



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

TEMA:
ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES EN UNA INDUSTRIA

Autor:
ESPINALES PARRALES JESÚS MARIANO

Tutor de Titulación:
ING. NÉSTOR EMILIO LOOR MENDOZA

Manta - Manabí - Ecuador

2025

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA IMPLEMENTACIÓN
DE PANELES SOLARES EN UNA INDUSTRIA**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería,
Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito
para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD

DIRECTOR

JURADO EXAMINADOR

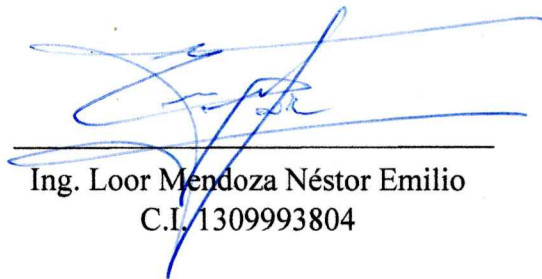
JURADO EXAMINADOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Espinales Parrales Jesús Mariano, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“Análisis de Viabilidad Económica y Eficiencia Energética en la Implementación de Paneles Solares en las Industrias.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Néstor Emilio Loor Mendoza y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Espinales Parrales Jesús Mariano
C.I. 1314535376



Ing. Loor Mendoza Néstor Emilio
C.I. 1309993804

Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Espinales Parrales Jesús Mariano**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2025-1**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**Análisis de Viabilidad Económica y Eficiencia Energética en la Implementación de Paneles Solares en una Planta Industrial**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Néstor Emilio Llor Mendoza
TUTOR DE TITULACIÓN

Dedicatoria

A Dios:

Porque siempre estuvo conmigo de una manera incondicional, no físicamente como tal, pero sí en espíritu y eso siempre me llenaba de vida para continuar a pesar de las circunstancias que pasaran, hubieron días malos, pésimos y ciertos días buenos, pero a pesar de todo eso, siempre eran buenos al final porque siempre se aprendía de esos errores, le agradezco a él también porque me mantuvo firme en todo este tiempo dentro mis estudios y mi trabajo haciéndome creer que podía con todo, y así fue, sin él nada de esto hubiese sido posible.

Para mis Padres, Brenda y Fidel ; Janeth y Mariano

Se lo dedico a ellos, a mis padres de crianza, Brenda y Fidel, por darme todo el apoyo y la confianza que necesite para cada etapa de mi vida, a mis padres biológicos por darme la vida y a todos ellos en general por enseñarme a vivir y a convertirme en un gran hombre con buenos valores, por hacerme responsable y educado, los aprecio mucho y son parte de mi mundo, un pilar muy fundamental en mi vida, quiero decirle que los quiero demasiado y que esto es por ustedes, en especial a mi papá Mariano, quien hoy en día no está conmigo, pero sé que es la estrella más brillante que está en el cielo, quien me mira y me guía desde allá en donde esté, quisiera tenerte y poder decirte tanto, pero me enseñaste a afrontar la vida de esa manera, y por eso, nunca quisiera decepcionarte, con todo mi corazón los amo a todos, porque son mi vida.

A mis Hermanos, Brenda, Rosita, Jonathan, Cristopher y Thiago:

A ellos quienes también han estado conmigo y me han dado de su apoyo y cariño, los adoro y los quiero demasiado, en especial a Cristopher y Thiago, a quienes me

enseñaron a ser un hombre responsable por el hecho de también poder cuidarlos y criarlos en gran parte, por eso quiero darle lo mejor a ellos y que no padezcan de las cosas por las que yo padecí y a mis otros hermanos quienes me criaron a mí, en especial a mi hermana Brenda, quien se convirtió en mi mamá por cosas de la vida, A todos mis hermanos, les digo que los amo mucho, y por eso trato de ser alguien mejor cada día, no solo por mí, si no por todos ustedes, los quiero mucho.

Al resto de mi familia y a mis amigos:

A muchos de ellos les agradezco por darme la mano muchas veces cuando lo necesité, enseñándome lo que no sabía y guiándome a estar centrado en esta hermosa carrera, de corazón gracias por estar presentes en cada etapa de este camino.

A Milena:

Una muchachita bien bonita que ha estado conmigo estos días pesados y con mucha presión para mí, y que me ha hecho hacer las cosas bien porque ella es 10/10, que nunca se me vaya de mi vida esta chiquita.

Para Jesús:

Que al principio no creía ni en él, pero que hoy en día es alguien distinto, centrado y que todas estas experiencias lo han hecho un mejor hombre, forjándose a punta de amanecidas, días difíciles, cansados, sin dormir, pero que a pesar de eso no quería quedarse con un vacío sin llenar, fue difícil el camino, pero con gran esfuerzo se está logrando, Amén...

Jesús Mariano Espinales Parrales

Reconocimiento

A mi Tutor, Ing. Emilio Loor Mendoza

Agradecido totalmente con él por todas sus enseñanzas, por el tiempo invertido en mí para poder concluir con este proyecto de titulación, por apoyarme cuando haya sido necesario, me llevo un buen ejemplo de él por cómo es y la maravillosa persona que es y seguirá siendo.

A mis docentes:

Grandes seres humanos, que durante todo este tiempo han impartido las distintas asignaturas de la mejor manera posible creando lazos de buena confianza y de buenas amistades, los llevaré dentro de mi corazón.

Al Sr. Carlos Farías y al Sr José Anchundia:

Gracias por darme la oportunidad de trabajar y de estudiar al mismo tiempo durante toda esta etapa, los aprecio mucho y espero que esta buena relación continúe.

Al laboratorio CESECCA:

Por abrirme sus puertas y ayudarme a entender muchos procesos analíticos que se realizan dentro del laboratorio, muchas gracias a los ingenieros que laboran ahí y gracias por su paciencia.

A las Empresas Asiservy y Tecopesca:

Agradezco a ambas por brindarme la oportunidad de conocer sus instalaciones y así mismo por darme esa bonita experiencia de aprender y de ganar conocimientos en las distintas áreas por las que he estado, infinitamente agradecido con ustedes.

Jesús Mariano Espinales Parrales

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	3
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS	4
Dedicatoria.....	5
Reconocimiento	7
A mi Tutor, Ing Emilio Loor Mendoza.....	7
Índice de Tablas.....	5
Índice de Ilustraciones	6
Resumen Ejecutivo	7
Executive Summary	9
Introducción	10
Antecedentes	12
Capítulo I.....	26
1 Fundamentación Teórica	26
1.1 Antecedentes Investigativos	26
1.2 Bases Teóricas.....	28
1.2.1 Estudio de Factibilidad	28
1.2.2 Situación Energética de Latinoamérica	29
1.2.3 Panel Solar	31
1.2.4 Introducción a los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica.....	32
1.2.5 Energía de Fuentes Renovables	34
1.2.6 Viabilidad Económica de la Energía Solar Fotovoltaica	37
1.2.7 Eficiencia Energética de los Sistemas Fotovoltaicos	40
1.2.8 Impacto Ambiental de la Energía Solar Fotovoltaica	41
1.2.9 Tecnologías y Equipos Fotovoltaicos	43

1.2.10	Normativas y Regulaciones para la Implementación de Energía Solar en la Industria	45
1.3	Marco Legal y Ambiental	48
1.4	Hipótesis y Variables	54
1.4.1	Hipótesis.....	54
1.4.2	Identificación de las Variables.....	54
1.4.3	Operacionalización de las Variables	54
1.5	Marco Metodológico	58
1.5.1	Modalidad Básica de la Investigación.....	58
1.5.2	Enfoque	59
1.5.3	Nivel de Investigación.....	59
1.5.4	Área de Estudio	60
1.5.5	Técnicas de Recolección de Datos	61
1.5.6	Plan de Recolección de Datos.....	61
1.5.7	Procesamiento de la Información	63
	Capítulo II.....	65
	2. Diagnóstico o Estudio de Campo	65
	2.1. Inventario Energético.....	67
	2.2. Determinación de los paneles fotovoltaicos pertinentes para su implementación en la planta.....	69
	2.3. Arreglo de Paneles Solares	72
	Capítulo III.....	75
	3 Propuesta de Mejora / Plan de Negocios / Artículo.....	75
	3.1 Descripción Técnica de los Parámetros Climáticos de NASA POWER.....	76
	3.1.1 Descripción Climática	82
	3.2. Cálculo de número de Paneles.....	85

3.3. Proyección Financiera	87
3.4. Período Simple de Retorno (Payback Period).....	90
3.4.1. VAN	90
3.4.2. TIR - Tasa Interna de Retorno (TIR - Internal Rate of Return - IRR).....	92
3.4.3. Análisis de sensibilidad (Optimista, Realista y Pesimista).....	98
3.5. Eficiencia Energética	101
3.6. Beneficios Ambientales e impacto en la Sostenibilidad de las Operaciones de la Planta	103
Discusión de los resultados	105
Conclusiones y Recomendaciones	107
Conclusiones	107
Recomendaciones	109
Bibliografía	111

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 - Cuadro de Operacionalización</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2 Plan de Recolección de datos</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3 Inventario Energético</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4 - Especificaciones del Sistema.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5 - Descripción del Panel</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 6 - Arreglo de Paneles Solares Propuesto</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 7 - Datos Climáticos por Meses 2024.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 8 - Descripción técnica de los parámetros climáticos de NASA POWER.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 9 - Descripción técnica de los parámetros climáticos 2 de NASA POWER.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 10 - Evaluación de costos</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 11 - Flujo de Caja</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12 - Rendimiento Económico</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 13 - Análisis de Sensibilidad.....</i>	<i>100</i>

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Mapa Satelital	60
<i>Ilustración 2 - Potencia Gráfica de Maquinarias.....</i>	<i>69</i>

Resumen Ejecutivo

La creciente necesidad de diversificar la matriz energética nacional, disminuir los costos operativos y reducir la dependencia de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles genera que el objetivo de este estudio sea evaluar la factibilidad económica, técnica y ambiental para instalar sistemas fotovoltaicos en plantas industriales.

El análisis se centra en aspectos importantes como los costos de instalar y mantener el sistema, el retorno de la inversión (ROI), los ahorros que se esperan y los beneficios para el medio ambiente, sobre todo la reducción de gases de efecto invernadero. También, se tienen en cuenta las ventajas de que la región recibe mucha luz solar y los incentivos del gobierno para usar energías renovables.

Metodológicamente adopta un enfoque mixto, utilizando para recolectar la información la técnica de la entrevista y la observación directa en la planta industrial. La investigación posee un análisis documental de normativas vigentes y su impacto en la viabilidad de este proyecto.

Los resultados indican que la implementación de paneles solares en la industria es viable desde todos los aspectos analizados destacando la sostenibilidad energética. Se concluye que el sistema fotovoltaico produce 4.285,2 kWh mensualmente por lo que se ahorra 10.28 toneladas de CO₂ equivalente anualmente, se arroja un Valor Actual Neto de \$44,405.73 USD y se muestra una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 30.5% con un Período Simple de retorno de aproximadamente 4.46 años.

Palabras clave: Cambio climático; Energía solar fotovoltaica; Sostenibilidad industrial.

Executive Summary

The growing need to diversify the national energy mix, reduce operating costs, and reduce dependence on non-renewable sources, such as fossil fuels, has led this study to evaluate the economic, technical, and environmental feasibility of installing photovoltaic systems in industrial plants.

The analysis focuses on important aspects such as the costs of installing and maintaining the system, the return on investment (ROI), expected savings, and environmental benefits, particularly the reduction of greenhouse gases. The advantages of the region's abundant sunlight and government incentives for the use of renewable energy are also taken into account.

Methodologically, it adopts a mixed approach, using interview techniques and direct observation at the industrial plant to collect information. The research includes a documentary analysis of current regulations and their impact on the viability of this project.

The results indicate that the implementation of solar panels in industry is viable from all aspects analyzed, with a particular emphasis on energy sustainability. It is concluded that the photovoltaic system produces 4,285.2 kWh monthly, saving 10.28 tons of CO₂ equivalent annually. This results in a Net Present Value of \$44,405.73 USD and an Internal Rate of Return (IRR) of 30.5% with a Simple Payback Period of approximately 4.46 years.

Keywords: Climate change; Photovoltaic solar energy; Industrial sustainability.

Introducción

El cambio climático y sus consecuencias han impulsado un llamado urgente a la acción en todos los sectores de la sociedad. La transición hacia fuentes de energía renovable ya no se percibe como una opción secundaria, sino como una necesidad imperante para garantizar la sostenibilidad del planeta. Entre las diversas alternativas disponibles, la energía solar fotovoltaica se destaca como una de las soluciones más viables y prometedoras. Esta tecnología, que aprovecha la abundante energía del sol, permite a las industrias reducir su dependencia de los combustibles fósiles, mejorar su eficiencia operativa y minimizar su impacto ambiental. En este contexto, países como Ecuador, con una ubicación geográfica privilegiada y altos niveles de irradiación solar, enfrentan una oportunidad única para transformar sus sistemas energéticos hacia modelos más sostenibles.

La energía solar no es algo nuevo, su desarrollo ha sido fruto de décadas de avances tecnológicos y adopción gradual. Desde sus primeros usos en la década de 1970, principalmente en el sector espacial, hasta su expansión masiva hoy en día, esta tecnología ha mejorado mucho en eficiencia y accesibilidad. En la industria, su uso se ha vuelto más importante en los últimos años, especialmente en sectores que consumen mucha energía. Las empresas han empezado a instalar sistemas solares no solo para cumplir con regulaciones ambientales más estrictas, sino también como una forma de reducir costos y mejorar su competitividad.

En Ecuador, como en otros países de América Latina, existe una gran oportunidad para aprovechar estas innovaciones. La combinación de un alto potencial solar y la necesidad de diversificar la matriz energética crea un escenario favorable

para que las industrias implementen paneles solares.

Este enfoque no solo permitiría optimizar los costos operativos de las plantas industriales, sino alinear a las empresas con los objetivos de desarrollo sostenible planteados por organizaciones internacionales.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar si es rentable y eficiente instalar paneles solares en plantas industriales ubicadas en zonas con mucha radiación solar, especialmente en la provincia de Manabí, Ecuador. La investigación se enfoca en aspectos como los costos de instalación y mantenimiento, el retorno de la inversión y los ahorros de energía que se pueden obtener de gases de efecto invernadero, un tema clave en la lucha contra el cambio climático.

Adoptar tecnologías de energía renovable implica ciertos desafíos que deben analizarse con cuidado. Entre ellos están los costos iniciales, la disponibilidad de incentivos del gobierno y la infraestructura necesaria para instalar y mantener los sistemas solares. Por eso, este estudio busca ofrecer una visión completa que permite entender no solo los beneficios de los paneles solares, sino también las barreras que podrían dificultar su adopción en las industrias de la región.

La investigación también pretende aportar al debate académico y técnico sobre la transición energética, destacando la importancia de las energías renovables para el desarrollo sostenible. Al analizar los impactos económicos, energéticos y ambientales de los paneles solares en la industria, este trabajo busca servir como guía para tomar decisiones estratégicas sobre la implementación de soluciones sostenibles en las empresas.

Antecedentes

La energía solar fotovoltaica ha sido reconocida como una de las principales fuentes de energía renovable debido a su capacidad de generar electricidad a partir de la radiación solar, sin la emisión de contaminantes. En Ecuador, como en muchas otras partes del mundo, su implementación en las industrias ha sido impulsada por la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental de las actividades productivas. A nivel global, el desarrollo de la tecnología fotovoltaica ha experimentado un crecimiento sostenido desde la década de 1970, cuando los primeros módulos solares fueron diseñados para aplicaciones espaciales (Santos, 2022).

En Ecuador, las leyes y regulaciones para el uso de paneles solares en la industria se han fortalecido en las últimas décadas, especialmente con la Ley de Eficiencia Energética y otras normas ambientales. Esto ha fomentado el uso de energías renovables, ofreciendo incentivos fiscales y financieros a las empresas que adopten esta tecnología. Gracias a estos avances, los sectores industriales han empezado a incorporar sistemas solares fotovoltaicos en sus procesos productivos, logrando no solo un ahorro de energía importante, sino también reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero (ARCONEL, 2024).

En cuanto a la tecnología, las primeras instalaciones de paneles en Ecuador se hicieron en industrias con alta demanda de energía. Estas empresas buscaban aprovechar la abundante radiación solar de regiones como la costa y las zonas secas del interior. Al principio, la adopción fue limitada debido a los altos costos de los equipos, pero con el tiempo, la disminución de los precios y la mejora en la eficiencia

de los paneles permitió que más empresas los implementaran (Ministerio del Ambiente, 2023).

Hoy en día, diversas industrias ecuatorianas, desde la manufactura hasta la agroindustria, han desarrollado proyectos de energía solar fotovoltaica, lo que ha contribuido a una mayor independencia energética y a reducir la huella de carbono (Santos, 2022).

Planteamiento del problema

La adopción de energías renovables en el sector industrial presenta retos complejos que van más allá de la mera implementación tecnológica. En particular, la integración de paneles solares en plantas industriales no solo tiene como propósito reducir el consumo energético, sino también optimizar la productividad, mejorar la gestión de la energía y mitigar los efectos del cambio climático. Este tipo de energías sostenibles es fundamental para enfrentar el alto costo de la energía convencional y disminuir la presión ambiental que ejerce la dependencia de los combustibles fósiles.

Las plantas industriales, que consumen mucha energía, enfrentan un desafío creciente para mejorar su eficiencia y reducir costos. En este contexto, instalar paneles solares se presenta como una solución práctica y efectiva, ya que no solo disminuye el consumo de energía, también reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Según un análisis del Instituto Internacional de Energía (2024), la energía solar es fundamental para reducir el impacto ambiental y avanzar hacia una industria más sostenible, al disminuir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes derivados de los combustibles fósiles.

Aunque la tecnología solar ha avanzado mucho, es importante analizar tanto viabilidad económica como la capacidad de los paneles para cubrir las necesidades energéticas de plantas industriales grandes. Berkeley Lab (2022) y AIE (2023), destacan que, aunque los costos de instalación y mantenimiento han bajado mucho en la última década, factores como la radiación solar y las condiciones locales siguen siendo determinantes. El retorno de la inversión depende de la capacidad de generación y de la infraestructura disponible para aprovechar al máximo los sistemas.

Los marcos regulatorios y los incentivos fiscales también afectan directamente la rentabilidad de las inversiones en energías renovables. Como estas políticas pueden cambiar con el tiempo, representan un reto para las empresas que quieren adoptar esta tecnología. Por eso es esencial considerar estos factores y el comportamiento del precio de la energía convencional antes de invertir, ya que influyen en el retorno financiero y en la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos.

Además, usar energías renovables en la industria no solo ayuda a cumplir con objetivos de sostenibilidad, también responde a una demanda creciente de los consumidores por productos más ecológicos. Según McKinsey (2022), muchas empresas han logrado reducir su huella de carbono adoptando estrategias de energía limpia y eficiencia energética, lo que no solo mejora su imagen, a la vez permite ahorros importantes a largo plazo.

Macro Contexto

Durante las últimas décadas, depender de los combustibles fósiles se ha vuelto una característica predominante en las distintas naciones industriales, que se suma a un uso considerable de la energía hidroeléctrica en varios países. Sin embargo, esta tendencia global que apunta hacia una economía que reduce el carbono ha impulsado la motivación y la adopción de fuentes de energía renovables para así reducir en grandes cantidades a largo plazo las emisiones de gases de efecto invernadero y diversificar la matriz energética, según señala Goldemberg y Johansson (2004) en su análisis de tendencias energéticas mundiales. La energía solar se destaca en este ámbito por su capacidad para reducir costos y mejorar la eficiencia en sectores de alto consumo, como el industrial.

Los paneles solares se han vuelto una herramienta clave para reducir el impacto ambiental y mantener una estabilidad energética frente a las fluctuaciones del mercado. Según la Administración de Información Energética AIE (2022), la energía solar permite a las empresas tener mayor previsibilidad en sus costos, ya que depende de una fuente gratuita y abundante como la radiación solar. Esto es especialmente valioso en contextos donde los precios de los combustibles fósiles son muy volátiles y están sujetos a factores geopolíticos y económicos globales.

Usar energía solar en la industria no solo ayuda a cumplir compromisos internacionales para combatir el cambio climático, también mejorar la competitividad al adoptar tecnologías más eficientes y menos contaminantes, fortaleciendo la posición de las empresas en un mercado cada vez más enfocado en la sostenibilidad.

Además, una vez instalados, los costos operativos de los paneles solares son

bastante bajos en comparación con otras fuentes de energía. Esto se debe a que no requieren combustible para funcionar y su mantenimiento suele ser más económico que el de tecnologías convencionales, lo que ha impulsado su adopción a gran escala.

En este sentido, las políticas energéticas globales han mostrado un cambio hacia el apoyo de tecnologías renovables. Muchos países están implementando regulaciones y subsidios para fomentar la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Esto es especialmente evidente en la adopción de la energía solar, que ha sido impulsada por políticas favorables en regiones como la Unión Europea, Estados Unidos y varios países de Asia. Wiser (2017) señala que las políticas de apoyo, como los créditos fiscales y las tarifas preferenciales para la energía renovable, no solo facilitan la integración de esta tecnología en las redes eléctricas, sino que también aceleran su despliegue a gran escala.

Meso Contexto

En Ecuador, la matriz energética también ha estado dominada por los combustibles fósiles y la energía hidroeléctrica en estos últimos años. Sin embargo, los compromisos internacionales y la creciente demanda de sostenibilidad han impulsado la necesidad de diversificar las fuentes de energía. La adopción de energías renovables, en particular la energía solar, es una de las

principales alternativas para reducir la dependencia de fuentes convencionales de energía, especialmente en sectores industriales donde el consumo eléctrico es alto y los costos de energía son significativos Ecuador (Ministerio de Energía y Recursos

Naturales No Renovables, 2021). En términos porcentuales, la demanda de energía dentro del país indica que se consume un 68,5% por parte de los sectores industriales y de transporte, mientras que un 13,5% se da por el sector residencial según el (Gobierno del Ecuador, 2023).

Bajo estas circunstancias, el país tiene una ventaja geográfica importante al estar ubicado sobre la línea ecuatorial, lo que le proporciona altos niveles de radiación solar durante todo el año. Aunque este recurso no se ha aprovechado completamente, tiene un gran potencial para cubrir una parte importante de la demanda de energía del país. Instalar paneles solares en las industrias podría reducir el consumo de electricidad convencional y los costos operativos, al mismo tiempo que ayuda a disminuir las emisiones de CO₂, algo fundamental en la lucha contra el cambio climático (Ministerio del Ambiente, 2023).

De acuerdo con el Plan Nacional de Energía 2016-2040, se busca incrementar la participación de energías renovables en su matriz energética, con especial énfasis en la energía solar y eólica. Este plan subraya la importancia de implementar tecnologías limpias, no solo por razones ambientales, sino también para mejorar la competitividad del sector industrial, al reducir la volatilidad en los costos energéticos y aumentar la estabilidad de la oferta energética (Ministerio de Energía y Recursos No Renovables, 2020).

La legislación ha avanzado en este campo ya que se han creado muchos incentivos regulatorios que promueven el uso y manejo de energías renovables en todos los sectores industriales, de esta manera se facilita la adopción o implementación de estas tecnologías solares. Según el Ministerio de Energía y Recursos No

Renovables (2022), la estabilidad de los costos operativos una vez instaladas las infraestructuras solares y los beneficios ambientales hacen que esta opción sea cada vez más atractiva. Esta implementación de paneles solares en el sector industrial no solo transformaría la matriz energética del Ecuador, sino que esto generaría un ahorro económico a largo plazo que mejoraría y beneficiaría la eficiencia energética fortaleciendo el compromiso del país con la sostenibilidad.

Micro Contexto

El análisis de la viabilidad económica y la eficiencia energética para la implementación de sistemas fotovoltaicos en plantas industriales de Manabí adquiere una relevancia notable debido a las características climáticas y económicas de la región. La provincia cuenta con altos niveles de irradiación solar durante todo el año, lo que posiciona a la provincia como una de las más favorables para el desarrollo de proyectos de energía solar en Ecuador. Este potencial solar, sumado a la creciente demanda de energía en sectores industriales clave como la agroindustria y la pesca, presenta una oportunidad estratégica para la adopción de tecnología fotovoltaica que permita reducir costos energéticos y aumentar la competitividad empresarial (Ministerio del Ambiente, 2023).

Al respecto, en Portoviejo manifiestan la relevancia en las edificaciones de “la eficiencia energética en estos tiempos, tanto por el ahorro de energía como el aporte que hacemos al ambiente, con la implementación de esta optimización” (Sabando, 2022 p.17). En este sentido, históricamente, la economía del cantón ha estado vinculada a actividades industriales de alto consumo energético, como el

procesamiento de alimentos, la fabricación y la logística. Estas industrias exigen grandes cantidades de energía, lo que incrementa los costos operativos y afecta su competitividad en el mercado global. La dependencia de fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles y la hidroenergía, no solo aumenta los costos, sino que también tiene implicaciones ambientales significativas, lo que ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía más sostenibles (Agencia de Regulación y Control de Energía, 2024).

La transición hacia energías renovables, especialmente la solar, no solo ayuda a reducir los costos operativos en las industrias de la región, también mejora la sostenibilidad ambiental. Al depender menos de fuentes de energía convencionales, las empresas en Manabí pueden ahorrar a largo plazo y, al mismo tiempo, reducir su huella de carbono, algo muy importante en un contexto industrial donde se busca una gestión eficiente de los recursos y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (Encarnación, 2023)

Además, instalar paneles solares puede mejorar la estabilidad energética de la región. Aunque el país ha avanzado en diversificar su matriz energética, generar energía de manera local aprovechando la alta radiación solar proporciona mayor seguridad a las industrias. Esto disminuye la dependencia de los precios variables de la energía y de posibles interrupciones en el suministro, factores clave para garantizar el funcionamiento continuo de las plantas industriales.

El marco legal y las políticas de incentivos que el Gobierno del Ecuador (2021) ha comenzado a implementar para el desarrollo de energías renovables juegan un papel importante en la viabilidad de estos proyectos en Manabí. Los incentivos fiscales,

junto con la reducción de los costos de instalación de paneles solares debido al avance de la tecnología, hacen que la adopción de esta fuente de energía sea cada vez más accesible para las empresas locales. Esto es relevante en una provincia que ha sido identificada como una de las más adecuadas para el desarrollo de energías limpias, debido a su alta irradiación solar y la necesidad de diversificar su matriz energética.

Por eso, al analizar la viabilidad económica y la eficiencia energética de los paneles solares en Manabí , es importante considerar no solo el contexto industrial y ambiental de la región, las oportunidades de ahorro y mejora en la sostenibilidad operativa. Las plantas industriales que adopten este tipo de energía renovable no solo reducirán su huella de carbono, a la vez ganarán una ventaja competitiva en un mercado que cada vez valora más la sostenibilidad.

Manabí cuenta con condiciones ideales para implementar paneles solares en la industria. La alta radiación solar, los incentivos disponibles y la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles crean un escenario favorable para que las empresas mejoren su eficiencia, reduzcan costos operativos y aporten al desarrollo sostenible de la provincia.

Formulación del problema

- ¿De qué manera la evaluación de la viabilidad económica y la eficiencia energética permitirá la implementación de paneles solares en una planta industrial?

Preguntas directrices

- ¿Cuál es la viabilidad económica de la instalación de paneles solares en una planta industrial considerando los costos de instalación, mantenimiento, el retorno de inversión y los ahorros en el consumo energético?
- ¿Cómo se puede evaluar la eficiencia energética de los paneles solares en función de la capacidad para satisfacer las demandas energéticas de la planta, teniendo en cuenta la irradiación solar, el rendimiento de los paneles y el clima local?
- ¿Qué beneficios ambientales se pueden obtener de la implementación de energía solar, en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en la sostenibilidad de las operaciones de la planta?

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la viabilidad económica y la eficiencia energética de la implementación de paneles solares en una planta industrial.

Objetivos Específicos

- Identificar la eficiencia energética de los paneles solares en función a la irradiación solar, rendimiento de los paneles y el clima local para satisfacer las demandas eléctricas de la planta.
- Evaluar si instalar paneles solares en una planta industrial es económicamente viable, considerando los costos de instalación y mantenimiento, el retorno de la inversión y los posibles ahorros en el consumo de energía.
- Determinar los beneficios ambientales, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto en la sostenibilidad de las operaciones de la planta asociados a la implementación de energía solar.

Justificación

La implementación de sistemas fotovoltaicos en plantas industriales responde a la creciente necesidad de diversificar las fuentes de energía y optimizar los costos operativos, todo dentro de un marco de sostenibilidad ambiental. En Ecuador, la dependencia de fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles y la energía hidroeléctrica, ha generado una presión significativa sobre los recursos y ha aumentado la vulnerabilidad de las industrias a las fluctuaciones del mercado energético. La energía solar fotovoltaica surge como una solución viable, particularmente en zonas con altos niveles de radiación solar, como es el caso de Manabí, donde las condiciones climáticas favorecen la adopción de esta tecnología.

Desde el punto de vista económico, instalar paneles solares puede ser una alternativa muy rentable a mediano y largo plazo. Es cierto que los costos iniciales de instalación y de los equipos pueden ser altos, pero con el tiempo se compensan gracias a los ahorros en el consumo de energía y al retorno de inversión que se obtiene durante la vida útil de los sistemas fotovoltaicos. Además, en Ecuador existen incentivos fiscales y programas del gobierno que facilitan la adopción de energías renovables, reduciendo aún más los costos de esta transición. Invertir en tecnología solar no solo ayuda a ahorrar dinero; también permite a las industrias ser más competitivas, disminuir sus costos fijos y depender menos de la red eléctrica nacional, protegiéndose de los aumentos en los precios de la energía y logrando mayor estabilidad en sus operaciones.

Los beneficios ambientales son igualmente notables. Al reemplazar fuentes de energía tradicionales con energía solar, se reducen significativamente las emisiones de

gases de efecto invernadero. Esto no solo ayuda a Ecuador a cumplir sus compromisos internacionales de lucha contra el cambio climático, sino que también contribuye a minimizar el impacto ambiental de las operaciones industriales. Al mismo tiempo, las empresas pueden cumplir con normativas más estrictas de sostenibilidad y mejorar su reputación frente a consumidores y mercados internacionales, algo que cada vez pesa más en la decisión de compra de los clientes.

Por todo esto, el estudio no solo se justifica por los beneficios económicos que los paneles solares pueden aportar a una planta industrial, sino también por la necesidad de tomar decisiones que promuevan la eficiencia energética y reduzcan el impacto ambiental. Analizar la viabilidad económica y la eficiencia energética de esta tecnología será clave para ayudar a las empresas a decidir con confianza, fomentando un desarrollo más sostenible dentro de la industria ecuatoriana.

Capítulo I

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Duran y Macana (2021) en Bogotá, Colombia, realizaron una investigación con el objetivo principal fue evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación de un sistema solar fotovoltaico en dicha empresa. Empleó una metodología fragmentada en varias fases. En la exploratoria, compiló información sobre los consumos energéticos de la empresa y las normativas aplicables. En la descriptiva, comparó alternativas técnicas y económicas; y, en el análisis, evaluó el retorno de inversión y los beneficios económicos del proyecto. Los resultados indicaron que el sistema solar fotovoltaico suple hasta un 40% de las necesidades energéticas de la empresa, con una proyección de ahorro de emisiones de CO₂ y una importante reducción en el consumo de energía convencional. Asimismo, calculó un retorno de inversión en un período de 6 a 10 años. Las conclusiones señalan que el proyecto es viable tanto técnica como financieramente, aportando beneficios ambientales y económicos, y que la empresa podría acceder a incentivos gubernamentales para tecnologías renovables.

Duarte y Perdomo (2022) en Bogotá, Colombia, realizaron un estudio cuyo objetivo fue analizar la viabilidad técnica de implementar paneles solares fotovoltaicos para mejorar la calidad de vida en la comunidad de Riohacha. La idea era facilitar tanto el suministro eléctrico de los hogares como las actividades agrícolas. Para ello, identificaron las necesidades energéticas de las viviendas y eligieron los paneles más adecuados para cubrirlas. También evaluaron los problemas que enfrentaba la comunidad por la falta de energía y cómo la tecnología fotovoltaica podría ofrecer

soluciones. Los resultados mostraron que instalar paneles solares es técnicamente viable, estimando un promedio de dos paneles por vivienda para cubrir las necesidades energéticas. La ubicación geográfica de Riohacha, con su alta radiación solar, resulta ideal para estos sistemas. Concluyeron que la energía solar no solo mejoraría la calidad de vida de la comunidad, sino que también traería beneficios económicos a largo plazo, reduciendo la dependencia de proveedores de energía poco confiables.

Por su parte, Encarnación y Guevara (2023), buscó evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de instalar paneles fotovoltaicos en una planta industrial. Su enfoque fue mixto, combinando análisis documental y trabajo de campo. Los datos de consumo se recolectaron mediante entrevistas y registros de la planta, y herramientas como ArcGIS Pro se usaron para identificar la zona de instalación óptima. Los resultados indicaron que era posible instalar 136 paneles solares monocristalinos de 450 Wp, lo que permitiría reducir significativamente el consumo de energía convencional y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Guevara concluyó que este sistema contribuye tanto a la sostenibilidad ambiental como a mejorar la eficiencia energética de la planta.

Suxo (2023) en La Paz, Bolivia, evaluó la viabilidad técnica y financiera de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial, considerando los beneficios económicos y ambientales. Su metodología fue no experimental, con un enfoque proyectivo, proponiendo medidas para reducir los altos costos energéticos y la contaminación. Entre los resultados más relevantes, destacó que estos sistemas son económicamente viables, teniendo en cuenta beneficios tributarios como la deducción del 50 % en el

impuesto sobre la renta y la depreciación acelerada de los activos. Suxo concluyó que la energía solar fotovoltaica representa una alternativa sostenible y rentable para generar electricidad, especialmente en países con alto potencial solar.

Asensio (2022) en el estudio en Granollers, España, tuvo como objetivo principal definir las especificaciones necesarias para implantar una nave industrial dedicada a la fabricación de paneles solares fotovoltaicos, cumpliendo con la normativa vigente. La metodología empleada incluyó la evaluación de diversas alternativas de emplazamiento y un análisis detallado del proceso productivo y las necesidades técnicas de la planta. Realizó un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto, incluyendo los costes de construcción y explotación. Los resultados obtenidos indicaron que la opción de ubicar la nave en el Polígono Industrial del Congost, en Granollers, resultaba ser la más adecuada. Concluye que la instalación de esta planta es viable económicamente y presenta un impacto ambiental controlado, en especial en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante el proceso de fabricación, y la contribución positiva de los paneles solares a la generación de energía limpia.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Estudio de Factibilidad

La factibilidad se define como la capacidad de un proyecto, propuesta o idea para ser llevado a cabo de forma innegable y efectiva, considerando recursos, tiempo, y contextos específicos. Según Terry & Franklin (2017), la evaluación de la factibilidad implica analizar detalladamente factores clave como los recursos financieros,

materiales, tecnológicos y humanos requeridos para garantizar la implementación exitosa de un proyecto. Esta evaluación no solo identifica posibles restricciones, sino que también permite establecer estrategias para superarlas, optimizando así las posibilidades de éxito.

Para Gitman & Zutter, (2025), la factibilidad de un proyecto suele dividirse en tres categorías principales: técnica, económica y operativa. La factibilidad técnica se enfoca en evaluar si se cuentan con los recursos tecnológicos necesarios y si estos tienen la capacidad para ejecutar el proyecto. La factibilidad económica, por su parte, analiza la relación entre costos y beneficios, asegurando que la propuesta sea financieramente viable. Finalmente, la factibilidad operativa se centra en determinar si el proyecto puede integrarse de manera efectiva en el entorno organizacional o social en el que se desarrollará.

Estas tres perspectivas juntas ofrecen una visión completa para entender tanto los riesgos como las oportunidades de cualquier proyecto. Evaluar la factibilidad no solo ayuda a anticipar desafíos y problemas, sino que también brinda una base sólida para planificar y asignar recursos de manera inteligente. En pocas palabras, es un paso esencial para asegurar que los proyectos sostenibles y exitosos se puedan ejecutar con seguridad y confianza.

1.2.2 Situación Energética de Latinoamérica

El sistema energético de América Latina y el Caribe está dominado principalmente por los hidrocarburos. El gas natural representa alrededor del 34% de la matriz energética, seguido por el petróleo con un 31%, el cual se destina

principalmente a la producción de combustibles líquidos como la gasolina. En cuanto a las fuentes no fósiles, la hidroenergía contribuye con un 8%, mientras que la energía solar constituye el 6%. Otros recursos, como la energía geotérmica y la nuclear, suman un 1% cada uno, y el 19% restante proviene de diversas fuentes de energía como carbón vegetal, bagazo o leña según la (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018).

El sector del transporte es el mayor consumidor de energía, por su alto consumo de combustible fósil derivado del petróleo como la gasolina o diésel con escaso uso de vehículos eléctricos, por lo que el consumo de energía se deriva de los hidrocarburos, lo que está representando el 52% del total, seguido por la industria con un 18%. Los hogares consumen el 13%, mientras que el comercio y los servicios utilizan un 12%. Por otro lado, la agricultura, la pesca y la minería representan un 3%, y la construcción solo el 2% del consumo total de energía (Organización Latinoamericana de Energía, 2022).

El uso de la hidroelectricidad como fuente de energía genera cierta controversia. Construir embalses implica talar grandes extensiones de bosque, inundar terrenos y, en muchos casos, desplazar a las comunidades locales, lo que plantea serios dilemas ambientales y sociales. A esto se suma la gran cantidad de emisiones de metano que se generan por la acumulación de sedimentos en el fondo de las represas y que contribuyen considerablemente a la emisión de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global. A pesar de lo planteado, la situación energética de Latinoamérica se proyecta con satisfactorias perspectivas porque las fuentes alternativas de energía se alcanzan con facilidad como es el caso de los residuos

sólidos orgánicos (Galván et al., 2023), el bioetanol (Doussoulin & Doussoulin, 2024)) y la radiación solar.

1.2.3 Panel Solar

Los paneles solares se conceptualizan como los dispositivos diseñados para convertir la energía solar en electricidad o calor utilizable, empleando principalmente tecnologías fotovoltaicas o térmicas. De acuerdo con Rodríguez (2018), los paneles fotovoltaicos están compuestos por celdas elaboradas con materiales semiconductores, como el silicio, que generan corriente eléctrica cuando son impactados por la radiación solar. Este proceso, conocido como efecto fotovoltaico, es fundamental para la transformación directa de la energía lumínica en energía eléctrica. Por otro lado, los paneles solares térmicos aprovechan la radiación solar para calentar fluidos, los cuales pueden ser utilizados en sistemas de calefacción o para generar vapor en procesos industriales.

El buen funcionamiento de los paneles solares depende de varios factores, como su orientación, inclinación y las condiciones climáticas de cada lugar. Además, la incorporación de tecnologías avanzadas, como los sistemas de seguimiento solar, puede aumentar la captación de energía entre un 25 y un 30 %, especialmente en zonas con alta radiación solar (Cangas y Ferro, 2024). Por otro lado, los avances en materiales semiconductores y en tecnologías de almacenamiento están mejorando la eficiencia y reduciendo los costos, lo que hace más fácil que esta tecnología se adopte a gran escala.

No cabe duda de que los paneles solares juegan un papel clave en la transición

hacia un modelo energético más sostenible. Actualmente, los estudios buscan desarrollar materiales más eficientes, como los perovskitas, y sistemas integrados que permitan generar y almacenar más energía (Parreño et al., 2020). Estas innovaciones podrían superar las limitaciones actuales, como la dependencia del clima, y ampliar el uso de los paneles solares en industrias, ciudades y zonas rurales. Además, con el impulso de políticas globales que promueven las energías renovables, se espera que esta tecnología crezca de manera significativa en las próximas décadas.

1.2.4 Introducción a los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se denomina una tecnología renovable que convierte la radiación solar en electricidad mediante el uso de celdas solares. Esta tecnología es una excelente opción para generar electricidad, fundamentalmente en aplicaciones industriales, en el cual las demandas energéticas son significativamente altas. Para Santos (2022), la energía solar fotovoltaica es un proceso mediante el cual la luz del sol se transforma en electricidad utilizando células fotovoltaicas. En esencia este tipo de energía, derivada de la luz y el calor solar, se produce de la radiación que llega a la Tierra, que puede ser capturada tanto por el calor generado como por la absorción de la radiación en diversos dispositivos ópticos. En función a ello, se clasifica como una fuente de energía renovable y limpia, sin causar contaminación, por lo que se conoce por energía verde (Aparicio, 2020).

La energía solar fotovoltaica se presenta como una de las soluciones más sostenibles y efectivas para generar electricidad. Este sistema aprovecha el efecto fotovoltaico, un fenómeno en el que la luz del sol, formada por fotones, incide sobre las

células de los paneles solares (Mendoza, 2022). Estas células, hechas de materiales semiconductores como el silicio, liberan electrones al recibir la luz, generando así una corriente eléctrica. Esta corriente es de tipo continuo, pero mediante inversores se transforma en corriente alterna, que es la electricidad que usamos en hogares e industrias (Enercity S.A., 2022).

Un sistema fotovoltaico generalmente incluye varios componentes: los paneles solares, que captan la luz; un inversor, que convierte la electricidad para que pueda usarse; y, en algunos casos, un sistema de almacenamiento en baterías, que permite aprovechar la energía incluso cuando no hay sol (Dimateria, 2024). La gran ventaja de este sistema es que genera energía limpia, sin emisiones de gases contaminantes, convirtiéndose en una opción clave en la lucha contra el cambio climático.

La eficiencia de los sistemas fotovoltaicos estriba de la intensidad y duración de la luz solar, el ángulo de inclinación de los paneles y las temperaturas ambientales. En este sentido, la tecnología ha avanzado y, por consiguiente, se reducen los costos de instalación, por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos se vuelven accesible y rentable para las personas y empresas, consintiendo no solo reducir costos de energía, sino el fomento de una mayor independencia energética (PVEducation, 2023).

Ante lo señalado, hay que subrayar que la radiación solar, originada en el núcleo del sol por las reacciones de fusión termonuclear, se propaga mediante del espacio en forma de ondas electromagnéticas de diversas frecuencias. Estas ondas transportan energía solar hasta el planeta tierra, donde pueden ser convertidas en electricidad mediante el efecto fotovoltaico (Aparicio, 2020). En este orden, el efecto fotovoltaico es el fenómeno que conlleva a que una célula fotovoltaica convierta la luz solar en energía

eléctrica. Por otra parte, cabe mencionar que la luz solar compuesta por fotones, partículas de energía que varían en función de las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando estos fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser absorbidos, lo que provoca que la energía del fotón se transfiera a un electrón dentro de un átomo de la célula. Esta energía adicional permite que el electrón escape de su órbita habitual y se mueva, generando una corriente eléctrica (Gualoto y Cahuana, 2024).

Es importante aclarar cómo funcionan las células solares. Estas están formadas por capas de semiconductores que, al ser dopadas, crean un campo eléctrico con cargas positivas y negativas. Cuando la luz del sol incide sobre la célula, los electrones liberados son atrapados por este campo, generando un flujo de corriente eléctrica. Los semiconductores están hechos de materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas, pero se comportan como conductores cuando su energía aumenta (Gruezo & Solis, 2022).

Aprovechar esta energía es fundamental, ya que se trata de una fuente limpia y renovable que no daña el medio ambiente. El uso de la energía solar fotovoltaica ofrece grandes beneficios en términos de sostenibilidad y contribuye de manera directa a la protección del planeta.

1.2.5 Energía de Fuentes Renovables

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más relevantes e importante desde hace muchos años hasta en lo actual, pues aprovecha la radiación solar que llega a la Tierra, la cual se puede transformar en energía útil. Esta radiación

proviene de las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en el sol y que liberan enormes cantidades de energía electromagnética, distribuyéndose en diferentes longitudes de onda (Jarabo, 2022).

En este mismo orden de ideas, esboza Merino (2017) que la energía renovable se refiere a aquellas fuentes que se regeneran de manera constante y que, por tanto, no se agotan a escala humana. Estas fuentes incluyen la energía solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y las energías provenientes del mar. A diferencia de los combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo, las energías renovables son sostenibles y tienen un impacto ambiental significativamente menor, aunque no completamente inexistente.

En otra definición se conceptualizan como energías renovables a aquellas fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales inagotables o que se regeneran de forma rápida, como el sol, el viento, el agua, la biomasa y el calor terrestre (Velásquez & Castiblanco, 2021). A diferencia de los combustibles fósiles, cuya disponibilidad es limitada y su explotación contribuye al cambio climático, las energías renovables ofrecen un modelo de producción más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Estas fuentes, al no generar emisiones de dióxido de carbono (CO₂), colaboran en la lucha contra el calentamiento global (Catalán, 2021).

Entre las principales fuentes de energía renovable destacan la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la biomasa. La energía solar, por ejemplo, se puede aprovechar mediante sistemas fotovoltaicos o termosolares, generando electricidad o calor de manera limpia. La energía eólica, por su parte, se obtiene gracias a aerogeneradores que capturan la fuerza del viento. La hidroeléctrica utiliza el

movimiento del agua para producir electricidad, mientras que la biomasa transforma residuos orgánicos en biocombustibles, que también pueden generar energía o calor. Cada una de estas fuentes representa una oportunidad para cuidar el planeta y reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles (Rodríguez, 2018).

A pesar de sus beneficios ambientales, las energías renovables presentan desafíos, las instalaciones necesarias para su explotación requieren grandes espacios y suelen ser costosas. Al mismo tiempo, la solar o la eólica, dependen de condiciones naturales variables, lo que puede generar problemas de intermitencia en su producción. Sin embargo, la reducción de la dependencia de recursos no renovables y el potencial de generar empleo verde hacen de las energías renovables una alternativa clave para el futuro energético del planeta (Futuro Eléctrico, 2023).

Cabe destacar que, de todas las energías renovables, el sol es la fuente principal. Acentuando que la energía eólica proviene de las diferencias de presión causadas por el calor solar, lo que genera los vientos. La energía hidráulica, por su parte, es resultado del ciclo del agua, que también es influenciado por el sol, mientras que la biomasa se produce a partir del crecimiento vegetal, un proceso que depende de la fotosíntesis solar (Merino, 2017). De manera directa, el calor y la radiación solar se aprovechan en tecnologías como la energía solar térmica y la fotovoltaica.

El uso creciente de estas fuentes no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también contribuye a mejorar la seguridad energética de las naciones, ya que disminuye la dependencia de combustibles fósiles, los cuales suelen estar sujetos a fluctuaciones de precios y conflictos. (Twidell & Weir, 2021).

Aunque las energías renovables también tienen cierto impacto ambiental, este

es mucho menor que el de las fuentes convencionales. Por ejemplo, la energía eólica y la minihidráulica generan efectos sobre el medio ambiente muy inferiores a los del carbón o el gas natural (Boyle, 2012). Además, combinar diferentes fuentes renovables, como la solar fotovoltaica con la eólica, ha demostrado ser una estrategia eficaz para garantizar un suministro energético más seguro.

1.2.6 Viabilidad Económica de la Energía Solar Fotovoltaica

La viabilidad económica se refiere a la inversión necesaria para implementar paneles solares en una planta industrial, y en ella influyen varios factores, como los costos iniciales de instalación, los gastos de mantenimiento y la reducción en el consumo de energía convencional (Duran y Macana, 2021). Analizar la viabilidad económica implica calcular el retorno de inversión (ROI), el período de recuperación (payback) y los ahorros a largo plazo. Estos elementos ayudan a determinar si el proyecto es financieramente viable y competitivo frente a otras fuentes de energía.

En los últimos años, la viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica ha mejorado notablemente, convirtiéndola en una de las opciones más atractivas, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Antes, los altos costos de instalación y la dependencia de subsidios eran barreras importantes para su adopción (Suxo, 2023). Sin embargo, los avances tecnológicos han reducido significativamente los costos de los paneles solares, haciendo que la energía fotovoltaica sea mucho más rentable. Además, su bajo costo de operación y mantenimiento, junto con la estabilidad de los precios a largo plazo, le otorgan una ventaja frente a las fuentes de energía tradicionales (Megawatt, 2024).

Económicamente la energía solar fotovoltaica es su capacidad para proporcionar un retorno de inversión (ROI) favorable, especialmente en regiones con alta radiación solar (Asensio, 2022). Al respecto, los ahorros en las facturas de electricidad, junto con los incentivos fiscales y las políticas de apoyo, como las tarifas de alimentación y los subsidios a la instalación, han facilitado la adopción de esta tecnología en diversas industrias y hogares. Al mismo tiempo, su integración con sistemas de almacenamiento de energía mejora la rentabilidad al permitir el uso de la energía generada en horas no soleadas (Megawatt, 2024).

En países latinoamericanos como Brasil, Chile y México, se ha demostrado que invertir en sistemas fotovoltaicos no solo ayuda a reducir la dependencia de energías no renovables, sino que también impulsa el desarrollo económico local, generando empleo en la industria solar (Nasirov, 2023). La flexibilidad para instalar estos sistemas ya sea en techos o terrenos comerciales, y su capacidad de expandirse según las necesidades energéticas, refuerzan aún más su viabilidad económica a largo plazo (De Souza, 2024). En pocas palabras, la energía solar fotovoltaica se perfila como una de las soluciones más prometedoras económicamente, gracias a la disminución de costos, los incentivos gubernamentales y su potencial para generar ahorros sostenibles a largo plazo. Esta tendencia además impulsa la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

En el sector industrial, la viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica se evidencia en su capacidad para reducir los costos operativos a largo plazo, especialmente en el consumo de energía. A medida que los precios de los paneles solares bajan y la tecnología se vuelve más eficiente, la inversión inicial se vuelve

mucho más atractiva para las industrias que buscan depender menos de fuentes de energía convencionales y reducir sus gastos de operación (Portella, 2022).

Evaluar económicamente un proyecto fotovoltaico implica analizar los costos de instalación, que incluyen la adquisición de terrenos, la construcción de las instalaciones y la compra de maquinaria especializada para producir los paneles solares. También es fundamental considerar los costos de mantenimiento, que resultan relativamente bajos comparados con otras formas de generación de energía (Breyer, 2019).

La viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica en las industrias depende de diversos factores que incluyen los costos iniciales de inversión, los ahorros en el consumo energético a largo plazo y el retorno sobre la inversión (ROI). Un aspecto clave es la posibilidad de reducir los costos operativos de energía mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos que aprovechan la irradiación solar disponible. En esta viabilidad económica, el retorno de la inversión (ROI), que se mide con el cálculo del plazo de recuperación de la inversión o payback es necesario y se obtiene dividiendo el costo total del proyecto entre los ahorros anuales generados por la reducción del consumo energético. Las industrias suelen recuperar su inversión en un periodo razonable, especialmente en regiones con alta radiación solar, donde la eficiencia de los paneles fotovoltaicos es mayor (Portella, 2022). Durán & Macana (2021), señalan que, aunque la inversión inicial es significativa, los ahorros anuales derivados de la reducción del consumo de energía eléctrica convencional permiten recuperar la inversión en un período de entre seis a diez años.

El análisis de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) muestra que un proyecto de energía solar fotovoltaica puede

generar ahorros significativos en las tarifas de electricidad, sobre todo cuando los precios de la energía aumentan. Este ahorro no solo permite a las empresas gastar menos en energía, sino que también reduce su dependencia de fuentes tradicionales, mejorando su rentabilidad y fortaleciendo su competitividad a largo plazo (Hernández, 2025).

En la implantación de energía solar fotovoltaica en industrias, igualmente es conveniente calcular el impacto ambiental como un factor de ahorro indirecto. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero contribuye a mejorar la imagen de sostenibilidad de las empresas, lo cual puede abrir nuevas oportunidades de negocio y reducir potenciales impuestos relacionados con las emisiones de carbono (Asensio, 2022).

1.2.7 Eficiencia Energética de los Sistemas Fotovoltaicos

La eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico se refiere a su capacidad para convertir la radiación solar en electricidad útil. La calidad de los paneles solares, la irradiación solar disponible en la ubicación de la planta, las condiciones climáticas y la tecnología utilizada inciden en su rendimiento. Sobre esto, en particular, la evaluación de la eficiencia de los sistemas es primordial con el análisis de la capacidad instalada, el rendimiento de los paneles en diferentes condiciones, y la cantidad de energía que pueden generar en función de la demanda de la planta.

Según Rodríguez (2018), los paneles fotovoltaicos convierten la radiación solar en electricidad utilizando materiales semiconductores como el silicio, cuya eficiencia está influenciada por la calidad de la luz solar, la temperatura ambiental y las pérdidas

inherentes al proceso de conversión. A pesar de las limitaciones físicas de los materiales actuales, las innovaciones tecnológicas han permitido alcanzar rendimientos superiores al 20% en las células más avanzadas.

Izquierdo (2018) destaca que la eficiencia de un sistema fotovoltaico no depende únicamente de las características técnicas de los módulos. También es crucial una orientación e inclinación adecuadas, así como un mantenimiento constante para evitar que el polvo y la suciedad reduzcan la producción eléctrica de manera significativa. Además, la integración de sistemas de seguimiento solar puede aumentar la captación de energía hasta un 30 %, especialmente en zonas donde la radiación solar varía mucho durante el día.

En términos generales, aunque los costos iniciales puedan parecer un desafío, los sistemas fotovoltaicos se presentan como una opción sostenible y eficiente dentro de la transición hacia fuentes de energía renovables. No solo ayudan a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, se consolidan como un modelo energético más limpio, confiable y autosuficiente.

1.2.8 Impacto Ambiental de la Energía Solar Fotovoltaica

La implementación de sistemas fotovoltaicos posee beneficios ambientales de manera directa, tal como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al sustituir el uso de fuentes de energía fósil (Montoya, 2023). Al respecto, al emplear la energía solar, las plantas industriales logran la disminución de su huella de carbono, favorecen con la mitigación del cambio climático, y se alinean con políticas

ambientales. Todo esto se alcanza porque la energía solar es una fuente inagotable y limpia, lo que reduce el impacto ambiental relacionado con la producción de energía convencional.

El uso de la energía solar fotovoltaica (FV) ha experimentado una inmensa crecida en los actuales momentos, la cual se acentúa como una alternativa viable hacia la reducción del impacto ambiental en las industrias. No obstante, el impacto ambiental de la energía solar FV no es nulo, porque se requiere tomar en cuenta todo el ciclo de vida, desde la fabricación de los paneles hasta su disposición final (Pereira & Coria 2022). La producción de módulos fotovoltaicos involucra procesos intensivos en energía, especialmente en la fabricación de silicio cristalino, lo que conlleva emisiones de dióxido de carbono asociadas (Williams & Laborde, 2016).

En función a lo manifestado, se reitera que un instrumento útil e indicado para la evaluación del impacto ambiental total de los sistemas FV es ejecutar un análisis del ciclo de vida. Este método abarca desde la extracción de materias primas, pasando por la producción y la operación de los paneles, hasta su eventual desmantelamiento. Un estudio típico de LCA examina dos factores: el tiempo de amortización energética (EPBT, Energy Payback Time) y las emisiones equivalentes de CO₂ durante todo el ciclo de vida del sistema. Para los sistemas basados en silicio cristalino, que representan más del 90% del mercado, el EPBT ha disminuido notablemente en las últimas décadas, debido a mejoras en la eficiencia de los procesos industriales y avances tecnológicos (Vega, 2024).

En este sentido, las emisiones de CO₂ durante la vida útil de los sistemas fotovoltaicos han mejorado notablemente. Cotejando otras fuentes de energía, los

sistemas FV poseen un perfil de emisiones mucho más bajo. Mientras que, el carbón genera entre 660 y 1050 g de CO₂ por kWh producido, la energía solar FV emite entre 13 y 190 g de CO₂ por kWh, dependiendo de la tecnología específica empleada y la ubicación geográfica del sistema. Esta categoría de emisiones emplaza a la energía solar FV como la más limpia, si bien todavía subsisten desafíos para reducir aún más su impacto en las etapas de fabricación (Williams & Laborde, 2016).

Las circunspecciones ambientales directas, determinan que la energía solar FV contribuye a la descarbonización de la industria en un sentido más amplio. Su implementación en redes industriales consigue sujetar la dependencia de combustibles fósiles y a la disminución de la huella de carbono general de las operaciones industriales. Las tecnologías emergentes, como las celdas solares de película delgada, están ampliando las posibilidades de aplicación de la energía solar, con menores requerimientos de materiales y procesos más eficientes desde el punto de vista energético (Castilla, 2017).

1.2.9 Tecnologías y Equipos Fotovoltaicos

En la actualidad concurren diferentes tecnologías fotovoltaicas, aunque la más frecuente son los paneles solares monocristalinos, policristalinos y de película delgada. Cada tecnología brinda superioridades y desventajas en términos de eficiencia, costo y durabilidad. La elección de la tecnología conveniente para una planta industrial requiere discurrir componentes constituyentes como la irradiación solar, el espacio disponible para la instalación, y las necesidades energéticas (Linares, 2022). La adecuada elección de los equipos avala un mayor beneficio de la energía solar y un mejor

rendimiento económico del proyecto.

Los sistemas fotovoltaicos (FV) en el sector industrial constan de módulos solares, inversores, y equipos de balance del sistema (BOS, por sus siglas en inglés), que aprueban la conversión eficiente de la energía solar en electricidad utilizable. Los módulos están compuestos por células solares que crean electricidad partiendo de la luz solar mediante el efecto fotovoltaico. Hay diferentes tecnologías de células, las de silicio cristalino, multicristalino y de película delgada, cada una con características que afectan su eficiencia y costo (Lorenzo, 2016).

La forma en que se diseñan los sistemas fotovoltaicos en las industrias varía según el tipo de aplicación. En las instalaciones conectadas a la red, se suelen manejar grandes plantas fotovoltaicas que incorporan sistemas de seguimiento solar para maximizar la captación de energía, logrando así una mayor eficiencia. Por otro lado, las industrias ubicadas en áreas remotas o con problemas de conexión a la red tradicional pueden optar por sistemas aislados, que requieren almacenamiento en baterías para garantizar un suministro continuo de energía (Markvart & Castañer, 2023).

Un componente clave de cualquier sistema fotovoltaico es el inversor, que transforma la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, adecuada para la mayoría de los equipos industriales. Además, estos inversores cumplen funciones esenciales de monitoreo y control, ajustando la operación del sistema según las condiciones ambientales y el estado de los módulos solares. Las estructuras de soporte, las conexiones eléctricas y los dispositivos de seguridad, como fusibles y tomas de tierra, forman parte del balance del sistema (BOS) y representan una porción importante de los costos de instalación (Gruezo y Solis, 2022).

A medida que la tecnología fotovoltaica continúa avanzando, las mejoras en la eficiencia de los módulos y en los sistemas BOS han permitido reducir los costos totales de implementación. Las células solares de capa delgada, por ejemplo, aunque menos eficientes que las de silicio cristalino, ofrecen un costo de producción más bajo y son ideales para aplicaciones a gran escala. Estas innovaciones tecnológicas, junto con incentivos gubernamentales y la creciente demanda de energía limpia, han impulsado el crecimiento de la industria fotovoltaica en los últimos años, con proyecciones de seguir expandiéndose en las próximas décadas (Lorenzo, 2016).

En esta situación actual, el sector industrial ha sido uno de los mayores beneficiarios del desarrollo de tecnologías fotovoltaicas, debido a que su modularidad conlleva a que las instalaciones se adapten a las necesidades energéticas de diferentes tipos de industrias.

1.2.10 Normativas y Regulaciones para la Implementación de Energía Solar en la Industria

La implementación de paneles solares en una planta industrial está sujeta a diversas normativas y regulaciones que se modifican de acuerdo a la región y/o al país. Estas normativas pueden circunscribir incentivos gubernamentales, regulaciones ambientales y requerimientos de seguridad hacia la instalación y operación de los sistemas fotovoltaicos. Las empresas deben conocer y cumplir con estas normas para responder a la legalidad y sostenibilidad de su proyecto. Bajo este criterio, los incentivos como exenciones fiscales, subsidios o deducciones por el uso de energías renovables pueden mejorar la viabilidad económica del proyecto.

Las normativas y regulaciones sobre energía solar en las industrias tienen como objetivo principal guiar y controlar el desarrollo, la instalación y la operación de sistemas de generación distribuida basados en energías renovables.

En Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) es la entidad comisionada para el establecimiento del marco regulatorio que consiente a las industrias autoabastecerse con energía solar y otras fuentes renovables. Este marco normativo contiene referentes técnicos, comerciales y administrativos precisos para certificar una adecuada implementación de los sistemas fotovoltaicos en la red eléctrica nacional (ARCERNNR, 2021).

Desde esta perspectiva, la Regulación ARCERNNR 001/2021 establece las disposiciones para la generación distribuida destinada al autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. Esta medida examina desde el proceso de habilitación de las instalaciones hasta la sincronización de los sistemas con la red eléctrica. De la misma manera define que los excedentes de energía generada por el sistema fotovoltaico que pueden ser inyectados a la red de distribución, condescendiendo a las industrias formar créditos energéticos, contribuyendo a la reducción de costos operativos y mejora la sostenibilidad de la operación industrial (ARCONEL, 2024).

Se recalca que la normativa instaure requisitos específicos para la obtención de certificados de calificación, los cuales incluyen la factibilidad de conexión, la ubicación del inmueble donde se instalará el sistema y la memoria técnica del proyecto. Asimismo, se solicita que los consumidores estén al día con los pagos de suministro de

energía eléctrica antes de poder implementar un sistema fotovoltaico. Se caracterizan las condiciones técnicas que corresponden obedecer las instalaciones, como el tipo de medidor a emplear, la conexión a la red y las pruebas de funcionamiento previas a la operación (ARCERNNR, 2021).

En relación al intercambio de energía, las industrias que efectúen estos sistemas de generación distribuida obligatoriamente deben medir la energía producida y consumida mediante medidores bidireccionales. Estos medidores consienten perpetrar un balance de energía entre la generada por los sistemas solares y la energía consumida de la red. En el caso de producir un excedente, este se convierte en un crédito energético que puede ser utilizado en futuros períodos de consumo, mientras que, si el balance es negativo, el consumidor deberá pagar la diferencia a la distribuidora (ARCERNNR, 2021).

La normativa establece un régimen de sanciones para los casos de incumplimiento en la operación y el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. Las industrias tienen la responsabilidad de asegurar que sus instalaciones sean seguras y confiables, cumpliendo con los estándares técnicos internacionales, como los establecidos por la IEEE Std. 1547. Además, se prohíbe cobrar cargos adicionales por la factibilidad de conexión o por la obtención del certificado de calificación, lo que hace que adoptar estas tecnologías sea mucho más accesible y sencillo para el sector industrial (ARCERNNR, 2021).

1.3 Marco Legal y Ambiental

Las regulaciones establecen directrices claras sobre las acciones de producción, orientando su ejecución para equilibrar el crecimiento económico con el respeto a los recursos naturales y la biodiversidad. De esta manera, se alinean los objetivos y políticas del Estado en el marco jurídico, minimizando las diferencias de opinión entre los inversionistas nacionales e internacionales. El presente artículo se propone analizar las normativas actuales relacionadas con la gestión de la energía en Ecuador. Se utiliza una metodología documental, no experimental y transversal, centrada en el análisis del sector eléctrico ecuatoriano, el cual está bajo la regulación del gobierno nacional en cuanto a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, con un enfoque en la seguridad, eficiencia y protección del medio ambiente. En cuanto a las normativas del Consejo Nacional de Electricidad que fomentan las energías renovables en Ecuador, la Regulación 004/11 destaca por establecer precios fijos en periodos definidos, lo que incentiva positivamente la inversión a nivel local, regional y nacional, siendo este servicio fundamental tanto para personas como para empresas, garantizando estabilidad en el sector(ARCERNNR, 2021).

La implementación de paneles solares y otras tecnologías limpias en Ecuador se fundamenta en varios artículos de la Constitución de la República y leyes específicas. El Acuerdo Ministerial 140, publicado en el Registro Oficial en 2015, establece un marco normativo que incentiva el uso de energías renovables no contaminantes, como la energía solar, en el país.

Constitución de la República del Ecuador

- Art. 14: Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y

ecológicamente equilibrado, fomentando el uso de tecnologías limpias y energías renovables no contaminantes, como los paneles solares.

- Art. 15: El Estado promueve el uso de energías alternativas y tecnologías limpias en el sector público y privado.
- Art. 395: El desarrollo sostenible y respetuoso con la diversidad cultural es un modelo que debe garantizar el acceso a los recursos naturales y su uso equilibrado para las generaciones presentes y futuras(Acuerdo Ministerial, 2015).

Ley de Gestión Ambiental

- Esta ley se refiere a la importancia de contar con una licencia ambiental para el inicio de actividades industriales que supongan riesgos al ambiente, lo cual incluye la implementación de paneles solares en plantas industriales. Además, menciona que el Ministerio del Ambiente es la autoridad encargada de regular y otorgar licencias para proyectos relacionados con energías renovables (Ministerio del Ambiente, 2023).
- Se destacan los incentivos fiscales como mecanismo para fomentar la adopción de tecnologías limpias. Las empresas que inviertan en tecnologías para la producción más limpia o energías renovables, como la solar, pueden deducir el 100% de la inversión realizada para la adquisición de maquinaria y equipos destinados a este fin(Acuerdo Ministerial, 2015).

Certificación Ecuatoriana Ambiental Punto Verde

- El certificado Punto Verde es un reconocimiento para las empresas que implementan procesos sostenibles, incluyendo el uso de energías renovables.

Aquellas industrias que implementen paneles solares y cumplan con los requisitos de ecoeficiencia pueden obtener este certificado, lo cual no solo mejora su imagen, sino que también les otorga beneficios fiscales y económicos (Acuerdo Ministerial, 2015).

Los paneles solares ofrecen múltiples beneficios ambientales tras su instalación. Una vez colocados, no generan emisiones a la atmósfera; por el contrario, contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al disminuir el uso de energía convencional. Aunque, como otras tecnologías, tienen algunos impactos ambientales negativos, la producción, el uso y la disposición final de los paneles solares son cada vez menos dañinos para el medio ambiente. Hoy en día, las instalaciones solares generan mucha menos contaminación en comparación con la que se ha producido en los últimos 40 años de desarrollo tecnológico. Este tipo de energía limpia resulta fundamental en la lucha contra el cambio climático, ya que no requiere combustión, lo que elimina la generación de emisiones de CO₂, principales causantes del efecto invernadero.

De tal manera, los efectos de los sistemas solares fotovoltaicos se pueden dividir en aspectos positivos y negativos (Engi, 2020). De acuerdo con el estudio de Chacón & Rincón (2018), que evalúa teóricamente los efectos de los paneles solares, se pueden identificar los siguientes:

Positivos:

- **No contaminan:** su uso evita daños a la atmósfera.
- **Fuente inagotable:** al provenir del sol, es una fuente de energía ilimitada.

- **Mantenimiento sencillo:** es económico y requiere poco esfuerzo, lo que lo hace fácil de mantener.
- **No es necesario modificar la infraestructura:** no se requieren cambios estructurales en los edificios donde se instalan.

Negativos:

- **Costo de instalación:** aunque ha habido un incremento de proyectos en el país, sigue siendo una inversión considerable para pequeñas o medianas empresas.
- **Residuos del sistema:** al llegar al final de su vida útil, el sistema requiere una gestión adecuada de los residuos generados tras su desinstalación.

Ecuador establece un marco legal que favorece la implementación de paneles solares en las industrias, apoyado en la Constitución y leyes como la Ley de Gestión Ambiental. Además, incentiva a las empresas mediante deducciones fiscales y certificaciones ambientales, con el objetivo de promover un desarrollo industrial sostenible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

1. Análisis ambiental proyectado

En cuanto a los impactos ambientales potenciales, es importante reconocer que, aunque la energía solar se considera una de las alternativas más limpias y sostenibles disponibles en la actualidad, también puede generar ciertos efectos secundarios a lo largo de su ciclo de vida. Entre los más relevantes se encuentra la generación de residuos una vez que los paneles fotovoltaicos alcanzan el final de su vida útil, lo cual

se estima en un promedio de 20 a 25 años; en ese momento, el desecho de materiales como vidrio, aluminio, silicio y componentes eléctricos podría representar un riesgo si no se gestiona adecuadamente. Asimismo, la fabricación e instalación de los paneles implica un consumo considerable de materiales y recursos, lo cual, aunque se amortiza con los beneficios ambientales a lo largo de su operación, debe considerarse dentro de la planificación del proyecto. Finalmente, existe una posible afectación visual o espacial, dado que la instalación de los arreglos fotovoltaicos modifica el paisaje industrial y requiere áreas físicas que podrían destinarse a otros usos.

Para mitigar estos impactos, resulta indispensable plantear medidas concretas que acompañen la operación de la planta. En primer lugar, se debe establecer un programa de mantenimiento preventivo periódico, con el fin de prolongar la vida útil de los equipos y reducir la frecuencia de reemplazos innecesarios. En segundo lugar, se recomienda diseñar desde el inicio un plan de disposición final que contemple acuerdos con gestores ambientales autorizados, orientados al reciclaje de materiales como aluminio, vidrio y componentes electrónicos, los cuales pueden reincorporarse a la cadena productiva. En tercer lugar, la capacitación ambiental dirigida al personal de la planta se convierte en una herramienta clave, ya que garantiza no solo un uso responsable de la tecnología, sino también la creación de una cultura organizacional comprometida con la sostenibilidad.

Respecto a la aplicación práctica de la normativa, la planta debe gestionar ante el Ministerio del Ambiente la obtención de la licencia ambiental correspondiente, para lo cual se requiere la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental Simplificado que detalle las posibles afectaciones y las medidas de mitigación propuestas. Además, una

vez implementadas las buenas prácticas ambientales y de eficiencia energética, la empresa podría acceder al certificado **Punto Verde**, que constituye un reconocimiento oficial a la ecoeficiencia de los procesos y, al mismo tiempo, un incentivo reputacional y fiscal que refuerza la competitividad de la organización.

2. Análisis social

En el ámbito social, considero que el proyecto también tiene repercusiones positivas que van más allá de los límites de la planta industrial, ya que al generar energía limpia y sustituir el consumo de fuentes convencionales, se aporta de manera directa a la reducción de la huella de carbono en la zona, lo cual mejora la calidad del aire y disminuye los riesgos asociados a la contaminación atmosférica. Asimismo, la implementación de sistemas solares fomenta la creación de empleos tanto en la etapa de instalación como en las labores de operación y mantenimiento, contribuyendo al dinamismo económico local. De igual manera, la adopción de energías renovables proyecta una imagen empresarial sostenible, lo que fortalece la reputación de la industria frente a sus clientes, proveedores y la comunidad en general, generando confianza y posicionando a la organización como un referente en innovación y responsabilidad ambiental.

En definitiva, este análisis complementario evidencia que el proyecto no solo se enmarca dentro de la normativa vigente, sino que también incorpora una visión preventiva y responsable frente a los impactos ambientales y sociales, garantizando que la implementación de los paneles solares sea coherente con los principios de sostenibilidad, competitividad y compromiso comunitario que la industria busca mantener en el largo plazo.

1.4 Hipótesis y Variables

1.4.1 Hipótesis

El estudio de viabilidad económica permitirá conocer la factibilidad de los paneles solares en las industrias permitiendo reducir los costos energéticos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorando la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental del sector.

1.4.2 Identificación de las Variables

- **Variable Independiente:** Implementación de Paneles Solares.
- **Variable Dependiente:** Eficiencia Energética.

1.4.3 Operacionalización de las Variables

Tabla 1 - Cuadro de Operacionalización

Variables	Dimensión	Indicadores	Ítems	Escala de medición
	Viabilidad técnica	Características técnicas del sistema	La capacidad total instalada (kW) cumple con los requerimientos energéticos proyectados.	Razón
			El número de paneles coincide con el diseño propuesto.	Razón

Implementación de paneles solares	Los equipos cumplen con certificaciones internacionales de calidad.		Nominal
	La orientación e inclinación de los paneles se ajusta a los cálculos de ingeniería.		Nominal
	La infraestructura de montajes garantiza estabilidad y seguridad.		Ordinal
Viabilidad económica	Rentabilidad del Proyecto	El VAN obtenido es positivo y supera el valor mínimo aceptable para proyectos industriales.	Razón
		La TIR supera el costo de oportunidad del capital.	Razón
		El ROI demuestra que el proyecto recupera y multiplica la inversión.	Razón

		El tiempo de recuperación es menor o igual al previsto en la evaluación final.	Razón
Impacto Ambiental	Reducción de emisiones	Toneladas de CO2 evitadas anualmente gracias a la producción fotovoltaica.	Razón
		Porcentaje de reducción de emisiones respecto al consumo energético previo.	Razón
		Cumplimiento de estándares y normativas ambientales vigentes.	Nominal
		Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con energía y clima.	Nominal

Eficiencia Energética	Diagnóstico energético	Inventario energético	Evaluación física del sitio, análisis del consumo eléctrico y condiciones ambientales.
	Parámetros climáticos	Descripción técnica	Condiciones climáticas favorables de la región, caracterizadas por una alta irradiación solar promedio y temperaturas.

Fuente: Guevara (2025).

1.5 Marco Metodológico

1.5.1 Modalidad Básica de la Investigación

Este estudio se desarrolló bajo la modalidad de investigación bibliográfica – documental y de campo, con la implementación práctica de tecnologías sostenibles dentro de un contexto industrial. La elección de esta modalidad obedece a la necesidad de proporcionar soluciones concretas y aplicables que permitan evaluar de manera objetiva y cuantificable el impacto de los sistemas fotovoltaicos en las plantas industriales. Esta modalidad buscó no solo el análisis teórico, sino también la comprobación empírica de los beneficios económicos y ambientales derivados del uso de paneles solares.

Con esta investigación se generaron conocimientos orientados a resolver un problema concreto: mejorar la eficiencia energética y la viabilidad económica en una planta industrial mediante la instalación de paneles solares. Este enfoque práctico permitió que el estudio se centrara en aspectos directamente relacionados con los costos de energía, el retorno de inversión y la eficiencia energética, así como en las posibles mejoras en sostenibilidad ambiental. Además, utilizar este enfoque facilitó adaptar los resultados a las condiciones específicas de la industria ecuatoriana, donde la adopción de tecnologías renovables todavía está en desarrollo.

Finalmente, se contribuyó a fortalecer el desarrollo de capacidades analíticas en el ámbito de las energías renovables dentro del sector industrial, promoviendo una cultura de sostenibilidad en el uso de recursos energéticos. La investigación aportó herramientas prácticas y metodológicas que facilitan la planificación y evaluación de futuros proyectos solares, convirtiendo los resultados obtenidos en una referencia útil

para industrias locales interesadas en reducir su impacto ambiental y sus costos energéticos de manera sostenible.

1.5.2 Enfoque

El enfoque de la investigación fue mixto, cuantitativo y cualitativo dada la necesidad de analizar datos numéricos específicos relacionados con la viabilidad económica y energética de la tecnología fotovoltaica e interpretar documentos y textos la implementación de paneles solares. Este enfoque permitió evaluar métricas como los costos de instalación, los costos de mantenimiento, el retorno de inversión y los ahorros energéticos a largo plazo. Se utilizaron metodologías de análisis comparativo para validar los datos obtenidos y construir escenarios de implementación que pudieran simularse en condiciones industriales similares. El enfoque también posibilitó medir el impacto de la reducción de emisiones de CO₂ en función del consumo eléctrico, proporcionando una base sólida para justificar la adopción de tecnologías sostenibles en términos de beneficios ambientales, y promoviendo una transición alineada con los objetivos de sostenibilidad y ahorro de energía del sector industrial.

1.5.3 Nivel de Investigación

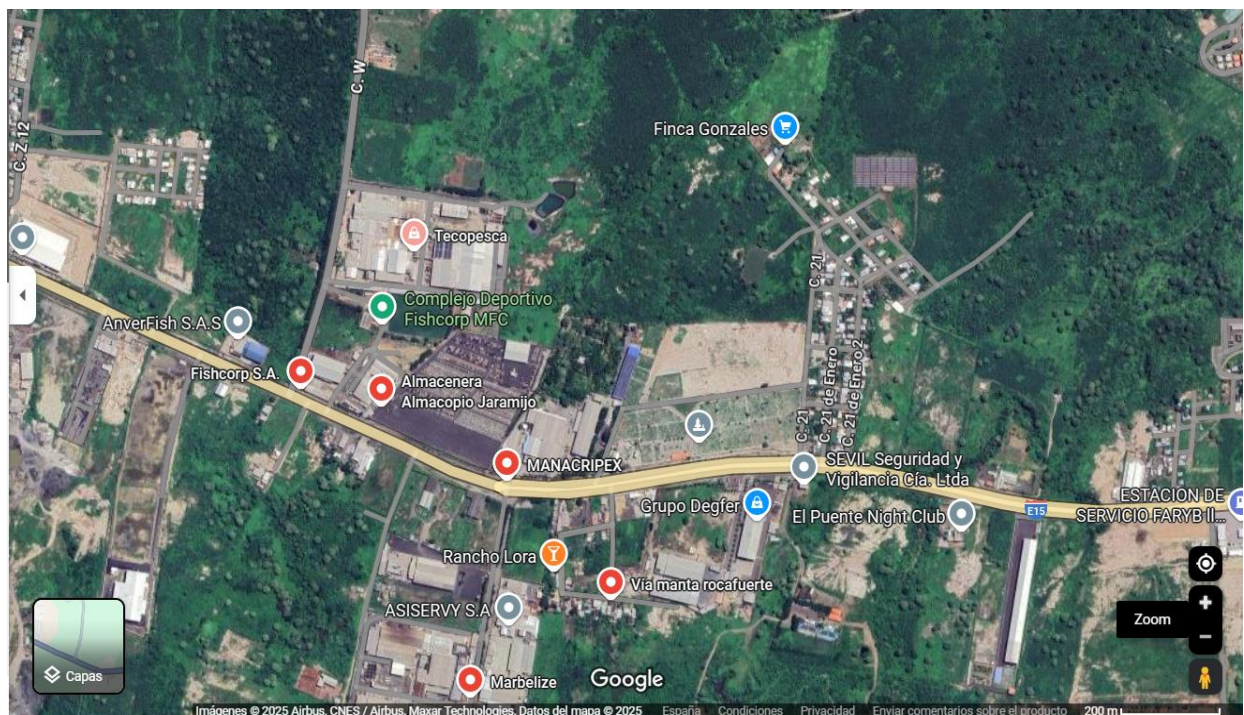
La exploración fue de nivel descriptivo. La ración descriptiva permitió puntualizar las características del estilo fotovoltaico, sus componentes técnicos, la relación industrial y los costos de cada etapa de implementación. Este nivel de especificación fue principal para vislumbrar el funcionamiento integral de la red en el ambiente de la figura industrial. Se analizaron indicadores tanto en costos energéticos, la minimización de la huella de carbono, el periodo de retorno de inversión, identificando patrones de relación que contribuyen a evaluar el cumplimiento de los sistemas solares bajo

diversas condiciones industriales y climáticas.

1.5.4 Área de Estudio

Las instalaciones industriales ubicadas en el Km 4.5 vía Manta - Rocafuerte dentro de Jaramijó - Ecuador que necesitan consumo de energía para poder funcionar y realizar el trabajo correcto de productividad, ubicada en zonas de alta irradiación solar.

Ilustración 1 - Mapa Satelital



Nota. En el mapa se observa la ubicación de las industrias. Fuente: Google Maps 2025.

1.5.5 Técnicas de Recolección de Datos

Se utilizaron tanto fuentes primarias como secundarias en la recolección de datos. Las fuentes primarias incluyen observación directa de las condiciones de infraestructura de la planta, también una recopilación documental y bibliográfica donde se plasma temas relacionados con los sistemas fotovoltaicos, sus características, eficiencia, beneficios y así mismo sus desventajas, aportando datos cualitativos que enriquecieron el análisis cuantitativo de viabilidad y eficiencia. Las fuentes secundarias consistieron en la revisión de estudios anteriores sobre sistemas solares fotovoltaicos, además de la consulta de normativas y políticas energéticas aplicables en la región, lo cual permitió contextualizar los resultados dentro del marco legal y regulador vigente.

1.5.6 Plan de Recolección de Datos

El plan de recolección de datos se estructuró en varias fases que permitieron un análisis exhaustivo de la viabilidad del proyecto. La primera fase consistió en un diagnóstico energético de la planta industrial, en el cual se evaluaron los patrones de consumo de energía y se identificaron áreas con potencial para implementar paneles solares.

Tabla 2 Plan de Recolección de datos

Nº	Preguntas Frecuentes	Explicación
1	¿Para qué?	Para evaluar la viabilidad económica y la eficiencia energética en la implementación de paneles solares en plantas industriales, con el propósito de reducir costos

		operativos, optimizar la sostenibilidad ambiental y fomentar la competitividad empresarial.
2	¿De qué personas?	En este caso se representa con los procesos de producción, las maquinarias y los instrumentos que se utilizan en las instalaciones.
3	¿Sobre qué aspectos?	Sobre el consumo energético actual, los costos asociados, la viabilidad técnica de la instalación de sistemas fotovoltaicos, las proyecciones de ahorro y el impacto ambiental derivado de la implementación de estas tecnologías.
4	¿Quién investiga?	Investigador Jesús Mariano Espinales Parrales, con la orientación del tutor de titulación Ing. Néstor Emilio Loor Mendoza.
5	¿Cuándo?	Septiembre - Diciembre(2024)
6	¿Dónde?	Plantas industriales en la provincia de Manabí, específicamente la empresa seleccionada para el estudio.
7	¿Cuántas veces?	Una vez, a través de un análisis integral que incluye la recolección y evaluación de datos climáticos, energéticos y económicos.
8	¿Qué técnica de recolección?	Observación directa de las instalaciones industriales, y análisis de registros de consumo energético.

9	¿Con qué?	Herramientas de simulación energética, datos climáticos regionales, y softwares especializados para el tema.
10	¿En qué situación?	En el contexto de la transición energética hacia fuentes renovables, bajo la necesidad de optimizar la matriz energética industrial, alineándose con los objetivos de sostenibilidad ambiental y reducción de costos.

Fuente: Guevara (2025).

1.5.7 Procesamiento de la Información

Para determinar el consumo de energía, se llevó a cabo un trabajo de campo enfocado en el registro detallado de los equipos electrónicos, luminarias y sistemas instalados. A cada dispositivo se le asignará su potencia nominal, expresada en vatios, y se tomará en cuenta la cantidad de unidades y el tiempo promedio de uso diario. Posteriormente, se calculará el consumo diario multiplicando el número de equipos por su potencia y por las horas de funcionamiento, lo que permitirá estimar el consumo energético total por día. Para el Inventario Energético se consideraron electrodomésticos, cantidad, potencia w, horas de uso y consumo diario, modelo utilizado por Guevara (2023).

En la segunda fase, abarcó la recolección de datos climáticos y de irradiación solar específicas de la ubicación de la planta, con el fin de estimar el rendimiento energético de los paneles.

Con el propósito de recopilar la información necesaria respecto a la radiación

solar en el área de estudio, se llevará a cabo un procedimiento estructurado que incluye las siguientes etapas: en primer lugar, se accederá a la plataforma NASA POWER para descargar los registros históricos de irradiancia solar correspondientes a la localización geográfica seleccionada, abarcando el período comprendido entre 2024. Posteriormente, dichos datos serán organizados y procesados en una hoja de cálculo, permitiendo la tabulación de los valores diarios y mensuales de irradiación. A partir de esta información, se calculará el promedio de radiación solar expresado en horas solares pico, mediante la aplicación de una fórmula adecuada para tal fin. Finalmente, se elaborará un mapa solar del área de interés utilizando el software ArcGIS, integrando los datos geospaciales con los valores de irradiación obtenidos, lo cual permitirá contrastar la información satelital con mediciones in situ y, en consecuencia, realizar ajustes que conduzcan a una estimación más precisa del recurso solar disponible en la región.

Para calcular el potencial energético o irradiación global de los datos se aplica la siguiente fórmula: Ecuación de cálculo de Irradiación global.

Ecuación de Irradiación global ***Ig: hsp x 1000w/m2***

Significado

- **Ig:** radiación global
- **Hsp:** Horas solares pico

La tercera fase se realizó una evaluación de costos de instalación, recopilando datos sobre precios de equipos, costos de mano de obra y mantenimiento asociado.

En el mundo de la energía fotovoltaica, existen distintos tipos de paneles solares, siendo los de tecnología monocristalina de los más utilizados. Lo particular de

esta tecnología es cómo están estructuradas sus celdas: cada una formada por un único cristal de silicio. Los módulos monocristalinos se construyen conectando varias de estas celdas purificadas, en serie y en paralelo, lo que permite convertir la radiación solar en electricidad de manera eficiente. En las condiciones climáticas de Ecuador, la vida útil de estos paneles supera los 25 años, generalmente respaldada por una garantía de rendimiento del fabricante.

En la cuarta fase del estudio, se simuló la instalación del sistema fotovoltaico, utilizando estos datos para proyectar los resultados económicos y los posibles ahorros de energía. Esto permitió visualizar de manera clara los beneficios potenciales en un escenario real. Durante la recolección de datos climáticos, se incluyeron proyecciones de irradiación solar, aportando un contexto predictivo sobre el rendimiento energético de los paneles. Para el análisis económico, se emplearon indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión (payback), ofreciendo así una visión completa del impacto económico del proyecto.

Capítulo II

2. Diagnóstico o Estudio de Campo

En este capítulo se muestra la identificación de la cantidad de paneles solares que se requieren su eficiencia energética en función a la irradiación solar, rendimiento de los paneles y el clima local para satisfacer las demandas eléctricas de la planta.

Diagnóstico energético de la planta industrial

Como parte del estudio de viabilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico en la planta industrial, se realizó un diagnóstico energético detallado en

campo, que incluyó la evaluación física del sitio, análisis del consumo eléctrico y condiciones ambientales. Esta etapa permite la identificación de oportunidades de radiación de la zona. El levantamiento de información se llevó a cabo de manera visual las áreas operativas y administrativas de la planta, en las cuales se evaluaron las siguientes variables:

- Espacio disponible para la instalación de paneles (techos industriales, áreas adyacentes).
- Orientación y pendiente de las superficies disponibles.
- Sombreamientos generados por estructuras cercanas.
- Infraestructura eléctrica existente (tableros, transformadores, líneas de alimentación).
- Registro de consumo horario en sistemas críticos; refrigeración, iluminación, bombeo, cocción.

Para este estudio se utilizó la plataforma NASA POWER y se obtuvieron datos históricos de irradiancia solar global horizontal (GHI) del sitio, registrando un promedio anual de 5,15 kWh/m²/día en la localidad analizada. Esta información se complementó con datos climáticos locales, como temperatura ambiente, humedad y nubosidad, con el fin de ajustar los parámetros del sistema y asegurar que reflejaran las condiciones reales de operación. Para cuantificar el consumo energético en la planta de procesamiento se implementó un enfoque metodológico integral que incluyó la realización de un inventario energético detallado. Este proceso comprendió recorridos

sistemáticos por las instalaciones y entrevistas estructuradas con el jefe de mantenimiento, con el objetivo de identificar y registrar las fuentes principales de consumo eléctrico.

Entre los equipos que más energía consumen se encuentran los sistemas de refrigeración industrial, las líneas de procesamiento de atún y las calderas de vapor. Además, se identificó que las áreas de congelación y cocción registran los niveles más altos de consumo eléctrico, debido a que la maquinaria de alta potencia funciona de manera continua.

Para recopilar los datos, se utilizaron diversas fuentes: registros internos de operación, facturación eléctrica mensual y sistemas de monitoreo energético instalados en la planta. Esta combinación de información permitió obtener una visión precisa del consumo diario de energía.

En cuanto a las unidades, el consumo se registró en kilovatios (kW) y, para un análisis más detallado, se convirtió a vatios (W), recordando que 1 kW equivale a 1000 W, lo que facilita la comparación y el cálculo de los ahorros potenciales.

2.1. Inventario Energético

Tabla 3 *Inventario Energético*

Nº	Maquinarias	Cantidad	Potencia Unitaria (kW)	Horas de Uso / Día	Consumo (Kwh)	Potencia total (kW)
1	Compresores de refrigeración	4	5	20	40	2000

	industrial					
2	Túneles de Congelación	4	6	18	43,2	2400
3	Calderas de Vapor	3	9	16	28,8	2700
4	Línea de Cocción de Atún	2	4,5	16	5,4	900
5	Empacadora Automática	2	2,5	16	8	500
6	Sistema de Bombeo de Agua	4	1,0	10	4	400
7	Cámara de Refrigeración	3	0,8	24	82,56	240
8	Iluminación General (LED Industrial)	500	0.01	15	7,5	500
9	Ventilación Industrial	15	0,5	15	11,25	750
10	Oficinas Administrativas	15	0,4	12	7,2	600
Total					237,91	10,990

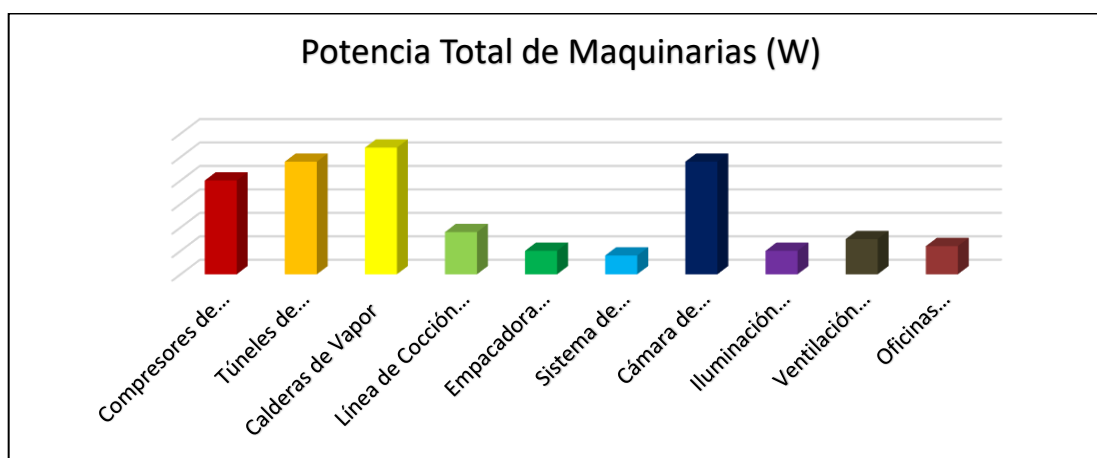
Nota. La tabla presenta el Inventario Energético. Fuente: Guevara (2023).

Total estimado de consumo diario: 237,91 kWh

Total de Potencia dada: 10,990 kW

En la tabla se observa como el consumo es elevado lo típico de una industria o planta con un consumo alto, siendo un valor superior al de una vivienda o un comercio promedio. En este sentido, corresponde a una demanda a nivel de la planta industrial.

Ilustración 2 - Potencia Gráfica de Maquinarias



Nota. En la gráfica se observa la potencia total de maquinarias.

2.2. Determinación de los paneles fotovoltaicos pertinentes para su implementación en la planta.

Los paneles fotovoltaicos más adecuados para la planta son los monocristalinos, conocidos por su alta eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad. En particular, se seleccionó el panel monocristalino Half de 450 W, que tiene una eficiencia del 20,35 %. Esto significa que puede transformar de manera muy efectiva la radiación solar en energía útil.

Gracias a esta eficiencia comprobada, el sistema puede generar más energía utilizando menos superficie de paneles. En la práctica, esto se traduce en un mejor rendimiento global del sistema solar: la planta puede producir más electricidad con menos paneles, lo que no solo reduce los costos de instalación, sino que también aprovecha al máximo el espacio disponible para generar energía.

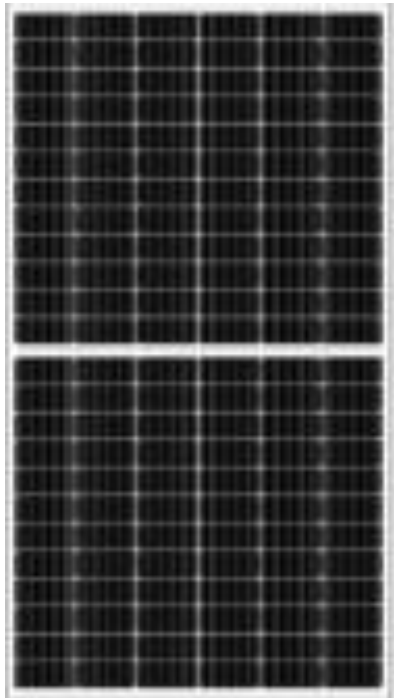
Especificaciones del sistema

Tabla 4 - Especificaciones del Sistema

Ítem	Valor
Potencia del Sistema	6,60 kW
Derate	0,78
Pérdidas del Sistema	0,22
Capacidad x Módulo	450 Wp
Capacidad x Inversor	10.000 W
Módulos x Inversor	20 módulos
Inversores x Sistema	1 inversor
Potencia x Inversor	6.600 W
Potencia x Sistema	6,60 kW

Nota. En la tabla se observa las especificaciones del sistema. Fuente elaboración propia Guevara (2025).

Tabla 5 - Descripción del Panel

Componente	Descripción del Componente	
	Panel Solar Monocristalino	450 Wp
	Half Cell	
	Modificación	144 Cells (6 x 24) 166 x 83mm 9BB
	Voltaje Circuito Abierto Voc	49.30
	Voltaje Potencia Máximo	41.5
	Vmpp	
	Corriente Circuito Cerrado	11.6
	Isc	
	Corriente Potencia Máxima	10.8
	Imp	
	Eficiencia Panel	20%
	Dimensiones	2094 x 1038 x 35mm
	Peso	25 Kg
	Voltaje	24V
	Potencia	450 Wp STC

Nota. En la tabla se describe el tipo de panel solar (2025).

2.3. Arreglo de Paneles Solares

Como resultado del diagnóstico, se propuso un sistema fotovoltaico inicial en configuración distribuida con las siguientes características técnica.

Tabla 6 - Arreglo de Paneles Solares Propuesto

Ítem	Detalle
Paneles por Arreglo	20
Potencia del Arreglo	6600 W (6,6 kW)
Paneles en Serie	10
Paneles en Paralelo	2
Tensión Máxima (Vmax)	370 V
Corriente Máxima (Imax)	18,5 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	440 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	17,9 A

El diseño considera módulos solares tipo monocristalinos de 450 Wp cada uno, con eficiencia del 20%, certificados bajo normas internacionales. Estos módulos son seleccionados por su alto rendimiento en condiciones de temperatura elevada y su buena respuesta ante irradiancia variable, características propias del clima de la costa ecuatoriana. La instalación se proyecta sobre techos industriales de estructura metálica, con una inclinación de 10° y con orientación hacia el norte, buscando

maximizar la captación de energía solar durante todo el día.

Se planteó una solución inicial estratégica dentro del plan de transición energética de la planta, que permite implementar el sistema de manera escalonada, según cómo se comporte la demanda energética y los ahorros que se vayan obteniendo en el corto plazo. La elección de una configuración distribuida —20 paneles por arreglo, conectados en 10 series y 2 paralelos— no solo aprovecha al máximo el espacio disponible en las cubiertas industriales, sino que también minimiza las pérdidas por sombreado parcial, aumentando así la eficiencia general del sistema.

Esta primera etapa, con 6,6 kW por arreglo, establece una base técnica sólida. Además, ofrece la flexibilidad de replicar o ampliar el sistema en fases futuras, adaptándolo a nuevas necesidades energéticas o a cambios en la infraestructura operativa de la planta. Con origen en la revisión realizado en las industrias se dimensionó un uso fotovoltaico que cumple con los requerimientos de autoconsumo parcial del

área. Además, la selección de módulos monocristalinos de alta eficiencia con certificación internacional no solo garantiza el rendimiento del sistema, sino que responde a las condiciones climáticas específicas de la región costera del Ecuador.

Tabla 7 - Datos Climáticos por Meses 2024

Mes	Tbs Promedio (°C)	Radiación Horizontal Total kWh/m2/d	Horas de Insolación h/d	Días continuos sin sol d/sem
Ene	26,5	6,8	5,4	1-2
Feb	27,0	7,0	5,8	1-2
Mar	28,3	6,8	6,0	1-2
Abr	27,5	6,5	6,5	1-2
May	26,0	6,1	6,8	1-1,5
Jun	25,5	5,9	7,0	1-1,5
Jul	25,5	6,0	7,2	1-1,5
Ago	26,0	6,5	7,0	1
Sep	26,5	6,8	6,8	1
Oct	27,0	6,9	6,5	1
Nov	26,5	6,7	6,0	1-1,5
Dic	26,5	6,6	5,8	1-1,5

Nota. En la tabla se visualiza los datos de los datos climáticos y de irradiación solar

Fuente: plataforma NASA POWER

Se calcularon las pérdidas globales de costumbre en un 22%, validez que es denso con instalaciones similares en zonas de entrada de humedad y temperaturas media superiores a 25 C, es el alcance del sitio en las industrias. Estas pérdidas fueron

consideradas de manera conservadora para proteger el detalle en la estimación de la generación energética.

Capítulo III

3 Propuesta de Mejora / Plan de Negocios / Artículo

En este apartado se analiza la viabilidad técnica relacionados a los parámetros climáticos y económica de la instalación de paneles solares en una planta industrial, teniendo en cuenta los costos de instalación, mantenimiento, el retorno de inversión y los ahorros en el consumo de energía, así como los beneficios ambientales, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto en la sostenibilidad de las operaciones de la planta asociados a la implementación de energía solar. En este orden seguidamente se presenta la discusión de los resultados comparando con la literatura actual de investigaciones recientes.

La viabilidad técnica de instalar paneles solares en la planta industrial está respaldada por las condiciones climáticas favorables de la región, que cuentan con una alta irradiación solar promedio y temperaturas que permiten que los módulos fotovoltaicos funcionen de manera eficiente. Estos factores, junto con la correcta orientación e inclinación de los paneles, ayudan a maximizar la generación de energía.

En el aspecto económico, aunque los costos iniciales de instalación y operación pueden parecer elevados, se compensan rápidamente con los ahorros significativos en el consumo de electricidad a largo plazo. Esto reduce la dependencia de la red pública y protege a la planta frente a las fluctuaciones en los precios de la energía. Además, los costos de mantenimiento son bajos y poco invasivos, lo que refuerza la sostenibilidad operativa del sistema a lo largo de toda su vida útil.

3.1 Descripción Técnica de los Parámetros Climáticos de NASA POWER

Tabla 8 - Descripción técnica de los parámetros climáticos de NASA POWER

PARÁMETROS	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
ALLSKY_KT	2023	0.47	0.45	0.47	0.53	0.48	0.46
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2023	9.23	7.43	8.73	12.35	9.15	8.56
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2023	17.2	16.73	17.91	19.36	16.64	15.38
ALLSKY_SFC_UVA	2023	1.13	1.13	1.18	1.26	1.1	1.03
ALLSKY_SFC_UVB	2023	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
ALLSKY_SFC_UV_INDEX	2023	1.99	2.1	2.22	2.28	1.94	1.81
CLRSKY_SFC_SW_DWN	2023	24.09	25.03	25.11	24.48	22.64	21.93
PS	2023	99.93	99.79	99.86	99.77	99.81	99.86
TOA_SW_DWN	2023	36.38	37.53	37.78	36.51	34.48	33.21
WSC	2023	2.58	2.1	1.88	1.72	2.54	2.81

PARÁMETROS	AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALLSKY_KT	2023	0.46	0.44	0.41	0.39	0.38	0.42
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2023	8.82	7.7	7.6	7.13	5.81	7.2
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2023	15.36	15.53	15.19	14.51	13.98	14.87
ALLSKY_SFC_UVA	2023	1.02	1.03	1.01	1.0	0.97	1.03
ALLSKY_SFC_UVB	2023	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
ALLSKY_SFC_UV_INDEX	2023	1.82	1.84	1.82	1.83	1.84	2.05
CLRSKY_SFC_SW_DWN	2023	22.08	23.35	24.54	24.86	24.28	23.81

<i>PS</i>	2023	99.87	99.89	99.83	99.87	99.81	99.77
<i>TOA_SW_DWN</i>	2023	33.64	35.36	36.91	37.25	36.45	35.79
<i>WSC</i>	2023	2.92	2.97	3.17	2.86	3.1	2.96

ANUAL
0.45
8.31
16.05
1.07
0.03
1.96
23.84
99.84
35.93
2.64

Los datos recopilados reflejan variables climáticas críticas para la evaluación técnica de un sistema fotovoltaico en la planta industrial, entre las que destacan el índice de claridad atmosférica (ALLSKY_KT), la radiación solar incidente en superficie (ALLSKY_SFC_SW_DWN), y la irradiancia directa normal (ALLSKY_SFC_SW_DNI). El promedio anual del índice de claridad (KT) fue de **0,45**, lo cual indica una buena disponibilidad de radiación solar durante todo el año, con una distribución estable que favorece la generación energética continua. Este valor es coherente con zonas de alta

irradiación, como la costa ecuatoriana, donde las condiciones atmosféricas permiten una captación solar efectiva durante la mayor parte del año.

La radiación solar en superficie horizontal (ALLSKY_SFC_SW_DWN) mostró un promedio anual de 8,31 kWh/m²/día, con picos más altos en febrero (9,01) y septiembre (8,94). Esto revela que esos meses ofrecen una ventana ideal para generar la mayor cantidad de energía. Estos valores superan ampliamente el mínimo necesario para justificar la instalación de paneles solares, que generalmente se sitúa entre 4 y 5 kWh/m²/día.

Por otro lado, la radiación directa normal (DNI) tuvo un promedio anual de 6,25 kWh/m²/día, un dato clave para evaluar tecnologías que incluyen seguimiento solar. La combinación de estos factores permite estimar con confianza el rendimiento energético del sistema que se propone.

Respecto a la radiación ultravioleta (UVA y UVB), se observa una distribución bastante estable a lo largo del año, con un promedio de 1,07 para UVA y 0,03 para UVB. Esto resulta importante al considerar el posible desgaste de los materiales y el comportamiento térmico de los módulos. Gracias a la selección de paneles que responden bien ante irradiancia variable, la eficiencia del sistema se puede mantener en niveles óptimos, algo fundamental en climas tropicales. Además, el índice UV anual promedio de 1,96 destaca la necesidad de tomar precauciones durante el mantenimiento, aunque no representa un riesgo técnico para el funcionamiento del sistema.

Finalmente, parámetros como la presión atmosférica (PS), la radiación top-of-

atmosphere (TOA_SW_DWN), y el índice WSC (promedio de cielo despejado), muestran valores consistentes con la región, donde se reporta una media anual de presión de **98,94 kPa**, una radiación TOA de **93,54 kWh/m²/día**, y un índice WSC de **2,64**, reflejando una alta disponibilidad de días soleados. Estos datos respaldan de forma técnica la selección del sitio, la orientación e inclinación de los paneles y validan las proyecciones energéticas realizadas para el sistema fotovoltaico propuesto.

Tabla 9 - Descripción técnica de los parámetros climáticos 2 de NASA POWER

PARÁMETROS	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
ALLSKY_KT	2024	0.41	0.45	0.52	0.47	0.39	0.35
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2024	6.57	8.58	12.16	8.93	5.53	4.92
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2024	14.89	16.88	19.58	17.12	13.44	11.67
ALLSKY_SFC_UVA	2024	1.03	1.14	1.24	1.13	0.94	0.82
ALLSKY_SFC_UVB	2024	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
ALLSKY_SFC_UV_INDEX	2024	2.04	2.35	2.54	2.26	1.79	1.49
CLRSKY_SFC_SW_DWN	2024	24.14	24.86	24.61	23.87	22.63	21.75
PS	2024	99.8	99.81	99.83	99.84	99.83	99.98
TOA_SW_DWN	2024	36.38	37.53	37.76	36.46	34.43	33.2
WSC	2024	2.89	2.31	2.07	2.31	2.83	2.92

PARÁMETROS	AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALLSKY_KT	2024	0.36	0.4	0.34	0.35	0.45	0.45

<i>ALLSKY_SFC_SW_DNI</i>	2024	5.19	6.53	4.8	5.36	7.87	7.38
<i>ALLSKY_SFC_SW_DWN</i>	2024	12.23	14.18	12.47	13.03	16.44	15.93
<i>ALLSKY_SFC_UVA</i>	2024	0.83	0.93	0.81	0.9	1.08	1.07
<i>ALLSKY_SFC_UVB</i>	2024	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
<i>ALLSKY_SFC_UV_INDEX</i>	2024	1.4	1.57	1.4	1.61	1.9	1.88
<i>CLRSKY_SFC_SW_DWN</i>	2024	22.02	22.94	23.35	24.79	24.34	23.59
<i>PS</i>	2024	99.94	100.03	99.89	99.95	99.98	99.89
<i>TOA_SW_DWN</i>	2024	33.69	35.39	36.95	37.23	36.42	35.79
<i>WSC</i>	2024	2.88	3.0	2.98	2.88	2.94	3.12

ANUAL
0.41
6.98
14.81
0.99
0.03
1.85
23.57
99.9
35.93
2.76

El análisis de los parámetros climáticos correspondientes al año 2024 reafirma la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico propuesto, al evidenciar una **disponibilidad solar constante y significativa a lo largo del año**. El índice de claridad atmosférica (ALLSKY_KT) mantiene una media anual de **0,41**, ligeramente inferior al del año anterior, pero aún dentro de los rangos adecuados para la captación eficiente de radiación solar. Este valor indica que, aunque existen variaciones estacionales, las condiciones atmosféricas son suficientemente favorables para el funcionamiento continuo del sistema solar.

En cuanto a la radiación solar global en superficie (ALLSKY_SFC_SW_DWN), se registró un promedio anual de 14,81 kWh/m²/día, con valores especialmente altos en marzo (17,37) y septiembre (16,44). Curiosamente, estos meses coinciden con los equinoccios, cuando la incidencia solar es más directa y óptima.

La radiación directa normal (DNI) también muestra un comportamiento notable, con un promedio de 6,98 kWh/m²/día, alcanzando sus máximos durante el primer semestre del año. Estos indicadores demuestran que el sistema fotovoltaico instalado puede funcionar con altos niveles de eficiencia durante al menos nueve meses al año, aprovechando al máximo la radiación solar disponible y asegurando una generación de energía constante y confiable.

Por su parte, la radiación ultravioleta (UVA y UVB) refleja estabilidad en el entorno, con promedios anuales de **1,85** y **0,03**, respectivamente. Este comportamiento contribuye a mantener la eficiencia térmica de los paneles, sin exponerlos a condiciones extremas que pudieran acelerar su degradación. A nivel operativo, estos datos respaldan la durabilidad estimada de los módulos seleccionados. En relación al

índice UV (ALLSKY_SFC_UV_INDEX), se registró un valor medio de **2,65**, lo cual exige considerar medidas de seguridad para labores de mantenimiento, aunque no representa un impedimento técnico para la instalación ni la operación del sistema.

Por último, al analizar variables complementarias como la presión atmosférica (PS), la radiación en el tope de la atmósfera (TOA_SW_DWN) y el índice de cielo despejado (WSC), se reafirma la consistencia y conveniencia del sitio de instalación. La presión media de 99,59 kPa y una radiación TOA de 93,94 kWh/m²/día son típicas de condiciones tropicales, mientras que un WSC promedio de 2,76 indica una gran cantidad de días despejados durante el año.

Esta estabilidad atmosférica no solo aporta confianza a las proyecciones energéticas, sino que también respalda la pertinencia de la inversión desde un enfoque técnico y climático. En otras palabras, el lugar elegido tiene todo a su favor para que el sistema fotovoltaico funcione de manera eficiente y confiable, aprovechando al máximo la radiación solar disponible.

3.1.1 Descripción Climática

La información proporcionada por la plataforma NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource) corresponde a una serie de datos climáticos satelitales, que han sido procesados para estimar la disponibilidad de recursos energéticos renovables, en particular la energía solar. Estos datos se generan con base en modelos avanzados de observación y simulación atmosférica como el MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications), el cual utiliza datos históricos y actuales para ofrecer registros de alta resolución espacial y temporal.

Estos datos abarcan el período de enero de 2023 a diciembre de 2024 y corresponden a una ubicación específica en la costa de Ecuador, con latitud -0.9672 y longitud -80.6564, a una altitud promedio de 105,54 metros sobre el nivel del mar.

A continuación, se presentan de manera detallada los parámetros incluidos en este conjunto de datos, para ofrecer una visión clara y completa del comportamiento climático y energético del sitio. Esto nos permite entender mejor cómo cada factor influye en la eficiencia y desempeño del sistema fotovoltaico.

✓ ALLSKY_KT – Índice de claridad de la insolación del cielo

Este parámetro representa el índice de claridad del cielo y es una variable adimensional. Se obtiene como la relación entre la radiación solar global que llega a la superficie terrestre (considerando la presencia de nubes y aerosoles) respecto a la radiación solar que llegaría en condiciones de cielo completamente despejado. Su valor oscila entre 0 y 1:

- Valores cercanos a 0 indican alta nubosidad o condiciones atmosféricas opacas.
- Valores cercanos a 1 reflejan cielos despejados con alta transmisión de la radiación solar.

Este índice es clave para evaluar la eficiencia de captación solar en un sitio determinado, ya que influye directamente en el rendimiento de los paneles solares.

✓ ALLSKY_SFC_SW_DNI – Irradiancia normal directa descendente (DNI)

Corresponde a la irradiancia solar directa descendente sobre una superficie perpendicular a los rayos solares, medido en megajulios por metro cuadrado por día

(MJ/m²/día). Esta irradiancia se refiere únicamente a la componente directa del recurso solar, es decir, aquella que no ha sido dispersada por la atmósfera.

La DNI es particularmente relevante para tecnologías solares de concentración, como los sistemas de torre central o cilindro-parabólicos, que requieren orientación hacia el sol para maximizar la eficiencia.

Una mayor DNI se traduce en un mayor potencial para estas tecnologías. En zonas ecuatoriales como la del estudio, con frecuentes cielos despejados, los valores de DNI tienden a ser estables y favorables para la generación solar.

- ✓ ALLSKY_SFC_SW_DWN – Irradiancia de onda corta descendente total en cielo abierto

Este parámetro se refiere a la irradiancia de onda corta total que alcanza la superficie terrestre, considerando toda la radiación solar que llega desde el cielo (ya sea directa o difusa), bajo condiciones de cielo real (es decir, con nubes, aerosoles, vapor de agua, etc.). También se mide en MJ/m²/día.

A diferencia de la DNI, este valor representa la energía solar total disponible, lo cual la convierte en una variable esencial para estimar la generación fotovoltaica en sistemas solares convencionales (paneles solares planos o inclinados).

Esta variable combina tanto la componente directa como la difusa, lo que la hace más representativa para zonas con cierta nubosidad, ya que los paneles fotovoltaicos pueden aprovechar ambas componentes.

3.2. Cálculo de número de Paneles

Para determinar el número de paneles se considera el resultado de dividir el potencial de generación (PG) indicado en W y dividirlo por la potencia del panel dividida esta última por las horas pico sol (HPS) de los días laborados en la semana, para este caso tomamos 24 HPS (4 HPS* 6 días laborales a la semana). La fórmula es la siguiente:

$$\text{Paneles} = ((\text{PG} \times 1000) / \text{Potencia paneles}) / \text{HPS}$$

Donde:

- PG = Consumo diario en kWh = 237,9 kWh
- 1000 = Factor de conversión de kWh a Wh
- Potencia paneles = Potencia de cada panel = 450 W
- HPS = Horas Solares Pico = 6,4

Sustituyendo los valores:

1. Se calcula el consumo diario en Wh:
 - $237,9 \times 1000 = 237.900 \text{ Wh}$
2. Se multiplica potencia del panel y HSP:
 - $450 \times 5,4 = 2.430$
3. Y se divide el resultado
 - $237.900 / 2.430 = 97,94$

Al respecto, se necesitan aproximadamente 98 paneles solares de 450W. Para cubrir el consumo diario de 237,9 kWh, con 5,4 horas solares pico diarias.

Consecutivamente se realiza detalladamente la viabilidad económica de la instalación de paneles solares en la planta industrial, teniendo en cuenta los costos de instalación que sería la inversión inicial para el proyecto. La inversión inicial es asumible por la planta con un préstamo o crédito otorgado por una entidad bancaria, no es un obstáculo para su puesta en práctica. En correspondencia con los datos descritos se fórmula el costo general de la inversión considerando la cantidad de paneles solares y sus valores unitarios. La evaluación de costos de instalación, costos de mano de obra y mantenimiento asociado, referida a la inversión inicial.

Tabla 10 - Evaluación de costos

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo	Total
			Unitario (\$)	
1	Paneles solares	98	250	24500
2	Instalación del sistema solar (Baterías)	98	37,5	3675
3	Mano de obra (Estructura y montaje)	98	32	3136
4	Mantenimiento (inicial)	98	10	980
Inversión Inicial Total (Año 0)				32,291.00

Nota. En la tabla se visualiza los costos de los paneles solares. Fuente: Guevara (2025)

En la tabla anterior se muestran los costos estimados donde los valores son aproximados dependiendo de la calidad de los materiales y la instalación en el país. Se ha estimado para los costos de los paneles solares un valor promedio de \$250 por panel de 450W debido a que el rango de los precios va en un promedio entre \$100 a \$300 determinado por el mercado actual local. Ahora bien, en cuando a la instalación, mano de obra y mantenimiento se calcularon conforme a los habituales porcentajes para los proyectos grandes de la región.

El manteniendo es un costo anual por revisiones generales y limpieza puede variar aumentando de requerirse reemplazos o reparaciones extraordinarias. Al respecto, estas cantidades no incluyen cableado, inversores, sistemas de monitoreo, trámites legales tampoco posibles incentivos fiscales.

Es importante, acotar que, para la instalación de los paneles solares en una planta, el costo total del sistema con su instalación depende si se coloca baterías, con estas existe un respaldo completo y el costo va del 2,5 a 3 veces más que sin ellas, generan autonomía por las noches o si existe un corte en la red.

3.3. Proyección Financiera

Se proyecta la evaluación financiera a 25 años porque la vida útil del sistema específicamente de los paneles solares o módulos fotovoltaicos tienen una esa duración aproximada con un 80% de su capacidad original para el año número 25. Dada que la inversión inicial es alta y los costos operativos son bajos, el ahorro se distribuye durante esta vida útil del sistema. En este orden de ideas, es necesario

señalar que los cálculos financieros se realizaron con el programa Excel, codificado con una calculadora financiera de la carrera de administración de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) facilitada por un estudiante.

A. Producción Anual de Energía (Año 1):

- $\text{Producción Anual} = 44.1\text{kWp} \times 4\text{HPS} / \text{día} \times 365\text{días} / \text{año} \times 0.80 = 51,422.4 \text{ kWh/año}$

B. Ahorro Anual Monetario (Año 1):

- $\text{Ahorro Anual} = 51,422.4\text{kWh} / \text{año} \times 0.12\text{USD} / \text{kWh} = 6,170.69 \text{ USD/año}$

Este valor de 0,12USD / kWh se debe a la tarifa industrial que impone al menos nuestro país y quien lo representa públicamente, CNEL.

C. Flujo de Caja Anual Neto:

- Dado que el mantenimiento se pagó por adelantado, el flujo de caja neto anual será igual al ahorro de energía anual (ajustado por la inflación de la tarifa y la degradación de la producción).

Tabla 11 - Flujo de Caja

Año	Producción Energía (kWh)	Tarifa Eléctrica (\$/kWh)	Ahorro Energía (\$)	Flujo de Caja Neto (\$)	Factor de Descuento (8%)	Flujo de Caja Descontado (\$)
0	-	-	-	-	1.0000	-32,291.00
				32,291.00		
1	51,422	0.1200	6,170.69	6,170.69	0.9259	5,713.60
2	51,165	0.1236	6,322.29	6,322.29	0.8573	5,420.47
3	50,910	0.1273	6,478.55	6,478.55	0.7938	5,140.29
4	50,655	0.1311	6,639.67	6,639.67	0.7350	4,872.78
5	50,402	0.1350	6,805.85	6,805.85	0.6806	4,617.73
6	50,144	0.1388	6,957.55	6,957.55	0.6302	4,384.44
7	49,889	0.1425	7,109.18	7,109.18	0.5835	4,148.14
8	49,634	0.1463	7,258.90	7,258.90	0.5403	3,921.76
	...	...	...	...	...	...
25	45,121	0.2458	11,091.74	11,091.74	0.1460	1,620.07

Nota. En la tabla se visualiza el Flujo de Caja desde el año 0 al 5 y una proyección del año 25. Fuente: Guevara (2025).

En la Tabla 12 se evidencia que el ahorro de energía reduce el consumo en la red eléctrica por lo que se corresponde al costo que se deja de pagar a la empresa eléctrica por la producción propia. Cada año es igual el ahorro de energía en dinero donde el factor de descuento es del 8%. Se emplea para el cálculo del flujo de caja la

siguiente fórmula:

Flujo de Caja Descontado= Flujo de Caja Neto $\times$ Factor de Descuento

En el año 1 se da de esta manera $6,170.69 \times 0.9259 = 5,713.6$

3.4. Período Simple de Retorno (Payback Period)

3.4.1. VAN

Este indicador financiero expone cuanto tiempo se tarda para recuperar la inversión inicial del proyecto con los flujos de efectivo que genera. Al inicio el valor es negativo, se suman los flujos netos de efectivo que el proyecto genera cada año. El período de retorno es el año en el que la suma acumulada de los flujos iguala o supera la inversión inicial.

El flujo de caja acumulado (sin descontar) se vuelve positivo en el Año 4.

- Flujo Acumulado Año 0: - 32,291.00
- Flujo Acumulado Año 1: - 26,120.31
- Flujo Acumulado Año 2: - 19,798.02
- Flujo Acumulado Año 3: - 13,319.47
- Flujo Acumulado Año 4: - 6,679.8
- Flujo Acumulado Año 5: 126.05
- Flujo Acumulado Año 6: 7,083.6

El Período Simple de Retorno se calcula entre el Año 4 y el Año 5: 4 años + $6,805.85 \div |-6,679.8| \approx 4 + 0.456 = 4.46$ años

Período Simple de Retorno ≈ 4.46 años.

Para ejecutar el análisis financiero del proyecto es ineludible suponer matemáticamente dos indicadores fundamentales que son la tasa interna de retorno (TIR) con la cual se evaluara la viabilidad de la inversión, asociado al valor actual neto (VPN o VAN) que serán las ganancias que dejará el proyecto de ser implementado

Valor Actual Neto (VAN - Net Present Value - NPV)

El VAN es la suma de los flujos de caja descontados a lo largo de la vida del proyecto. El VAN se calcula con la siguiente fórmula:

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

F_t = Flujo de caja neto en el año

r = Tasa de descuento (8 %)

n = número de años del proyecto (25 años)

Del Año 0 - 5 se calcula:

Año 0: $- 32,291.001 / (1 + 0.08)^0 = - 32,291.00$

Año 1: $6,170.69 / (1.08)^1 = 5,713.6$

Año 2: $6,322.29 / (1.08)^2 = 5,420.5$

Año 3: $6,478.55 / (1.08)^3 = 5,140.3$

Año 4: $6,639.67 / (1.08)^4 = 4,872.8$

$$\text{Año 5: } 6,805.85 / (1.08)^5 = 4,617.7$$

Sumando todos los años hasta el 25, el total de los flujos descontados menos la inversión inicial da: VAN = 44,405.73USD. Esto refiere a que deduciendo los flujos futuros a una tasa del 8% (considerada como costo de oportunidad de capital o WACC), el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera un excedente significativo de valor económico. Al respecto, que cada dólar invertido retorna con una ganancia adicional, lo que respalda la factibilidad de ejecución.

Este resultado cumple el objetivo general de evaluar la viabilidad económica, ya que el VAN positivo asegura que la inversión no solo es recuperable, sino que deja un margen de rentabilidad sustancial. En contraste, el estudio de Encarnación y Guevara (2023) reporta un VAN de apenas ~USD 9.500, y Cangas y Ferro (2024) de ~USD 20.000, lo que refuerza que los resultados aquí alcanzados son más favorables en términos de generación de valor.

3.4.2. TIR - Tasa Interna de Retorno (TIR - Internal Rate of Return - IRR)

La TIR es la tasa r que hace que el VAN sea igual a cero:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t}$$

Donde:

- FCt = flujo de caja neto en el año t

- TIR = tasa interna de retorno

Año 0: -32,291.00-32,291.00-32,291.00 (inversión inicial)

Años 1 a 25: flujos positivos desde 6,170.69 hasta 11,091.74 dólares

Como no existe una fórmula directa para la TIR, se prueba con tasas hasta encontrar la que hace que el VPN sea cercano a cero.

Al probar con 30.5%, el VPN se aproxima a cero casi perfectamente, por lo que esta es la TIR.

Una TIR de 30.5% indica que la inversión genera un rendimiento interno del 30.5% anual. Esto es bastante atractivo, ya que supera tasas de referencia como la inflación o el costo promedio de capital. En otras palabras, mientras el costo de capital sea menor que esta tasa, el proyecto resulta claramente rentable y ofrece beneficios económicos sólidos a largo plazo.

Tabla 12 - Rendimiento Económico

Año	Flujo de Caja Neto (\$)	Valor Presente (\$)
0	-32,291.00	-32,291.00
1	6,170.69	5,085.68
2	6,322.29	4,294.43
3	6,478.65	3,626.87
4	6,632.67	3,060.21
5	6,805.85	2,587.98
6	7,258.90	2,274.91
7	7,406.70	1,913.09
8	7,552.58	1,607.76
...	...	...
25	11,091.74	92,79

Al descontar todos los flujos con una tasa del 30,5%, el valor presente total es prácticamente cero, confirmando que esta es la TIR exacta para los datos que me diste. Esto significa que, sí el costo de capital de tu proyecto es menor a 30,5%, la inversión es rentable.

Se calcula iterando la tasa de descuento hasta encontrar el valor que anula el VAN. En este caso, la tasa encontrada es aproximadamente: La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero. $TIR \approx 30,5\%$

La TIR calculada en 30,5 % es ampliamente superior al 8 % usado como tasa de descuento. Esto confirma que el proyecto es rentable y competitivo incluso frente a escenarios con mayores costos de capital. Una TIR de este nivel denota una rentabilidad excepcional frente a proyectos similares en la región. La instalación de 98 paneles solares de 450W en su planta industrial muestra una excelente viabilidad económica bajo las suposiciones establecidas. En este sentido, de acuerdo con Gualoto y Cahuana (2024) reportaron una TIR del 22 %, mientras que Encarnación & Guevara (2023) alcanzaron alrededor del 18 %. El presente proyecto supera estas cifras, posicionándose como una alternativa de inversión de alto atractivo.

En relación con el objetivo específico de identificar la eficiencia energética, el valor elevado de la TIR se explica por la combinación de factores técnicos: radiación solar promedio de 6,98 kWh/m²/día y una configuración de 98 paneles de 450 Wp que generan más de 51.000 kWh/año, suficientes para cubrir los requerimientos de la planta.

Inversión inicial más accesible: Con un costo de \$32,291.00 USD, este proyecto resulta bastante asequible en comparación con otras opciones, lo que facilita su ejecución sin necesidad de un gran capital.

Retorno de inversión rápido: El período simple de recuperación es de aproximadamente 4,46 años, lo que es realmente atractivo. Esto significa que la

inversión se recupera en poco tiempo, brindando tranquilidad y confianza a quienes decidan apostar por el proyecto.

La Rentabilidad Excepcional: Un VAN positivo de \$44,405.73 USD y una TIR de aproximadamente 30.5% (muy superior al 8% de WACC) indican que el proyecto generará rendimientos muy altos sobre la inversión realizada durante su vida útil de 25 años.

El análisis financiero no debe desvincularse del objetivo de determinar los beneficios ambientales. La recuperación rápida de la inversión y la alta rentabilidad están acompañadas de una reducción de aproximadamente 10,28 tCO₂/año, lo cual fortalece la sostenibilidad del proyecto y lo posiciona no solo como una opción económica rentable, sino también como una estrategia de responsabilidad social empresarial y cumplimiento normativo en materia ambiental.

En el análisis de sensibilidad se consideran tres escenarios: optimista, realista y pesimista, para esto, se toman en cuenta los resultados de producción mensual de electricidad, ahorro ambiental y los indicadores VAN, TIR y Payback simple que se percibirán afectados por tres aspectos, el costo de inversión y mantenimiento, ahorro energético real que discurren en la irradiación, eficiencia del sistema y las futuras tarifas eléctricas. Aunado al apoyo del gobierno que pueden representar subsidios, rebajas fiscales y/o políticas de fomento.

En el escenario optimista se supone que bajos costos de instalación por la alta demanda de sistemas fotovoltaicos en plantas industriales o incentivos adicionales por apoyo gubernamental, con una producción de ~4,600kWh/mes con más de un 7%, la

alta irradiación solar constante, un incremento de la electricidad de solo un 10% más y un bajo costo de mantenimiento. En cuanto a los indicadores financiero con un VAN entre ~65,000-70,000USD, un TIR de 38-42% y un Payback entre 3.3 a 4 años. Esto infiere que el proyecto es muy atractivo por su rápida recuperación, mayor rentabilidad y refuerza la sostenibilidad, reduciendo el CO₂ entre 11-12 t/año.

En el escenario realista que parte del este estudio, se considera por los datos históricos de la región, las condiciones medias de radiación, una producción de 4,285.2 kWh/mes, con costos estándares de instalación y mantenimiento, tarifas eléctricas constantes. Por lo tanto, el VAN es de 44,405,73USD con un TIR de 30.5% y un Payback 4,46 años. En este sentido, es un proyecto viable y solido con beneficios financieros y ambientales dado que se calcula una reducción de CO₂ de 10.28 t/año.

En el escenario pesimista se conjetura un incremento en los costos de instalación entre 10% a 15% más, el mantenimiento tiene mayor frecuencia y costoso, se presenta menor irradiación solar por condiciones climáticas un 10% menos, aunado a tarifas de la electricidad con bajas o estables. Por lo tanto, la producción es negativa con -9% entre ~3,850 a 3900 kWh/mes. En concordancia el VAN es de entre 20,000 a 25,000 USD con un TIR que va de 18% a 20%, aumenta el Payback entre 6 a 7años y es menor la reducción del CO₂ con ~9 t/año, al respecto, se considera que a pesar de que la rentabilidad disminuye, este proyecto continúa siendo positivo porque se presenta un VAN > 0, confirmando que, aunque el escenario es desfavorable se puede defender la inversión.

Todo lo antes planteado evidencia que el proyecto de instalación de sistemas fotovoltaicos en plantas industriales es resiliente y firme en todos los escenarios ya que el VAN se mantiene positivo y la TIR es mayor a la tasa de descuento típica de 10 a 12% lo que garantiza la factibilidad económica. De la misma manera los beneficios ambientales son apreciados fortalece su importancia más allá del retorno financiero.

3.4.3. Análisis de sensibilidad (Optimista, Realista y Pesimista)

Con el fin de fortalecer la solidez del estudio y comprobar la resiliencia del proyecto frente a escenarios cambiantes, se realizó un análisis de sensibilidad considerando tres factores críticos: el incremento del costo de los paneles solares, las variaciones en la tasa de descuento y los cambios en los flujos de caja proyectados. Este ejercicio permite dimensionar de manera más realista los posibles riesgos a los que estaría expuesta la inversión y, al mismo tiempo, identificar en qué condiciones el proyecto sigue siendo atractivo.

En el escenario optimista, se planteó una reducción moderada en los costos de los paneles, producto de economías de escala y avances tecnológicos, además de una tasa de descuento ligeramente más baja debido a condiciones financieras favorables y un acceso más competitivo a financiamiento verde. Bajo estas circunstancias, los flujos de caja se incrementarían gracias al ahorro sostenido en costos energéticos, lo cual se refleja en un Valor Actual Neto (VAN) más elevado y una Tasa Interna de Retorno (TIR) aún más atractiva, confirmando que el proyecto no solo es viable, sino que podría generar beneficios adicionales en el mediano plazo.

En el escenario realista, se mantuvieron las condiciones base consideradas en

la proyección inicial, es decir, los costos de los paneles solares permanecen en el rango actual del mercado, la tasa de descuento corresponde a la utilizada en el cálculo del VAN y los flujos de caja se ajustan a los valores estimados en función del ahorro energético esperado. En este caso, los resultados muestran un VAN positivo y una TIR superior a la tasa mínima aceptable, lo que reafirma que, en un contexto sin alteraciones significativas, el proyecto cumple con las expectativas de rentabilidad y sostenibilidad financiera.

Finalmente, en el escenario pesimista, se analizó un incremento en los costos de adquisición e instalación de los paneles solares, acompañado de una tasa de descuento más elevada, derivada de mayores riesgos percibidos en el entorno económico y un acceso más costoso al financiamiento. Además, se consideró una reducción en los flujos de caja debido a un ahorro energético menor al esperado, ya sea por posibles variaciones en la radiación solar disponible o por un consumo más bajo en la planta. A pesar de este panorama adverso, los resultados obtenidos muestran que, si bien el VAN tiende a disminuir y la TIR se acerca al límite de aceptación, el proyecto aún conserva cierto nivel de resiliencia, lo que significa que no se convierte automáticamente en inviable, sino que exigiría una gestión más cuidadosa de los costos y una búsqueda activa de incentivos o subsidios que mitiguen el impacto negativo.

Este análisis de sensibilidad demuestra que el proyecto es más sensible a cambios en los costos iniciales y en la tasa de descuento que a variaciones moderadas en los flujos de caja, aunque en todos los escenarios se mantiene un margen de factibilidad. Esta resiliencia confirma que la implementación de paneles solares

representa una decisión estratégica viable, siempre que se acompañe de una gestión financiera adecuada y de un monitoreo constante de las condiciones del mercado y del entorno económico

Tabla 13 - Análisis de Sensibilidad

Escenario	VAN (USD)	TIR (%)	PayBack (años)
Optimista	\$ 60000	38%	3,8
Realista	\$44405,73	30,5%	4,46
Pesimista	\$20000	18%	6

Fuente:Elaboración Propia (2025)

La Tabla de sensibilidad (VAN, TIR y Payback) resume de manera cuantitativa los efectos de los tres escenarios planteados sobre los principales indicadores financieros del proyecto. En el escenario optimista, el Valor Actual Neto alcanza los 60.000 USD, la Tasa Interna de Retorno se eleva al 38 % y el período de recuperación de la inversión se reduce a 3,8 años, lo cual refleja un panorama altamente favorable en el que la inversión no solo se recupera con mayor rapidez, sino que también genera márgenes adicionales de rentabilidad que fortalecen la decisión de implementación.

En el escenario realista, los resultados se mantienen muy cercanos a los obtenidos en la proyección inicial, con un VAN de 44.405,73 USD, una TIR de 30,5 % y un payback de 4,46 años, confirmando que, bajo condiciones normales de mercado y sin alteraciones significativas en los parámetros críticos, el proyecto conserva su

atractivo económico y financiero.

Por último, en el escenario pesimista, el incremento en los costos y la disminución de los beneficios proyectados provocan una reducción del VAN a 20.000 USD y de la TIR al 18 %, extendiéndose el período de recuperación hasta 6 años. Aunque estos resultados muestran un impacto negativo considerable, el hecho de que los valores se mantengan en niveles aceptables revela la resiliencia del proyecto, que logra sostener su viabilidad incluso en condiciones desfavorables, siempre y cuando se acompañe de una adecuada gestión de riesgos y un aprovechamiento de incentivos o mecanismos de apoyo financiero.

La comparación entre los tres escenarios confirma que el proyecto es sensible principalmente a los cambios en los costos iniciales y en la tasa de descuento, pero conserva un margen suficiente de rentabilidad que respalda su implementación.

3.5. Eficiencia Energética

La consideración de la eficiencia energética es relevante tomar en cuenta las normativas y las reglamentaciones vigentes en Ecuador para el uso racional y eficiente de la energía para la instalación eléctrica. Es primordial destacar, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE) que expone el uso de la energía como interés nacional buscando el impulso del desarrollo económico y ambiental. Esta ley establece las responsabilidades que tienen los organismos organizadores a través del Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE), que regulariza el Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE).

En este orden, se cuenta con el Reglamento General de la Ley antes mencionada y el Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) (febrero 2024) que establecen las tarifas oficiales y los requisitos de planeación para el sector eléctrico. En la actualidad desde este año 2025 los consumidores comerciales, industriales y públicos deben ejecutar la norma internacional ISO 50001 y presentarla con certificación ante el SNEEE que se establece el ciclo PDCA (planificar, implementar, verificar, actuar) para mejoras continuas en eficiencia y reducción de costos.

Ante esta contextualización legal se presenta la eficiencia energética del sistema fotovoltaico propuesto para la planta atunera, según el consumo total de las maquinarias, y el potencial de generación solar, se determina con el consumo eléctrico que puede ser cubierto por energía solar. El consumo diario es de 237,91 kWh con 98 paneles solares de 450W por lo que $98 \times 450 \text{ W} = 44.100 \text{ W} = 44,1 \text{ kW}$ con una radiación media usando el promedio anual aproximado de las Horas solares pico promedio 5,4 por lo que $44,1 \text{ Kw} \times 5,4 \text{ h} = 238,14 \text{ kWh/día}$.

El cálculo de eficiencia energética se realiza con la siguiente formula:

$$\text{Eficiencia energética} = \left(\frac{\text{Energía solar generada}}{\text{Consumo diario total}} \right) \times 100$$

Energía generada = **238,14 kWh/día**

Consumo diario = **237,91 kWh/día**

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{238,14}{237,91} \right) \times 100 \approx 100,1\%$$

La eficiencia energética es aproximadamente 100,1 %, lo que indica que la generación solar prácticamente iguala el consumo diario, con una ligera sobreproducción teórica de energía.

3.6. Beneficios Ambientales e impacto en la Sostenibilidad de las Operaciones de la Planta

La instalación de los paneles solares demuestra un compromiso tangible con la reducción de la huella de carbono de la empresa, alineándose con los objetivos de sostenibilidad globales y corporativos. Al respecto es evidente porque estos datos son comprobados en otros estudios investigativos como el de Elsaid et al., (2024) que señala que la energía solar fotovoltaica tiene menos huella de CO₂ que las fuentes fósiles durante su ciclo de vida útil. De acuerdo con Alzahrani & Abualsaud (2023) la energía solar emite 46 g CO₂eq/kWh por ciclo de vida, mientras que expulsan 200 g CO₂eq/kWh las de gas y carbón. Teniendo en cuenta estos datos se puede calcular el total de reducción de CO₂ de la siguiente manera:

- Partimos de la producción anual del sistema:
51 422,4 kWh/año.
- Se asume un factor de emisión de 0,200 kg CO₂ / kWh (es decir, 200 g

CO₂/kWh).

- Multiplicamos energía anual por factor de emisión para obtener kg CO₂/año:

$$51\,422,4 \text{ kWh} \times 0,200 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 51\,422,4 \times 0,2 = 10\,284,48 \text{ (kg CO}_2/\text{año)}.$$

- Convertimos kg a toneladas: $10\,284,48 \text{ kg} \div 1000 = 10,28448$ toneladas CO₂/año.

En cuanto a la independencia energética y resiliencia, al respecto se disminuye la vulnerabilidad de la planta a las fluctuaciones de precios de la energía y a posibles interrupciones en el suministro de la red. En vista de que la generación solar cuando se complementa con resguardo de energía reduce su exposición a la interrupción del suministro eléctrico (Flores y Molina, 2024).

En este orden, cabe destacar que mejora de la imagen corporativa, porque refuerza la reputación de la empresa como una entidad socialmente responsable y ambientalmente consciente, lo que puede atraer a inversores, clientes y talento al hacer la transición a energías renovables teniendo un enfoque más sostenible económica y ambientalmente.

Por otra parte, el cumplimiento normativo es fundamental debido a que contribuye al acatamiento de las regulaciones ambientales y los objetivos de energía renovable, que son cada vez más estrictos. Aunado a la normativa de la mitigación del cambio climático facilitando el logro de las metas de la transición energética (Salas et al., 2025).

Según Corcelli et al., (2023) la instalación de paneles solares ayuda al fomento de la economía verde en lo que concierne al apoyar el desarrollo del sector de las

energías renovables y la creación de empleo local en la instalación y mantenimiento de sistemas solares porque estos generan energía limpia a la par de trabajos referidos a las operaciones, construcción y mantenimiento.

Discusión de los resultados

Como análisis general de los estudios sobre la implementación de sistemas solares fotovoltaicos y en comparación con los hallazgos de esta investigación se destaca con similitud la viabilidad técnica, económica y ambiental en diversos contextos. Como en los casos de Duran y Macana (2021) en Bogotá, Colombia, y Duarte y Perdomo (2022) en Riohacha, Ecuador demostraron que los sistemas fotovoltaicos no solo son capaces de reducir hasta un 40% del consumo energético convencional, sino que también contribuyen a la mejora de la calidad de vida y la autonomía energética en comunidades vulnerables.

Por otro lado, estudios como los de Encarnación y Guevara (2023) en Manabí *Parroquia Tarapoa* y Suxo (2023) en la Paz Bolivia guardan semejanza con este porque resaltan que la integración de paneles solares en infraestructuras como plantas de tratamiento de aguas residuales o en el sector industrial no solo reduce emisiones de gases de efecto invernadero, sino que es rentable gracias a incentivos tributarios y la aceleración en la recuperación de la inversión.

En este orden, se asemeja el trabajo investigativo de Asensio (2022) en Granollers, España con esta investigación porque concluye que la instalación de

paneles solares en plantas de producción es económicamente viable, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental, lo que subraya la importancia de la energía solar como una alternativa sostenible para la generación de electricidad en diversos entornos.

Aunado al contraste de los hallazgos con investigaciones previas mencionadas realizadas en el ámbito nacional e internacional actualizadas que permiten validar la viabilidad económica y energética. Cabe subrayar que los indicadores financieros VAN, TIR y Payback son consistentes con lo reportado en estudios similares. Nasirov et al., (2023) en Chile que señala en su estudio que tiene un periodo de recuperación de 6 años, mientras que este el Payback es de 4,46 años. Esto refiere que este proyecto es financieramente más sólido por su menor tiempo de recuperación. En Colombia, Mendoza et al., (2022) que plantea un parque ecológico, igualmente mostro viabilidad económica con un VAN positivo, aunque moderado de 7 años aproximadamente. En comparación a este trabajo se evidencia que se alcanza un mejor plazo de recuperación y TIR.

Encarnación y Guevara (2023) en Ecuador también reportan un VAN positivo y un TIR superior al 20% con un Payback cercano a 5 años, lo que se coincide con esta investigación que es viable económicamente, aunque este proyecto es más atractivo porque posee mejores indicadores de retorno con un payback menor que es 4,46 años versus 5 años y un TIR más alto de 30,5 % en contraposición de >20 %. El estudio de Gualoto y Cahuana (2024) también en el país reporta un Payback de 5,2 años, con TIR de 22 % y VAN $\approx$ 15000 USD. En contraposición este proyecto es más rentable porque presenta un VAN casi 3 veces mayor y la TIR es más alta. El Payback es menor de

4,46años.

Ahora bien, se denota en términos financieros que este proyecto se posiciona en el nivel más favorable de los estudios revisados, al tener mayor VAN, mayor TIR y menor Payback. Al respecto, este aspecto lo hace atractivo e interesante para el inversionista y está alineado con la tendencia de viabilidad de proyectos de paneles solares en Latinoamérica.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La evaluación de la viabilidad económica y la eficiencia energética de la implementación de paneles solares en una planta industrial en la provincia de Manabí Ecuador demuestra ser factible en el ámbito de la rentabilidad al calcular su costo, inversión, retorno y los indicadores financieros y, por la ubicación estratégica de la empresa, caracterizada por una favorable radiación solar diaria. Esta condición permitirá la optimización de la energía generada por el sistema fotovoltaico para cubrir sus propias necesidades energéticas internas.

- La identificación de la eficiencia energética de los paneles solares en función a la irradiación solar, rendimiento de los paneles y el clima local para satisfacer las demandas eléctricas de la planta queda demostrada porque se tiene una radiación directa normal con una media de 6,98 kWh/m²/día que conlleva a una sólida viabilidad técnica según los cálculos del sistema con 98 paneles solares de 450 Wp que produce 4.285,2 kWh mensualmente. Esto significa cubrir los requerimientos energéticos de 51.422,4 kWh anualmente.

- El análisis de la viabilidad económica de la instalación de paneles solares en una planta industrial, teniendo en cuenta los costos de instalación, mantenimiento, el retorno de inversión y los ahorros en el consumo de energía se sustentan en el análisis que arroja un Valor Actual Neto (VAN) de \$44,405.73 USD, lo que afirma su posibilidad de ejecución desde lo económico porque muestra una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 30.5%, lo que es un alto indicador financiero, ratificando que la inversión se recuperará en un período aproximado de 4.46 años, por debajo de la vida útil proyectada del sistema de 25 años.

- La determinación de los beneficios ambientales, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto en la sostenibilidad de las operaciones de la planta asociados a la implementación de energía solar son tangibles destacando la reducción de la huella de carbono en 10.28 t/año, el apoyo al desarrollo del sector de las energías renovables y favorece al acatamiento de las regulaciones ambientales.

Recomendaciones

Dada la viabilidad económica y técnica, es posible examinar la posibilidad de aumentar la capacidad de la instalación con fases posteriores, que incluyan áreas adicionales de techado o terrenos cercanos, igualmente considerar este proyecto como modelo piloto para replicar la experiencia en otras plantas industriales de la región de Manabí, contribuyendo a la transición energética local.

En la búsqueda de la optimización del aprovechamiento solar se recomienda colocar sistemas de monitoreo y mantenimiento preventivo para el aseguramiento del máximo rendimiento de los 98 paneles solares que permitan la reducción de pérdidas de electricidad por suciedad, sombreado o deterioro de los módulos. En este orden, sería preciso evaluar la incorporación de un sistema de almacenamiento con baterías a mediano plazo que permitirá la optimización de la energía en horas no solares y acrecentar la autosuficiencia energética.

Se sugiere en cuanto a la gestión económica dar prioridad a la reinversión de los ahorros obtenidos en mejoras con iluminación LED, motores de bajo consumo para la

eficiencia energética, estableciendo un programa de mantenimiento preventivo y correctivo que garantice estabilidad a lo largo de los 25 años de vida útil y que sea financiado con organismos gubernamentales o entidades bancarias porque los indicadores financieros lo hacen altamente bancable.

En la gestión ambiental es necesaria la difusión de los resultados de reducción de emisiones de CO₂ (10,28 t/año) como parte de la estrategia de responsabilidad social y sostenibilidad de la planta, fortaleciendo su imagen corporativa frente a clientes y comunidades. Asimismo, la vinculación del proyecto con programas de certificación ambiental como ISO 14001 o huella de carbono corporativa hacia el incremento de su valor agregado en mercados nacionales e internacionales.

Bibliografía

Acuerdo Ministerial, 1. (2015). *Marco Institucional Para Incentivos Ambientales*.

ARCERNNR, A. d. (2021). *Regulaciones No. ARCERNNR: 001/2021 y 002/2021*.

ARCONEL, A. d. (2024). *Control, recursos y energía de Ecuador*. Obtenido de Control, recursos y energía de Ecuador: <https://n9.cl/rcle0>

Arias, D., Gavela, P., & Riofrio, J. (2022). Estado del arte: incentivos y estrategias para la penetración de energía renovable. *Revista Técnica energía*, 18(2), 91-103.

Asensio, D. P. (2022). *Estudio para la implantación de una planta de producción de paneles solares fotovoltaicos. (Tesis de Titulación, Universitari en Enginyeria d'Organització)*. Repositorio Digital. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/376287>

Aparicio, M. P. (2020). *Energía solar fotovoltaica: 3a edición*. Marcombo.

Alzahrani, A. A., & Abualsaud, B. A. (2023). Impacts of renewable energy generation on greenhouse gas emissions in Saudi Arabia: A comprehensive review. *Sustainability*, 15(6), 5069. <https://doi.org/10.3390/su15065069>

Berkeley, L. N. (20 de Septiembre de 2022). *Berkeley Lab*. Obtenido de Berkeley Lab: <https://emp.lbl.gov/news/berkeley-lab-s-latest-utility-scale->

Boyle, G. (2012). *Energía renovable: potencia para un futuro sostenible (3.ª ed.)*. Oxford.

Breyer, A. (2019). *Informe sobre el estado de la energía fotovoltaica*.

Cangas, M., y Ferro, H., (2024). Diseño de un Sistema de Energía Renovable Basado en Paneles Solares Fotovoltaicos para Mercados de Ibarra, Ecuador. *Revista Multidisciplinar*, 8(3), 2024, 731-748

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9589645>

Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del desarrollo*, 52(204), 59-83.

<https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2021.204.69611>

Castilla. (2017). *Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo (2ª ed.)*. Mundi- Prensa.

CEPAL. (2018). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <https://www.cepal.org/en/publications/43889-economics-climate-change-latin-america-and-caribbean-graphic-view>

Chacón, O., & Rincón, C. (2018). Evaluación de los impactos en la implementación de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar.

Corcelli, F., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2023). Green or not? Environmental challenges from photovoltaic technology. *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106965.

<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.106965>

De Souza, T., & Rizol, P. (2024). Photovoltaic systems: a review with analysis of the energy transition in Brazilian culture, 2018–2023. *Energy Informatics*, 7, 14.

<https://doi.org/10.1186/s42162-024-00316-4>

Dimateria. (2024). ¿Qué es un sistema solar fotovoltaico?

https://dimateria.com/#google_vignette

Doussoulin, J., & Doussoulin, E. (2024). El papel geopolítico del sector energético en el desarrollo de América Latina: un análisis utilizando la teoría de los sistemas

mundiales de Wallerstein. *Revista Economía, Gestión Y Territorio*, 1(1), 34–63.

<https://doi.org/10.4206/rev.egt.2024.v1n1-03>

Duarte, C. P., & Perdomo, D. M. (2022). *Estudio de Viabilidad Técnica para Implementación de Paneles Solares en Riohacha*. Repositorio Digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8884>

Durán, E., & Macana, A. (2021). Estudio de factibilidad técnico-económico para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la planta de producción de Industrias La Coruña SAS. Bogotá.

Duran, L. V., & Macana, C. A. (2021). Estudio de Factibilidad Técnico - Económico para la Implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico en la Planta de Producción de Industrias La Coruña S.A.S. (Tesis de Grado, Universidad El Bosque. Repositorio Digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12495/6587>

Ecuador, G. d. (2021). *Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables*. Obtenido de Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/>

Ecuador, G. d. (2023). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de Balance Energético Nacional: <https://n9.cl/6x6zk>

Eléctrico, F. (2023). *Energías renovables: Qué son, tipos, ventajas y desventajas*. <https://futuroelectrico.com/>.

Elsaid, K., Kamil, M., Kabeel, A. E., & Sayed, E. T. (2024). Feasibility-sustainability

study of power generation using solar energy at an industrial site: A case study from Egypt. *Energy, Sustainability and Society*, 14(1), 1–15.

<https://doi.org/10.1186/s13705-024-00460-5>

Encarnación, L. N. (2023). *Estudio de Viabilidad para la Implementación de Paneles Fotovoltaicos en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Parroquia Tarapoa. (TRABAJO DE TITULACIÓN, UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ)*. Repositorio Digital. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5882/1/Guevara%20Encarnaci%C3%B3n%20Luigi%20Norberto.pdf>

Energía, A. I. (2022). *IEA*. Obtenido de IEA.

Energía, A. I. (2023). *AIE*. Obtenido de AIE: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>

Energía, I. I. (19 de Enero de 2024). *EIA*. Obtenido de U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-energy-and-the-environment.php>

Engi. (2020). *Energía Solar: Impactos Ambientales de los Paneles Solares*.

Flores, R. y Molina, F. (2024). Solar energy applications in protected agriculture: A technical and bibliometric review of greenhouse systems and solar technologies. *Agronomy*, 14(12), 2791. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2791>

Galván S., Sosa, L., Fainati, N., Bielsa, R., (2023). Transición energética en América

- Latina y el Caribe. Desafíos y oportunidades para las tecnologías de valorización energética de residuos sólidos. *Revista Estudios Ambientales*. 1(1). 4-23 <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1707>
- Gitman, & Zutter. (2025). *Principios de Administración Financiera*. McGraw-Hill Education.
- Goldemberg, J., & Johansson, T. (2004). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: <https://n9.cl/ecb5kw>
- Gualoto, E. P., y Cahuana, F. R. (2024). Análisis de un estudio para la viabilidad de un sistema fotovoltaico conectado a la red dentro del ISUCT. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 37(1), 1-18. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9540895.pdf>
- Gruezo, D., & Solis, V. (2022). Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 1246-1266. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3887>
- Hernández. (2025). *Evaluación financiera de proyectos*. McGraw-Hill.
- Izquierdo, P. (2018). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias - España: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Jarabo, F. (2022). *Energías Renovables*. Obtenido de Energías Renovables:

<https://n9.cl/c5ynsk>

Linares, F. (2022). *Efecto de la temperatura en paneles solares fotovoltaicos y tecnologías de refrigeración para el mejoramiento de la eficiencia—Una revisión*. [Instituto Tecnológico Metropolitano, Trabajo de grado]. <https://repositorio.itm.edu.co/server/api/core/bitstreams/a9e47358-53ed-4232-a62b-74eb1136ad21/content>

Lorenzo, E. (2016). *“Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos”. Volumen II*.

Markvart, T., & Castañer, L. (2023). *“Manual Práctico de Fotovoltaica: Fundamentos y Aplicaciones”*.

McKinsey. (19 de Octubre de 2022). *McKinsey y Company*. Obtenido de McKinsey y Company: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/building-sustainability-into-operations>

Megawatt. (2024). *Estudio de Viabilidad Económica de la Energía Fotovoltaica*. <https://megawatt.es/>.

Megawatt. (2024). *Análisis Financiero de la Energía Solar: Rentabilidad y Viabilidad*. <https://megawatt.es/>.

Mendoza, J. C., Aristizábal Botero, E., & González Páez, W. R. (2022). Energías renovables: Implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Bioparque La Reserva de Cota. Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO.

Merino. (2017). *Energías renovables para todos*. Haya Comunicación. Obtenido de Energías renovables para todos.

Ministerio del Ambiente, A. y. (2023). *Gobierno del Ecuador*. Obtenido de Gobierno del Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/>

Montoya, C. (2023). *Comparación de los impactos ambientales de la generación de energía solar fotovoltaica a varias escalas*. [Universidad EIA, trabajo de grado]. <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d1748c7-8813-40c5-90c2-ff971575f99e/content>

Nasirov, S., González, P., Opazo, J., & Silva, C. (2023). Development of rooftop solar under netbilling in Chile: Analysis of main barriers from project developers' perspectives. *Sustainability*, 15(3), 2233. <https://doi.org/10.3390/su15032233>

NAP, G. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Depósito legal: M-50664-2007.

OLADE. (2022). *Organización Latinoamericana de Energía*. Obtenido de Organización Latinoamericana de Energía.

Parreño, J., Lara, O., Jumbo, R., Caicedo, H., & Sarzosa, D. (2020). Diseño de un módulo de energía solar como estrategia de ahorro energético y disminución de la emisión de CO₂. *Agroindustria, Sociedad Y Ambiente*, 2(15), 4-18.
Recuperado a partir de
<https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>

Pereira, M. C. R., & Coria, A. S. (2022). Impactos ambientales de sistemas de energía solar fotovoltaica: una revisión de análisis de ciclo de vida y otros estudios.

Revista EIA, 19(38), 24.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8552387>

Portella, A. (2022). *Estudio para la implantación de una planta de producción de paneles solares fotovoltaicos*. Barcelona.

PVEducation.(2023). *Introducción a la energía solar fotovoltaica*.

<https://www.pveducation.org/>.

Renovables, M. d. (2020). *Gobierno del Ecuador*. Obtenido de Gobierno del Ecuador: <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/>

Rodríguez, S. (2018). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias - España: Instituto Tecnológico de Canarias.

Rodríguez, S. (2018). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias.

S.A., E. (2022). *Introducción a la energía fotovoltaica*. <https://enercitysa.com/>.

Salas, J. A., Gómez, D., & Núñez, C. (2025). Beneficios de la energía solar en la conservación del medio ambiente mediante su uso en centros comerciales de Barranquilla. *Revista de Investigación en Energía Renovable y Medio Ambiente*, 10(1), 45–58. <https://www.researchgate.net/publication/388503046>

Santos, D. B. (2022). *Introducción a la Energía Fotovoltaica*. Obtenido de

<https://n9.cl/c20u8>

Santos, D. B. (2022). *Introducción a la Energía Fotovoltaica*. Suño, R. C. (2023).

Factibilidad para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos como Fuente de Energía. 10.

Terry, G y Franklin, S. (2017). *Principios de Administración*. McGraw-Hill Education.

Twidell, J., & Weir, T. (2021). *Recursos energéticos renovables (4.^a ed.)*. Routledge.

Vega, M. (2024). *Mantenimiento y manejo de invernaderos*. Paraninfo.

Velásquez, N. Y. R., & Castiblanco, C. (2021). Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión. *Gestión y Ambiente*, 24(1).

Verde, E. (2023). *Energías renovables: Qué son y ejemplos*. <https://www.ecologiaverde.com/>.

Williams, & Laborde. (2016). *Energía solar. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

Wiser, R. (2017). *Berkeley Lab*. Obtenido de Berkeley Lab: <https://eta-publications.lbl.gov/publications/impacts-variable-renewable-energy>

Zarco, J. (12 de Junio de 2023). *PV Magazine México*. Obtenido de PV magazine México: <https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/06/12/reducciones-fiscales-y-financiamiento-de-proyectos-como-incentivos-para-la-inversion-en-energias>