



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO**

TEMA:

Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces.

AUTOR:

Kevin Ivan Añi Gómez

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO MECANICO**

TUTOR:

ING. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.

Guayaquil, Ecuador

04 de septiembre del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Kevin Iván Añi Gómez**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico

TUTOR (A)

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph.D

Guayaquil, 04 de Septiembre del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Kevin Iván Añi Gómez

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces** previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 04 de septiembre del 2026

EL AUTOR (A)

f. _____

Kevin Ivan Ani Gómez



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

AUTORIZACIÓN

Yo, Kevin Iván Añi Gómez

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 04 de septiembre del 2026

EL AUTOR(A):

Kevin Añi

f. _____

Kevin Ivan Ani Gómez



Certificado de análisis

Compilatio Magister+ | UCSG-EC- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

TESIS_KEVIN_ANY BORRADORA (5)

ID : 28ec9d9872e0f2e9479be0006c746df607057716



3%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS_KEVIN_ANY BORRADORA (5).txt

Tamaño del archivo original : 5,59 MB

Número de palabras : 14,534

Depositante : Ronnie Alexander Bonilla Sánchez

Fecha de depósito : 29 de agosto de 2026

Tipo de carga : interface

fecha de fin de análisis : 29 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



3%

INFORME DE COMPILATIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **“Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces”**, fue enviado al Sistema Anti plagio Compilatio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3%.

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D

DOCENTE-TUTOR



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICO MECANICO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D.
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Efrain Oliverio Velez Tacuri. MsC.
OPONENTE

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado principalmente a Dios, por darme la vida, la salud y la fuerza para seguir adelante en cada momento difícil y permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

A mi esposa, Marion Madero, por estar siempre a mi lado, por su amor, su paciencia y por apoyarme incluso cuando el cansancio, el trabajo y las responsabilidades parecían superar mis fuerzas. Gracias por creer en mí y acompañarme en este camino.

A mi hijo, Benjamin Añi, quien llegó a mi vida para convertirse en mi mayor motivación. Cada esfuerzo realizado durante esta etapa tuvo como propósito darle un mejor ejemplo y un mejor futuro.

A mis padres, Norberto Añi y Melba Gómez, porque todo lo que soy hoy se lo debo en gran parte a ellos. Gracias por sus sacrificios, consejos y enseñanzas, por enseñarme el valor del trabajo y la perseverancia.

A mis hermanos y a todas las personas que me apoyaron durante este proceso, porque cada palabra de ánimo y cada gesto de ayuda fueron importantes para llegar hasta aquí.

Este logro no es solo mío, sino también de todos aquellos que caminaron junto a mí durante estos años.

AGREDECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi vida y por acompañarme en cada desafío que se presentó durante mi formación profesional.

A mi esposa, Marion Madero, por ser mi compañera incondicional, por entender mis ausencias, mis preocupaciones y por darme siempre una palabra de aliento cuando más la necesitaba. Gracias por estar conmigo en cada paso de este camino.

A mi hijo, Benjamin Añi, porque sin saberlo se convirtió en la mayor motivación para no rendirme y seguir luchando por mis metas. Todo este esfuerzo también es para él.

A mis padres, Norberto Añi y Melba Gómez, por todo el amor, apoyo y sacrificio que han hecho por mí a lo largo de mi vida. Gracias por enseñarme a trabajar con honestidad, responsabilidad y dedicación.

Quiero agradecer de manera muy especial a mi hermano Norberto, quien me ayudó en muchas ocasiones, brindándome su apoyo, sus consejos y su confianza cuando más lo necesité. Su ayuda fue muy importante para que pudiera seguir avanzando y culminar esta meta.

También agradezco al Dr. Bayardo Bohórquez, tutor de este trabajo, por su orientación, disposición y conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a mis hermanos, familiares, amigos, compañeros y docentes que formaron parte de este proceso. De una u otra manera todos aportaron para que hoy pueda culminar mi formación como Ingeniero Eléctrico Mecánico. A todos ustedes, muchas gracias

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I	2
1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	2
1.1. Introducción	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Justificación	4
1.5. 1.5 Objetivos de la investigación	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Hipótesis	5
1.7. Metodología de la investigación	5
2. CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. Antecedentes energéticos en el Ecuador	7
2.2. Energías renovables	7
2.2.1. Tipos de energías renovables	8
2.2. Energía hidráulica	9
2.3. Energía eólica.....	9
2.4. Energía geotérmica	10
2.5. Energía solar fotovoltaica	11
2.6. Energía solar térmica	11
2.7. Energía mareomotriz.....	12
2.8. Energía undimotriz.....	13
2.9. Sistema solar fotovoltaico	14
2.9.1. Fundamentos de generación fotovoltaica.....	14
3. 2.5. Panel solar.....	15
2.10. Panel solar monocristalino	16
2.11. Panel solar policristalino	17
2.12. Panel solar amorfo.....	18

2.13.	Conector multicontacto de 4 milímetros (MC4)	19
2.14.	Estructuras de fijación para paneles solares	20
2.15.	Inversor fotovoltaico	21
2.16.	Inversor fotovoltaico conectado a la red (On Grid)	22
2.17.	Inversor fotovoltaico aislado (Off Grid)	23
2.18.	Inversor fotovoltaico híbrido.....	24
2.19.	Disyuntores de protección de corriente continua	25
2.20.	Disyuntores de protección de corriente alterna	26
2.21.	Conexión de puesta a tierra	27
2.22.	Batería	28
3.23.	Funcionamiento de una batería	28
2.24.	Características técnicas de una batería	29
2.25.	Batería de plomo-ácido sellada (VRLA).....	30
2.26.	Batería de níquel-cadmio (Ni-Cd).....	31
2.27.	Batería de ion de litio	31
2.28.	Sistema fotovoltaico conectado a la red (On Grid)	32
2.29.	Orientación, inclinación y sombras	33
2.30.	Temperatura y pérdidas	33
2.31.	Dimensionamiento energético	33
2.32.	Dimensionamiento del banco de baterías	33
2.33.	Marco regulatorio ecuatoriano.....	34
2.34.	Evaluación técnica y económica.....	34
2.35.	degradación, garantías y disponibilidad	34
2.36.	Arquitecturas de conversión	34
2.37.	Cables y caída de tensión.....	35
2.38.	Indicadores de desempeño fotovoltaico	35
2.39.	Evaluación de incertidumbre	35
3.24.	Seguridad ocupacional y mantenimiento	36
3.25.	Estado del arte de sistemas fotovoltaicos con baterías	36
3.	CAPÍTULO III.....	37
	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES.....	37
3.1.	Descripción del caso de estudio	37
3.2.	Ubicación geográfica	37
3.3.	Información eléctrica preliminar.....	38
3.4.	Inventario y perfil de cargas	38

3.5. Historial de consumo y demanda	38
3.6. Recurso solar y temperatura.....	38
3.7. Área disponible, orientación y sombras.....	38
3.8. Cargas críticas y autonomía	39
3.9. Configuración del sistema eléctrico actual	39
3.10. Instrumentos y procedimiento de campo	39
4. CAPÍTULO IV.....	41
DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO	41
4.1, Criterios y alcance del diseño	41
4.2 Construcción del escenario de demanda de 400 kW	41
4.3. Corriente nominal de los motores	42
4.4 Estimación del perfil diario.....	43
4.6 Selección y distribución de módulos	44
4.14 Protecciones DC y AC	49
4.15 Conductores y canalizaciones	50
4.16 Puesta a tierra y equipotencialidad	50
4.17 Punto de conexión y diagrama unifilar propuesto	51
4.18 Evaluación estructural y disposición física.....	51
4.19 Limitaciones del diseño	51
CAPÍTULO V	54
EVALUACIÓN ECONÓMICA, PRESUPUESTO Y VIABILIDAD	54
5.1 Alcance del presupuesto	54
5.3 Costos de operación y mantenimiento	55
5.4 Ahorro energético anual.....	55
5.5. Periodo simple de recuperación	56
5.6. Valor presente neto y flujo de caja proyectado.....	56
5.7. Análisis de sensibilidad.....	57
5.8. Comparación con una alternativa sin baterías	58
5.9. Beneficios técnicos y ambientales	58
5.10 Riesgos económicos y medidas de control	58
5.12 Plan de implementación.....	59
5.13 Viabilidad de la propuesta	60
RECOMENDACIONES.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalles de consumo y demenada electrica	38
Tabla 2. Detalle de equipos de carga critica	39
Tabla 3. Detalle a considerar para Generador fotovoltaico	41
Tabla 4. Detalle de cargas de la industria	42
Tabla 5. Parámetro eléctricos de motores en la industria	43
Tabla 6. Franja horaria de consumo y demanda de la industria.....	43
Tabla 7. Detalle de modulo bifasial	44
Tabla 8. Distribución mensual referencial de la producción	46
Tabla 9. Balance energético anual	47
Tabla 10. Detalle de cargas criticas	48
Tabla 11. Parámetros técnicos del inversor para almacenamiento	48
Tabla 12. Esquema preliminar de protecciones	49
Tabla 13. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico.....	54
Tabla 14. Beneficio económico del primer año	55
Tabla 15. Sensibilidad del periodo de recuperación	57
Tabla 16. Matriz de riesgos.....	58
Tabla 17. Cronograma referencial	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Energías renovables.....	8
Figura 2. Central hidroeléctrica	9
Figura 3. Central eólica.....	10
Figura 4. Central geotérmica.....	10
Figura 5. Central fotovoltaica	11
Figura 6. Central solar térmica.....	12
Figura 7. Central mareomotriz.....	13
Figura 8. Central undimotriz.....	13
Figura 9. Sistema solar fotovoltaico	14
Figura 10. Componentes de celda solar	16
Figura 11. . Módulo monocristalino	17
Figura 12. Módulo policristalino	18
Figura 13. Módulo amorfo.....	19
Figura 14. Conector MC4	20
Figura 15. Estructura para panel solar	21
Figura 16. Inversor fv	22
Figura 17. Inversor conectado a la red.....	23
Figura 18. Inversor aislado	24
Figura 19. Inversor híbrido	25
Figura 20. Protección DC	26
Figura 21. Sistema de protección AC	26
Figura 22. Sistema de puesta a tierra	27
Figura 23. Baterías para aplicaciones fotovoltaicas.....	28
Figura 24. Composición de una batería	29
Figura 25. Batería VRLA.....	30
Figura 26. Batería de níquel-cadmio.....	31
Figura 27. Batería de litio	32
Figura 28. Ubicación de la industria	37
Figura 29. Diagrama unifilar de sistema solar fotovoltaico.....	52

RESUMEN

El estudio propone un sistema fotovoltaico híbrido con almacenamiento de energía para una industria recicladora de plástico tipo pellet ubicada en el cantón Vinces. La investigación adopta un enfoque cuantitativo, descriptivo y aplicado. Se plantea recopilar el perfil de demanda, los horarios de operación, las características de las cargas y la disponibilidad del recurso solar; posteriormente se dimensionarán el generador fotovoltaico, el inversor híbrido y el banco de baterías destinado al respaldo de las cargas críticas de comunicaciones y videovigilancia. La evaluación comprenderá balances energéticos, criterios de seguridad eléctrica, compatibilidad con la red y un presupuesto referencial. El resultado esperado es una propuesta técnicamente viable que reduzca el consumo proveniente de la red y mantenga la continuidad de los servicios críticos durante interrupciones del suministro.

Palabras clave: energía fotovoltaica, almacenamiento, sistema híbrido, autoconsumo, continuidad eléctrica.

ABSTRACT

This study proposes a hybrid photovoltaic system with battery energy storage for a plastic-pellet recycling industry located in Vinces, Ecuador. The research follows a quantitative, descriptive, and applied approach. The demand profile, operating schedule, load characteristics, and available solar resource will be collected before sizing the photovoltaic generator, hybrid inverter, and battery bank intended to supply critical communications and video-surveillance loads. The assessment will include energy balances, electrical-safety criteria, grid compatibility, and a reference budget. The expected outcome is a technically feasible proposal that reduces grid energy consumption and maintains critical services during supply interruptions within the designed battery autonomy.

Keywords: photovoltaic energy, energy storage, hybrid system, self-consumption, electrical continuity

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

La incorporación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en instalaciones industriales han sido impulsados gracias a la transición de fuentes renovables y el avance de la continuidad del suministro eléctrico. En esta categoría de usuario, el interés no tiene limitaciones de reducir la energía adquirida a la distribuidora de esa misma forma comprende la protección de cargas críticas que deben continuar operativas ante interrupciones, como el rack de comunicaciones, los equipos de red y las cámaras de seguridad (Holguín, 2024).

La industria recicladora de plástico tipo pellet es considerada en la investigación donde se localiza en el cantón Vines, provincia de Los Ríos. De acuerdo con el contexto preliminar proporcionada, la instalación opera en dos jornadas, dispone de motores y equipos térmicos alimentados a 440 V y 220 V trifásicos, muestra una demanda instalada aproximada de 400 kW y un consumo mensual medio cercano a 288000 kWh. Estas magnitudes corresponderán comprobarse mediante planillas, inventario de cargas y mediciones antes de efectuar el dimensionamiento definitivo (Murillo, 2024).

El sistema propuesto integra generación fotovoltaica que conecta a la red y almacenamiento electroquímico. Durante el recurso solar, la producción puede abastecer parte de la demanda instantánea y disminuir la importación de energía. El almacenamiento es reservada prioritariamente para las cargas críticas de corriente continua o para aquellas alimentadas mediante el inversor híbrido. La red pública tiene una conservación de la función de respaldo general, de modo que el concepto de suministro continuo es limitado técnicamente a los circuitos críticos definidos y no simplemente a la totalidad de la demanda industrial de 400 kW.

1.2. Antecedentes

La generación fotovoltaica distribuida ha evolucionado durante el transcurso de los años desde aplicaciones aisladas de reducida potencia hacia sistemas comerciales e industriales, este dispone de la capacidad de operar en paralelo con la red. La incorporación de inversores (punto de máxima potencia, monitoreo digital y funciones de protección) permitieron culminar la generación en baja tensión con mayor seguridad. Con respecto a el desarrollo de baterías de ion-litio y sistemas de gestión de baterías amplió las opciones de respaldo, control de picos y aprovechamiento local de la energía (Adriano, 2025).

En Ecuador, La Regulación (ARCONEL-005/24) codificada, instauro el marco para la habilitación, instalación, conexión, operación, medición y mantenimiento de sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados. Siendo de esta forma, que se considere a la propuesta en la categoría del consumidor, la modalidad de autoabastecimiento, el estudio de factibilidad de conexión y los requisitos de la empresa distribuidora. El almacenamiento no es sustituido de las protecciones de interconexión ni autoriza una operación en isla sobre la red pública.

Como antecedente de forma local, Andrade (2023) avanzó una propuesta fotovoltaica conectada a red para un edificio en Guayaquil y organizó el análisis basándose en la ubicación, radiación, sombras, temperatura, consumo y configuración eléctrica. De acuerdo con el presente trabajo se adoptaría esa secuencia metodológica como un signo de referencia, pero se reformula para una industria de pellet en Vinces y se incorpora el dimensionamiento específico del almacenamiento para cargas críticas. El texto, las tablas y los cálculos se elaboran de manera no dependiente.

1.3. Planteamiento del problema

La red Eléctrica se basa en la industria para sostener su proceso productivo y sus servicios auxiliares. Cuando sucede una interrupción, el rack de comunicaciones y las cámaras pueden permanecer fuera de servicio, lo que influye el monitoreo, la trazabilidad y la seguridad del predio. A esta vulnerabilidad se incrementa un consumo mensual elevado que incrementa el costo operativo y muestra a la empresa variaciones tarifarias.

Una superficie aproximada de 6 680 m² dispone la instalación distribuida en 2 galpones paralelos; por el contrario, aún debe determinarse el área útil real, descontando

pasillos, retiros, equipos, sombras y restricciones estructurales. Por otra parte no es conocido el perfil horario validado de demanda, la potencia exacta de las cargas críticas y la autonomía requerida. Sin estos datos no resulta técnicamente responsable seleccionar paneles, inversores o baterías.

Por consiguiente , la pregunta de investigación es: ¿qué configuración y capacidad debe poseer un sistema fotovoltaico híbrido con almacenamiento para disminuir la energía tomada de la red y tener un mantenimiento de suministro de las cargas críticas de comunicaciones y videovigilancia de una industria recicladora de plástico tipo pellet en el cantón Vinces, con viabilidad técnica y económica?

1.4. Justificación

Esta investigación es justificada de forma técnica porque transforma información dispersa de consumo, recurso solar y criticidad de cargas en una arquitectura eléctrica verificable. La separación entre la demanda industrial general y el circuito respaldado impide sobredimensionar el banco de baterías y accede a concentrar la continuidad en los servicios cuya interrupción produce consecuencias de seguridad u operación.

En términos económicos , la generación diurna puede desplazar parte de la energía adquirida a la red, mientras que el presupuesto y los indicadores de evaluación admiten contrastar la inversión con los ahorros esperados. Desde el punto de vista ambiental, el autoconsumo fotovoltaico reduce la energía de origen convencional asociada a la operación. En fin , la investigación aporta un procedimiento replicable para instalaciones industriales con perfiles de consumo semejantes.

1.5. 1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Estudiar un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de las cargas críticas de la industria recicladora de plástico tipo pellet en el cantón Vinces.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar la información de los parámetros eléctricos, el consumo energético, el perfil horario de demanda y los horarios de trabajo de la industria.

- Diseñar un sistema solar fotovoltaico híbrido que opere en paralelo con la red y disponga de respaldo mediante baterías para el rack de comunicaciones y las cámaras de seguridad.
- Analizar la viabilidad técnica y económica de la propuesta mediante balances energéticos, criterios de dimensionamiento y un presupuesto referencial.

1.6. Hipótesis

La implementación de un sistema fotovoltaico híbrido, dimensionado a partir del perfil real de demanda y provisto de almacenamiento para las cargas críticas, permitirá reducir la energía consumida desde la red y mantener la alimentación del rack de comunicaciones y las cámaras durante interrupciones, dentro de la autonomía de diseño.

1.7. Metodología de la investigación

La investigación muestra un enfoque cuantitativo, alcance descriptivo y carácter aplicado. Su método es no experimental debido al análisis de instalación en sus condiciones de operación sin manipular deliberadamente las variables y adopta un diseño de estudio de caso. La unidad de análisis concierne al sistema eléctrico y a las superficies disponibles de la industria recicladora localizada en Vines.

- Revisión documental: Se recopila planillas eléctricas, planos, fichas técnicas, horarios y normativa de generación distribuida.
- Levantamiento de campo: Se realiza inventario de cargas, inspección del área disponible, identificación de tableros, medición del circuito crítico y registro de obstáculos.
- Caracterización energética y solar : Se establece construcción de perfiles diario y mensual; obtención de irradiación, temperatura y pérdida por medio de una fuente meteorológica trazable.
- Dimensionamiento: cálculo de potencia fotovoltaica, arreglo serie- paralelo, relación DC- AC, capacidad útil de batería, inversor, conductores y protecciones.
- Evaluación : Se ejecuta una simulación de manera anual, balance energético, verificación de continuidad del circuito crítico y estudios

económico mediante inversión , ahorro, periodo simple de retorno y valor presente neto cuando existan datos suficientes.

2. CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes energéticos en el Ecuador

Ecuador se localiza en la región noroccidental de América del Sur, entre Colombia y Perú. Posee una superficie aproximada de 256.370 km² y una población cercana a 17 millones de habitantes. Para 2021, el país registró 9.386 MW de potencia efectiva; de este total, alrededor del 57 %, equivalente a 5.309 MW, correspondía a fuentes renovables.

La incorporación de la generación distribuida (GD) representa un avance relevante para el sector eléctrico ecuatoriano. Con el Acuerdo Ministerial MEM-2023-0017-AM, el Ministerio de Energía y Minas promovió la sustitución parcial del suministro convencional por esquemas de GD, que permiten el autoconsumo y la entrega o comercialización de excedentes. La norma determina límites de capacidad e incluye varias tecnologías renovables que producen electricidad cerca del punto de consumo, reduciendo la dependencia de las etapas tradicionales de transmisión y distribución.

2.2. Energías renovables

Las energías renovables proceden de recursos naturales que se regeneran de manera continua. El Sol constituye su principal impulsor, pues interviene en fenómenos como la circulación atmosférica, el ciclo del agua, el oleaje, la fotosíntesis y numerosos procesos naturales. Debido a la renovación permanente de estos recursos, se consideran fuentes prácticamente inagotables a escala humana. La Figura 1 presenta sus principales clases.

Figura 1. Energías renovables



Nota: Clasificación de energías renovables cuyo impulsor principal es el Sol. Fuente: Renovatio, 2022.

La disponibilidad de energía eléctrica, mecánica y térmica resulta esencial para el desarrollo de la sociedad. En este contexto, las fuentes renovables constituyen una alternativa sostenible frente a los sistemas convencionales basados en combustibles fósiles, ya que disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. También pueden emplearse tanto en instalaciones de gran escala como en microgeneración. Los sistemas con potencia inferior a 2 MW pueden integrarse a esquemas de generación distribuida y contribuir al balance energético de la red nacional.

2.2.1. Tipos de energías renovables

Aunque existe una amplia variedad de fuentes renovables, en este trabajo se consideran aquellas que pueden convertirse finalmente en electricidad:

1. Energía hidráulica
2. Energía eólica
3. Energía geotérmica
4. Energía solar fotovoltaica
5. Energía solar térmica
6. Energía mareomotriz

7. Energía undimotriz

2.2. Energía hidráulica

La generación hidroeléctrica aprovecha la energía potencial del agua almacenada o conducida desde una cuenca. Una central típica integra una presa para regular el caudal, un embalse y una casa de máquinas donde la turbina acciona el generador eléctrico. La potencia obtenida depende, entre otros factores, del caudal y de la altura de caída. Estas instalaciones suelen tener una vida útil extensa y emisiones operativas reducidas, por lo que contribuyen a limitar los gases de efecto invernadero. La Figura 2 representa una central hidroeléctrica (Martinez, 2022).

Figura 2. Central hidroeléctrica



Nota: Coca Codo Sinclair es la central hidroeléctrica de mayor capacidad del Ecuador. Su potencia instalada es de 1.500 MW, valor equivalente a cerca del 30 % de la demanda eléctrica nacional. Fuente: CELEC EP, 2015.

2.3. Energía eólica

La energía eólica transforma la energía cinética del viento en electricidad. Las corrientes de aire hacen girar las palas del aerogenerador y este movimiento acciona un generador. Cuando la instalación incorpora almacenamiento, la energía se conserva en bancos de baterías para atender la demanda durante periodos de viento débil o inexistente. La Figura 3 identifica los componentes básicos de una central eólica (Quinche, 2022).

Figura 3. Central eólica



Nota: La central eólica Villonaco dispone de 11 aerogeneradores y alcanza una potencia instalada de 16,5 MW. Fuente: CELEC EP, 2021.

2.4. Energía geotérmica

La energía geotérmica utiliza el calor almacenado en el interior de la Tierra, accesible en zonas con fuentes termales, géiseres o actividad volcánica. El vapor o fluido caliente se conduce mediante tuberías sometidas a alta temperatura y presión. Posteriormente, transfiere calor en un intercambiador y el vapor resultante mueve una turbina acoplada a un generador. La Figura 4 muestra el esquema de una central geotérmica (Bohórquez, 2025).

Figura 4. Central geotérmica



Nota: El complejo The Geysers posee aproximadamente 1.517 MW instalados y es considerado el mayor campo geotérmico del mundo por capacidad. Fuente: Clean Energy, 2020.

2.5. Energía solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica convierte directamente la radiación solar en electricidad. Los módulos producen corriente continua (DC); una caja combinadora reúne los circuitos e incorpora elementos de corte y protección; el inversor transforma la corriente continua en corriente alterna (AC), y, cuando corresponde, un transformador eleva la tensión para entregar la energía a la red. La Figura 5 presenta una central fotovoltaica (Lajones, 2022).

Figura 5. Central fotovoltaica



Nota: La central fotovoltaica Paragachi, ubicada en la parroquia San Antonio de Ibarra, cuenta con cerca de 5 MW de capacidad instalada. Fuente: CELEC, 2022.

2.6. Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha la radiación para producir calor destinado al calentamiento de agua, la climatización o la generación eléctrica. Los colectores absorben y concentran la energía solar para elevar la temperatura de un fluido, que puede transferir el calor mediante intercambiadores o conservarlo para su uso posterior. En las plantas termosolares de concentración, ese calor genera vapor que impulsa turbinas conectadas a generadores. Al tratarse de una fuente renovable, ayuda a disminuir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones asociadas (Polo, 2022). La Figura 6 ilustra una central solar térmica.

Figura 6. Central solar térmica

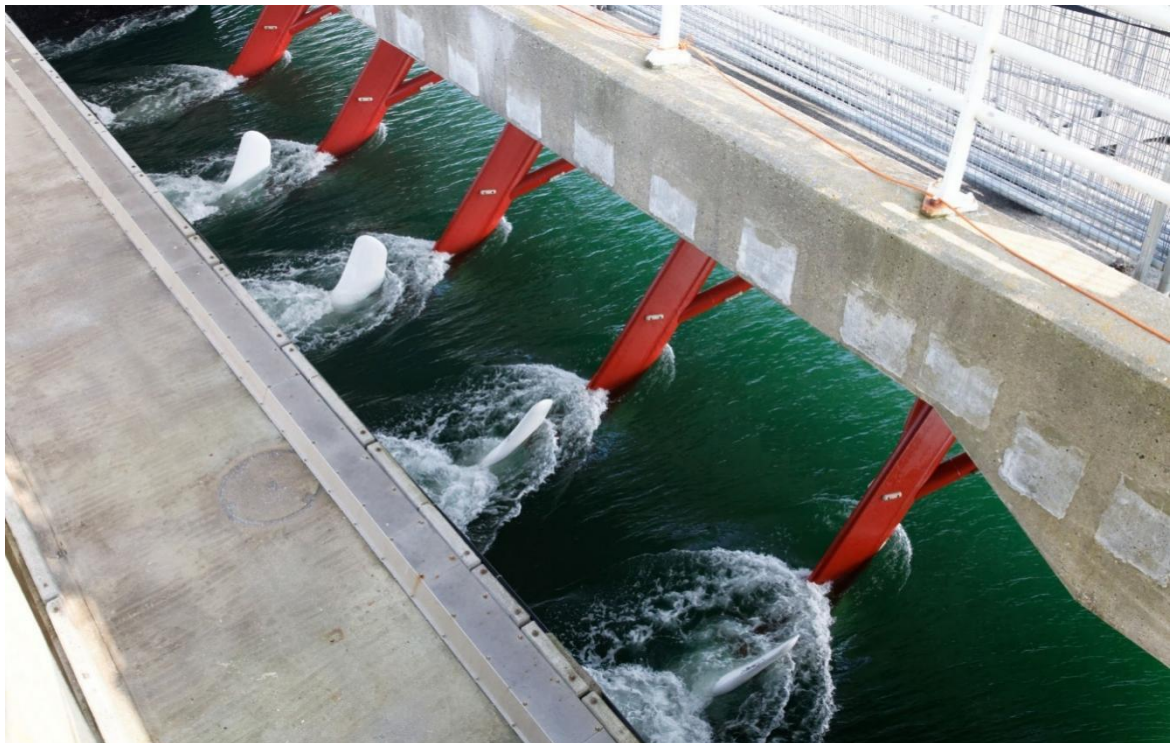


Nota: Crescent Dunes se ubica cerca de Tonopah, en el desierto de Nevada, Estados Unidos, y dispone de 110 MW de potencia instalada. Fuente: Solar Reserve, 2021.

2.7. Energía mareomotriz

La generación mareomotriz utiliza los cambios periódicos del nivel del mar. El ascenso y el descenso de las mareas producen un flujo de agua que atraviesa turbinas capaces de operar en ambos sentidos; estas accionan generadores de corriente de marea para producir electricidad. La Figura 7 muestra una instalación mareomotriz.

Figura 7. Central mareomotriz



Nota: La central de Sihwa Lake, situada cerca de Ansan, en la provincia surcoreana de Gyeonggi, posee 254 MW y es una de las mayores instalaciones mareomotrices del mundo. Fuente: Taikaigeni, 2018.

2.8. Energía undimotriz

La energía undimotriz aprovecha el movimiento de las olas. Una de sus tecnologías emplea boyas cuyo desplazamiento vertical acciona un sistema hidráulico conectado a un generador. Al subir y bajar, la boya comprime el fluido del mecanismo y permite convertir la energía mecánica del oleaje en electricidad. La Figura 8 representa una planta undimotriz (De la Torre, 2022).

Figura 8. Central undimotriz

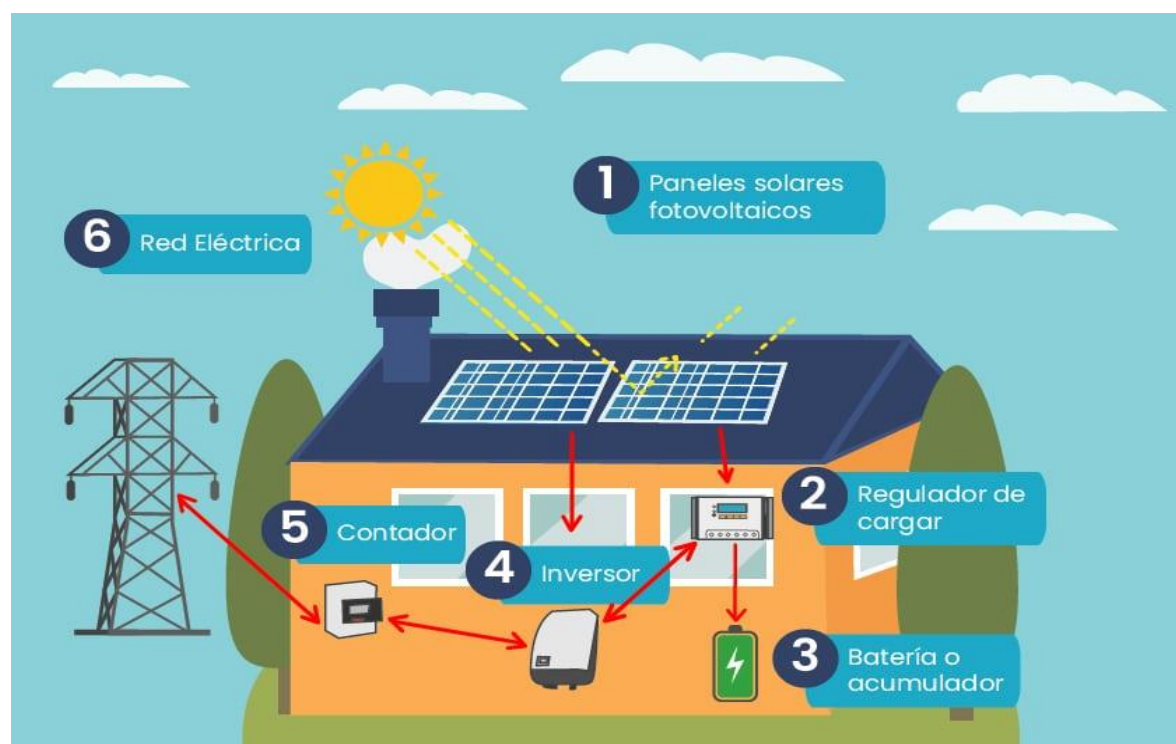


Nota: La planta undimotriz de Mutriku posee una capacidad instalada aproximada de 300 kW. Fuente: Solergy, 2021.

2.9. Sistema solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico reúne elementos que convierten la luz solar en electricidad. Las celdas semiconductoras de los paneles captan la radiación y, mediante el efecto fotovoltaico, generan corriente continua (DC). Luego, el inversor transforma esta energía en corriente alterna (AC), adecuada para alimentar las cargas eléctricas. La Figura 9 resume el proceso de conversión.

Figura 9. Sistema solar fotovoltaico



Nota: Mediante el efecto fotovoltaico, los módulos captan la radiación solar y generan energía DC, que posteriormente se transforma en corriente alterna. Fuente: Inenergy, 2022.

2.9.1. Fundamentos de generación fotovoltaica

Aunque los sistemas fotovoltaicos pueden instalarse con relativa facilidad, deben dimensionarse correctamente para cubrir la demanda durante periodos de alta y baja irradiación (Ramírez, 2023). Los conceptos fundamentales para su diseño son los siguientes:

1. Radiación solar: conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol. Comprende la radiación directa, que llega sin obstáculos al módulo, y la

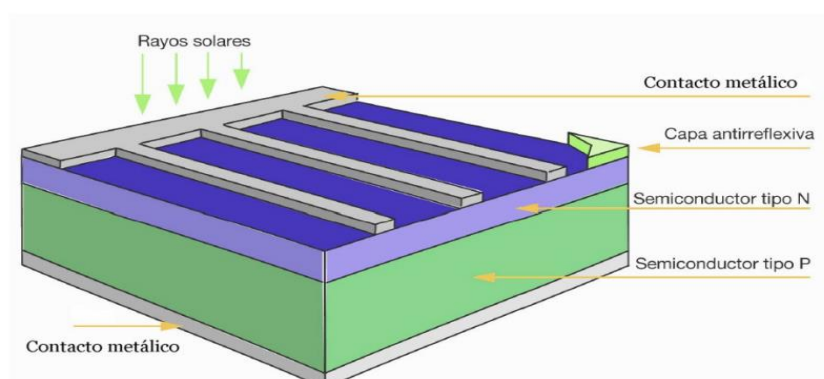
difusa, que previamente ha sido dispersada o reflejada por nubes y superficies.

2. Horas sol pico: número equivalente de horas diarias durante las cuales la irradiancia solar alcanza el valor de referencia usado para estimar la producción máxima.
3. Sombras: obstáculos naturales o contruidos pueden reducir la radiación recibida por los módulos. Su efecto debe evaluarse según la trayectoria solar, la inclinación y la separación entre filas.
4. Área de instalación: superficie disponible para ubicar los módulos, considerando dimensiones, accesos y distancias de seguridad; este factor limita la cantidad de paneles instalables.
5. Conexiones eléctricas: los módulos se organizan en serie o en paralelo para alcanzar los valores de tensión y corriente compatibles con las entradas del inversor.
6. Distancias de seguridad: separación entre filas y equipos que permite el tránsito del personal y la ejecución segura de tareas de montaje, desmontaje y mantenimiento.
7. Protecciones: dispositivos destinados a aislar fallas, facilitar el seccionamiento y preservar los componentes durante las distintas etapas de conversión de energía.

3. 2.5. Panel solar

El panel solar es un dispositivo semiconductor, generalmente fabricado con silicio, cuyas celdas absorben la radiación y la convierten en electricidad. Puede producir energía durante las horas de disponibilidad solar y está diseñado para operar bajo condiciones ambientales exigentes. La Figura 10 detalla las capas que conforman una celda fotovoltaica.

Figura 10. Componentes de celda solar



Nota: Una celda solar integra contactos metálicos, una capa antirreflectante y semiconductores tipo N y tipo P. Fuente: SEI, 2012.

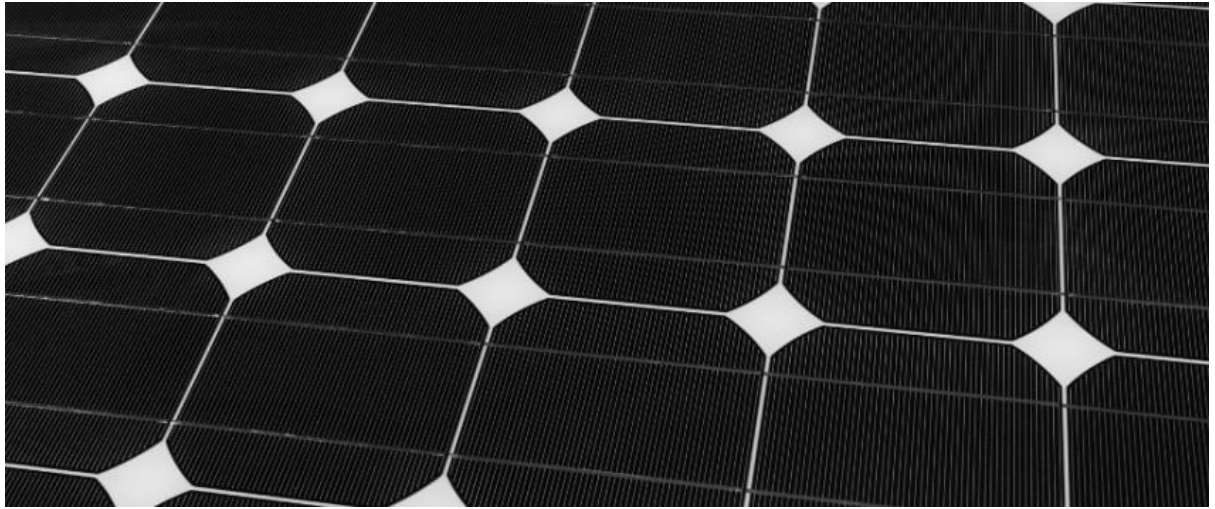
Entre las características más relevantes de los paneles solares se encuentran:

1. Celdas fotovoltaicas: según su estructura semiconductor, los módulos pueden ser monocristalinos, policristalinos o amorfos.
2. Diseño: su configuración busca captar la radiación con eficiencia y facilitar el autoconsumo de energía solar.
3. Portabilidad: algunos módulos ofrecen instalación sencilla y diseños transportables o plegables.
4. Temperatura: su desempeño varía con la temperatura; las especificaciones suelen establecer condiciones nominales cercanas a 25 °C y límites de operación superiores.

2.10. Panel solar monocristalino

Este módulo utiliza celdas obtenidas de silicio monocristalino de alta pureza. Su tonalidad oscura y uniforme se relaciona con la estructura del material y con el recubrimiento antirreflectante, que mejora la captación solar. Dependiendo de la tecnología y de las condiciones de prueba, su eficiencia puede aproximarse al 20 %. La Figura 11 muestra un módulo monocristalino (Vélez & Grijalva, 2021).

Figura 11. . Módulo monocristalino



Nota: El módulo monocristalino está fabricado con silicio y puede integrar 72 celdas solares. Fuente: Caicedo, 2020.

2.11. Panel solar policristalino

Los paneles policristalinos se fabrican con múltiples cristales de silicio orientados en distintas direcciones, característica que produce una apariencia azulada menos uniforme. Su eficiencia suele ubicarse aproximadamente entre 15 % y 18 %, y presentan un comportamiento térmico diferente al de los módulos monocristalinos. La Figura 12 muestra un módulo policristalino.

Figura 12. Módulo policristalino



Nota: Debido a la presencia de varios cristales de silicio, los módulos policristalinos exhiben un color azul menos uniforme que los monocristalinos. Fuente: Caicedo, 2018.

2.12. Panel solar amorfo

Los paneles amorfos se elaboran depositando una película delgada de silicio sobre un sustrato, que puede ser metálico o flexible. Su espesor reducido permite diseños ligeros y adaptables, aunque normalmente ofrecen menor potencia y eficiencia que los módulos cristalinos. La Figura 13 presenta un módulo amorfo.

Figura 13. Módulo amorfo



Nota: Los módulos amorfos se distinguen por su construcción delgada y flexible, generalmente de color negro o gris oscuro. Fuente: Henan Dingly, 2018.

2.13. Conector multicontacto de 4 milímetros (MC4)

El MC4 es un conector eléctrico de un solo contacto utilizado de manera habitual en instalaciones fotovoltaicas. Su denominación alude al contacto de 4 mm y su diseño permite unir módulos para formar cadenas con conexiones seguras. Los modelos certificados conforme a normas como NEC y UL 6703 pueden operar hasta 1.500 VDC, según su categoría. Los pares macho y hembra aseguran la polaridad de la conexión. La Figura 14 muestra un conector MC4 (Barco & Latorre, 2022).

Figura 14. Conector MC4



Nota: Par de conectores MC4 con terminales macho y hembra. Fuente: Gilera, 2022.

2.14. Estructuras de fijación para paneles solares

La estructura de soporte mantiene los módulos en una posición estable y los protege frente a caídas, vibraciones, corrosión y esfuerzos ambientales. Habitualmente se fabrica con perfiles de aluminio por su resistencia mecánica, térmica y a la intemperie. Su diseño debe considerar la inclinación, las sombras, los accesos de mantenimiento y las distancias de seguridad. Sus componentes principales, ilustrados en la Figura 15, son:

1. Riel: perfil de aluminio, normalmente suministrado en tramos, sobre el cual se alinean y fijan los módulos.
2. Conector de riel: pieza que permite unir dos tramos de perfil.
3. Conector tipo L: soporte angular que enlaza el riel con la superficie de montaje.
4. Grapa final: elemento colocado en los extremos de una fila para asegurar el último módulo.
5. Grapa intermedia: pieza instalada entre dos módulos contiguos para mantenerlos sujetos y separados.

Figura 15. Estructura para panel solar



Nota: Soporte de aluminio compuesto por rieles, conectores tipo L, anclajes, grapas intermedias, grapas finales y uniones de riel. Fuente: Atersa Shop, 2014.

La elección del montaje depende de la superficie disponible y de las características del proyecto. Las configuraciones habituales son:

1. Montaje sobre teja
2. Montaje sobre losa
3. Montaje sobre suelo
4. Montaje sobre superficie flotante o balsa solar

2.15. Inversor fotovoltaico

El inversor es el equipo electrónico que transforma la corriente continua (DC) suministrada por las cadenas fotovoltaicas en corriente alterna (AC). Esta conversión comprende etapas de acondicionamiento, filtrado e inversión destinadas a obtener una señal de salida próxima a una onda sinusoidal. La Figura 16 presenta varias clases de inversores según su uso y capacidad (Reinoso, 2022).

Figura 16. Inversor fv



Nota: Clasificación de inversores de acuerdo con su topología, aplicación, tensión y diseño. Fuente: Delta Global, 2020.

Los inversores pueden clasificarse con los criterios siguientes:

1. Topología o control: pueden emplear modulación por ancho de pulso (PWM) y algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).
2. Aplicación: existen equipos conectados a red (On Grid), aislados (Off Grid) e híbridos.
3. Tensión de salida: configuraciones monofásicas o trifásicas.
4. Diseño: soluciones residenciales, comerciales e industriales.

Para operar de forma segura y eficiente, un inversor debe cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

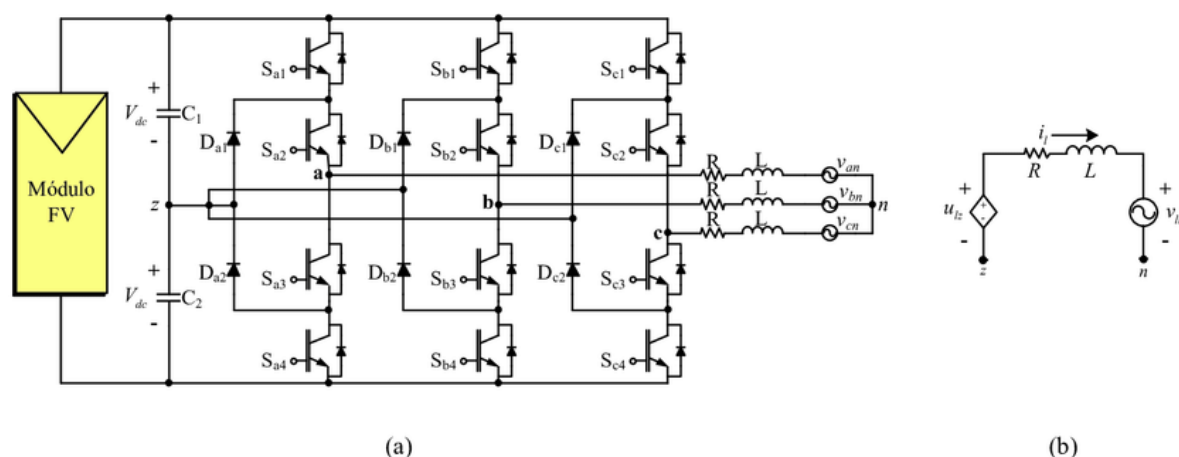
1. Generar una señal de corriente alterna lo más sinusoidal posible, salvo en equipos de onda modificada o cuadrada.
2. Mantener estable la frecuencia de salida.
3. Tolerar las variaciones de tensión del banco de baterías.
4. Proteger las baterías frente a descargas profundas.
5. Mantener un contenido armónico reducido.

2.16. Inversor fotovoltaico conectado a la red (On Grid)

En una instalación conectada a la red, el inversor convierte la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna compatible con la red. Su salida se enlaza con el tablero de distribución para alimentar las cargas y gestionar la entrega de excedentes.

El acondicionamiento electrónico incluye etapas de conversión y filtrado, gobernadas por dispositivos de potencia y sistemas de control. Estas etapas sincronizan la salida con los parámetros eléctricos de la red. La Figura 17 representa las conexiones de entrada y salida de un inversor conectado.

Figura 17. Inversor conectado a la red



Nota: El inversor de red transforma la energía DC de los módulos para atender la carga y entregar los excedentes al sistema eléctrico. Su modelo electrónico incorpora semiconductores y otros dispositivos electrónicos. Fuente: Caicedo, 2021.

2.17. Inversor fotovoltaico aislado (Off Grid)

El inversor aislado recibe corriente continua desde el arreglo fotovoltaico y, habitualmente, desde un banco de baterías. Su salida alimenta directamente cargas de corriente alterna. Durante el día, los módulos suministran energía y recargan el almacenamiento; cuando no existe radiación suficiente, las baterías entregan la energía acumulada (Angulo & Chamba, 2024).

Este tipo de solución resulta apropiado para lugares sin acceso confiable a la red. Su autonomía depende del dimensionamiento del banco de baterías, de la producción solar y del consumo diario. La Figura 18 muestra las conexiones principales de un inversor aislado (Moreta & Cedillo, 2023).

Figura 18. Inversor aislado

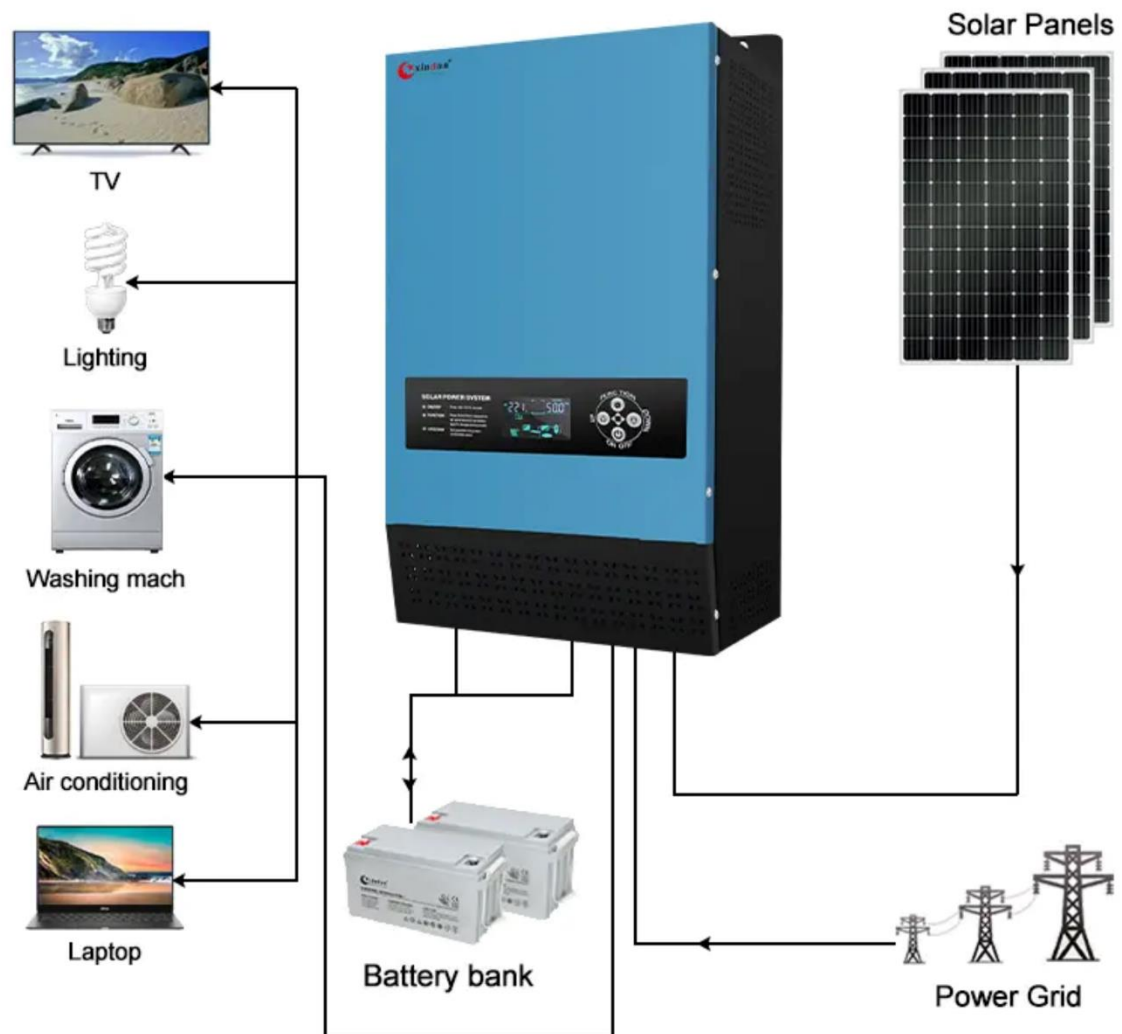


Nota: El sistema aislado incorpora un regulador de carga que controla la tensión aplicada a las baterías, permitiendo utilizar la energía almacenada durante la noche. Fuente: Hiler, 2018.

2.18. Inversor fotovoltaico híbrido

El inversor híbrido combina la operación conectada a red con el almacenamiento energético. Durante las horas de sol puede alimentar las cargas con los paneles y cargar las baterías; posteriormente, puede utilizar la energía almacenada o recurrir a la red. Un medidor bidireccional registra tanto la energía importada como la exportada, lo que permite cuantificar los excedentes entregados al sistema eléctrico. La Figura 19 ilustra esta configuración (Salazar & Sánchez, 2023).

Figura 19. Inversor híbrido

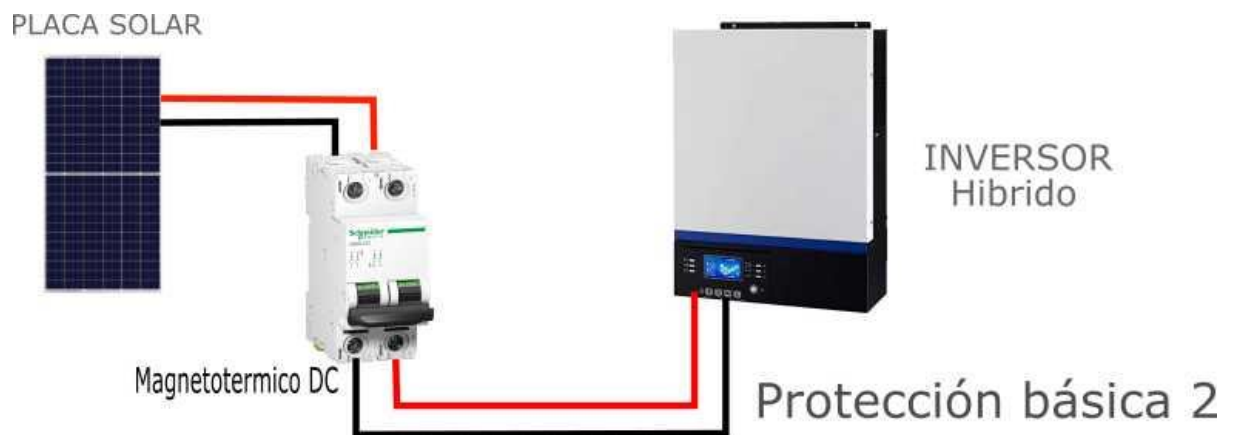


Nota: Un inversor híbrido puede trabajar junto con la red, baterías y otras fuentes de generación para respaldar cargas críticas. Fuente: Hitachi, 2020.

2.19. Disyuntores de protección de corriente continua

Las protecciones de corriente continua permiten controlar, aislar y mantener con seguridad el lado DC del sistema. La irradiancia y la configuración de los módulos pueden originar valores de tensión o corriente superiores a los límites admisibles del inversor, con riesgo para sus componentes electrónicos. Los disyuntores y supresores de sobretensión se instalan entre el arreglo fotovoltaico y el inversor para interrumpir sobrecorrientes y limitar perturbaciones (Aguilar, 2022). La Figura 20 muestra esta protección.

Figura 20. Protección DC



Nota: La protección DC se ubica entre los módulos y la entrada del inversor para reducir el riesgo asociado con sobrecorrientes y sobretensiones. Fuente: Schneider, 2020.

2.20. Disyuntores de protección de corriente alterna

En el lado de corriente alterna, los disyuntores se colocan entre la salida del inversor y las cargas o el tablero de distribución. Además de actuar ante fallas, permiten desenergizar por etapas la instalación durante inspecciones y mantenimiento. La Figura 21 representa un sistema de protección AC.

Figura 21. Sistema de protección AC

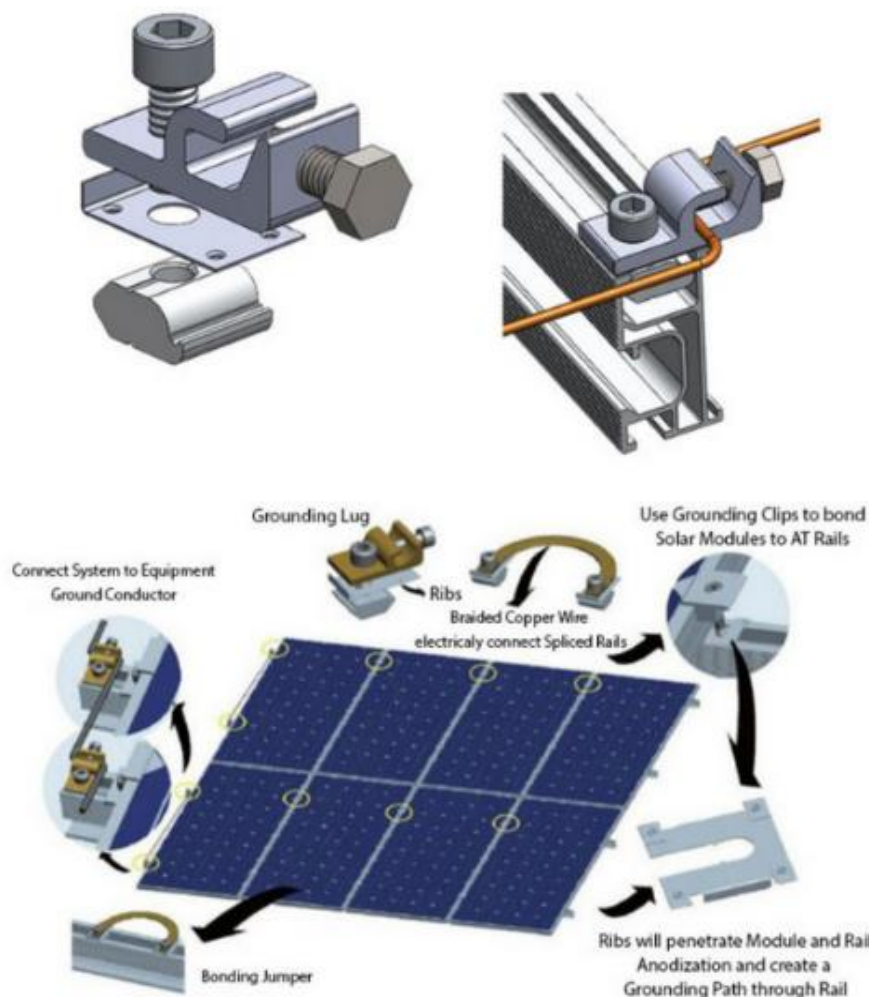


Nota: La protección AC instalada a la salida del inversor incrementa la seguridad y la confiabilidad del sistema. Fuente: Himelco, 2020.

2.21. Conexión de puesta a tierra

La puesta a tierra protege a las personas y a los equipos, y favorece la vida útil de la instalación fotovoltaica. Deben equipotencializarse las estructuras de los módulos, el inversor y los tableros DC y AC, diferenciando cuando corresponda las funciones de tierra de protección y descarga electrostática. El sistema de puesta a tierra conduce corrientes de falla y perturbaciones originadas por descargas directas o indirectas. Puede complementarse con supresores de sobretensión para circuitos DC y dispositivos de protección destinados a equipos electrónicos sensibles. La Figura 22 presenta sus componentes y la interconexión con el sistema de protección contra rayos.

Figura 22. Sistema de puesta a tierra



Nota: La puesta a tierra se vincula con los rieles fotovoltaicos para proteger los conjuntos de módulos frente a descargas atmosféricas y sobretensiones. Fuente: Parres, 2014.

2.22. Batería

En los sistemas fotovoltaicos, las baterías almacenan energía en corriente continua para utilizarla cuando la generación solar es insuficiente o nula. Durante los periodos de producción, acumulan parte de la energía disponible y posteriormente la entregan a las cargas. Los modelos destinados a aplicaciones solares suelen admitir ciclos repetidos de carga y descarga, incorporar protección térmica y ofrecer una vida útil acorde con el régimen de operación. La Figura 23 reúne varios tipos de baterías.

Figura 23. Baterías para aplicaciones fotovoltaicas

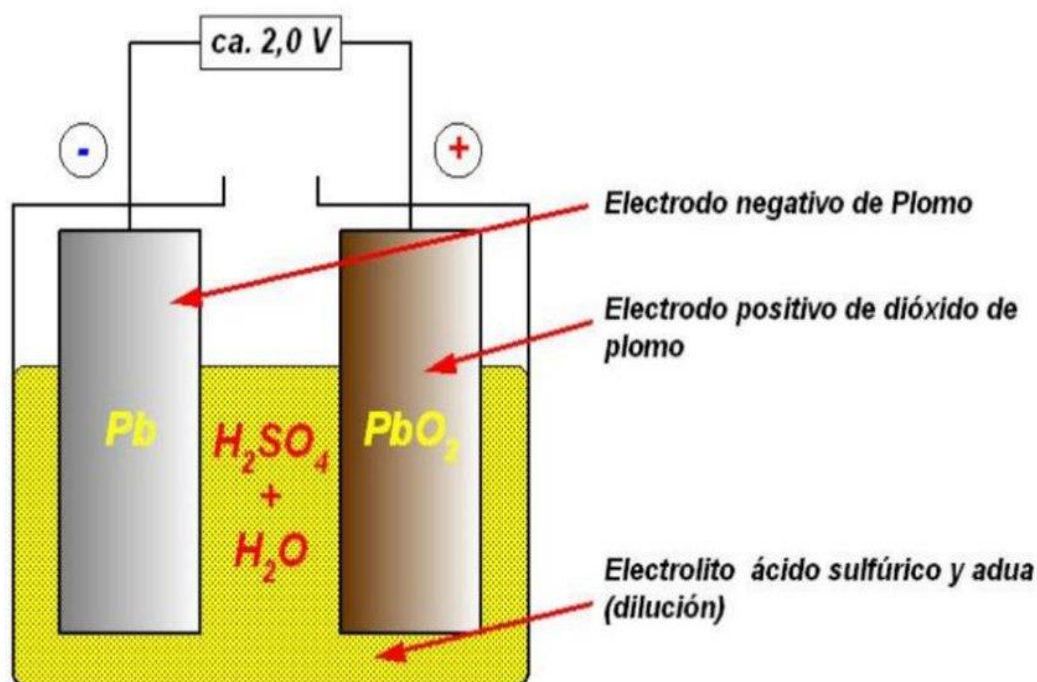


Nota: Principales tipos de baterías empleadas en aplicaciones fotovoltaicas. Fuente: Eleksol, 2022.

3.23. Funcionamiento de una batería

Una batería almacena y suministra energía mediante reacciones electroquímicas de oxidación-reducción. Durante estas reacciones, una especie química cede electrones al oxidarse y otra los recibe al reducirse. El flujo externo de electrones produce corriente eléctrica, mientras que las reacciones cambian de sentido durante la recarga en las tecnologías recargables. La Figura 24 representa este proceso.

Figura 24.Composición de una batería



Nota: La batería está constituida, entre otros elementos, por ánodo, cátodo y electrolito, responsables del intercambio de carga. Fuente: Soler, 2009.

2.24. Características técnicas de una batería

Los parámetros principales utilizados para describir un sistema de almacenamiento son:

1. Tensión en circuito abierto: valor medido cuando la batería no alimenta ninguna carga.
2. Tensión de flotación: nivel aplicado para conservar la batería cargada sin provocar una sobrecarga significativa durante periodos prolongados.
3. Tensión de carga: valor requerido para restituir la energía extraída; puede variar según la fase del proceso y la tecnología del acumulador.
4. Tensión nominal: valor de referencia indicado por el fabricante para identificar la batería y diseñar el sistema.
5. Tensión de corte: umbral que determina el fin de la descarga para evitar daños o pérdida excesiva de capacidad.
6. Resistencia interna: oposición al paso de corriente dentro de la batería, que influye en las pérdidas y en la caída de tensión.

7. Vida en ciclos: cantidad de ciclos de carga y descarga que puede completar antes de que su capacidad disminuya hasta el límite especificado, comúnmente el 80 % de la capacidad inicial.
8. Autodescarga: pérdida gradual de carga que ocurre aun cuando la batería permanece desconectada de una carga externa.

2.25. Batería de plomo-ácido sellada (VRLA)

Las baterías VRLA son acumuladores de plomo-ácido regulados por válvula y suelen denominarse de bajo mantenimiento. Su construcción reduce la liberación de gases y limita la necesidad de ventilación respecto de modelos abiertos, sin eliminar las exigencias de seguridad del recinto. Su desempeño y vida útil dependen de la temperatura; alrededor de 25 °C se considera una condición favorable. Según el uso y el régimen de descarga, pueden prestar servicio aproximadamente entre uno y cinco años. La Figura 25 muestra su estructura (Baquerizo, Canchari, Polo, Poma, & Valenzuela, 2022).

Figura 25. Batería VRLA



Nota: Las baterías VRLA se comercializan ampliamente por su costo y capacidad de almacenamiento. Fuente: Powery, 2012.

2.26. Batería de níquel-cadmio (Ni-Cd)

Las baterías de níquel-cadmio toleran temperaturas elevadas y regímenes de operación exigentes. De acuerdo con las condiciones de uso, pueden soportar aproximadamente entre 500 y 700 ciclos, trabajar a temperaturas cercanas a 45 °C y alcanzar una vida útil de ocho a diez años. La Figura 26 muestra una batería Ni-Cd.

Figura 26. Batería de níquel-cadmio



Nota: Las baterías de níquel-cadmio se emplean en aplicaciones industriales, incluidos sistemas de respaldo UPS. Fuente: Powery, 2012.

2.27. Batería de ion de litio

Las baterías de ion de litio presentan mayor densidad energética y un ciclo de vida superior al de varias tecnologías tradicionales. En función de su química, control térmico y profundidad de descarga, pueden soportar entre 900 y 1.500 ciclos y operar en rangos amplios de temperatura. Algunas aplicaciones reportan vidas útiles de 18 a 20 años, aunque este valor depende de las condiciones reales de servicio. La Figura 27 muestra una batería de litio.

Figura 27. Batería de litio



Nota: La batería de litio de 12 V y 150 Ah está diseñada para aplicaciones de ciclo profundo, con hasta 1.500 ciclos y tolerancia térmica indicada por el fabricante. Fuente: ATEMPPOWER, 2012.

2.28. Sistema fotovoltaico conectado a la red (On Grid)

Los sistemas On Grid operan en paralelo con la red eléctrica y, en su configuración básica, emplean módulos e inversores sin baterías. Los paneles convierten la radiación en corriente continua, y las cadenas se conectan a las entradas MPPT del inversor dentro de los rangos admitidos de tensión y corriente.

El inversor transforma la corriente continua en corriente alterna sincronizada con la red. Durante el día, la generación abastece las cargas conectadas al tablero de distribución; si la producción resulta insuficiente, la red aporta la diferencia. En ausencia de radiación, el suministro procede de la empresa distribuidora (Mora, 2024).

2.29. Orientación, inclinación y sombras

La producción depende de la trayectoria solar, la inclinación y el azimut. Cercano al ecuador pueden emplearse inclinaciones moderadas que promuevan drenaje y autolimpieza, sin embargo el valor definitivo debe optimizarse mediante simulación y restricciones del techo. Las sombras parciales disminuyen la corriente de una cadena, activan diodos de bypass podrían ocasionar puntos calientes; por ello es requerido un estudio horario y separación entre filas (Caicedo Molina, Delgado Revilla, Gavilanes Gaibor, Lasluisa Robalino, & Obando Páez, 2022).

2.30. Temperatura y pérdidas

La potencia del módulo reduce cuando aumenta la temperatura de la célula, según su coeficiente de potencia. Adicional de la pérdida térmica, el balance debe incluir suciedad, desajuste, degradación, caída en conductores, eficiencia de conversión, indisponibilidad y recorte del inversor. El rendimiento global se manifiesta mediante el performance ratio, que conecta la energía final con la energía ideal relacionado al recurso solar (Erazo, 2022).

2.31. Dimensionamiento energético

La potencia fotovoltaica preliminar posee una estimación que causa una división de la energía diaria objetivo entre las horas sol pico y el rendimiento global. La simulación posterior aplica series meteorológicas mensuales u horarias. La potencia no tiene permitido definir solamente el consumo mensual: debe contar con una verificación del perfil instantáneo, la superficie útil, la capacidad de conexión y el grado de autoconsumo para impedir excedentes no deseados (Luis & Zoria, 2024).

2.32. Dimensionamiento del banco de baterías

El cálculo de la energía útil es a partir de la potencia media de las cargas críticas y el tiempo de autonomía. La energía nominal es consecuente de dividir esa energía entre la profundidad máxima de descarga y las eficiencias de batería e inversor, incorporando un margen razonable por degradación y temperatura. También se comprueba la potencia pico, la corriente de arranque, la tasa C y la capacidad de descarga del BMS (Murillo, Orbe, Pincha, Terán, & Vásquez, 2024).

2.33. Marco regulatorio ecuatoriano

La Regulación ARCONEL-005/24 codificada representa la referencia para sistemas de generación distribuida de consumidores regulados. Regula habilitación, factibilidad de conexión, instalación, medición, operación y tratamiento comercial de la energía. La propuesta requerirá la confirmación de la distribuidora, la categoría aplicable, el esquema de medición, las protecciones y la documentación requerida antes de cualquier construcción.

2.34. Evaluación técnica y económica

Hay una evidencia de como existe una manera viable técnica gracias a producción anual, fracción solar, energía autoconsumida, desempeño del almacenamiento, perdidas y cumplimiento de límites eléctricos

Referente a la evaluación económica contiene inversor, módulos baterías, estructura, protecciones, ingeniería, instalación, reposiciones y mantenimiento. Los beneficios tienen su cálculo mediante energía evitada a la tarifa correspondiente; se recomienda presentar escenarios para irradiación, degradación, tarifa y costo de reposición.

2.35. degradación, garantías y disponibilidad

La producción energética se reduce de forma gradual por envejecimiento de encapsulantes, exposición ultravioleta, ciclos térmicos y otras sollicitaciones ambientales. Hay una diferencia entre las garantías de producto y de potencia: la primera cubre defectos de fabricac.8.ión y la segunda establece una potencia mínima relativa tras varios años.

2.36. Arquitecturas de conversión

La conversión es centralizada por los inversores centrales y estos inversores simplifican el mantenimiento, sin embargo disminuyen la granularidad del seguimiento. Los inversores string reparten el arreglo en unidades menores, posibilitan la adaptación a orientaciones distintas y limitan la pérdida asociada a una falla individual.

2.37. Cables y caída de tensión

conductores DC deben ser idóneos para exposición solar, tensión del sistema, temperatura y condiciones de instalación. La corriente de diseño incorpora factores establecidos por la norma y la ficha del módulo. En corriente alterna se consideran ampacidad, agrupamiento, cortocircuito y caída de tensión (Bedon, Balbi, & Orozco, 2025).

Los arreglos instalados sobre cubiertas están en riesgo a sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas y maniobras. Los dispositivos SPD se coordinan en lados DC y AC teniendo en cuenta tensión máxima continua, nivel de protección, corriente nominal y presencia de un sistema externo de protección contra rayos.

2.38. Indicadores de desempeño fotovoltaico

El rendimiento específico refleja la energía anual por cada kWp instalado. El performance ratio analiza el rendimiento real con la irradiación de referencia y sintetiza pérdidas térmicas, eléctricas y de disponibilidad. El factor de capacidad asocia la energía anual con la que produciría la potencia nominal durante 8 760 horas.

La fracción de la generación utilizada dentro del predio es el índice de autoconsumo ; el índice de autosuficiencia es la fracción de la demanda cubierta con energía fotovoltaica. Los dos presentan diferencias y deben presentarse junto con los excedentes. Para la batería se registran energía cargada y descargada, eficiencia de ida y vuelta, profundidad de descarga, ciclos equivalentes y horas de autonomía efectivas.

2.39. Evaluación de incertidumbre

Teniendo en cuenta que los sistemas fotovoltaicos son una solución dependiente del recurso solar. Cabe recalcar que el Sol emana un espectro electromagnético que es absorbida por los módulos. Sin embargo, según el recorrido solar este se desplazará con una ligera inclinación entre norte y sur pero con una trayectoria constante de este a oeste por lo que existirán meses con menor producción según la ubicación geográfica del proyecto.

La decisión se considera robusta cuando conserva resultados aceptables ante variaciones razonables. Si la viabilidad depende de una única hipótesis optimista, se requieren mediciones adicionales o una revisión del tamaño propuesto.

3.24. Seguridad ocupacional y mantenimiento

Es importante que el sistema cuente con aterrizamiento a tierra y un modo isla que permita la desanexión automática cuando el inversor no perciba energía eléctrica circulando en el panel de distribución. Este modo permite la desconexión total del sistema hasta que se conecte la red y esto ayuda al personal técnico a dar mantenimientos seguros (Leonel, 2022).

Es importante que el sistema cuente con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo ante situaciones adversas. Debido a que los módulos fotovoltaicos, así como captan irradiación solar. También son captadores indirectos de descargas atmosféricas.

Los registros de mantenimiento permiten diferenciar degradación normal de una falla. Así mismo apoyan garantías y perfeccionan la estimación económica de futuras instalaciones.

3.25. Estado del arte de sistemas fotovoltaicos con baterías

La tendencia técnica se basa en integrar monitoreo, pronóstico solar, gestión de demanda y almacenamiento modular. Los sistemas comerciales permiten disponer de capacidad para respaldo y utilizar el resto para optimización económica, sin embargo la conveniencia depende de la tarifa y del valor de continuidad.

La forma natural de almacenar tiende primero a asignar cargas críticas, calidad de suministro o reducción de picos antes que a cubrir toda la energía nocturna, durante la aplicación industrial. La razón es porque el costo se incrementa con la potencia y la autonomía solicitada.

Este análisis adopta el caso de Vines : una planta fotovoltaica que no es grande pero disminuye el consumo diurno y un subsistema de batería pequeño, sostiene servicios críticos, visiblemente delimitado.

3. CAPÍTULO III

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES

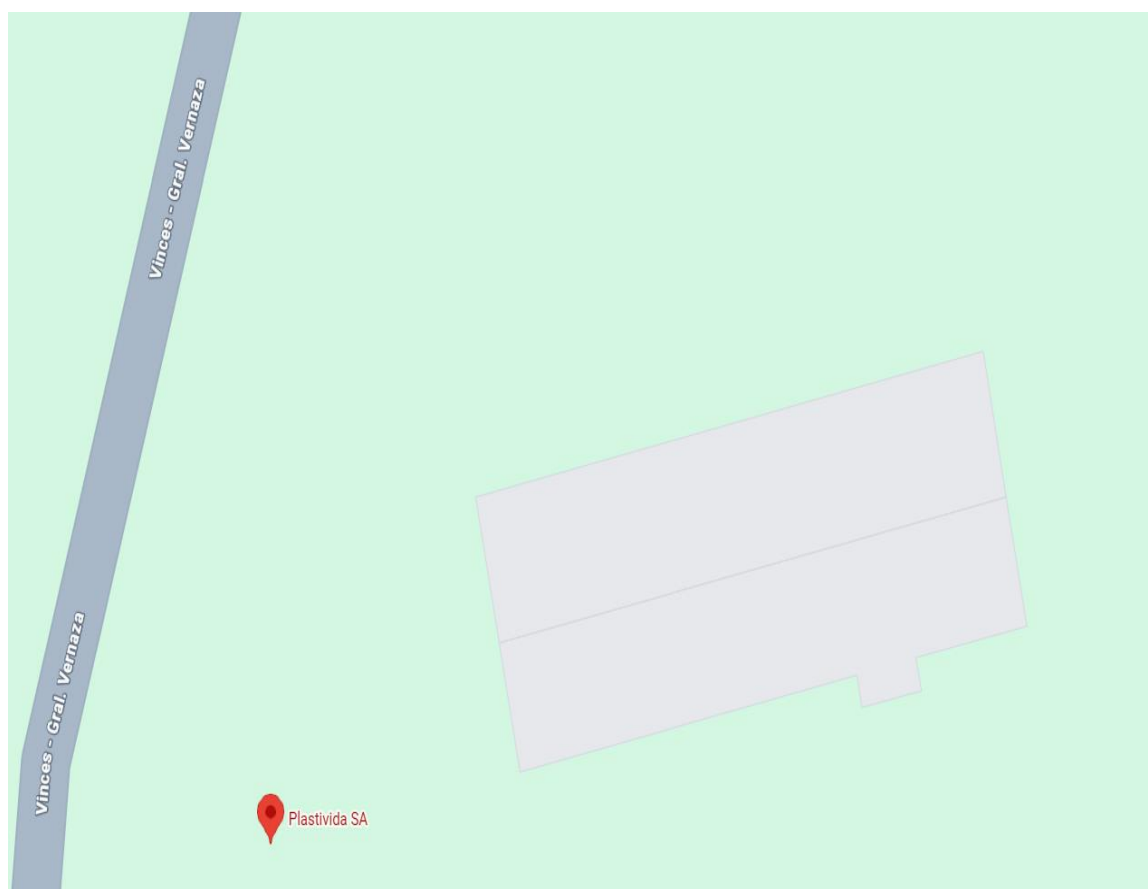
3.1. Descripción del caso de estudio

El caso de investigación pertenece a una industria dedicada a la fabricación y extrusión de pellet plástico en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos. La información preliminar señala dos galpones, un área total cercana a 6 680 m² y operación en turnos de 08:00 a 18:00 y de 18:00 a 06:00. Estos datos se interpretan de referencia y deberán validarse por medio de visita técnica y documentación de la empresa.

3.2. Ubicación geográfica

La ubicación de la empresa de plástico es Km 1 de la vía a Vinces con coordenadas geográficas 1°32'55" S de latitud sur y 79°45'15" Oeste y una elevación de 120m.

Figura 28. Ubicación de la industria



Fuente: Autor

3.3. Información eléctrica preliminar

Tabla 1. Detalles de consumo y demanda eléctrica

Variable	Dato preliminar	Verificación requerida
Demanda instalada	400 kW	Inventario y diagrama unifilar
Consumo mensual medio	288 000 kWh	Doce planillas consecutivas
Tensiones de operación	440 V y 220 V, 3 fases	Medición y placas
Horario	08:00–18:00 y 18:00–06:00	Registro de turnos
Área del predio	6 680 m ²	Plano y medición de área útil

Nota. Información suministrada por el autor; sujeta a comprobación en campo. Fuente: Autor

3.4. Inventario y perfil de cargas

Se solicita a la industria un detalle de las cargas para evidenciar el comportamiento de los equipos, índice de mantenimiento, perfil de carga, etc. Es fundamental para tomar decisiones en función a como abastecer de energía a la carga en función a su producción diaria.

3.5. Historial de consumo y demanda

Para dimensionar el sistema propuesto es indispensable conocer la demanda de la industria para ello se realiza un levantamiento de información técnica tomando los datos de las planillas de consumo eléctrico de los 12 últimos meses o en caso de no tener evidenciar el número de equipos, demanda y horas en uso.

3.6. Recurso solar y temperatura

La irradiación global horizontal, irradiación del plano inclinado y temperatura ambiente se obtendrán por las coordenadas verificables, que resulta de una base meteorológica reconocida. Se documentarán fuente, periodo, resolución y método de transposición. Los resultados que son cada mes se presentarán en una tabla y se emplearán como entrada de la simulación.

3.7. Área disponible, orientación y sombras

Para ello se tomara en cuenta las cubiertas que pose la industria, esta sera considerada area útil y en función a ella de limitar el número de módulos fotovoltaicos. Otra limitante es la separación por distancia de mantenimiento en las cadenas fotovoltaicas y

fiablemente estos se adaptarán a la inclinación de los galpones por lo que el ángulo de captación de irradiación será variado oscilando entre 15 a 60°

3.8. Cargas críticas y autonomía

El sistema de respaldo únicamente se limitará para los equipos de seguridad y video vigilancia al igual que la comunicación y el internet. Se instalará o empleará un subtablero crítico independiente. La potencia se medirá en operación normal y durante eventos de arranque. La autonomía de diseño deberá ser acordada con la empresa; mientras no exista ese dato, el banco de baterías permanecerá sin dimensionamiento definitivo.

Tabla 2. Detalle de equipos de carga crítica

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria	Potencia total	Autonomía
Rack de comunicaciones	[2]	[2000] W	[4000] W	[4] h
Switches y enlaces	[6]	[200] W	[1200] W	[4] h
NVR/DVR	[2]	[300] W	[600] W	[4] h
Cámaras	[36]	[10] W	[3600] W	[4] h
Reserva de crecimiento	[1]	[1200] W	[1200] W	[4] h

Nota. Completar con mediciones y fichas técnicas antes del dimensionamiento. Fuente: Autor

3.9. Configuración del sistema eléctrico actual

La industria de plásticos cuenta con el siguiente diagrama unifilar donde la red primaria de 13800V pasa por la calle general Vernaza y del último poste mediante una transición aérea subterránea la acometida pasa hasta llegar a un tren de celdas donde una alimentadora GAM 1 conformada por una celda seccionador fusible tipo botella de 30A. la salida de este alimentador conecta a un transformador tipo padmounted de 750KVA tipo radial que transforma de 13800 a 440V 3F y alimenta únicamente a los motores y hornos del tablero de distribución principal y por otro lado tenemos un transformador seco de 100KVA que disminuye la tensión de 440 a 220V que da suministro eléctrico a los servicios generales y cargas críticas.

3.10. Instrumentos y procedimiento de campo

Antes de proceder con la medición de los parámetros se evalúa que el personal cuente con los equipos de protección personal, licencia de riesgo eléctrico, permiso para

trabajo en caliente y un test verbal de las reglas para maniobrar circuitos energizados. A continuación, se presentan los equipos para la toma de muestras.

- Analizador de calidad de energía
- Multímetro digital tipo pinza amperimétrica
- Multímetro digital DC
- Cámara termográfica
- Brújula
- Pirómetro
- Medidor de distancias tipo laser
- Formatos para levantamiento de información

4. CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

4.1, Criterios y alcance del diseño

El diseño se formula como una propuesta de prefactibilidad basada en datos preliminares. La demanda de 400 kW se reconstruye mediante un escenario de cargas autorizado por el investigador; no constituye un inventario medido. La potencia fotovoltaica se limita por el área de los dos galpones y por el autoconsumo esperado. El banco de baterías se dimensiona exclusivamente para el rack de comunicaciones, videograbación y cámaras.

Se adoptan módulos de 550 Wp, diez inversores string de 75 kWac y un inversor híbrido de 15 kW con 40 kWh nominales de batería LiFePO₄. Antes de ejecutar la obra deberán confirmarse capacidad estructural, cortocircuito, coordinación de protecciones, factibilidad de conexión y especificaciones de los equipos finalmente adquiridos.

Tabla 3. Detalle a considerar para Generador fotovoltaico

Parámetro	Valor de diseño	Condición
Demanda máxima	400 kW	Escenario asumido
Consumo medio	288 000 kWh/mes	Dato preliminar
Área total	6 680 m ²	Dos galpones
Área útil supuesta	4 200 m ²	Debe levantarse
HSP	4,5 h/día	Supuesto para Vines
Performance ratio	0,78	Incluye pérdidas
Autonomía crítica	4 h	Supuesto de diseño

Nota. Los valores deberán sustituirse por mediciones y simulación meteorológica definitiva. Fuente: Autor.

4.2 Construcción del escenario de demanda de 400 kW

La potencia eléctrica de entrada de un motor se obtiene a partir de la potencia mecánica y la eficiencia. Se utiliza 1 HP = 0,746 kW. Para no confundir demanda con

potencia instalada, el escenario representa la condición simultánea de máxima operación. Los factores de potencia se emplearán posteriormente en corriente y potencia aparente.

$$P_{entrada} = (N \times PHP \times 0,746) / \eta \quad (4.1)$$

Donde: N es el número de motores; PHP es la potencia por motor en HP; η es la eficiencia decimal.

Tabla 4. Detalle de cargas de la industria

Grupo	Cantidad	Potencia unitaria	Eficiencia	Demanda
Motores 20 HP, 440 V, 3 ϕ	10	20 HP	0.9	165,78 kW
Motores 10 HP, 220 V, 3 ϕ	12	10 HP	0.88	101,73 kW
Motores 5 HP, 220 V, 1 ϕ	10	5 HP	0.85	43,88 kW
Hornos y resistencias	1	60 kW	1.0	60,00 kW
Auxiliares, iluminación y control	1	28,61 kW	1.0	28,61 kW

Nota. La suma es exactamente 400,00 kW. Los motores y cantidades deben validarse mediante placas e inventario. Fuente: Autor

La demanda de los motores presentados en la tabla oscila entre 165.78 kW y 43.88kW. Considerando la carga dinámica como los hornos de 60 kW y la carga correspondiente a servicios auxiliares como resultado de la sumatoria de cargas queda una demanda de 400.00 kW.

4.3. Corriente nominal de los motores

La corriente trifásica se estima con tensión de línea, rendimiento y factor de potencia. Para motores de 20 HP se adopta $fp = 0,86$; para 10 HP, $fp = 0,84$. Los motores monofásicos de 5 HP utilizan $fp = 0,82$. Las corrientes son orientativas porque el fabricante puede presentar valores distintos.

$$I_{3\phi} = PHP \times 0,746 / (\sqrt{3} \times VLL \times \eta \times fp) \quad (4.2)$$

Donde: $I_{3\phi}$ es la corriente de línea en amperios; VLL es la tensión línea-línea; fp es el factor de potencia.

$$I_{1\phi} = PHP \times 0,746 / (V \times \eta \times fp) \quad (4.3)$$

Donde: $I_{1\phi}$ es la corriente monofásica y V es la tensión de alimentación.

Tabla 5. Parámetro eléctricos de motores en la industria

Motor	Tensión	fp	Corriente por unidad	Corriente del grupo
20 HP trifásico	440 V	0,86	25,31 A	253,1 A
10 HP trifásico	220 V	0,84	26,40 A	316,8 A
5 HP monofásico	220 V	0,82	24,32 A	243,2 A

Nota. No incluye corriente de arranque; la selección final se realiza con placa, método de arranque y normativa aplicable. Fuente: Autor

4.4 Estimación del perfil diario

El consumo medio mensual de 288 000 kWh equivale a 9 600 kWh/día para un mes de 30 días. Si la planta opera de forma continua, la potencia media es 400 kW, coincidiendo con la demanda supuesta. Esta coincidencia es matemáticamente posible pero implica factor de carga unitario; por tanto, debe comprobarse, ya que en una instalación real la demanda varía.

$$Edía = Emes / Ndías \quad (4.4)$$

Donde: Edía es la energía diaria; Emes es la energía mensual; Ndías es el número de días del periodo.

$$Pmedia = Edía / 24 \quad (4.5)$$

Donde: Pmedia es la potencia media diaria.

Tabla 6. Franja horaria de consumo y demanda de la industria

Periodo	Horas	Potencia media asumida	Energía
Diurno	06:00–18:00	400 kW	4 800 kWh
Nocturno	18:00–06:00	400 kW	4 800 kWh
Total diario	24 h	400 kW	9 600 kWh

Tabla 4.4. Perfil diario simplificado

Nota. Escenario de cálculo; debe reemplazarse con datos del registrador de energía.

4.5 Determinación de la potencia fotovoltaica

Si se pretendiera cubrir toda la energía diaria con generación solar, la potencia requerida sería aproximadamente 2,74 MWp, valor incompatible con el área disponible considerada. En consecuencia, el sistema se dimensiona por superficie útil y autoconsumo diurno, no por cobertura total.

$$P_{fv,energía} = E_{día} / (HSP \times PR) \quad (4.6)$$

Donde: $P_{fv,energía}$ es la potencia requerida; HSP son las horas sol pico; PR es el performance ratio.

Con 9 600 kWh/día, 4,5 HSP y $PR = 0,78$, la potencia teórica asciende a 2 735,04 kWp. El área útil supuesta de 4 200 m² permite alojar 1 500 módulos de 550 Wp con aproximadamente 3 870 m² ocupados, incluidos los módulos pero no todos los pasillos. La implantación definitiva deberá comprobar la geometría real.

$$P_{fv} = N_{mód} \times P_{mód} \quad (4.7)$$

Donde: $N_{mód}$ es el número de módulos y $P_{mód}$ es la potencia nominal individual. El generador seleccionado posee 825 kWp. Representa una solución parcial de autoconsumo que aprovecha el techo sin pretender cubrir la demanda nocturna industrial.

4.6 Selección y distribución de módulos

En este detalle se presenta el modulo solar de 550W con sus respectivas dimensiones y características técnicas.

Tabla 7. Detalle de modulo bifasial

Característica	JA SOLAR 550W
Tecnología	Monocristalino
Potencia	550 Wp
Dimensiones	2,28 m × 1,13 m
Área por módulo	2,58 m ²

Característica	JA SOLAR 550W
Cantidad	1 500
Potencia total	825 kWp
Área de módulos	3 870 m ²

Nota. Valores referenciales; prevalece la ficha del equipo seleccionado.

Se propone distribuir 750 módulos en cada galpón. La división mantiene simetría de potencia y facilita asociar cinco inversores a cada cubierta. La separación de filas, corredores y retiros se determinará después del estudio de sombras y del informe estructural.

La orientación seguirá el eje que produzca mayor energía compatible con la geometría de las cubiertas. En ausencia del levantamiento definitivo no se fija un azimut exacto. La inclinación deberá asegurar drenaje, limitar carga de viento y facilitar limpieza.

4.7 Configuración serie-paralelo

Como ejemplo de configuración se plantean cadenas de 25 módulos. Con $V_{mpp} = 41,8$ V, cada cadena trabaja aproximadamente a 1 045 V; con $V_{oc} = 49,9$ V, presenta 1 247,5 V a condiciones estándar. El valor corregido a temperatura mínima debe permanecer por debajo de la tensión máxima del inversor. Si el equipo es de 1 100 Vdc, esta cadena no sería aceptable; por ello se requiere un inversor de 1 500 Vdc o reducir la cantidad por cadena.

$$V_{cadena,mpp} = N_s \times V_{mpp} \quad (4.8)$$

Donde: N_s es el número de módulos en serie y V_{mpp} la tensión del módulo en máxima potencia.

$$V_{cadena,oc} = N_s \times V_{oc} \quad (4.9)$$

Donde: V_{oc} es la tensión de circuito abierto del módulo.

Con 1 500 módulos y 25 por cadena se obtienen 60 cadenas. Cada inversor recibe seis cadenas y 82,5 kWp DC. La corriente por MPPT se comprobará según la distribución de entradas y la corriente de cortocircuito corregida.

Tabla 8. Características técnicas del grupo de inversores

Parámetro	Valor
Cantidad	10

Parámetro	Valor
Potencia unitaria AC	75 kW
Potencia total AC	750 kW
Potencia DC por inversor	82,5 kWp
Relación DC/AC	1,10
Cadenas por inversor	6

Fuente: Autor

$$RDC/AC = PDC / PAC \quad (4.10)$$

Donde: PDC es la potencia nominal del arreglo y PAC la potencia nominal total de inversores.

La relación de 1.10 equilibra los parámetros de corte y reconexión en función a la demanda horaria. Por ende, es importante que el inversor este ubicado cerca del tablero de distribución principal.

4.9 Producción energética esperada

$$E_{\text{anual}} = P_{fv} \times HSP \times 365 \times PR \quad (4.11)$$

Donde: E_{anual} es la energía anual entregada; P_{fv} es 825 kWp; HSP = 4,5 h/día; PR = 0,78. La producción base calculada es 1 057 388 kWh/año, equivalente a 88 116 kWh/mes. Frente al consumo anual de 3 456 000 kWh, la fracción energética teórica es 30,60 %. La energía realmente autoconsumida dependerá de la coincidencia horaria, aunque la demanda diurna asumida es muy superior a la potencia de generación, por lo que los excedentes serían pequeños.

Tabla 9. Distribución mensual referencial de la producción

Mes	Producción estimada (MWh)
Enero	92.0
Febrero	86.0
Marzo	94.0
Abril	91.0

Mes	Producción estimada (MWh)
Mayo	89.0
Junio	82.0
Julio	80.0
Agosto	84.0
Septiembre	87.0
Octubre	88.0
Noviembre	86.0
Diciembre	98.388

Nota. La suma es 1 057,388 MWh/año; sustituir por resultados de PVsyst o software equivalente.

4.10 Balance energético

Tabla 10. Balance energético anual

Indicador	Resultado
Consumo anual	3 456,0 MWh
Generación FV anual	1 057,4 MWh
Cobertura energética	30,60 %
Energía restante de red	2 398,6 MWh
Rendimiento específico	1 281,7 kWh/kWp·año

Nota. Resultados del método simplificado con HSP y PR asumidos. Fuente: autor

$$Cobertura = E_{fv} / E_{cons} \times 100 \quad (4.12)$$

Donde: E_{fv} es la generación fotovoltaica anual y E_{cons} el consumo anual. La cobertura no representa autonomía. La planta seguirá requiriendo la red durante la noche y en periodos de baja irradiación. Durante fallas, solo el tablero crítico dispondrá de suministro desde la batería.

4.11 Dimensionamiento de las cargas críticas

Tabla 11. Detalle de cargas críticas

Carga crítica	Conjunto	Potencia
Rack y servidores de comunicación	1	2,0 kW
Switches, enlaces y control	1	1,0 kW
NVR y almacenamiento	1	0,8 kW
Cámaras y fuentes PoE	1	1,2 kW
Iluminación y reserva crítica	1	1,0 kW

Nota. Potencia total de 6,0 kW; deberá medirse antes de comprar el sistema. Fuente: Autor

Se adopta una potencia continua de 6 kW y un margen de capacidad de inversor para arranques, expansión y operación térmica. Por ello se selecciona un inversor híbrido de 15 kW.

4.12 Dimensionamiento del banco de baterías

$$E_{\text{útil}} = P_{\text{crítica}} \times t_{\text{aut}} \quad (4.13)$$

Donde: $P_{\text{crítica}}$ es la potencia crítica y t_{aut} el tiempo de autonomía.

$$E_{\text{nom}} = E_{\text{útil}} \times km / (DoD \times \eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{inv}}) \quad (4.14)$$

Donde: km es el margen; DoD la profundidad de descarga; η_{bat} y η_{inv} las eficiencias.

Para 6 kW durante 4 horas se requieren 24 kWh útiles. Con margen 1,15, DoD de 90 %, eficiencia de batería de 95 % y eficiencia de inversor de 95 %, la energía nominal mínima es 34,0 kWh. Se selecciona comercialmente un banco de 40 kWh LiFePO4.

Tabla 12. Parámetros técnicos del inversor para almacenamiento

Parámetro	Valor
Potencia crítica	6 kW
Autonomía	4 h
Energía útil	24 kWh
DoD	90 %
Eficiencia batería	95 %

Parámetro	Valor
Eficiencia inversor	95 %
Margen	15 %
Capacidad seleccionada	40 kWh

Nota. La autonomía efectiva varía con temperatura, envejecimiento y potencia real. Fuente: Autor

4.13 Modos de operación del sistema híbrido

- Modo sol: Prioriza la captación de irradiación solar de los módulos fotovoltaico y deja un porcentaje del 10 al 15% para el almacenamiento de batería.
- Modo conexión a la red: suministra el 90% de la energía producida a la carga.
- Modo Red: Cuando el sistema detecta ausencia del sistema fotovoltaico ingresa la red eléctrica.
- Modo Batería: En ocasiones de corte de energía se acciona modo batería para abastecer de energía únicamente a la carga crítica.

Es indispensable que se realice la configuración de los parámetros técnicos al inversor para la aplicación de los modos. No se permitirá que la salida de respaldo energice el tablero general ni la red de distribución.

4.14 Protecciones DC y AC

Tabla 13. Esquema preliminar de protecciones

Elemento	Ubicación	Función
Fusibles o protección de cadenas	Combinación DC, cuando aplique	Sobrecorriente inversa
Seccionador DC	Próximo al inversor	Aislamiento visible o funcional
SPD tipo II DC	Entrada de inversor	Sobretensiones
Interruptor AC por inversor	Tablero fotovoltaico	Sobrecarga y cortocircuito

Elemento	Ubicación	Función
SPD tipo II AC	Tablero FV	Sobretensiones
Interruptor general FV	Punto de conexión	Seccionamiento del conjunto
Protección diferencial	Según fabricante y esquema	Fallas a tierra
Protección de batería	Entre batería e inversor híbrido	Sobrecorriente DC

Nota. La selección final depende de I_{sc} , tensión, cortocircuito y coordinación. Fuente: Autor

Las capacidades interruptivas se verificarán con el estudio de cortocircuito. Los SPD se coordinarán con el sistema de puesta a tierra y la evaluación de riesgo de rayos. Todos los equipos deberán rotularse para identificar la presencia de fuentes múltiples.

4.15 Conductores y canalizaciones

$$\Delta V_{3\phi} = \sqrt{3} \times I \times L \times (R \cos\phi + X \sin\phi) \quad (4.15)$$

Donde: $\Delta V_{3\phi}$ es la caída trifásica; I la corriente; L la longitud; R y X los parámetros del conductor.

La dimensión del conductor DC es para la corriente corregida de la cadena, la tensión máxima y la exposición ambiental. Serán seleccionados Los alimentadores AC de cada inversor con ampacidad superior a la corriente continua corregida y con caída dentro del criterio adoptado.

Se deben reducir Las rutas bucles, proteger contra daño mecánico y separar potencia de comunicaciones. Las penetraciones de cubierta conservarán impermeabilidad y resistencia al fuego del elemento atravesado.

4.16 Puesta a tierra y equipotencialidad

Las estructuras y marcos que se conectan a tierra se perfeccionarán a la red equipotencial del edificio siguiendo instrucciones del fabricante. Por lo tanto no se instalarán electrodos independientes sin coordinación, debido a la posibilidad de generar diferencias peligrosas de potencial.

Se confirmará que habrá continuidad , sección del conductor de protección, unión de bandejas y compatibilidad galvánica. Se registrará por el sistema de monitoreo alarmas de aislamiento y fallas a tierra disponibles en los inversores.

4.17 Punto de conexión y diagrama unifilar propuesto

La planta fotovoltaica estará conectada mediante un tablero general fotovoltaico al tablero principal de baja tensión, aguas abajo de la medición y en el punto autorizado por la distribuidora. Los 10 inversores contarán de alimentadores individuales. El inversor híbrido se conectará a un tablero de cargas críticas eléctricamente separado durante el modo respaldo.

4.18 Evaluación estructural y disposición física

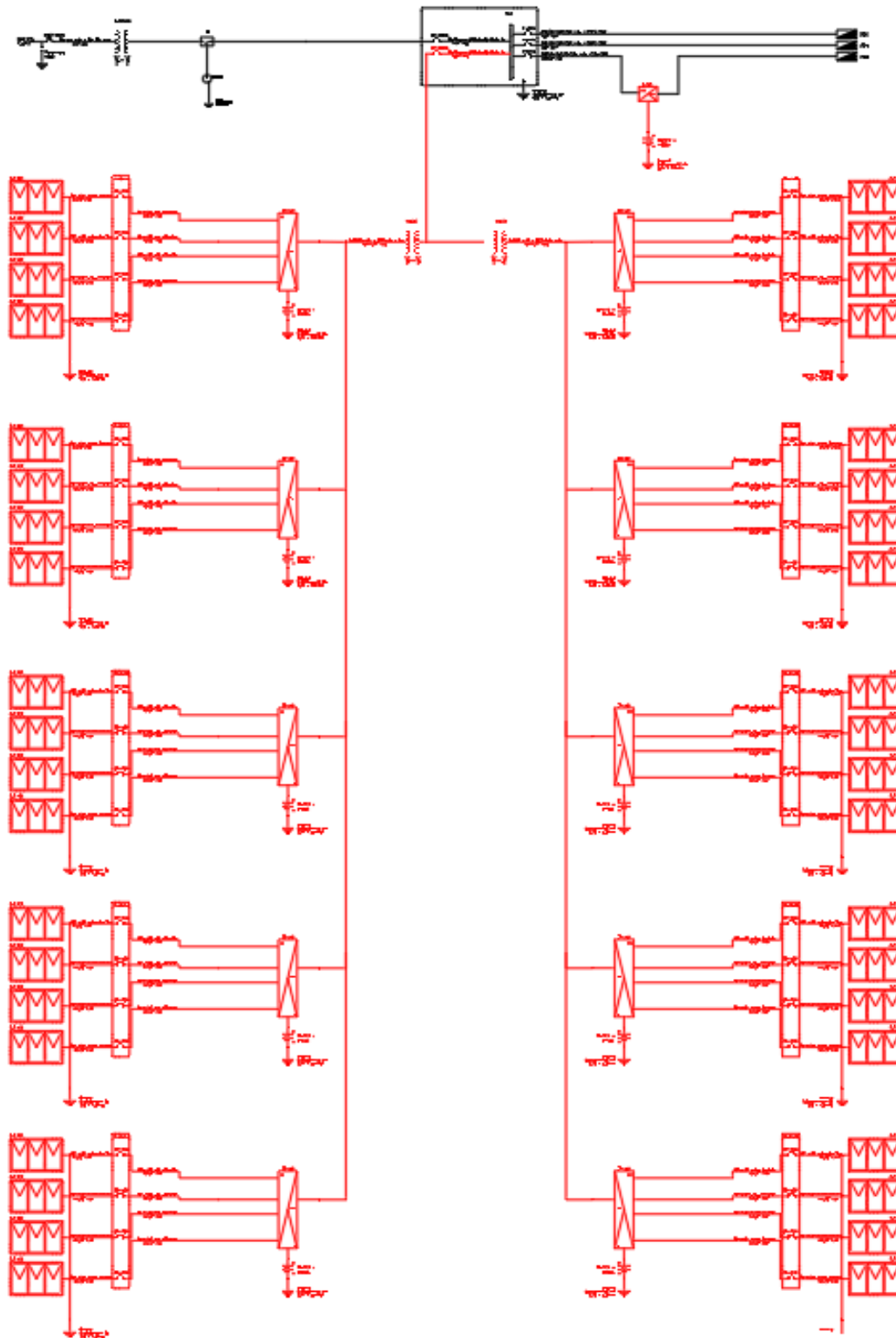
La masa de módulos, rieles y lastres incrementan la carga definitiva ; el viento genera presión y succión . La capacidad de cubierta, anclajes, corrosión y transferencia de esfuerzos debe comprobarse por un profesional estructural. La no presencia de esa verificación imposibilita considerar el diseño óptimo para la construcción. La disposición conservara accesos a drenajes, equipos contra incendios y rutas de mantenimiento. Se impedirán zona de sombra, acumulación de residuos y proximidad insegura a bordes.

4.19 Limitaciones del diseño

Una de las principales limitaciones tiene que ver con el espacio disponible por la superficie del techado. Otra limitante es la información suministrada por la industria debido a la confidencialidad de sus procesos.

4.20. Diagrama Unifilar propuesto

Figura 29. Diagrama unifilar de sistema solar fotovoltaico



Nota: Sistema contempla 10 inversores de 75kW en paralelo y un inversor de 6kW para las cargas críticas con respaldo de energía. Fuente: Autor

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA, PRESUPUESTO Y VIABILIDAD

5.1 Alcance del presupuesto

El presupuesto utiliza dólares de los Estados Unidos y precios referenciales de prefactibilidad. Incluye suministro principal , montaje, ingeniería , protecciones, monitoreo y contingencia. No establece una oferta comercial y tiene que actualizarse con al menos 3 cotizaciones comparables, impuestos aplicables y condiciones de garantía .

5.2 Presupuesto referencial

La tabla 13 detalla los rubros del suministro, instalación y puesta en servicio del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 14. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico

Detalle	Cantidad	Precio unitario USD	Subtotal USD
Módulos monocristalinos 550 Wp	1500	135,00	202 500,00
Inversores string 75 kW	10	8 500,00	85 000,00
Estructuras y anclajes	1500	95,00	142 500,00
Cableado, conectores y BOS DC	1	65 000,00	65 000,00
Tableros, protecciones y BOS AC	1	45 000,00	45 000,00
Instalación y puesta en marcha	1	90 000,00	90 000,00
Monitoreo y comunicaciones	1	12 000,00	12 000,00
Inversor híbrido 15 kW	1	9 000,00	9 000,00
Batería LiFePO4 40 kWh	1	28 000,00	28 000,00
Tablero crítico y transferencia	1	7 500,00	7 500,00
Estudio estructural y eléctrico	1	12 000,00	12 000,00
Trámites, planos y capacitación	1	8 000,00	8 000,00

Tabla 5.1.

Nota. Subtotal directo: USD 706 500,00. Precios asumidos para evaluación académica. Fuente: Autor

El porcentaje del 7 % es de la contingencia del subtotal directo, que equivale a USD 49455.00 USD. La inversión total aproximada 755955,00 USD. La estructura representa una proporción importante debido a la superficie industrial y a la necesidad de anclajes, pasillos y resistencia ambiental.

$$I_0 = C_{\text{directo}} \times (1 + c) \quad (5.1)$$

Donde: I_0 es la inversión inicial; C_{directo} = USD 706 500; c = 0,07.

5.3 Costos de operación y mantenimiento

Se adopta un costo anual de operación y mantenimiento igual al 1,2 % de la inversión inicial, que comprende limpieza, inspección, monitoreo, pequeñas reposiciones y pruebas. El valor inicial asciende a USD 9 071,46 por año.

$$COM = I_0 \times f_{OM} \quad (5.2)$$

Donde: COM es el costo anual; f_{OM} = 0,012.

La batería puede requerir reposición dentro del horizonte del proyecto dependiendo del número de ciclos, temperatura y política de reserva. En el flujo detallado se debe incorporar el costo futuro neto de la reposición, no únicamente el mantenimiento anual.

5.4 Ahorro energético anual

Con una tarifa media asumida de 0,10/kWh USD y autoconsumo prácticamente total, el ahorro bruto del primer año es 105 738,75 USD. Al restar el mantenimiento, el beneficio neto inicial se estima en 96 667,29 USD.

$$Ahorro_{\text{bruto}} = E_{\text{aut}} \times Tarifa \quad (5.3)$$

Donde: E_{aut} es la energía autoconsumida anual y Tarifa el costo evitado por kWh.

Tabla 15. Beneficio económico del primer año

Concepto	Valor
Energía fotovoltaica	1 057 387,5 kWh/año
Tarifa asumida	USD 0,10/kWh

Concepto	Valor
Ahorro bruto	USD 105 738,75/año
O&M	USD 9 071,46/año
Beneficio neto inicial	USD 96 667,29/año

Nota. No se incluyen impuestos, financiamiento ni venta de excedentes. Fuente: Autor

5.5. Periodo simple de recuperación

$$PRS = I0 / Beneficio_{neto} \quad (5.4)$$

Donde: PRS es el periodo de recuperación simple en años.

El periodo simple de recuperación es 7,82 años. Este indicador no considera el valor temporal del dinero, degradación, crecimiento tarifario ni reposiciones, por lo que solo sirve como una primera lectura.

5.6. Valor presente neto y flujo de caja proyectado

$$VPN = -I0 + \sum_{t=1..n} FC_t / (1 + r)^t \quad (5.5)$$

Donde: FC_t es el flujo neto del año t; r es la tasa de descuento; n es el horizonte.

Para un análisis completo se propone un horizonte de 25 años, tasa de descuento real del 8 %, degradación de 0,5 % anual y crecimiento real de tarifa de 1 %. La batería se repone en el año 12 con un costo real equivalente al 60 % de su valor inicial. Estas hipótesis deben implementarse en una hoja de cálculo y actualizarse con el costo de capital del promotor.

El VPN es el indicador recomendado para la decisión: un valor positivo significa que el proyecto supera la rentabilidad exigida. La tasa interna de retorno es la tasa que hace VPN igual a cero y debe interpretarse junto con el riesgo de los supuestos.

Año	Flujo neto USD	Valor presente al 8 % USD
0	-755 955	-755 955
1	96,667	89,507
2	97,146	83,287

Año	Flujo neto USD	Valor presente al 8 % USD
3	97,627	77,499
4	98,110	72,114
5	98,596	67,102
6	99,084	62,439
7	99,574	58,101
8	100,067	54,063
9	100,562	50,306
10	101,060	46,810

Tabla 5.3. Flujo resumido de los primeros diez años

Nota. Continuar hasta el año 25 e incorporar reposición de batería en el año 12.

La tabla permite observar que los flujos nominales se mantienen relativamente estables cuando el crecimiento de tarifa compensa parcialmente la degradación. El descuento reduce el valor de los beneficios más lejanos.

5.7. Análisis de sensibilidad

Tabla 16. Sensibilidad del periodo de recuperación

Escenario	Producción	Tarifa	Inversión	PRS aproximado
Conservador	-10 %	USD 0,09/kWh	+10 %	11,1 años
Base	1 057 MWh	USD 0,10/kWh	USD 755 955	7,8 años
Favorable	+8 %	USD 0,115/kWh	-5 %	6,0 años

Nota. Resultados aproximados; deben recalcularse con cotizaciones y tarifa real. Fuente: autor

La inversión y el valor de la energía evitada son las variables con mayor influencia. Una reducción de producción afecta todos los años, mientras que un sobrecosto inicial puede gestionarse mediante optimización de estructura, competencia entre proveedores o ejecución por etapas.

5.8. Comparación con una alternativa sin baterías

Eliminar el subsistema híbrido reduciría aproximadamente USD 44 500 correspondientes a inversor híbrido, batería y tablero crítico, además de una parte de ingeniería. La producción anual del campo principal cambiaría poco, pero se perdería la continuidad de comunicaciones y cámaras.

La batería se justifica por el valor operativo del respaldo y no por arbitraje energético en este escenario. Por ello, la empresa debe confirmar el costo de una interrupción y la autonomía necesaria. Si existe un UPS reciente, se evaluará su integración o sustitución para evitar duplicidad.

5.9. Beneficios técnicos y ambientales

La propuesta reduce la energía importada, diversifica la fuente y añade continuidad a servicios críticos. También crea datos de desempeño mediante monitoreo y puede mejorar la planificación del mantenimiento eléctrico.

$$CO2_{evitado} = E_{fv} \times F_{Ered} \quad (5.6)$$

Donde: F_{Ered} es el factor oficial de emisión de la red en tCO_2/MWh .

No se calcula una cifra definitiva de emisiones porque debe utilizarse el factor oficial vigente y documentar el año. El procedimiento multiplica la energía fotovoltaica autoconsumida por ese factor. La batería no debe considerarse una fuente de energía; desplaza temporalmente energía y presenta pérdidas.

5.10 Riesgos económicos y medidas de control

Tabla 17. Matriz de riesgos

Riesgo	Efecto	Medida
Área útil menor	Reduce potencia	Levantamiento y diseño por etapas
Estructura insuficiente	Sobrecosto o inviabilidad	Informe estructural previo
Tarifa menor	Reduce ahorro	Sensibilidad y contrato
Producción menor	Reduce flujo	Garantías y simulación P90

Riesgo	Efecto	Medida
Falla de inversor	Indisponibilidad	Arquitectura distribuida y repuestos
Degradación de batería	Menor autonomía	Garantía, climatización y reserva
Retraso regulatorio	Postpone operación	Consulta temprana a distribuidora

Nota. La matriz deberá asignar responsables y fechas durante la ejecución. Fuente: Autor

5.12 Plan de implementación

Se presenta un cronograma referencial de las fases del proyecto desde el levantamiento y medición en sitio hasta la puesta en marcha del mismo. Estos tiempos tienen en cuenta el suministro de equipos que son de importación.

Tabla 18. Cronograma referencial

Fase	Actividad	Duración estimada
1	Medición, levantamiento y estructura	4–6 semanas
2	Ingeniería y factibilidad de conexión	6–10 semanas
3	Compras y logística	8–14 semanas
4	Montaje de estructuras y módulos	8–12 semanas
5	Instalación eléctrica	6–8 semanas
6	Pruebas, capacitación y cierre	2–3 semanas

Nota. Las fases pueden solaparse después de obtener aprobaciones. Fuente: Autor

La decisión de compra se tomará después de las fases de medición, simulación, informe estructural y factibilidad. Esta secuencia evita comprometer equipos antes de conocer las restricciones del sitio.

5.13 Viabilidad de la propuesta

Bajo los supuestos adoptados, la propuesta es técnicamente plausible: 1 500 módulos ocupan el área útil estimada, la potencia de inversores mantiene una relación DC/AC razonable y la batería cubre cuatro horas de cargas críticas. La cobertura energética anual se aproxima a 30,6 %.

La viabilidad económica preliminar presenta un periodo simple de 7,82 años. No obstante, la conclusión queda condicionada a medición real, cotizaciones, tarifa, estructura, simulación y aprobación de conexión. La prefactibilidad es favorable, pero no equivale a una ingeniería lista para construcción.

CONCLUSIONES

- La demanda energética de 288000 KWh/ mes no consigue cubrirse completamente con el área supuesta; la potencia teórica sería 2,74 MWp, mientras la alternativa por superficie alcanza 825 kWp.
- El generador de 825 kWp puede producir aproximadamente 1057 MWh/año bajo 4.5 HSP Y PR de 0.78 , equivalente al 30.6 % del consumo anual donde el almacenamiento de 40 Kwh se destina a 6 kW de cargas críticas durante cuatro horas, No respalda los 400 kW industriales completos.
- La inversión referencial es USD 755955 y el periodo simple estimado es 7,82 años con tarifa de USD 0.10/kWh.
- La propuesta es favorable como prefactibilidad, pero implica sustituir supuestos por mediciones, fichas, simulación y cotizaciones.

RECOMENDACIONES

- Registrar demanda y energía aproximadamente al menos 7 días relevantes y recopilar doce planillas.
- Confirmar localización , sombras, área útil y capacidad estructural de ambos galpones.
- Representar el sistema con datos meteorológicos trazables y mostrar escenarios P50 Y P90 .
- Solicitar 3 cotizaciones equivalentes y tener un actual análisis económico antes de invertir.
- Consultar a la distribución la factibilidad y requisitos de la Regulación ARCONEL-005/24.
- Medir las cargas críticas y dar una confirmación con la empresa si cuatro horas de autonomía son suficientes.
- Preparar el diagrama unifilar con niveles de cortocircuito, calibres y coordinación de protecciones.

5. Bibliografía

- Adriano, W. (2025). *Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para suministro de energía eléctrica a la planta de asfalto de la Empresa H e H ubicada en la ciudad de Guayaquil*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Aguilar, E. (2022). *Simulación de un sistema aislado de energía fotovoltaica para el LTI-ESFOT*. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Angulo, A., & Chamba, M. (2024). *Análisis de la Penetración de Energías Renovables en la confiabilidad de los sistemas eléctricos utilizando simulación de Montecarlo*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Baquerizo, R., Canchari, H., Polo, J., Poma, I., & Valenzuela, R. (2022). *Evaluación de generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía con baterías (BEES- Storage) en la zona sur del país*. Peru: Escuela de Administración de Negocios para Graduados.
- Barco, J., & Latorre, L. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la Comunidad Masa 2*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Bedon, D., Balbi, G., & Orozco, I. (2025). *Energía solar como alternativa a los problemas energéticos del Ecuador*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Bohórquez, R. (2025). *Estudio de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red del área administrativa del rectorado de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Caicedo Molina, L. E., Delgado Revilla, A. R., Gavilanes Gaibor, A. S., Lasluisa Robalino, S. M., & Obando Páez, G. A. (2022). *Desarrollo y análisis técnico-económico de una propuesta energética para el aprovechamiento del recurso solar en beneficio de la Urbanización “El Manantial” situada en la ciudad de Quito aplicando energía solar fotovoltaica y solar térmica*. Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- D'addario, M. (2015). *Manual de Energía Solar Fotovoltaica: Usos, Aplicaciones y Diseño*. España: Createspace.
- De la Torre, A. (2022). *Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque “D” del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

- Erazo, O. (2022). *Proyecto para la instalación y equipamiento eléctrico fotovoltaico para el suministro de energía solar para 26 viviendas en el recinto Estero de Dama Alto de la provincia de los Ríos*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Fernández, M., & León, K. (2021). *Diseño de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la reducción del costo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021*. Peru: Universidad Nacional de Callao.
- Holguín, E. (2024). *Estudio de un sistema de energía solar fotovoltaica para la empresa camaronera Lanec situada en Engunga provincia de Santa Elena*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Iza, E. (2023). *Diseño de un sistema de generación solar fotovoltaica interconectado a la red eléctrica con respaldo de baterías para el Supermercado Santa María, sector Tumbaco, Quito*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Jaramillo, C. (2022). *Análisis del impacto de las energías renovables no convencionales en la planificación operativa de largo plazo del sistema nacional interconectado utilizando la plataforma SimSEE*. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Lajones, A. (2022). *Dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado en la comunidad masa 2 considerando factores sociodemográficos*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Leonel, L. (2022). *Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Luis, L., & Zoria, J. (2024). *Estudio de factibilidad para el uso de un sistema híbrido con energía eólica, solar FV, generadores diésel y baterías en el área de Irquis - Sector Tarqui*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Malia, E. (2023). *Diseño técnico económico óptimo de un sistema híbrido solar - eólico para nodos remotos de telecomunicaciones de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Martinez, M. (2022). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en vivienda en zona rural donde no llega el tendido eléctrico situado en el golfo de Guayaquil - Comunidad Masa 2*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Mora, S. (2024). *Evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos de San Cristóbal, Galápagos*. Ecuador: Universidad San

Francisco de Quito.

- Moreta, J., & Cedillo, R. (2023). *Implementación y ejecución de un sistema fotovoltaico aislado residencial, en zona costera de la provincia del Guayas*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Murillo, G., Orbe, L., Pincha, C., Terán, S., & Vásquez, J. (2024). *Estudio Comparativo Solar de una Comunidad en Quito. Valoración de la Aportación Solar en el Mix Energético*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Murillo, X. (2024). *Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico híbrido con autonomía para cargas críticas en una vivienda ubicada en la urb. La Joya - Zafiro*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Polo, M. (2022). *sistema fotovoltaico interconectado a la red electrica para la generacion de energia alternativa en la construccion educativa Isabel Maria Cuesta Gonzalez sede Mauricio Lopesierra del distrito de Riocha*. Colombia: Universidad de la Guajira.
- Quinche, O. (2022). *Diseño, implementación y desarrollo de un sistema fotovoltaico aislado y plan de mantenimiento sistemático para el centro de salud y sistema de telecomunicaciones para la comunidad amazónica Wasakentsa - Morona Santiago*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ramirez, F. (2023). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Reinoso, R. (2022). *Desarrollo de casos de estudio en base al sistema nacional interconectado de Ecuador para el análisis de sistemas eléctricos de potencia*. Ambato: Universidad Técnica de Cotopaxi .
- Salazar, F., & Sánchez, N. (2023). *Implementación de un sistema fotovoltaico autosustentable para vivienda en la comunidad masa II, Golfo de Guayaquil*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Vélez, F., & Grijalva, C. (2021). *Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquéz Ampuero*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Añi Gómez Kevin Ivan** con C.C: # 0952219236 autor/a del trabajo de titulación: **Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 04 de Septiembre del 2026

Kevin Añi

f. _____

Nombre: **Añi Gómez Kevin Ivan**

C.C: 0952219236



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía en baterías para el suministro eléctrico continuo de la industria recicladora de plástico tipo PELLET en el cantón Vinces		
AUTOR(ES)	Añi Gómez Kevin Ivan		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánico		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	29 de Agosto de 2026	No. DE PÁGINAS:	83
ÁREAS TEMÁTICAS:	Generación distribuida, Energías renovables, Eficiencia energética		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	energía fotovoltaica, almacenamiento, sistema híbrido, autoconsumo, continuidad eléctrica.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El estudio propone un sistema fotovoltaico híbrido con almacenamiento de energía para una industria recicladora de plástico tipo pellet ubicada en el cantón Vinces. La investigación adopta un enfoque cuantitativo, descriptivo y aplicado. Se plantea recopilar el perfil de demanda, los horarios de operación, las características de las cargas y la disponibilidad del recurso solar; posteriormente se dimensionarán el generador fotovoltaico, el inversor híbrido y el banco de baterías destinado al respaldo de las cargas críticas de comunicaciones y videovigilancia. La evaluación comprenderá balances energéticos, criterios de seguridad eléctrica, compatibilidad con la red y un presupuesto referencial. El resultado esperado es una propuesta técnicamente viable que reduzca el consumo proveniente de la red y mantenga la continuidad de los servicios críticos durante interrupciones del suministro.

ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4- (registrar teléfonos)	E-mail: kevin.ani@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Ing. Celso Bayardo Bohorquez Escobar. Ph.D	
	Teléfono: +593990705653	
	E-mail: ronnie.bonilla@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	