,274	0,000
7/1/2024 13:00	2,126	0,084	0,178	8,261	-6,135	-0,512	0,000
7/1/2024 14:00	1,557	0,084	0,130	8,131	-6,574	-0,549	0,000
7/1/2024 15:00	2,905	0,084	0,243	5,882	-2,977	-0,249	0,000
7/1/2024 16:00	5,156	0,084	0,431	2,651	2,505	0,000	0,209
7/1/2024 17:00	4,836	0,084	0,404	1,196	3,640	0,000	0,304
7/1/2024 18:00	2,406	0,084	0,201	0,035	2,371	0,000	0,198
7/1/2024 19:00	0,593	0,096	0,057	0,000	0,593	0,000	0,057
7/1/2024 20:00	0,608	0,096	0,058	0,000	0,608	0,000	0,058
7/1/2024 21:00	0,601	0,096	0,057	0,000	0,601	0,000	0,057
7/1/2024 22:00	0,608	0,096	0,058	0,000	0,608	0,000	0,058
7/1/2024 23:00	0,613	0,073	0,045	0,000	0,613	0,000	0,045
Total	46,251		3,814	69,977		-3,220	1,282

**Tabla 31.** Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.

Mes	Pti (kWh/mes)	Facturación (\$)	Psfv (kWh/mes)	Facturación Excedentes SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Facturación final (\$)	Ahorro total (\$)
Enero	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Febrero	1116,720	92,381	1769,258	-85,785	31,990	10,61	81,771
Marzo	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Abril	1241,098	102,662	1916,296	-91,073	35,477	10,61	92,052
Mayo	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Junio	1241,098	102,662	1916,296	-91,073	35,477	10,61	92,052

Julio	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Agosto	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Septiembre	1241,098	102,662	1916,296	-91,073	35,477	10,61	92,052
Octubre	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
Noviembre	1241,098	102,662	1916,296	-91,073	35,477	10,61	92,052
Diciembre	1297,845	107,421	1993,719	-94,113	36,885	10,61	96,811
TOTAL	15.166,027	1.254,980	23390,475	-1.108,869	432,095	127,32	1.127,660

**Tabla 32.** Descuento del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.

	Valor a favor (Descuento)	Valores totales
<b>Valor a pagar con el SFV en un mes (\$)</b>	-57,228	10,61
<b>Ahorro del mes de julio (\$)</b>		96,052
<b>Ahorro anual (\$)</b>		1.127,660

Los valores de los indicadores financieros se muestran en la **Tabla 33**.

**Tabla 33.** Indicadores financieros alto voltaje con demanda horaria diferenciada.

<b>VAN</b>	\$ -15.073,73
<b>TIR</b>	-4 %
<b>ROI</b>	-11 %
<b>LCOE</b>	\$ 14,95

Al igual que en los dos casos anteriores los indicadores nos muestran que para este caso no es factible el sistema, ya que los valores que indican esta característica son negativos y el LCOE es muy alto al estimado según lo mencionado anteriormente en el caso de las industrias de bajo voltaje sin demanda.

### 6.6. Alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2 –AV2)

El análisis de la tabla de los valores de potencia a facturar es el mismo que en los tres casos anteriores. Para este tipo de consumo en clientes industriales se describen el costo de la energía según la hora de consumo en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.** Costos de energía sector industrial de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.

Hora	Energía (USD/kWh)
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	0,0678
L-V 18:00 hasta 22:00 horas	0,0814
L-V 22:00 hasta 08:00 horas	0,0543
S, D 18:00 hasta 22:00	0,0678



Para obtener los valores de facturación sin el SFV y con la implementación del SFV, se usa el mismo análisis de los dos casos anteriores, los resultados se muestran en la **Tabla 35**, la **Tabla 36** se muestra la facturación del consumo por meses sin SFV y los valores de facturación y excedentes de facturación con el SFV por meses, incluyendo el ahorro por meses y total del año, y en la **Tabla 37** los resultados de la facturación total al implementar el sistema fotovoltaico y el ahorro total.

**Tabla 35.** *Cálculos de facturación de un día para una industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2-AV2) sin SFV y con el sistema implementado del SFV.*

Fecha y hora	Pti (kWh)	Energía (USD/kWh)	Facturación sin SFV (\$)	PSFV (kWh)	Pneto (kWh)	Facturación del excedente (\$)	Facturación con SFV (\$)
7/1/2024 0:00	0,611	0,0543	0,0331773	0,000	0,611	0,0000	0,033
7/1/2024 1:00	0,604	0,0543	0,0327972	0,000	0,604	0,0000	0,033
7/1/2024 2:00	0,608	0,0543	0,0330144	0,000	0,608	0,0000	0,033
7/1/2024 3:00	0,603	0,0543	0,0327429	0,000	0,603	0,0000	0,033
7/1/2024 4:00	0,601	0,0543	0,0326343	0,000	0,601	0,0000	0,033
7/1/2024 5:00	0,596	0,0543	0,0323628	0,000	0,596	0,0000	0,032
7/1/2024 6:00	0,596	0,0543	0,03234217	0,166	0,430	0,0000	0,023
7/1/2024 7:00	0,726	0,0543	0,03943538	2,813	-2,087	-0,1133	0,000
7/1/2024 8:00	1,773	0,0543	0,09624838	5,731	-3,958	-0,2149	0,000
7/1/2024 9:00	3,609	0,0678	0,24467935	6,754	-3,145	-0,2132	0,000
7/1/2024 10:00	4,086	0,0678	0,277043	9,332	-5,246	-0,3557	0,000
7/1/2024 11:00	3,858	0,0678	0,26158596	9,767	-5,909	-0,4006	0,000
7/1/2024 12:00	5,971	0,0678	0,40485821	9,258	-3,287	-0,2229	0,000
7/1/2024 13:00	2,126	0,0678	0,14413602	8,261	-6,135	-0,4160	0,000
7/1/2024 14:00	1,557	0,0678	0,10554019	8,131	-6,574	-0,4457	0,000
7/1/2024 15:00	2,905	0,0678	0,19692917	5,882	-2,977	-0,2018	0,000
7/1/2024 16:00	5,156	0,0678	0,34959917	2,651	2,505	0,0000	0,170
7/1/2024 17:00	4,836	0,0678	0,32789233	1,196	3,640	0,0000	0,247
7/1/2024 18:00	2,406	0,0678	0,16314443	0,035	2,371	0,0000	0,161
7/1/2024 19:00	0,593	0,0814	0,0482702	0,000	0,593	0,0000	0,048
7/1/2024 20:00	0,608	0,0814	0,0494912	0,000	0,608	0,0000	0,049
7/1/2024 21:00	0,601	0,0814	0,0489214	0,000	0,601	0,0000	0,049
7/1/2024 22:00	0,608	0,0814	0,0494912	0,000	0,608	0,0000	0,049
7/1/2024 23:00	0,613	0,0543	0,0332859	0,000	0,613	0,0000	0,033
Total	46,256		3,070	69,977		-2,584	1,027

**Tabla 36.** Descripción del ahorro generado del SFV para industrias de alto voltaje con demanda horaria diferenciada Grupo 2 (AV-2).

Mes	Pti (kWh/mes)	Facturación (\$)	Psfv (kWh/mes)	Facturación Excedentes SFV (\$)	Facturación con SFV (\$)	Facturación final (\$)	Ahorro total (\$)
Enero	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Febrero	1116,720	74,194	1769,258	-68,924	25,398	10,61	63,584
Marzo	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Abril	1241,098	82,487	1916,296	-73,162	28,204	10,61	71,877
Mayo	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Junio	1241,098	82,487	1916,296	-73,162	28,204	10,61	71,877
Julio	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Agosto	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Septiembre	1241,098	82,487	1916,296	-73,162	28,204	10,61	71,877
Octubre	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
Noviembre	1241,098	82,487	1916,296	-73,162	28,204	10,61	71,877
Diciembre	1297,845	86,345	1993,719	-75,605	29,351	10,61	75,735
TOTAL	15166,027	1008,558	23390,475	-890,808	343,669	10,61	881,238

**Tabla 37.** Excedentes del SFV, ahorro total generado en el mes de julio, y ahorro anual de la industria de alto voltaje con demanda horaria diferenciada.

	Valor a favor (Descuento)	Valores totales
<b>Valor a pagar con el SFV en un mes (\$)</b>	-46,254	10,61
<b>Ahorro del mes de julio (\$)</b>		75,735
<b>Ahorro anual (\$)</b>		881,238

**Tabla 38.** Indicadores financieros alto voltaje con demanda horaria diferenciada Grupo 2 (AV-2).

<b>VAN</b>	\$ -7.845,74
<b>TIR</b>	-6 %
<b>ROI</b>	-30 %
<b>LCOE</b>	\$ 14,95

Se analiza según los resultados obtenidos en los indicadores financieros que la implementación de SFV no es rentable para este tipo de industrias ya que se observa al igual que los tres casos anteriores que los valores del VAN y TIR son negativos con lo que nos da a conocer que no hay rentabilidad económica en el proyecto, además el ROI es negativo nos indica la pérdida de dinero, y LCOE que es el costo de la energía planeada con el sistema fotovoltaico es alto.

## 7. Discusión

Para el inicio del proyecto, se realizó una búsqueda exhaustiva de información relacionada con conceptos importantes sobre la radiación solar, conocer sobre la energía renovable y los sistemas fotovoltaicos, la investigación se centra en la implementación de los sistemas fotovoltaicos para el sector industrial en Ecuador, por lo que se analiza cómo este sector se encuentra actualmente, y se lo compara con casos similares implementados a nivel mundial, y describe los desafíos y nuevas tecnologías que se presentan a futuro en este ámbito. El proyecto no se limita a un aspecto teórico, se trata de analizar también el aspecto técnico y económico en la implementación de los sistemas fotovoltaicos en la industria ecuatoriana, por lo cual primero se simula, en PVSyst, un sistema fotovoltaico con una producción energética menor a 13.040,66 kWh, este es el consumo mensual mencionado por (ARCERNNR, 2023a), ya que en la regulación realizada por la ARCERNNR menciona que los sistemas fotovoltaicos no debe sobrepasar el nivel energético de consumo. Se puede decir, que la implementación de estos sistemas en el sector industrial, es positivo ya que se genera energía su propia energía y también ayuda a tener una inyección extra para industrias que necesitan realizar trabajos que demanden mucho consumo de energía y así no colapsar la red eléctrica pública, dando una diversificación en la matriz energética del país, y a parte de la gran reducción del consumo de los combustibles convencionales, reduciendo la emisión de  $CO_2$ . En el proyecto se realiza el análisis para cuatro tipos distintos de industria dependiendo del voltaje que necesita el consumidor, estas son: bajo voltaje con demanda, medio voltaje con demanda, alto voltaje con demanda horaria diferenciado y alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2), y se observa el impacto económico que se obtiene al implementar estos sistemas, con el análisis del retorno de inversión.

Para el primer objetivo “**Analizar el funcionamiento del sector eléctrico en clientes industriales**”, primeramente se describió como se encuentra la generación de energía en el país donde la generación mediante hidroeléctricas es de 79 %, y también se identificó en la recolección de bibliografía que en Ecuador se maneja seis tipos de clientes industriales dependiendo de su consumo, estos son: bajo voltaje con demanda, bajo volta con demanda horaria, medio voltaje con demanda, medio voltaje con demanda horaria diferenciado, alto voltaje con demanda horaria diferenciada y alto voltaje con demanda horaria diferenciado (Grupo-AV2).

Para el segundo **“Identificar el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos aplicados al sector industrial”**, se realizó una investigación de bibliografía amplia que se detalla en el capítulo 2, donde se describe los tipos de sistemas fotovoltaicos, los componentes que lo conforman y el funcionamiento, especialmente en el apartado 2.6, titulado “Sistemas fotovoltaicos para industrias”, se detalla en qué tipo de industrias se utilizan estos sistemas, recalcando que estos sistemas buscan brindar eficiencia energética en este sector. También se describe la regulación de estos sistemas mediante la ARCERNNR (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables), y actualizada en el 2023, donde se detalla que estos sistemas deben ser legalizados por medio de la distribuidora de energía de la región, para constatar los parámetros técnicos, ya que la empresa distribuidora tiene el deber de cambiar el medidor normal aun medidor bidireccional para que la industria siga trabajando, aunque falle el SFV, y también si se va a entregar energía a la red principal. También en la ARCERNNR 001-2021 describe que para un sistema fotovoltaico residencial se tiene una capacidad máxima de 100 kW ampliable hasta 300 kW, y para usuarios industriales su capacidad máxima es de 1 MW. La duración del convenio que se firma con la empresa eléctrica es de 25 años renovables. La normativa permite que un usuario puede acumular excedente de energía hasta por 24 meses.

Para cumplir el tercer objetivo **“Establecer los posibles beneficios económicos que presentan los sistemas fotovoltaicos en clientes industriales”**, se realizó primeramente una simulación realizada en PVSyst, que nos ayudó a obtener datos de producción mensual de energía, de un sistema fotovoltaico de 84 kWp, y también nos estima el número de paneles e inversores que se deben utilizar para la implementación, esto es necesario ya que necesitamos conocer el valor inicial de inversión para obtener un análisis de inversión, los indicadores que nos ayudan a verificar si el sistema es rentable son VAR y TIR, descritos en el apartado 3.2.3 y 3.2.4. Para cumplir este objetivo se realiza el análisis económico en los escenarios planteados anteriormente, describiendo lo que debe pagar el consumidor sin el sistema fotovoltaico, y después se hace la comparación de valor a pagar implementando el sistema, también se toma en cuenta que el sistema tiene una vida útil de 25 años, y cada año el sistema sufre una depreciación del 0,5 %, esto se describe en el capítulo 4.

Para los cuatro casos donde se tiene un horario diferenciado se usa un caso de estudio real, ya que no se cuenta con información que describa el consumo por horas de los clientes

industriales, se considera una industria de producción de alimentos en la provincia de Pichincha, con una potencia de 12.96 kWp, dándonos como estimado un total de 32 paneles solares de 405 Wp, con una inclinación de 15°, y un número de inversores de 3, es importante conocer estos factores ya que para poder desarrollar el análisis económico del VAN y TIR, se debe conocer la inversión inicial, igualmente se toma a consideración el interés del 8 % y un tiempo de vida útil de 25 años, que es el estándar en estos sistemas, en el capítulo 4 se detalla los resultados obtenidos.

Para poder finalizar el proyecto se analiza los indicadores financieros VAN y TIR que brindan un conocimiento sobre la rentabilidad en la inversión de un proyecto, y el LCOE que es un indicador que nos ayuda a observar si el precio de la energía es menor o mayor a la estima por la empresa distribuidora. Las condiciones óptimas para que el proyecto sea viable son que el VAN sea mayor a cero y TIR sea mayor al costo de capital; mientras que el LCOE se encuentre por debajo del precio convencional de energía que se consume. Para realizar este análisis se debe considerar los siguientes factores: el costo de capital y la inversión inicial. Los valores obtenidos en el VAN y TIR en los casos de estudio planteados, no son favorables ni optimistas con el costo de capital del 8 %. Los valores obtenidos en el LCOE se aprecia un incremento, esto nos indica que es el precio que tendría que pagar el usuario sin el sistema fotovoltaico.

Al comparar los resultados de los indicadores financieros se observa que en los 6 casos no se puede obtener una rentabilidad económica, pero en los dos primeros no hay pérdida muy grande ya que el VAN es negativo pero el TIR positivo, como se explicó anteriormente, se gana menos de lo que se estima, mientras que en los cuatro casos posteriores el VAN y TIR son negativos lo que indica que no hay un retorno de inversión. Vemos un caso en donde el indicador LCOE para SFV que se estima en E.E.U.U tiene un valor de 0,055 (USD/kWh), comparando con el costo de la energía que actualmente subió a 0,1547 (USD/kWh), por lo que en este país es rentable; mientras que comparando los LCOE en los casos descritos anteriormente se observa que los más bajos están en bajo voltaje con demanda y medio voltaje con demanda con un valor de \$ 1,39, pero no es factible ya que normalmente estas industrias tienen un costo de energía de \$ 0,078 en bajo voltaje y 0,091 para medio voltaje. Se describen los resultados de los seis casos en la siguiente **Tabla 39**.

**Tabla 39.** Resultados de los indicadores financieros de los seis casos de estudio.

	VAN	TIR	ROI	LCOE
Bajo voltaje con demanda	\$-49.210,69	4%	32%	\$1,39
Medio voltaje con demanda	\$-30.019,43	5%	54%	\$1,39
Bajo voltaje con demanda horaria	\$-22.015,30	-6%	-63%	\$14,95
Medio voltaje con demanda horaria diferenciada	\$-20.310,82	-4%	-51%	\$14,95
Alto voltaje con demanda horaria diferenciada	\$-20.458,05	-4%	-52%	\$14,95
Alto voltaje con demanda horaria diferenciada (Grupo 2-AV2)	\$-16.795,12	-6%	-64%	\$14,95

## 8. Conclusiones

- Con el uso del software PVSYST se dimensionó el sistema fotovoltaico con un valor cercano al consumo promedio de una industria en Ecuador que de acuerdo con el balance energético del 2023 que es de 13.040,66 kWh/mes, considerando una potencia 84 kWp/mes, obteniendo como resultado el uso de 152 paneles solares de 550 Wp de la marca JSolar, y con una distribución de 19 paneles en cuatro cadenas por orientación, y un total de 4 inversores de la marca Huawei Technologies de 20 kW.
- Para el estudio de caso se analiza el consumo generado y la producción del SFV en el mes de julio, dando una potencia de 12,96 kWp/mes, obteniendo así que el número de paneles de 405 Wp necesarios para cubrir esta potencia es de 32, y 3 inversores de red Fronius Primo.
- Los valores obtenidos del VAN son negativos en todos los casos de estudio, lo cual indica que los proyecto no tiene rentabilidad financiera, pero el TIR es positivo para los casos de bajo voltaje con demanda y medio voltaje con demanda, por lo que se puede concluir que, según los indicadores financieros el proyecto recupera la inversión, pero se gana menos de lo que se esperaba.
- Para el indicar del ROI en los dos primeros casos de estudio es positivo y del caso de medio voltaje con demanda horaria, lo que nos señala que las ganancias o el retorno de la inversión es mayor a los gastos, obteniendo una ganancia es mínima, mientras que los cuatro últimos casos el ROI es negativo, indicando que estos proyectos no tienen ganancia; ya que para estos sistemas se estima que un ROI de 400 % que es aceptable para este tipo de proyectos, estos valores de ROI se obtiene en el ahorro anual acumulado en la facturación mensual eléctrica, y que los gastos por a lo largo de los 25 años son en mantenimiento y el cambio de inversores cada 15 años.
- Se puede concluir que mediante los indicadores financieros los sistemas que podrían tener rentabilidad y factibilidad son los de bajo voltaje con demanda y medio voltaje con demanda, ya que en el TIR obtenemos un valor positivo, aunque el VAN sea negativo, lo que nos indica que, aunque no se tenga un retorno de inversión alto, no se pierde totalmente en la inversión durante el

periodo de tiempo estimado como se observa en los otros casos con demanda horaria.

- El indicador LCOE para SFV en los 6 casos son altos, pero destacan los valores de los 4 últimos casos ya que su valor es excesivamente alto para los valores que pagan del consumo sin el SFV descritos en el pliego tarifario.
- Basado en los análisis anteriores se identificó la no viabilidad del costo-beneficio para la implementación de SFV en los 6 casos, por los valores negativos obtenidos en el indicador financiero del VAN.



## 9. Recomendaciones

- Es aconsejable que para futuras investigaciones se actualicen los datos del consumo mensual y anual del sector industrial, ya que se está analizando con valores disponibles del 2022, la confiabilidad en estos datos nos ayuda a tener una visión actual de cómo se encuentra el sector industrial.
- Se sugiere un análisis y comparación de sistemas fotovoltaicos con un sistema de almacenamiento con baterías, y comparar los factores económicos con el sistema del proyecto, y observar la rentabilidad en ambos casos.
- Es de suma importancia contar con una cotización real para poder estimar los valores reales de la inversión inicial del proyecto, y conseguir los resultados de los indicadores financieros exactos.
- En este proyecto se destaca la importancia de considerar los indicadores financieros, especialmente VAN y TIR, antes de realizar el proyecto, ya que estos nos dan a conocer la rentabilidad del mismo en un periodo de tiempo, para estos sistemas de 25 años.

## 10. Bibliografía

- Acelerador PVSYST | Academia Energía Solar.* (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://www.academiaenergiasolar.com/p/acelerador-pvsyst>
- Almarza, D. (2016). *Guía de Operación y Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.* 79.
- Alvarado, S., Arnett, J., Sornoza, R., & Diego, J. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA : INGENIERÍA ELÉCTRICA PROYECTO DE TITULACIÓN TEMA “ ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA AQI SYSTEM EN LA INDUSTRIA DE CULTIVO ACUÍCOLA .” TRABAJO DE T.*
- ARCERNNR. (2021). Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano. *Estadística Anual Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano*, 178.
- ARCERNNR. (2023a). Balance Energético del Ecuador. *Instituto de Investigación Geológico y Energético- IIGE*, 1–160. [https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Balance-Energetico-Nacional-BEN-2022\\_.pdf](https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Balance-Energetico-Nacional-BEN-2022_.pdf)
- ARCERNNR. (2023b). *Pliego-Tarifario-SPEE-2024* (p. 39).
- ARCONEL. (2007). *Nro. ARCONEL-003/18.* <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu186444.pdf>
- Autosolar. (2024). *Placas solares autoconsumo fotovoltaico | Kit solar autoconsumo.* <https://autosolar.es/kits-solares-conexion-red>
- Basantes, X. (2023). *La capacidad de generación de energía solar y eólica tiene mayor crecimiento.* <https://youtopiaecuador.com/energia-solar-eolica-capacidad-generacion/>
- BBVA. (2023, October 16). *¿Qué tipos de placas solares existen y para qué se utilizan?* <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-placas-solares-existen-y-para-que-se-utilizan/>
- Choi, Y., & Song, J. (2017). Review of photovoltaic and wind power systems utilized in the mining industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(xxxx), 1386–1391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.127>
- Ciudades - Desarrollo Sostenible.* (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- 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)

- ConsultoraMultiplica. (2024, May 19). *Revista Gestión | Ecuador a oscuras: una historia energética marcada por la ineficiencia*. <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/ecuador-oscuras-una-historia-energetica-marcada-por-la-ineficiencia/>
- Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Corporación Eléctrica del Ecuador* -. (n.d.). Retrieved April 1, 2024, from <https://www.celec.gob.ec/>
- Dale, M., & Benson, S. M. (2013). Energy balance of the global photovoltaic (PV) industry -is the PV industry a net electricity producer? *Environmental Science and Technology*, 47(7), 3482–3489. [https://doi.org/10.1021/ES3038824/SUPPL\\_FILE/ES3038824\\_SI\\_002.PDF](https://doi.org/10.1021/ES3038824/SUPPL_FILE/ES3038824_SI_002.PDF)
- Energía - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- ETWCloud. (2024). *Sistema Solar Fotovoltaico sin Conexión a la Red Eléctrica Fabricante | ETW Mexico*. <https://mx.etwinternational.com/2-1-off-grid-solar-power-system-57321.html>
- Grijalva, C., & Vélez, F. (2020). “Estudio e implementación de un Sistema Fotovoltaico aplicado a luminarias: Caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero”. In *Universidad Politecnica Salesiana* (Vol. 0, Issue 0). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>
- Guía de Retorno de Inversión (ROI) en paneles solares*. (n.d.). Retrieved July 30, 2024, from <https://www.mansur-solar.com/2023/09/guia-retorno-de-inversion-paneles-solares/>
- Hassaine, L., Olias, E., Quintero, J., & Salas, V. (2014). Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 796–807. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.005>
- HelioScope, herramienta para sistemas fotovoltaicos | KeeUI Solar*. (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://keeui.com/2021/03/19/helioscope-herramienta-para-sistemas-fotovoltaicos/>
- Inca, G., Villalta, D., Cabrera, H., Cabrera, D., & Bautista, R. (2023). *Vista de Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10389>

- Inca Yajamín, G. S., Cabrera Carrión, D. F., Villalta Gualán, D. F., Bautista Zurita, R. C., & Cabrera Carrion, H. D. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 9493–9509. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i3.6835](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835)
- Infraestructura - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- Ini, L. (2023). *Costos de generación de energía renovable en 2022*. <https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/08/30/segun-irena-en-2022-el-lcoe-de-los-proyectos-fotovoltaicos-a-gran-escala-disminuyo-un-3/>
- Jiménez-Castillo, G., Muñoz-Rodríguez, F. J., Rus-Casas, C., Hernández, J. C., & Tina, G. M. (2019). Monitoring PWM signals in stand-alone photovoltaic systems. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 134, 412–425. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.075>
- Jorquera, C. (2018). *Lazard informa datos actualizados sobre el costo nivelado de la electricidad (LCOE), incl. Geotérmica | PiensaGeotermia - Noticias de energía geotérmica*. <https://www.piensageotermia.com/lazard-informa-datos-actualizados-sobre-el-costo-nivelado-de-la-electricidad-lcoe-incl-geotermica/>
- Jowett, P. (2024). *WoodMac predice un crecimiento fotovoltaico mundial fuerte pero plano hasta 2032 – pv magazine Latin America*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2024/01/25/woodmac-predice-un-crecimiento-fotovoltaico-mundial-fuerte-pero-plano-hasta-2032/>
- JOWETT, P. (2024, January 5). *WoodMac predice un crecimiento fotovoltaico mundial fuerte pero plano hasta 2032*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2024/01/25/woodmac-predice-un-crecimiento-fotovoltaico-mundial-fuerte-pero-plano-hasta-2032/>
- Large, V., Pv, S., Plants, P., & Future, R. E. (2015). *Executive Summary Energy from the Desert : Very Large Scale PV Power Plants*.
- Las energías renovables experimentaron en 2023 un crecimiento récord, pero están mal repartidas*. (n.d.). Retrieved April 9, 2024, from <https://www.energias-renovables.com/panorama/las-energias-renovables-experimentaron-en-2023-un-20240329>

- Las nuevas tendencias en torno a la energía fotovoltaica | Cintac.* (n.d.). Retrieved March 19, 2024, from <https://www.cintac.cl/blogs/las-nuevas-tendencias-en-torno-a-la-energia-fotovoltaica/>
- Lcoe, E. (2022). *Tendencias de fondo.*
- Leyva, R., Alonso, C., Queinnec, I., Cid-Pastor, A., Lagrange, D., & Martínez-Salamero, L. (2006). MPPT of photovoltaic systems using extremum - Seeking control. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 42(1), 249–258. <https://doi.org/10.1109/TAES.2006.1603420>
- Muñoz-Vizhñay, J. P., Rojas-Moncayo, M. V., & Barreto-Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius*, 19, 60–68. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>
- Ordóñez, A. (2023). *seiscubos - Efecto de la radiación solar en la Tierra.* <https://www.seiscubos.com/conocimiento/efecto-de-la-radiacion-solar-en-la-tierra>
- Peña, L. (2023, April 21). *Tipos de sistemas fotovoltaicos.* <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red-on-grid-interactivo/>
- Pesantez, J. P., Ríos-Villacorta, A., & González-Redrován, J. (2021). Integration of photovoltaic solar systems in the intensive and extensive shrimp sector of Ecuador: El oro province study case. *Revista Politecnica*, 47(2), 7–16. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Pinelo, A., & Miguel, A. (n.d.). *Análisis del ROA, ROE y ROI.* Retrieved April 10, 2024, from <http://hdl.handle.net/10757/608313>
- Prasad, R. D., & Bansal, R. C. (2011). Photovoltaic systems. *Handbook of Renewable Energy Technology*, 205–224. [https://doi.org/10.1142/9789814289078\\_0009](https://doi.org/10.1142/9789814289078_0009)
- Prodergy. (2024). *Sistema fotovoltaico - Prodergy Solar.* <https://prodergy.eu/partes-sistema-fotovoltaico/>
- PV\*SOL Premium 2020 Software de Simulación de Sistemas Fotovoltaicos.* (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://www.renova-energia.com/pvsol-premium-2020-programa-de-simulacion-de-sistemas-fotovoltaicos/>
- Qué es el VAN: cómo se calcula y cómo se interpreta.* (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://www.mba-madrid.com/economia/valor-actual-neto-van/>
- Red eléctrica | elblogdeadripozo.* (n.d.). Retrieved March 19, 2024, from <https://elblogdeadripozo.wordpress.com/2011/06/19/red-electrica/>

- Roca, J. (2021). *Los 15 principales países por producción eólica y solar en 2020: Dinamarca, Uruguay e Irlanda lideran el ranking en el que España ocupa la quinta posición.* <https://elperiodicodelaenergia.com/los-15-principales-paises-por-produccion-eolica-y-solar-en-2020-dinamarca-uruguay-e-irlanda-lideran-el-ranking-en-el-que-espana-ocupa-la-quinta-posicion/>
- Rodríguez, S. (2023a). *¿Qué son los paneles solares térmicos? - Solfy.* [https://solfy.net/placas-solares/que-son-los-paneles-solares-termicos/#¿Que\\_tipos\\_de\\_paneles\\_termicos\\_existen](https://solfy.net/placas-solares/que-son-los-paneles-solares-termicos/#¿Que_tipos_de_paneles_termicos_existen)
- Rodríguez, S. (2023b, December 7). *¿Qué son los paneles solares térmicos?* [https://solfy.net/placas-solares/que-son-los-paneles-solares-termicos/#%C2%BFQue\\_tipos\\_de\\_paneles\\_termicos\\_existen](https://solfy.net/placas-solares/que-son-los-paneles-solares-termicos/#%C2%BFQue_tipos_de_paneles_termicos_existen)
- Sabaca, J. (2024a). *Paneles solares híbridos: características y ventajas de su uso - Greening-e.* <https://greening-e.com/paneles-solares-hibridos-caracteristicas-y-ventajas-de-su-uso/>
- Sabaca, J. (2024b, January 31). *Paneles solares híbridos: características y ventajas de su uso.* <https://greening-e.com/paneles-solares-hibridos-caracteristicas-y-ventajas-de-su-uso/#>
- Solar Inc. (2023, April 13). *Medidor bidireccional CFE ¿Qué es? Y ¿Cómo funciona?* <https://www.energiasolarinc.com/medidor-bidireccional-cfe/>
- SolarAction. (2013). *CALCULO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED (OFF-GRID) PART 3 (CAMPO FOTOVOLTAICO: RADIACIÓN SOLAR. CALCULO HORAS SOL PICO).* <https://solaraction.blogspot.com/2013/04/>
- Stalin Campozano Mendoza, C. G. R. B. (2022). Evaluación del proyecto de generación fotovoltaica en el sector industrial textil ecuatoriano mediante la incorporación de empresas de servicios energéticos. *Artículo*, 7(5), 1–26. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4010>
- Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es? Fórmula y ejemplos.* (n.d.). Retrieved April 10, 2024, from <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Vergara Prado, J. R. (2009). *Dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos y selección de componentes principales.*
- Zeman, M. (2012). PHOTOVOLTAIC SYSTEMS 9.1 Components of a PV system. *Solar Cells*, 9(1), 1–17.

# 11. Anexos

## Anexo 1. Descripción del software PVSystem

The image displays two screenshots of the PVSystem 7.4 software interface.

**Top Screenshot: Bienvenido a PVSystem 7.4**

This screen shows the main dashboard with the following sections:

- Diseño y simulación de proyecto:** Three buttons for "Conectado a la red", "Independiente", and "Bombeo".
- Utilidades:** Three buttons for "Bases de datos", "Herramientas", and "Datos medidos".
- Proyectos recientes:** A list of recent projects: "prueba", "PROYCT", and "proyecto2".
- Documentación:** A section with an "Ayuda (F1)" button, "Preguntas más frecuentes", and "Tutoriales en video".
- Espacio de trabajo de usuario:** A section showing the user's workspace path: "D:\USUARIO DELL\Desktop\pvsystem\PVsystem7.0\_Data", with "Administrar" and "Cambiar" buttons.

**Bottom Screenshot: Proyecto: prueba\_Project.PRJ**

This screen shows the project configuration interface with the following sections:

- Proyecto:** Fields for "Nombre del proyecto" (prueba), "Nombre del cliente" (No definido), "Archivo del sitio" (Hacienda San Antonio\_MN81.SIT), and "Archivo de datos meteo" (Hacienda San Antonio\_MN81\_SYN.MET).
- Simulación realizada:** A green banner indicating "Simulación realizada (versión 7.4.7, fecha 08/07/24)".
- Variante:** A section for configuring simulation variants, including "Parámetros principales", "Opcional", and "Simulación" (with "Ejecutar simulación" button).
- Resumen de resultados:** A table showing simulation results.

Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras
Producción del sistema	140 MWh/año
Producción específica	1680 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.872
Producción normalizada	4.60 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.56 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema.	0.12 kWh/kWp/día

Definición del sistema de red, Variante VCO: "Nueva variante de simulación"

### Subconjunto

**Nombre y orientación del subconjunto**  
 Nombre: oeste    Orden: 1  
 Oriente: Orientación #1    Inclinación: 20°    Azimut: -90°

**Ayuda de pre-dimensionamiento**  
 Sin dimensionamiento    Potencia planeada: 42.0 kWp  
 ... o área disponible (módulos)    196 m²

**Selección del módulo FV**  
 Disponible ahora: Todos los módulos FV    Módulos necesarios aprox.: 76  
 JA Solar    550 Wp 35V Si-mono JAM72-S30-550-MR Desde 2021 Manufacturer-RETIC

Usar optimizador:     Dimension. voltaje: Vmpp (60°C) 36.6 V    Voc (-10°C) 54.6 V

**Selección del inversor**  
 Disponible ahora: Voltaje de salida 400 V Tri 50Hz    50 Hz    60 Hz  
 Huawei Technologies    20 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-20KTL-M5-400V Desde 2022

Núm. de inversores: 2    Voltaje de funcionamiento: 200-1000 V Poder global inversor 40.0 kWca  
 Utilizar multi-MPPT    Voltaje máximo de entrada: 1100 V    Inversor con 2 MPPT    Reparto de potencia en este inversor

**Diseño del conjunto**  
**Núm. de módulos y cadenas**  
 Mód. en serie: 19 (entre 6 y 20)    Núm. cadenas: 4 (entre 4 y 5)  
 Pérdida sobrecarga: 0.0%    Proporción Pnom: 1.05    Dimensionamiento

**Condiciones de operación**  
 Vmpp (60°C): 696 V    Vmpp (20°C): 804 V    Voc (-10°C): 1037 V  
 Irradia. plano: 1000 W/m²    Máx. en datos    STC  
 Imp (STC): 52.4 A    Potencia de funcionamiento máx.: 43.8 kW (en 1143 W/m² y 50°C)  
 Isc (STC): 56.0 A    Potencia nom. conjunto (STC): 41.8 kWp

### Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
oeste		
JA Solar - JAM72-S30-550-MR	19	4
Huawei Technologies - SUN2000...	2	1
este		
JA Solar - JAM72-S30-550-MR	19	4
Huawei Technologies - SUN2000...	2	1

### Resumen sistema global

Núm. de módulos	152
Área del módulo	393 m²
Núm. de inversores	4
Potencia FV nominal	83.6 kWp
Potencia de CA nominal	80.0 kWCA
Proporción Pnom	1.045

Resumen del sistema    Diagrama unifilar    Cancelar    OK

Orientación, Variante "Nueva variante de simulación"

Tipo de campo: **Varias orientaciones**

### Parámetros de campos

Número de orientaciones: 2

Inclinación Azimut

Oriente #1: 20.0 -90.0

Oriente #2: 20.0 90.0

**Inclin. 20°**

**Azimut -90°**

### Optimización rápida

Optimización con respecto a:  
 Rendimiento irradiación anual  
 Verano (oct-mar)  
 Invierno (abr-sept)

**Irradiación incidente anual**  
 Factor de transposición FT: **0.98**  
 Pérdida con respecto al óptimo: **-2.2%**  
 Global en el plano colector: **1950 kWh/m²**

**Año**

Cancelar    OK



Anexo 2. Descripción del valor de costo SFV de 12,96 kWp obtenidos de la página.

## Ingrese los datos requeridos


Seleccione la provincia

Pichincha

La radiación solar anual promedio de la provincia es de:  
**2212.7 kW/m<sup>2</sup>**

Ingrese la potencia fotovoltaica que requiere en kWp:

12.96



Para los cálculos se utilizará un panel referencia de 405 W

CALCULA TU SISTEMA

## RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

LA ENERGÍA FV GENERADA ANUALMENTE ES DE:

22780.68 kWh

EL COSTO APROXIMADO DEL SISTEMA ES:



\$26498.82

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS



Número de paneles

32 (405W)



Espacio aproximado en m<sup>2</sup>

62.49



Inclinación sugerida de los paneles

15°

EL SISTEMA FOTOVOLTAICO PERMITE UN AHORRO ANUAL DE

13.83

TONELADAS DE CO<sub>2</sub>

Anexo 3. Descripción del valor de costo SFV de 84 kWp obtenidos de la página.

## Ingrese los datos requeridos

Seleccione la provincia

Pichincha

La radiación solar anual promedio de la provincia es de:

---

Ingrese la potencia fotovoltaica que requiere en kWp:

84



Para los cálculos se utilizará un panel referencia de 405 W

CALCULA TU SISTEMA

## RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

LA ENERGÍA FV GENERADA ANUALMENTE ES DE:

148074.45 kWh

EL COSTO APROXIMADO DEL SISTEMA ES:



\$163418.96

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS



Número de paneles

208 (405W)



Espacio aproximado en m<sup>2</sup>

406.17



Inclinación sugerida de los paneles

15°

EL SISTEMA FOTOVOLTAICO PERMITE UN AHORRO ANUAL DE

89.90

TONELADAS DE CO<sub>2</sub>

#### Anexo 4. Certificación de traducción del resumen.

Loja, 20 de septiembre de 2024

### CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.  
Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

#### CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL>, así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: “Análisis del impacto económico de la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial del Ecuador.”, de autoría del estudiante: **Javier Andrés Barrigas Álvarez** con CI: 1104814700, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, **Javier Andrés Barrigas Álvarez**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



**Dra. Erika|Lucía González Carrión. Ph.D.**