



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

**“Estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía fotovoltaica para la línea 2
del área de envasado de Cervecería Nacional”**

AUTOR

Ing. Vergara Velasco Jean Carlos

TUTOR

Ing. Bohorquez Escobar Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, 27 de agosto de 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el **ING. JEAN CARLOS VERGARA VELASCO** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCION EN ENERGIAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGETICA.**

Guayaquil, 27 de agosto de 2025

TUTOR

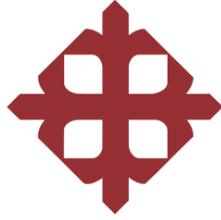
f. _____

ING. CELSO BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR, PHD

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

ING. CELSO BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR, PHD



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jean Carlos Vergara Velasco

DECLARO QUE:

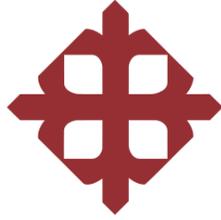
El Trabajo de Titulación, “**Estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía fotovoltaica para la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional**” previo a la obtención del título de Magister en Energías Renovables con Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética, ha sido 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, 27 de agosto de 2025

AUTOR

f. Carlos Vergara V.
Jean Carlos Vergara Velasco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
AUTORIZACIÓN

Yo, Jean Carlos Vergara Velasco

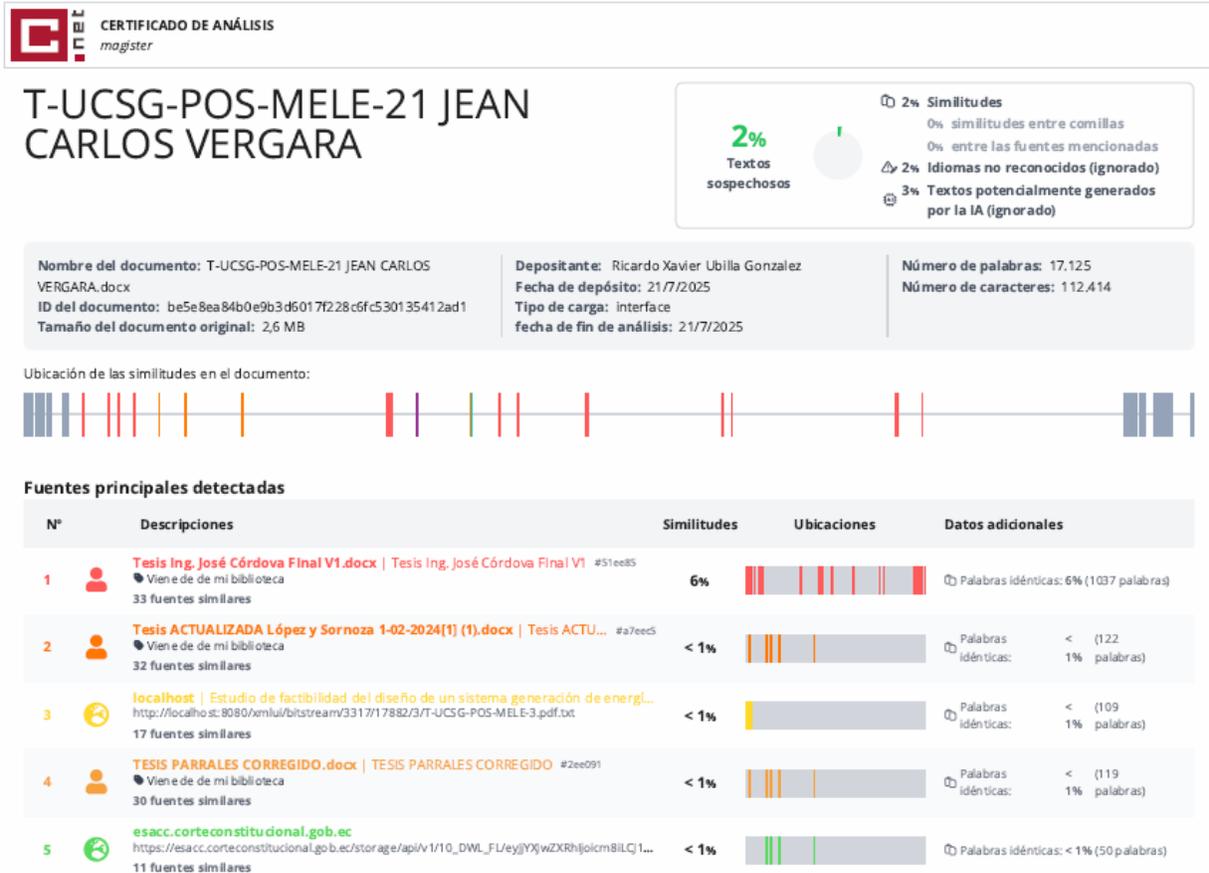
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía fotovoltaica para la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional**”. Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025

AUTOR

f. Carlos Vergara V.
Jean Carlos Vergara Velasco

INFORME DE COMPILATIO



Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación **“Estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía fotovoltaica para la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional”**, presentado por el Ing. Jean Carlos Vergara Velasco, fue enviado al Sistema Anti plagio Compilatio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%.

f. _____
Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo Ph.D

Docente Tutor

DEDICATORIA

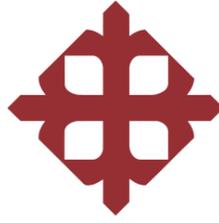
Quiero dedicar este proyecto de estudio para alguien en muy especial en mi vida, quien fue mi padre, que aunque ya no está conmigo siempre fue y será mi mayor inspiración y ejemplo para seguir superando obstáculos y logrando objetivos, también dedico este esfuerzo a mi querida familia que por su gran apoyo incondicional siempre contribuyeron a que se pueda finalizar esta gran meta.

Jean Carlos Vergara Velasco

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios por este logro muy importante para mí, por darme la sabiduría la cual con esfuerzo y dedicación pude cumplir esta gran meta. También quiero expresar que este proyecto de estudio también va dedicado para alguien en vida, quien fue mi padre que aunque ya no está conmigo siempre fue y será mi mayor inspiración y ejemplo para seguir superando obstáculos y logrando objetivos, y finalmente a mi querida familia que por su gran apoyo incondicional siempre contribuyeron que se pueda finalizar esta gran meta.

Jean Carlos Vergara Velasco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.
Tutor

f. _____
Ing. Ricardo Ubilla González, Mgs
Revisor

f. _____
Ing. Daniel Bohórquez Heras, Mgs
Revisor

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.
Director del Programa

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE FORMULAS.....	xv
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.1.1. Justificación del problema	2
1.1.2. Antecedentes	4
1.1.3. Definición del problema.....	5
1.1.4. Formulación del problema	6
1.1.5. Preguntas de investigación y desarrollo?.....	6
1.1.6. Objetivos	7
1.1.6.1. Objetivo general.....	7
1.1.6.2. Objetivos específicos	7
1.1.7. Hipótesis.....	7
1.2. <i>Marco teórico</i>	8
1.2.1. Concepto y fundamentos claves para el funcionamiento.....	8
1.2.1.1. Aspectos y consideraciones para el Proceso de almacenamiento de energía al sistema.	9

1.2.1.1.1.	Proceso de Sistemas de almacenamiento de energía	10
1.2.1.1.2.	¿Qué hace una Baterías de Ion-Litio?.....	13
1.2.1.1.3.	Modo de Carga y descarga	13
1.2.1.1.4.	Factores de degradación en baterías y consecuencias.	13
1.2.1.2.	Tecnologías de conversión (inversores híbridos).	18
1.2.1.3.	¿Qué es el Software Meteonorm?.....	19
1.2.1.3.1.	Características técnicas de Meteonorm.	19
1.2.1.3.2.	¿Qué hace Meteonorm en Energía Solar y cómo es su Aplicaciones?... 19	
1.2.1.3.3.	Aplicación del software Meteonorm en este estudio fotovoltaico.....	20
1.2.1.4.	Software Global Solar Atlas y el Banco Mundial.	20
1.2.1.4.1.	Funcionalidades Principales.	20
1.2.1.4.2.	¿Cómo es la Aplicación de Global Solar Atlas para Proyectos Fotovoltaicos?	21
1.2.2.	Marco normativo y regulaciones en Ecuador.	21
1.2.2.1.	¿Qué nos dice la Regulación ARCERNR 008/23?	22
1.3.	<i>Marco Metodológico</i>	22
1.3.1.	Metodología	22
1.3.2.	Métodos.....	23
1.3.3.	Metodología, Técnica, herramienta y procedimiento para el estudio.	23
1.3.4.	Cargas seleccionadas y distribuidas desde el panel, conectado tanto a las baterías, paneles solares y red secundaria para suministrar de energía a las cargas fijas.....	24

1.3.4.1. Fase para la toma de datos	24
1.3.4.2. Análisis de datos pasos y proceso.....	25
1.3.4.3. Selección y distribución de cargas para conectar sistema	27
CAPÍTULO II - DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE BATERÍAS	30
2. <i>Medición del sistema para el almacenamiento.....</i>	<i>30</i>
2.1. Aspectos importantes para la selección de la batería y almacenamiento.....	30
2.2. Cálculo de la capacidad del almacenamiento de la batería.....	31
CAPÍTULO III - TIPO DE INVERSOR Y PÉRDIDAS.....	35
3. <i>Inversor y estimación de pérdidas de conversión dentro del sistema.....</i>	<i>35</i>
3.1. <i>Configuración del inversor, aspectos a considerar.....</i>	<i>36</i>
3.1.1. Modos de operación del sistema	37
3.1.2. Programación de franjas horarias desde el inversor.....	42
3.1.3. Parámetros de gestión de la batería.....	46
3.2. <i>¿Cuál es el número de baterías a usar en el sistema según la Ley de Peukert?</i>	<i>48</i>
CAPÍTULO IV – CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	53
4. <i>Dimensionamiento del sistema fotovoltaico - consideraciones importantes.....</i>	<i>53</i>
4.1. <i>Irradiación en la ciudad de Guayaquil.....</i>	<i>53</i>
4.2. <i>Irradiación solar de la zona geográfica.....</i>	<i>54</i>
4.3. <i>Ángulo óptimo de inclinación de los paneles ¿Por qué es importante?.....</i>	<i>54</i>
4.4. <i>Para el caso del proyecto en Cervecería Nacional (Guayaquil):</i>	<i>55</i>

4.5.	<i>Modo del Cálculo del suministro de energía que deben entregar al año los paneles...</i>	55
4.6.	<i>¿Cómo se calcula la cantidad de módulos?</i>	57
CAPÍTULO V – ANÁLISIS, VALORES Y GASTOS DEL PROYECTO		59
5.	<i>Análisis de los valores</i>	59
5.1.	<i>Valores del sistema híbrido</i>	59
5.1.1.	<i>Costos de importación</i>	60
5.1.2.	<i>Costos Operativos y de Mantenimiento</i>	62
5.2.	<i>Beneficios y Limitaciones. Dos caminos, dos filosofías: lo tradicional contra lo híbrido</i>	64
CONCLUSIONES		67
RECOMENDACIONES		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72
ANEXOS		74
<i>ANEXO A: Diagrama unifilar detallado del sistema híbrido fotovoltaico con almacenamiento, incluyendo la configuración del inversor híbrido y la conexión con la carga de la cervecería analizada en Guayaquil.</i>		74
<i>ANEXO B: Registro y análisis del consumo energético durante una semana en la cervecería, con datos que respaldan el dimensionamiento del sistema y la gestión de la energía mediante el inversor híbrido.</i>		75

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tipos de baterías con sus características.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2. Etapas, métodos y técnicas a usar en el estudio trabajado.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3. Modo de Distribución de las cargas para el panel de distribución principal</i>	<i>28</i>
Tabla 4. Cargas seleccionadas para el panel de distribución que estará conectado tanto a las baterías, paneles solares y red secundaria para suministrar de energía a las cargas fijas	29
<i>Tabla 5. Modo de Consideraciones de la Irradiación solar global promedio por mes y por día.....</i>	<i>53</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de una batería de lion littio y baterías de plomo considerando la descarga de 0,2C.	12
Figura 2. Comparación de tecnología de almacenamiento de la energía.	15
<i>Figura 3. Comportamiento de la batería de littio y plomo en relación a la temperatura.....</i>	<i>17</i>
Figura 4. Información de calidad eléctrica registrada con el equipo Fluke 1735	25
Figura 5. Comportamiento entre curva de demanda vs tiempo.....	26
Figura 6. Modelo de Lithium Battery, 51.2 V-200 Ah-10.24 KWh con celdas LiFePO4	33
Figura 7. Modelo de Inversor híbrido Sail Solar, modelo THOR, conexión Split Phase 10 kW	35
Figura 8. Gestión del flujo de energía del inversor, Modo de conexión.....	38
Figura 9. Cables positivo y negativo de la batería a los respectivos terminales del inversor para el modo de Conexión al sistema.....	39
Figura 10. Modo de Conexión al sistema	39
<i>Figura 11. Modo Display del panel principal del inversor.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 12. Modo Interfaz para la configuración de ajustes según franjas horarias del inversor.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13. Modo de la Interfaz para la configuración de gestión de las baterías.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14. Visualización del módulo de panel bifacial monocristalino 590W (Sail Solar).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 15. Cotización del proveedor para el proyecto e inversión total</i>	<i>60</i>

ÍNDICE DE FORMULAS

<i>Fórmula 1. Modo de Capacidad total de energía y potencia nominal</i>	13
Fórmula 2.: <i>Modelo Ley de Peukert</i>	14
Fórmula 3. <i>Fórmula para la Capacidad estado máximo de carga</i>	16
Formula 4. <i>Modelo de Energía requerida</i>	33
<i>Fórmula 5. Forma de cálculo según la Ley de Peukert</i>	49
<i>Formula 6. ¿Cómo se Calcula la potencia aparente Sistema?</i>	50
Formula 7. <i>Modo Cálculo de la potencia DC</i>	50
Formula 8. <i>corriente DC</i>	50
Formula 9. <i>Modo de Cálculo de la capacidad total del Banco de pruebas</i>	50
Formula 10. <i>Modo del Cálculo del número de baterías</i>	51
Formula11. <i>Corriente por batería</i>	51
Formula 12. <i>Según ecuación de Peukert Tenemos la corriente nominal (nom)</i>	51
Formula 13. <i>Modo de Cálculo de la eficiencia total</i>	55
Formula14. <i>Modo del Cálculo de la energía total suministrada en corriente alterna (AC)</i>	56
Formula 15. <i>Modo del Cálculo de suministro de energía de los paneles para sustituir las pérdidas de conversión de energía entre el inversor y batería.</i>	56
Formula 16. <i>Cálculo de la energía de carga de un banco de baterías en función de la eficiencia del inversor</i>	56
Formula 17. <i>Modo del Cálculo de la energía que entregan mensualmente los paneles</i>	56
Formula 18. <i>Forma del Cálculo de la P_{máx}(Potencia Maxima) del sistema fotovoltaico.</i>	57
Formula 19. <i>Modo para la medición de la cantidad de módulos</i>	58

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

En el escenario actual, donde la sostenibilidad ya no es una opción ética sino una exigencia operativa, la industria busca —con mayor urgencia que nunca— fuentes de energía que no solo mantengan las máquinas en marcha, sino también la conciencia tranquila. Esta búsqueda ha impulsado, en todo el mundo y también en Ecuador, la adopción de tecnologías limpias para el abastecimiento energético. Y si hay un recurso que el país no necesita importar, medir ni refinar, es la luz solar. Con condiciones geográficas y climáticas privilegiadas, especialmente en ciudades como Guayaquil —donde el sol parece firmar contrato de presencia diaria—, el potencial para aprovechar la energía solar resulta más que prometedor (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2024).

En este punto, la empresa Cervecería Nacional tiene la opción de ingresar a la eficiencia energética y sostenibilidad, desde la propuesta en firme de un sistema fotovoltaico híbrido que actúe como aliado y no como sustituto de la red eléctrica tradicional, optimizando el suministro energético sin comprometer la operación, para lograr esta opción de forma concreta, se propone la identificación de la línea 2 del área de envasado de Cervecería, siendo este un punto clave de evaluación para la incorporación de fuentes no convencionales de generación eléctrica.

El presente estudio de factibilidad nace justamente de esa inquietud técnica y visión estratégica. Su objetivo es claro: analizar todos los factores que podrían determinar la viabilidad de implementar energía solar fotovoltaica en esta línea de producción. Para ello, se contempla desde la evaluación detallada de la radiación solar local hasta la integración con sistemas de

almacenamiento y el análisis del perfil de consumo eléctrico de la planta. Todo esto, por supuesto, dentro del marco legal vigente, especialmente en lo relativo a la regulación ARCERNNR 008/23, que promueve la generación distribuida como una forma moderna de democratizar la energía (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARCERNNR], 2023).

Este enfoque técnico-metodológico no solo pretende entregar cifras y planos. Busca, sobre todo, brindar una base sólida para que la empresa tome decisiones estratégicas con visión de futuro. En tiempos donde la energía ya no es un simple insumo sino un factor reputacional, ambiental y financiero, apostar por fuentes renovables no es una moda industrial: es un paso lógico —y necesario— en la transición energética del país.

1.1.1. Justificación del problema

La industria ecuatoriana se encuentra en un punto de inflexión energético. Por un lado, la demanda eléctrica sigue creciendo como si la infraestructura nacional fuese infinita. Por otro, los costos de depender de fuentes convencionales —esas que prometen estabilidad y entregan volatilidad— se han vuelto una piedra en el zapato para la competitividad. En medio de este panorama, y mirando el factor de la sostenibilidad energética, que ha pasado de ser un concepto de moda a una necesidad estratégica, porque todos necesitamos de las tecnologías, Y es aquí donde entran las tecnologías limpias, como la energía solar fotovoltaica, entran no como alternativa, sino como respuesta concreta a varios dilemas industriales: reducir emisiones, estabilizar costos y avanzar hacia una transición energética con los pies en la tierra (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

La historia y presencia de Cervecería Nacional en el tejido económico del país, es un referente, es una empresa que observa y supera barreras, sabe calificar su desarrollo desde los criterios de eficiencia y sostenibilidad en sus procesos. Sin embargo, hay áreas como la línea 2 del envasado que por su constante funcionamiento y alto consumo energético, representan no solo un desafío, sino una oportunidad. De esta forma la autogeneración eléctrica mediante un sistema fotovoltaico híbrido no sería simplemente un gesto ecológico, sino una jugada estratégica. Disminuir la dependencia de la red pública, especialmente en las temidas horas pico, aliviaría la presión sobre el sistema eléctrico nacional y permitiría a la empresa gestionar mejor sus recursos.

La legislación vigente aparentemente se visualiza como si se ha alineado con el calendario solar. La resolución ARCERNNR 008/23 no solo regula, sino que impulsa la generación distribuida, ofreciendo al sector industrial un terreno más fértil —y menos burocrático— para invertir en energías renovables (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARCERNNR], 2023). Considerando el marco legal, esto hace que convierta las iniciativas como la de Cervecería Nacional en proyectos no solo técnicamente realizables, sino también económicamente sostenibles en el mediano y largo plazo.

Desde una perspectiva ambiental y social, el argumento es aún más poderoso. Adoptar energía solar no es solo una decisión corporativa: es una forma de responder a los compromisos que Ecuador ha asumido frente al cambio climático. Reducir emisiones de gases de efecto invernadero no es solo una meta abstracta; es una responsabilidad compartida. En este sentido, el presente estudio de factibilidad trasciende lo técnico: busca conectar una necesidad interna de

eficiencia con un imperativo global de sostenibilidad. Porque al final, la energía más valiosa no es la que se consume, sino la que se transforma en acción coherente.

1.1.2. Antecedentes

En la última década, la energía solar fotovoltaica ha dejado de ser una promesa lejana para convertirse en protagonista del nuevo relato energético global. Países que solían mirar al cielo solo para quejarse del calor, ahora lo hacen con intenciones mucho más prácticas: capturar la luz y transformarla en electricidad limpia. Este fenómeno ha cobrado fuerza especialmente en naciones que decidieron romper su adicción a los combustibles fósiles —costosa, contaminante y políticamente incómoda— para abrazar, aunque no sin tropiezos, las energías renovables. En este contexto, América Latina no se ha quedado atrás. Chile con sus desiertos solares, México con sus políticas de impulso y Brasil con su músculo financiero han liderado una transición que ya no es incipiente, sino estructural (Agencia Internacional de Energía Renovable [IRENA], 2023).

Ecuador, aunque con pasos más cautelosos, también ha entrado en la conversación. Durante años, el enfoque del país se centró en llevar energía a donde no había: comunidades rurales, aisladas, olvidadas por los mapas eléctricos. Allí, los paneles solares fueron más que tecnología: fueron símbolo de presencia estatal. Pero los tiempos cambian, y también los usos. Hoy, el interés ha comenzado a migrar hacia las ciudades y las industrias. No por romanticismo ecológico, sino por sentido común económico. Generar tu propia energía ya no es una utopía hippie: es una decisión rentable. Normativas como la ARCERNNR 003/18 y la reciente 008/23 han abierto el juego, permitiendo que el sector privado —con su pragmatismo y su capital— se sume a la producción de energía limpia (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023).

En este nuevo tablero entra Cervecería Nacional. Conocida por su historial de eficiencia operativa, la empresa ha invertido en optimización de procesos, mejoras en sistemas de iluminación y uso racional del recurso energético. Pero hasta ahora, la autogeneración eléctrica con fuentes renovables —específicamente en el área de envasado— sigue siendo una página en blanco. No por falta de intención, sino por prioridades estratégicas. Sin embargo, esa experiencia previa, acumulada en prácticas de eficiencia, representa el cimiento ideal sobre el cual construir algo más ambicioso: un sistema de autogeneración sostenible que combine rentabilidad, innovación y compromiso ambiental.

Este estudio de factibilidad no nace en el vacío. Se sitúa en la intersección de la evolución tecnológica, la madurez normativa y las nuevas demandas corporativas. Toma como inspiración proyectos similares ejecutados dentro del país y en la región, pero se diseña con los pies bien plantados en la realidad operativa de Cervecería Nacional: sus patrones de consumo, su infraestructura técnica, su lógica financiera. Porque, al final, no se trata solo de instalar paneles. Se trata de construir un modelo energético a la altura del presente... y del futuro.

1.1.3. Definición del problema

En un entorno donde la energía eléctrica parece subir de precio con la misma constancia con la que suben las temperaturas, Cervecería Nacional ha centrado sus esfuerzos en optimizar su consumo energético. La lógica es sencilla, aunque no menos desafiante: producir más, contaminando menos y gastando lo justo. En especial, la línea 2 del área de envasado —una zona de trabajo que no se detiene ni en domingos ni en feriados— demanda un suministro eléctrico que sea, al mismo tiempo, eficiente, confiable y sostenible. Tres adjetivos que rara vez se encuentran

reunidos en el sistema eléctrico nacional.

Actualmente, esta línea opera casi exclusivamente con energía proveniente de la red pública. Y si bien esta dependencia garantiza continuidad operativa, también impone ciertas limitaciones: sensibilidad a variaciones tarifarias, vulnerabilidad ante posibles interrupciones y una escasa capacidad de maniobra frente a escenarios de crisis energética. En otras palabras, el sistema funciona... hasta que deja de hacerlo como se espera.

Ante este contexto, surge una alternativa que ya no suena exótica ni futurista: evaluar la factibilidad técnica, económica y normativa de un sistema fotovoltaico híbrido. Una solución que no pretende reemplazar, sino complementar y reforzar el suministro actual. Como quien coloca un segundo timón a un barco que navega aguas cada vez más impredecibles. Este sistema permitiría reducir la presión sobre la red pública, estabilizar costos y, de paso, alinearse con las nuevas exigencias de sostenibilidad corporativa y regulatoria (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARCERNNR], 2023).

1.1.4. Formulación del problema

- Dentro de los parámetros técnicos, ¿ Es económica y ambientalmente viable implementar un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional, considerando las condiciones de irradiación solar en Guayaquil, la normativa ecuatoriana vigente y los requerimientos de consumo energético de la planta?

1.1.5. Preguntas de investigación y desarrollo?

- ¿Cuál es el consumo energético de la línea 2 del área de envasado?

- ¿Qué características técnicas tienen que cumplir los paneles solares, inversores y baterías para satisfacer la demanda de este estudio?
- ¿Cuál es la potencia de generación fotovoltaica en el sistema a usar?
- ¿Qué beneficios y limitaciones representa el sistema híbrido propuesto?
- ¿Es económicamente rentable la implementación del sistema bajo las condiciones actuales del mercado ecuatoriano y los incentivos regulatorios disponibles?

1.1.6. Objetivos

1.1.6.1. Objetivo general

- Evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional, en el contexto normativo ecuatoriano vigente.

1.1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar el perfil de consumo energético actual de la línea de producción.
- Estudiar las condiciones de irradiancia solar en la zona de Guayaquil.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico e identificar los componentes adecuados (paneles, inversores, baterías).
- Evaluar la rentabilidad económica del sistema propuesto.
- Comprobar la viabilidad normativa y técnica del proyecto conforme a la regulación ARCERNNR 008/23.

1.1.7. Hipótesis

El análisis, desarrollo e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido en la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional es un visión viable, técnica, económica y ambientalmente favorable, que contribuiría a la reducción de costos operativos, al uso eficiente de

recursos energéticos y al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad corporativa bajo la normativa ecuatoriana actual.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Concepto y fundamentos claves para el funcionamiento

¿Cuál será la generación distribuida en la red eléctrica?

Es importante considerar y conocer dos factores importantes dentro de este estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de generación de energía fotovoltaica en la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional.

La primera es, conocer los factores de los parámetros eléctricos que definen el desempeño de los módulos solares, especialmente en entornos industriales como el ecuatoriano, desde esta perspectiva y dentro de los **parámetros de evaluación**, nos permitirá estimar la eficiencia energética, facilitar la selección de equipos y asegurar la compatibilidad con los demás componentes del sistema, como inversores y sistemas de almacenamiento.

El segundo punto, Los factores que especifican cuáles serán los referentes técnicos dentro de las **Condiciones Estándar de Prueba (STC)**, que corresponden a una irradiancia de 1000 W/m², temperatura de célula de 25 °C y una masa de aire de 1.5. Aunque estas condiciones estandarizadas permiten una comparación técnica entre paneles, no reflejan completamente el comportamiento en condiciones reales de operación, particularmente en zonas cálidas y húmedas como Guayaquil (Duffie & Beckman, 2020).

El **Factor de Forma (FF)** también conocido en sistemas fotovoltaicos, Se define como la relación entre la potencia máxima y el producto de un voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y desde luego la corriente de cortocircuito (I_{sc}). Un FF alto (mayor al 75 %) indica una buena calidad del panel (Luque & Hegedus, 2011).

Asimismo, las **Horas Sol Pico (HSP)** Es un indicador clave para el dimensionamiento. Estas horas equivalentes de sol pleno por día permiten calcular la generación energética diaria. Si lo utilizamos en la ciudad de Guayaquil, según Global Solar Atlas, menciona que, el promedio anual de HSP varía entre 4,5 y 5,0 horas, lo que representa un gran potencial considerable para los proyectos solares a gran escala (Global Solar Atlas, 2023).

Mantener un conocimiento técnico y de cómo funcionan los procedimientos de estos parámetros, es crucial para comparar los productos de distintos fabricantes y garantizar un diseño que cumpla con los requerimientos normativos y de rendimiento. Además, permite alinear el sistema con la regulación ecuatoriana vigente, como lo estipula la resolución ARCERNR 008/23 sobre generación distribuida.

1.2.1.1. Aspectos y consideraciones para el Proceso de almacenamiento de energía al sistema.

De acuerdo a el almacenamiento de carga en los sistemas fotovoltaicos, hay una pregunta clave ¿Cómo almacenan la energía generada durante el día?, esto dependerá de la red de suministro de cada instalación y cantidad de paneles, sin embargo el principio fotovoltaico se mantiene siempre y es que, utilizan el sol para el funcionamiento y carga de baterías del sistema y cuando el sol ya no está, es decir, por la noche o en momentos de baja irradiación, entran en juego las baterías cargadas, asegurando la continuidad de las operaciones, logrando optimizar la gestión de

la demanda y reduce la dependencia de la red eléctrica convencional. Entre las distintas tecnologías disponibles, las baterías electroquímicas siguen siendo las más utilizadas, especialmente las de plomo-ácido, níquel-cadmio y litio-ion (IRENA, 2020).

1.2.1.1.1. Proceso de Sistemas de almacenamiento de energía

Según Pardo Farias et al. (2024), las tecnologías de almacenamiento de carga o energía se clasifican en cinco grupos: mecánico (como bombeo hidráulico o aire comprimido), electroquímico (baterías de litio, plomo-ácido o de flujo), térmico (con calor o frío), químico (hidrógeno y metano sintético) y magnético, como los sistemas SMES.

Los SMES son utilizados y diseñados para almacenar energía directamente en campos magnéticos, ofreciendo alta eficiencia y respuesta casi inmediata, son muy ideales para estabilizar redes críticas, aunque hay que recordar que tienen limitaciones por su alto costo y requerimientos criogénicos (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

En cambio, las baterías siguen siendo la solución más común por su disponibilidad, eficiencia cercana al 95 % y su adaptación a distintas aplicaciones energéticas (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

De acuerdo a los usuarios consultados, las baterías siguen siendo la opción más común, esto es por su disponibilidad, eficiencia de hasta 95 % y madurez tecnológica. Funcionan a través de reacciones químicas que determinan su capacidad, número de ciclos y costos operativos, lo que las hace versátiles para cubrir picos de demanda o integrarse con fuentes renovables (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

Tabla 1. *Tipos de baterías con sus características.*

Tipo de Almacenamiento	Potencia (MW)	Capacidad (MWh)	Densidad de Energía (kWh/m³)	Eficiencia (%)	Vida útil (Ciclos)
Batería de Litio	0,0001-0,1	0,25-25	300	85-99	1000-4500
Batería de Azufre de sodio	1-50	<300	150-250	75-900	2500
Batería de Plomo ácido	0-40	0,25-50	20	70-90	500-1000
Batería de Flujo Redox	0,03-7	<10	10-30	75-85	12000

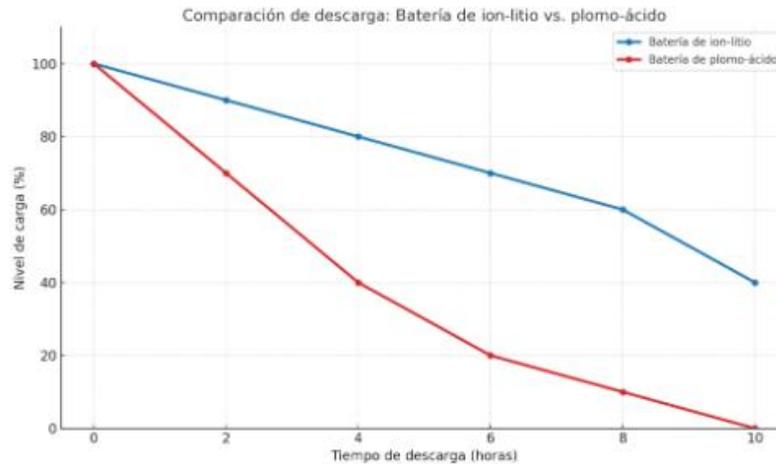
Fuente: Analistas Mendoza Santiago & Mateos Funes (2024)

Esta claro que las baterías almacenan energía mediante reacciones químicas que se activan al cargar o descargar, esto hace que influya su densidad energética, eficiencia y vida útil (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

Para poder distinguir de algún modo y comparar las tecnologías, se debe usar una matriz, que evalúa variables como capacidad, potencia, eficiencia y ciclos. En este estudio, las baterías de iones de litio destacan por su alta densidad energética, larga duración y rápida respuesta, estas baterías son ideales para sistemas híbridos fotovoltaicos con ciclos frecuentes.

Aunque las baterías de plomo-ácido siguen presentes en Ecuador por su bajo costo inicial, tienen menor eficiencia, vida útil reducida y riesgos asociados, como la emisión de hidrógeno durante la carga (del Valle et al., 2019).

Figura 1. Comportamiento de una batería de ion litio y baterías de plomo considerando la descarga de 0,2C.



Fuente: Elaboración Propia

Todo sistema SMES almacena energía mediante el campo magnético generado en por las bobinas superconductoras, logrando casi un 100 % de eficiencia y respuesta instantánea. Son ideales para estabilizar redes y proteger cargas críticas, aunque su uso sigue limitado por costos elevados y necesidades criogénicas (DLN Energy, 2023).

Por otro lado, las baterías de litio dominan el mercado por una sencilla razón, esto es, su disponibilidad, eficiencia y voltaje constante durante gran parte de la descarga. Frente a ellas, las baterías de plomo-ácido pierden voltaje progresivamente, lo que obliga a sobredimensionar los sistemas.

En el Ecuador aún se mantiene en algunos casos el plomo-ácido que lo usan en contextos rurales, el litio gana terreno por su durabilidad, velocidad de respuesta y adaptabilidad a sistemas híbridos. En este proyecto, se eligieron baterías de litio por su compatibilidad con la energía solar,

eficiencia en ciclos y capacidad de mantener un suministro estable pese a las variaciones de carga (DLN Energy, 2023).

1.2.1.1.2. ¿Qué hace una Baterías de Ion-Litio?

Es importante dar a conocer que, las baterías de ion-litio han ganado preferencia en aplicaciones solares, esto se debe a su alta densidad energética, eficiencia de carga/descarga y vida útil prolongada. También hay que mencionar, lo que hace su capacidad de carga y que permite profundizar ciclos de carga sin degradación acelerad, todos estos factores a favor, las hace ideales para entornos de uso intensivo como el industrial. Las celdas de LiFePO₄, en particular, ofrecen mayor estabilidad térmica y química, con bajo riesgo de incendio, lo que resulta adecuado para instalaciones industriales (Nasirov et al., 2018).

1.2.1.1.3. Modo de Carga y descarga

La relación entre la capacidad total de energía y la potencia nominal se utiliza idealmente cuando el sistema de almacenamiento aprovecha su capacidad completa, y el tiempo de descarga se calcula como la proporción entre ambos valores:

Fórmula 1. *Modo de Capacidad total de energía y potencia nominal*

$$\frac{E}{P} = \frac{\text{Capacidad de energía}}{\text{Potencia de la carga (nominal)}}$$

1.2.1.1.4. Factores de degradación en baterías y consecuencias.

De acuerdo con NREL (2020), para evaluar la vida útil de las baterías de ion-litio, no basta con mirar un solo indicador. En este procedimiento entra en juego varios factores decisivos: la carga y descarga por ciclos, observar el indicador de profundidad a lo que se vacía la batería,

(conocida como DoD), a qué temperatura opera y cómo no, observar la calidad de los materiales con los que ha sido fabricada. El querer ignorar cualquiera de estos elementos es como pretender que un coche funcione sin ruedas: simplemente no va a llegar lejos.

Recordemos que, todos estos factores son parte de una gestión térmica eficiente. Y aquí entra en escena un actor cada vez más relevante: los controladores inteligentes, su proceso aporta a soluciones anticipación y adaptación para el desarrollo del sistema, esto marca la diferencia entre una batería que sobrevive una década y otra que supera los 15 años de servicio útil.

Pero aún hay más, dentro de todo este procedimiento conviene recordar un principio formulado por el ingeniero Wilhelm Peukert, allá por el siglo XIX, pero que sigue teniendo eco en nuestras baterías modernas en la actualidad. Según su ley, cuando una batería se descarga rápidamente —es decir, a altas tasas de corriente— no solo se extrae menos energía en comparación con una descarga lenta, sino que además se generan más calor y una mayor resistencia interna. El resultado obtenido será: un rendimiento comprometido y una vida útil acortada, como si la batería se agotara de tanto correr sin descanso (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

En resumen, cuidar una batería de ion-litio no es solo cuestión de enchufarla y olvidarse. Es una coreografía técnica donde cada paso —desde la temperatura hasta la velocidad de descarga— debe estar bien sincronizado si queremos que el espectáculo dure lo suficiente.

Fórmula 2.: Modelo Ley de Peukert

$$C_p = I^k \times t$$

Donde:

$k = \text{Constante de Peukert (adimensional)}$

$t = \text{Tiempo de descarga real (h)}$

$C_p = \text{Capacidad de la batería a 1A de corriente de descarga (Ah)}$

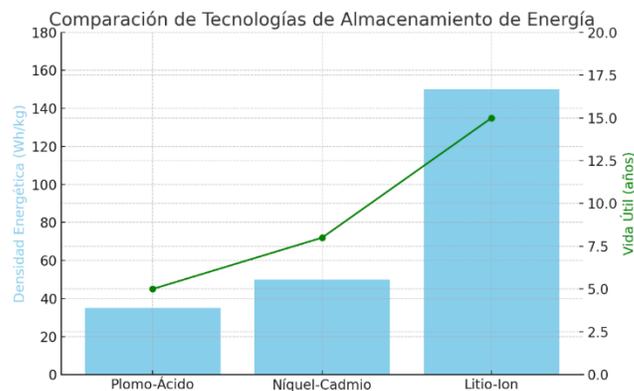
$I = \text{Corriente de descarga real (A)}$

No toda la energía que una batería promete está realmente disponible, sobre todo si se descarga muy rápido. La Ley de Peukert explica este fenómeno: a mayor velocidad de descarga, menor es la energía útil que se puede aprovechar. Esto suele pasar porque la batería genera pérdidas internas, especialmente por su resistencia eléctrica, lo que reduce su rendimiento real (Martínez Bertran, 2017; Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

Este comportamiento puede ser crucial en sistemas que exigen respuestas rápidas, como aquellos que mantienen ciclos intensos de carga y descarga. En esos casos, las descargas profundas o las cargas aceleradas no solo reducen la eficiencia, sino que también aceleran el deterioro del sistema, acortando su vida útil.

Comprender este principio ayuda a dimensionar mejor los sistemas de almacenamiento y a proteger la salud de las baterías con decisiones de uso más inteligentes.

Figura 2. Comparación de tecnología de almacenamiento de la energía.



Fuente: Empresa DLN Energy (2023)

Con el tiempo, las baterías se desgastan. No es algo que griten, pero lo muestran en su rendimiento. Para entender este proceso, basta con tres siglas: SOC, SOH y DOD.

El SOC indica cuánta energía queda. El SOH, qué tan saludable sigue siendo comparada con cuando era nueva. Y el DOD —el más revelador— nos dice cuánto se descargó en cada uso.

¿La clave? Si constantemente se vacía casi por completo (lo que se llama “descarga profunda”), su vida útil se acorta. Igual que si forzamos a alguien a correr todos los días sin descanso. Factores como el calor extremo o cargarla muy rápido también la desgastan más.

Un DOD del 80 % significa que se usó ese porcentaje antes de recargar. Si se mantiene ese número bajo, la batería vivirá más y trabajará mejor (Battle Born, 2022):

Fórmula 3. Fórmula para la Capacidad estado máximo de carga

$$DOD = \frac{\text{Capacidad} - \text{Estado mínimo de carga}}{\text{Capacidad de la batería}} \times 100$$

Esto, le permite tener el porcentaje de tiempo de descarga usando la capacidad de energía disponible, es decir, este siempre será menos que la relación $\frac{E}{P}$, ya que no considera la capacidad de energía total.

Muy importante es el considerar el estado de salud (SOH), representa el estado de degradación de la batería, definido como la razón entre la capacidad actual medida y la capacidad nominal original. Esta da a conocer que, un SOH de 1 indica una batería en perfectas condiciones, y un valor de 0.8 generalmente marca el fin de su vida útil (Contreras Sillero et al., 2018).

El tiempo de descarga de una batería según su energía disponible siempre será menor que

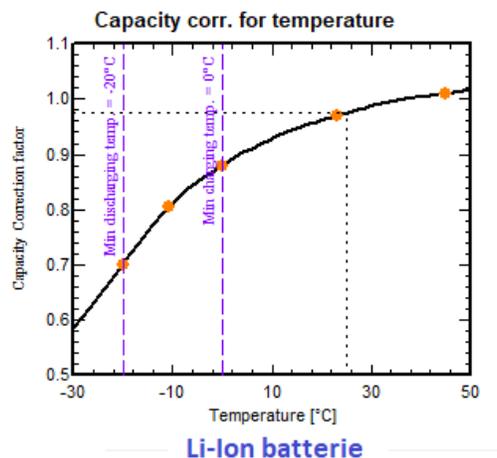
la relación energía/potencia (E/P), ya que no contempla toda su capacidad energética.

Un indicador clave de su envejecimiento es el estado de salud (SOH), que compara la capacidad actual con la original. Un SOH de 1 esto implicaría una batería en perfecto estado; cuando tiende a caer a 0.8, suele considerarse al final de su vida útil (Contreras Sillero et al., 2018).

También es fundamental considerar el estado de carga (SOC), que indica cuánta energía le queda a la batería, entre 0 (vacía) y 1 (llena). Hay que entender que, este valor puede alterarse por la temperatura, la corriente de descarga y el propio SOH (Contreras Sillero et al., 2018).

Finalmente, tanto la temperatura como el SOC influyen directamente en el desgaste. Si la batería trabaja fuera del rango ideal (15 °C a 35 °C), se producen daños internos que reducen su capacidad y vida útil (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

Figura 3. Comportamiento de la batería de litio y plomo en relación a la temperatura.



Fuente: Empresa PVsyst, s.f.

El gráfico compara cómo afecta la temperatura a las baterías de plomo-ácido y a las de litio. Ambas sufren con el calor, pero las de litio rinden mejor en frío. A temperaturas bajo cero, las de plomo-ácido pueden congelarse si no están bien cargadas, lo que puede dañarlas gravemente. Las de litio, aunque también se ven afectadas, siguen funcionando de forma aceptable (PVsyst, s.f.).

Existen factores claves desde el estado de carga (SOC): el mantenerlo elevado por mucho tiempo acelera su procesos de degradación interna, como son: la oxidación del electrolito o el desgaste del ánodo, reduciendo así la eficiencia y vida útil de la batería (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

Por esa razón, es importante contar con un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) es fundamental. Este sistema supervisa en tiempo real encada celda, esto evita cargas y descargas extremas, y prolonga la vida útil del conjunto. Además, todos los cargadores programables permiten estudiar cómo se comportan las baterías bajo diferentes condiciones, entregando datos y análisis valiosos para mejorar el diseño del sistema (Quintero, 2021).

1.2.1.2. Tecnologías de conversión (inversores híbridos).

Para una carga optima y desempeño deaeable, los inversores híbridos cumplen una función, la de convertir la energía de corriente continua (DC) producida por los paneles solares en corriente alterna (AC) las misma que es utilizable por los equipos de la industria. Además los inversores, permiten la gestión eficiente de múltiples fuentes de energía (paneles, red y baterías), todo en un solo sistema. Estas tecnologías, incorporan funciones de control, protección, y priorización del uso de energía, lo que hace optimiza las operaciones y extiende la vida útil de los sistemas de almacenamiento (Fraunhofer ISE, 2021).

1.2.1.3. ¿Qué es el Software Meteonorm?.

Meteonorm es precisamente una herramienta que aporta en la realización y simulación climática y solar, con estos indicadores permite la generación de datos meteorológicos útiles para el funcionamiento del sistema y su registro histórico, también desde su base de de datos puede realizar combinaciones de estaciones reales con interpolaciones satelitales, ofreciendo información precisa para cada ubicación geográfica.

1.2.1.3.1. Características técnicas de Meteonorm.

Por lo general para proyectos solares, casi siempre se considerar la herramienta Meteonorm, ya que, permite estimar la irradiación global, la temperatura ambiente y otras variables meteorológicas que influyen en la producción energética. Estos datos de análisis, puede facilitar una mejor evaluación del recurso solar durante todas las estaciones del año, ayudando a medir correctamente los parámetros de los sistemas fotovoltaicos.

1.2.1.3.2. ¿Qué hace Meteonorm en Energía Solar y cómo es su Aplicaciones?

Meteonorm es usualmente utilizado como una herramienta clave en proyectos solares, ya que permite estimar cuánta energía pueden generar los paneles según el clima y la radiación de una zona específica. Desde estos puntos de vista es muy útil en la etapa de diseño, ya que ayuda a elegir el mejor ángulo y orientación de los paneles para aprovechar al máximo la luz solar durante todo el año. Además, sus reportes ayudan a evaluar si el proyecto será rentable a largo plazo. Según Quintanar Quezada y Valencia Lucero (2017), Meteonorm ofreció datos más precisos que otras fuentes, como la NASA, al momento de analizar la radiación solar en una ubicación concreta.

1.2.1.3.3. Aplicación del software Meteonorm en este estudio fotovoltaico.

Las condiciones reales de generación energética en la línea 2 de envasado son una necesidad latente, Para este estudio, se ha empleado Meteonorm para determinar la irradiación solar media en Guayaquil, lo que permitirá establecer el dimensionamiento preciso de los módulos solares para la estimación de la producción energética anual.

1.2.1.4. Software Global Solar Atlas y el Banco Mundial.

Hay que recordar que, el Global Solar Atlas, que fue creado por el Banco Mundial y Solargis, permite observar cuánta energía solar recibe cada rincón del planeta, además, muestra mapas interactivos y datos como horas pico de sol o irradiación histórica, también permite hacer análisis rápidos y tomar decisiones informadas, sin costo y al alcance de todos.

1.2.1.4.1. Funcionalidades Principales.

- El sistema permite alcanzar una serie de recursos prácticos, que facilitan la planificación de toda clase de proyectos solares. Entre ellos, se encuentra el acceso libre a información actualizada sobre la irradiación solar tanto a nivel nacional como global, así como, herramientas visuales interactivas que permiten explorar mapas solares de forma intuitiva. También, permite estimar cuánta energía podría generarse en función de las condiciones solares específicas de un lugar determinado, lo cual es especialmente útil para estudios de factibilidad, además, se pueden simular sistemas fotovoltaicos tanto para uso residencial como para proyectos de gran escala. Toda esta información, se presenta en unidades de

kWh/m², lo que facilita su uso directo en el cálculo y dimensionamiento de los paneles solares.

1.2.1.4.2. ¿Cómo es la Aplicación de Global Solar Atlas para Proyectos Fotovoltaicos?

Esta aplicación o software, ayuda a ingenieros y diseñadores a entender cuánta energía puede ofrecer el sol en un lugar específico. En el caso de Cervecería Nacional, ha sido clave para confirmar que la zona de Guayaquil tiene el potencial solar necesario, también sirve para respaldar datos de una decisión importante, vale la pena apostar por este sistema fotovoltaico.

1.2.2. Marco normativo y regulaciones en Ecuador.

De acuerdo al artículo 413 de la Constitución, esta ordena al Estado Ecuatoriano a promover tecnologías limpias y energías alternativas como base para un desarrollo sostenible, desde este punto de vista, el Ecuador debe ser ya un referente en energía híbrida, la energía limpia no es solo una aspiración, es un compromiso constitucional. Desde la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, se debe reforzar esa visión, asegurando que el suministro sea no solo eficiente, sino también respetuoso con el futuro.

Y para que no quede en el papel, el Plan Maestro de Electrificación 2022–2031 ya traza el camino: más renovables, menos dependencia, y un modelo energético que apuesta por lo que el país tiene de sobra: sol, viento y voluntad.

1.2.2.1. ¿Qué nos dice la Regulación ARCERNNR 008/23?

Dentro de la normativas de Ecuador, la Resolución ARCERNNR 008/23, emitida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), menciona aquellas disposiciones técnicas y administrativas para la conexión de sistemas de generación, distribuidas a la red pública. Esta regulación permite que empresas como Cervecería Nacional puedan implementar sistemas fotovoltaicos de autogeneración, con posibilidad de inyección de excedentes a la red bajo esquemas de medición neta o balance neto.

Entre sus principales características se encuentran:

- Requisitos técnicos para la interconexión segura.
- Procedimientos para la aprobación del proyecto ante la distribuidora.
- Parámetros de calidad y seguridad operativa.
- Límites de potencia según el tipo de usuario.

Esta normativa constituye el marco habilitante para el desarrollo del presente proyecto, permitiendo su implementación en cumplimiento con las disposiciones legales nacionales.

1.3. Marco Metodológico

1.3.1. Metodología

El estudio de este proyecto, tiene un marco metodológico mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos, empleando una metodología de análisis económico y técnico, orientada a visualizar y evaluar un sistema fotovoltaico híbrido bajo condiciones reales de operación, la investigación es de carácter descriptivo y exploratorio, con un diseño no experimental y transversal.

1.3.2. Métodos

- **Análisis documental:** revisión de escritura y literatura científica, técnica y normativa vigente dentro del contexto ecuatoriano.
- **Levantamiento de información:** muestra la línea 2 de envasado y su medición.
- **Simulación y Modelación:** muestra la caracterización del recurso solar disponible desde el software Meteonorm y Global, que son especializados y adaptable a Solar Atlas.
- **Aspecto técnico y dimensiones:** Son criterios de ingeniería eléctrica para calcular la capacidad del sistema y sus formulaciones.
- **Evaluación económica:** criterios y análisis de costos de inversión, operación y retorno sobre la inversión (ROI).

1.3.3. Metodología, Técnica, herramienta y procedimiento para el estudio.

Tabla 2. Etapas, métodos y técnicas a usar en el estudio trabajado.

Etapa	Método	Técnica y herramienta
Diagnóstico energético	Levantamiento de datos	Uso de registradores trifásicos, Excel
Estimación del recurso solar	Modelación y simulación	Software Meteonorm, Global Solar Atlas
Dimensionamiento del sistema	Cálculo técnico	Fórmulas de ingeniería, hojas de cálculo
Evaluación económica	Análisis financiero	TIR, VAN, Payback, software financiero
Evaluación normativa	Análisis legal y técnico	ARCERNNR 008/23, manuales y fichas técnicas

Esta metodología permitirá asegurar la rigurosidad técnica del estudio, garantizando resultados confiables para la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración propia

1.3.4. Cargas seleccionadas y distribuidas desde el panel, conectado tanto a las baterías, paneles solares y red secundaria para suministrar de energía a las cargas fijas.

La eficiencia de un sistema híbrido, depende de la gestión eléctrica de las cargas críticas que están pasando en la línea 2 de envasado, estas pueden venir de: equipos que consumen de forma constante y que no pueden detenerse. Por esta razón, se conectan a una fuente híbrida que permita la combinación de energía solar, baterías y red eléctrica, garantizando un suministro sin cortes.

Entre las cargas seleccionadas se encuentran:

- Motores para bombeo de líquidos
- Sistemas para el control y automatización
- Iluminación de tipo industrial para áreas operativas
- Compresores de aire para baja potencia
- Sensores para equipos de medición
- Sistemas de comunicación y monitoreo

1.3.4.1. Fase para la toma de datos

La fase de toma de datos constituye una etapa crítica para el análisis energético del sistema. Se procedió con la instalación de un registrador trifásico de calidad eléctrica (Fluke 1735) en el tablero principal de la línea 2 de envasado. Este instrumento permitió recopilar información precisa sobre:

- Consumo energético promedio por hora.
- Variaciones de carga durante las diferentes etapas del proceso productivo.
- Picos de demanda eléctrica.
- Factor de potencia y calidad de la energía.

Hay que mencionar que el período de muestreo para el estudio, fue de siete días consecutivos, incluyendo jornadas laborables y fines de semana, con el fin de obtener un perfil representativo de la operación. Los datos registrados fueron exportados a hojas de cálculo para su posterior procesamiento y análisis estadístico.

Esta información permitió establecer la base para seleccionar adecuadamente las cargas críticas, dimensionar el sistema fotovoltaico, y evaluar la factibilidad económica del proyecto.

Figura 4. Información de calidad eléctrica registrada con el equipo Fluke 1735



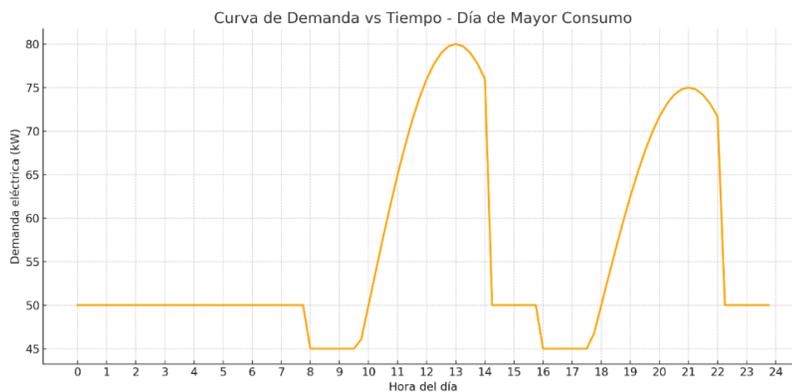
Fuente: Empresa Fluke Corporation, s.f.

1.3.4.2. Análisis de datos pasos y proceso.

El primer paso es la recopilación de datos, que permitan un análisis profundo y organizado, para esto se usaron herramientas como: Excel y software especializado, logrando transformar números en decisiones.

- Se calcularon indicadores clave como la energía total y la potencia máxima. Además, se simularon escenarios con y sin almacenamiento solar, se validó el tipo de información entrante, también se identificaron los picos de consumo mediante gráficos.
- El comportamiento energético de la línea 2 de envasado fue analizado y estudiado a fondo, para el estudio de la propuesta del sistema híbrido.

Figura 5. *Comportamiento entre curva de demanda vs tiempo*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de la curva demanda vs tiempo es esencial para identificar los momentos de mayor exigencia energética y evaluar la capacidad de respuesta del sistema propuesto. Para este proyecto, se seleccionó el día de mayor consumo dentro del período de muestreo registrado por el Fluke 1735, en la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional.

De acuerdo a los datos recolectados dentro de un gráfico representativo se observa la demanda eléctrica en intervalo de 15 minutos durante las 24 horas al día, esta curva permitió visualizar lo siguiente:

- Las horas pico de demanda, y estas coincidieron con el turno de mayor producción de 10:00 y 14:00 horas, y entre las 18:00 y 22:00 horas.
- Las horas valle, que es donde el consumo eléctrico disminuye notablemente entre 00:00 y 06:00 horas.

- La transición en el perfil de carga, se observa aumentos bruscos el inicio de turnos y reducciones al final de las operaciones.

Todo este proceso, refleja la siguiente conclusión: los patrones son repetitivos, es decir, todo esto resulta útil para determinar el dimensionamiento adecuado del banco de baterías, la capacidad de los inversores y la cantidad de los módulos fotovoltaicos requeridos. Todo esto facilita una programación de franjas horarias de operación para el sistema híbrido.

En este caso, los proyectos fotovoltaicos industriales, como el que se plantea en este estudio, el conocimiento de la curva de carga es una herramienta clave para garantizar una integración tecnológica óptima, reduciendo la dependencia de la red eléctrica y maximizando el aprovechamiento de la energía solar. Fluke Corporation. (2020). Fluke 1735 Three-Phase Power Logger – User Manual. Fluke Corporation.

1.3.4.3. Selección y distribución de cargas para conectar sistema

En el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico, no todas las cargas son iguales ni merecen el mismo tratamiento. Algunas pueden esperar; otras, sencillamente, no deben detenerse nunca. Por eso, uno de los pasos más críticos —y menos visibles— es decidir qué equipos estarán conectados al sistema solar y bajo qué condiciones.

El estudio no solo responde a criterios técnicos, también busca un entendimiento desde una lógica operativa para el equilibrio entre necesidad y eficiencia energética. A continuación, se detallan los principios que guiaron la selección de las cargas en este proyecto:

- Operación de margen continuo: aquí no hay margen para apagones, se da prioridad a equipos cuya interrupción durante la jornada afectaría la productividad o la seguridad.
- Consumo energético significativo: se identificaron las cargas con mayor impacto en la demanda eléctrica, esas que mueven las agujas del medidor.
- Sensibilidad eléctrica: algunos equipos no solo exigen energía, sino energía estable, con voltaje controlado y sin sobresaltos.
- Ubicación operativa: la proximidad física también importa. Se favorecieron cargas agrupadas en zonas concretas, lo que simplifica el cableado y reduce pérdidas.

¿Y cuáles fueron esas cargas críticas?

Desde el análisis de este estudio, las cargas seleccionadas para integrarse al sistema híbrido, son:

- Motores de transporte y bombeo: esenciales para el movimiento de materiales y líquidos.
- Sistemas de automatización y control de calidad: el cerebro electrónico de la operación.
- Iluminación industrial de alto consumo: asegura visibilidad en grandes áreas de trabajo.
- Equipos de refrigeración: cuya estabilidad es clave para mantener condiciones térmicas controladas.
- Compresores auxiliares: alimentan procesos neumáticos complementarios.

Tabla 3. Modo de Distribución de las cargas para el panel de distribución principal

Distribución de cargas en el sistema híbrido (formato técnico):

ID	Rótulo / Carga	Fase	Voltios	Nº Ptos	Carga Parcial (W)	F.D.	Carga Total (kW)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	Diámetro Tubería	Breaker (A)	Polos	Fuente Principal	Secundaria	Respaldo
C1	Iluminación inferior área exterior	C	127	6	24	1	0.14	1.1	#14	1/2"	16	1	Paneles solares	Red eléctrica secundaria	Banco de baterías
C2	Iluminación superior área exterior	A	127	4	150	1	0.60	4.7	#12	1/2"	16	1	Paneles solares	Red eléctrica secundaria	Banco de baterías

T2	TC Cajas	A	127	3	60	1	0.18	1.4	#12	1/2"	16	1	Paneles solares	Banco de baterías	Red eléctrica
T3	Timbre	B	127	1	60	1	0.06	0.5	#14	1/2"	16	1	Paneles solares	Banco de baterías	Red eléctrica
T4	TC Bodega: Mosquitero	A	127	1	60	1	0.06	0.5	#14	1/2"	16	1	Paneles solares	Banco de baterías	Red eléctrica
T5	TC Microondas y filtro de agua	C	127	1	60	1	0.06	0.5	#14	1/2"	16	1	Paneles solares	Banco de baterías	Red eléctrica
T6	TC Entrada y TrafoRoom	B	127	3	600	1	1.80	14.2	#10	3/4"	20	2	Banco de baterías	Red eléctrica secundaria	Paneles solares
T7	Grupo de vitrinas	C	127	3	600	1	1.80	14.2	#10	3/4"	20	2	Banco de baterías	Red eléctrica secundaria	Paneles solares
T8	Grupo de 3 congeladores #1	BC	220	3	1200	1	3.60	16.4	#10	3/4"	20	2	Banco de baterías	Paneles solares	Red eléctrica
AA1	Aire acondicionado tienda	CA	220	2	4900	1	4.90	22.3	#8	3/4"	50	2	Red eléctrica secundaria	Paneles solares	Banco de baterías
AA2	Aire acondicionado tienda	AB	220	1	4900	1	4.90	22.3	#8	3/4"	50	2	Red eléctrica secundaria	Paneles solares	Banco de baterías
AA3	Aire acondicionado tienda	ABC	220	1	4900	1	4.90	22.3	#8	3/4"	50	2	Red eléctrica secundaria	Paneles solares	Banco de baterías
UCA	UCA: Condensadora de Vitrinas	ABC	220	1	5200	1	5.20	13.8	#8	3/4"	50	2	Banco de baterías	Red eléctrica secundaria	Paneles solares

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Cargas seleccionadas para el panel de distribución que estará conectado tanto a las baterías, paneles solares y red secundaria para suministrar de energía a las cargas fijas

Código	Carga	Tipo de carga	Potencia estimada (W)	Fuente 1: Baterías	Fuente 2: Solares	Fuente 3: Red secundaria
P01	Iluminación exterior y pasillos	Iluminación	600	✓	✓	✓
P02	Sistemas de control y automatización	Electrónica	500	✓	✓	✓
P03	Motores de bombeo	Mecánica	1200	✓	✓	✓
P04	Refrigeración	Refrigeración	5200	✓	✓	✓
P05	Aire acondicionado	Climatización	4900	✓	✓	✓
P06	Grupo de vitrinas	Refrigeración	1800	✓	✓	✓
P07	Congeladores industriales	Refrigeración	3600	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia

Esta configuración garantiza una alimentación ininterrumpida, minimiza pérdidas por conversión y maximiza el uso de energía renovable, alineándose con los objetivos de eficiencia energética del proyecto.

CAPÍTULO II - DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE BATERÍAS

2. Medición del sistema para el almacenamiento

2.1. Aspectos importantes para la selección de la batería y almacenamiento

Cuando se trata de sistemas híbridos fotovoltaicos, hay una verdad que conviene no olvidar: producir energía es solo la mitad del desafío; la otra mitad es saber conservarla para cuando más hace falta. Ahí entra en escena, sin fanfarria pero con un protagonismo indiscutible, el sistema de almacenamiento. Sin él, un día soleado puede ser un derroche inútil y una noche nublada, una amenaza.

El almacenamiento, entonces, no es un accesorio: es el garante de continuidad. Su correcta dimensionación —ese cálculo fino que traduce necesidades en capacidad real— es lo que permite que las cargas críticas (como el frigorífico, el router o el corazón eléctrico de una casa) sigan funcionando cuando el sol decide esconderse o la red eléctrica tiene uno de sus frecuentes ataques de pánico.

Ahora bien, no basta con tener baterías. Hay que saber elegir las con inteligencia, y en este punto el voltaje nominal se convierte en un parámetro decisivo. Este valor no se escoge al azar ni por intuición: depende tanto del tipo de inversor como de la tensión de la red eléctrica con la que se desea trabajar. Y aquí es donde este proyecto toma una forma concreta: una red de 220 V y una elección sensata de baterías de 48 V.

¿Por qué 48 V? Esto se debe al punto dulce entre los parámetros de eficiencia, seguridad y compatibilidad. En otras palabras, son lo suficientemente comunes como para facilitar repuestos

y configuraciones, y lo bastante robustas como para soportar sin drama las exigencias de un inversor híbrido moderno. Elegir 48 V no es innovador, pero sí sensato. Y a veces, en ingeniería, la sensatez vale más que la originalidad.

El siguiente paso es más químico que filosófico. Para obtener esos 48 V con baterías de litio tipo LiFePO₄ —fosfato de hierro y litio, una tecnología estable, segura y con buena vida útil—, hay que ensamblar 15 celdas en serie. Cada una entrega un voltaje nominal de 3.2 V, y juntas, como si fueran eslabones de una cadena energética, suman la tensión necesaria:

$$\text{Voltaje total} = 3.2 \text{ V/celda} \times 15 \text{ celdas} = 48 \text{ V}$$

Este arreglo garantiza la compatibilidad con el inversor y permite un diseño modular y eficiente, es tan simple como efectivo. Un sistema listo para almacenar el sol, conservarlo y devolverlo cuando se vuelve más valioso: en los momentos de ausencia. Una paradoja luminosa: el componente más silencioso del sistema es, muchas veces, el que más ruido evita., este sistema está adaptado a los requerimientos energéticos de la línea 2 del área de envasado.

2.2. Cálculo de la capacidad del almacenamiento de la batería.

El cálculo de la capacidad del sistema de almacenamiento se basa en los siguientes elementos:

- Análisis del perfil de carga diaria.
- Determinación del tiempo de respaldo requerido.
- Profundidad de descarga máxima permitida por el fabricante.

- Eficiencia del inversor y del propio sistema de baterías.

Dentro de este estudio se ha empleado un modelo para calcular el consume promedio diario, las pérdidas del Sistema, criterio de autonomía deseado y la capacidad energética total necesaria del banco de baterías.

Desde la perspectiva del proyecto, la batería tiene la capacidad de distribuir una carga constante de 8 kW durante un período tiempo de 4 horas y 30 minutos, en un rango horario (de 10:30 a.m. a 3:00 p.m.), la energía total requerida (E) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

$$E = 8 \text{ kW} \times 4.5 \text{ horas} = 36 \text{ kWh}$$

Esto nos da entender que el banco de baterías necesita tener una capacidad energética mínima de 36 kWh para cubrir este período de demanda. Sin embargo, considerando factores como la profundidad de descarga (DoD), la eficiencia del inversor y posibles pérdidas en el sistema, se debe realizar un ajuste sobre este valor.

Por ejemplo, si se utiliza un DoD del 80 % y una eficiencia del sistema del 90 %, la capacidad ajustada sería:

$$\text{Capacidad requerida} = 36 \text{ kWh} / (0.80 \times 0.90) \approx 50 \text{ kWh}$$

Este valor sirve como base para seleccionar tanto el número de módulos de baterías como su capacidad individual, asegurando así el suministro energético requerido durante el tiempo

estimado de operación sin aporte solar o de red.

Formula 4. Modelo de Energía requerida

$$\text{Energía requerida} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

$$\text{Energía requerida} = 7.824 \text{ kW} \times 4.5 \text{ h} = 35.208 \text{ kWh} \cong 36 \text{ kWh}$$

Para una selección adecuada de las baterías en aplicaciones industriales como la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional, se debe considerar los siguientes criterios técnicos:

- La capacidad nominal en (Ah/kWh) de la batería es fundamental para energizar los tiempos de respaldo, garantizando un suministro continuo.
- Debe ser capaz de soportar múltiples ciclos diarios y ofrecer una vida útil mínima de 10 años para asegurar un desempeño confiable
- Escoger bien el inversor y que sea compatible con las baterías, esto ayuda a asegurar una carga correcta de gestión y comunicación entre el sistema de comunicación de batería (BMS), lo que optimiza el funcionamiento global del sistema.

Figura 6. Modelo de Lithium Battery, 51.2 V-200 Ah-10.24 KWh con celdas LiFePO4



Fuente: Empresa Sail Solar, s.f.-a

Dado que el sistema requiere una capacidad ajustada de aproximadamente 50 kWh, se propone la instalación de 5 unidades de estas baterías. Esto proporcionaría un total de:

$$5 \text{ baterías} \times 10.24 \text{ kWh} = 51.2 \text{ kWh}$$

Este valor cubre holgadamente la demanda de 36 kWh e incorpora la reserva necesaria para no superar el Depth of Discharge (DoD) recomendado del 80 %. Así se garantiza una operación segura y prolongada del sistema de almacenamiento.

3. Profundidad de descarga (DoD): se consideran valores de descarga segura (80%-90%) sin comprometer la durabilidad del banco.

4. Ciclos de vida: la batería debe soportar múltiples ciclos diarios con una vida útil mínima de 10 años.

5. Compatibilidad con el inversor: es crucial garantizar una correcta comunicación entre el sistema de gestión de batería (BMS) y el inversor híbrido.

6. Condiciones de operación: resistencia a altas temperaturas, humedad y vibraciones presentes en ambientes industriales.

La correcta selección de baterías permitirá optimizar el desempeño energético del sistema, minimizando costos operativos y maximizando la vida útil de los equipos.

CAPÍTULO III - TIPO DE INVERSOR Y PÉRDIDAS

3. Inversor y estimación de pérdidas de conversión dentro del sistema.

Dentro del diseño existe un factor muy importante para recordar, es que, en los sistemas híbridos fotovoltaico, el inversor cumple un rol clave al convertir la energía de corriente continua (DC) generada por los paneles solares y almacenados en las baterías, en energía de corriente alterna (AC), y esta es utilizable por las cargas industriales. Ahora a todo esto existe una desventaja, y es que, este proceso no es 100 % eficiente, esto conlleva pérdidas que deben ser consideradas en el dimensionamiento global del sistema.

Es por esta razón que, para esta investigación se ha seleccionado un inversor híbrido de tipo bidireccional, que permite operar de forma sincronizada con la red eléctrica, el banco de baterías y el campo fotovoltaico. Se pudo observar que la ficha técnica del modelo propuesto, su eficiencia máxima es de 96 %, lo cual implica pérdidas de conversión del orden del 4 %.

Estas pérdidas afectan tanto la carga como la descarga del sistema de baterías en una mínima porción, así como el suministro directo desde los paneles solares. En consecuencia, se requiere compensar esta pérdida adicional durante el dimensionamiento energético.

Figura 7. *Modelo de Inversor híbrido Sail Solar, modelo THOR, conexión Split Phase 10 kW*



Fuente: Empresa Sail Solar, s.f.-b

Estas pérdidas afectan tanto la carga como la descarga del sistema de baterías, así como el suministro directo desde los paneles solares. Por esta razón, se ha optado por integrar un inversor híbrido con un voltaje nominal de 48 V y una eficiencia del 95 %, que se adapta perfectamente al banco de baterías LiFePO₄ seleccionado. Es importante recordar que, el inversor puede gestionar potencias de hasta 10 kW, de esta forma cubre tranquilamente la demanda de 8 kW proyectada durante el horario pico de consumo de 4 horas y 30 minutos.

Además, el inversor cuenta con funcionalidades inteligentes que optimizan el uso de la energía, como comunicación RS485 y CAN para monitoreo y control eficiente (PCM, 2021), y protección IP65 que garantiza su durabilidad en entornos industriales exigentes como el clima de Guayaquil (Berrade, 2024). Estas características lo convierten en una opción robusta, confiable y eficiente para el contexto de este proyecto industrial.

3.1. Configuración del inversor, aspectos a considerar.

Es importante considerar que para cumplir con los requerimientos específicos que pide el estudio, el inversor debe configurarse correctamente y considerar con que funcionalidades inteligentes optimiza el uso de la energía, como la comunicación RS485 y CAN para monitoreo y control eficiente (PCM, 2021), y protección IP65 para entornos industriales como el clima de Guayaquil (Berrade, 2024), la configuración se de la siguiente manera:

- Durante la hora de máxima demanda (10:30 a.m. - 3:00 p.m.):

Se da prioridad a la conversión simultánea de energía CC desde los paneles solares y las baterías hacia energía CA para alimentar las cargas.

Mediante la contribución solar se compensa las pérdidas de energía del sistema.

- Fuera del periodo de máxima demanda:

Permitir el paso directo de la energía de la red hacia las cargas.

Cargar las baterías entre las 22:00 y las 08:00 del día siguiente utilizando energía de la red.

El modelo seleccionado (Sail Solar, serie SEI UP) permite configurar estos modos de operación mediante su interfaz digital y funciones de programación horaria. La programación detallada y su validación técnica se pueden consultar en el Manual de Usuario disponible en el ANEXO A (Sail Solar, 2025).

3.1.1. Modos de operación del sistema

El inversor propuesto consta de múltiples modos de operación, estos pueden ser programados según la estrategia de gestión energética definida para el sistema fotovoltaico. Entre los principales modos se encuentran:

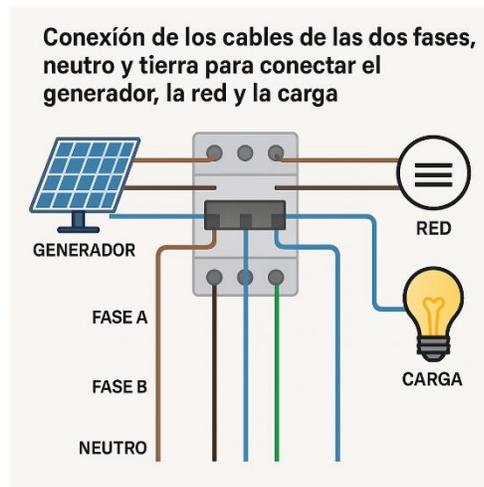
- Modo de prioridad solar: este modo se utiliza para dar prioridad al uso de energía generada por los paneles solares para abastecer las cargas, utilizando las baterías solo cuando la generación es insuficiente.
- Modo de respaldo con las baterías: está diseñado para los cortes de la red o baja irradiación, de esta forma se activa el banco de baterías como fuente principal del sistema.
- Modo de carga optimizada: su función es hacer que el inversor gestione automáticamente

la carga de baterías durante horarios con menor tarifa eléctrica (en caso de tarifas horarias diferenciadas).

- Modo mixto o balanceado: Esta función se la utiliza simultáneamente con la energía solar, de baterías y de la red para asegurar un suministro continuo y eficiente.

Todos estos modos pueden ser ajustados mediante la interfaz del inversor, de esta forma permiten la programación horaria, la priorización de fuentes y la supervisión del flujo energético. En conclusión al ver mayor versatilidad en el sistema, la eficiencia energética hace que se prolongue la vida útil de las baterías y evita ciclos de descarga innecesarios en el sistema.

Figura 8. *Gestión del flujo de energía del inversor, Modo de conexión.*

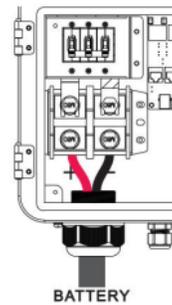


Fuente: Elaboración Propia

Observamos desde la figura 8 y 9 los modos que pueden ser ajustados mediante la interfaz del inversor, permitiendo la programación horaria dentro de la red, esto permite la priorización de fuentes y la supervisión del flujo energético. En la figura 9 también se muestra un esquema que

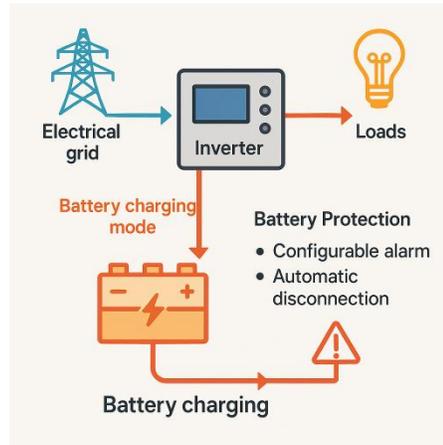
representa la gestión del flujo energético del inversor. Esto también le permite al inversor durante las horas pico (de 10:30 a.m. a 3:00 p.m.), distribuir desde los paneles solares y las baterías hacia las cargas. Fuera de ese horario, la red eléctrica suministra energía a las cargas, alimentando el sistema y, al mismo tiempo, cargando las baterías para su uso nocturno, demostrando eficiencia y optimización de carga.

Figura 9. Cables positivo y negativo de la batería a los respectivos terminales del inversor para el modo de Conexión al sistema



Fuente: Empresa Sail Solar, 2025

Figura 10. Modo de Conexión al sistema



Fuente: Elaboración Propia

Observamos en la figura 10, una interfaz principal del inversor híbrido, esta nos muestra una visualización clara y detallada del estado operativo de los diferentes componentes conectados, como son: Baterías, la red eléctrica, paneles solares, y la carga del sistema, aporta en darnos datos visuales en la pantalla táctil e intuitiva, algo novedoso es que puede supervisar de manera en tiempo real la energía que producen los paneles solares, los niveles de carga y rendimiento.

Figura 11. *Modo Display del panel principal del inversor.*



Fuente: Empresa Sail Solar,

A continuación se presenta un breve concepto de los íconos que conforman la interfaz principal del inversor, los cuales brindan información clave sobre el estado y funcionamiento del sistema:

- **Modo del Panel Solar:** En este ícono se indica la energía que están generando los paneles solares, visualizando en vatios la potencia producida en tiempo real.
- **Modo de la Batería:** Está representado de forma vertical, visualiza el nivel de carga de las baterías, señalando cuánta es la energía almacenada y si también indica si está listas para suministrar energía al sistema.

- Modo de Página Principal: Es un ícono identificado con forma de casa, permite acceder a la pantalla principal del inversor, donde se visualizan todos los parámetros y el estado del sistema en tiempo real.
- Modo Historial: en este punto, se muestra el histórico sobre el desempeño del equipo a lo largo del tiempo, incluyendo información sobre su rendimiento y eficiencia, se observa un histograma completo en la pantalla sobre su rendimiento y eficiencia.
- Modo Configuración: da acceso a los ajustes del inversor relacionados con la configuración del sistema, modos de operación, gestión de carga y otros aspectos técnicos relevantes para el funcionamiento del sistema , es representado y visualizado por una rueda dentada,.
- Modo Hora Local: facilitando la sincronización de todos los registros de datos con el tiempo real. Permite Mostrar la hora local en el formato seleccionado.
- Modo Red (símbolo de torre de transmisión): Es aquella que indica la conexión con la red eléctrica, señalando si el inversor está receptando energía de la red o si está transmitiendo energía desde las baterías hacia la red externa.
- En tiempo real el de Modo Carga (símbolo de casa), facilita la muestra de la potencia consumida por el usuario, es una información útil para monitorear el consumo energético.

- El ícono modo Inversor activado (símbolo de función senoidal), confirma que el inversor está funcionando de manera correcta, bien sea suministrando o recibiendo energía desde las baterías al sistema completo.
- Sentido de la energía (íconos de flechas): Estas representan el flujo y la dirección de la potencia en tiempo real dentro del sistema eléctrico.

3.1.2. Programación de franjas horarias desde el inversor.

El inversor empleado para este proyecto, cuenta con una función para programar la carga y descarga según las franjas horarias de la empresa Cervecería Nacional, la cual es fundamental para su correcto funcionamiento. En esta función observaremos que, se establece automáticamente un intervalo de descarga de las baterías en el horario de 10:30 a.m. hasta las 3:00 p.m., en este periodo también se aprovechará la energía solar fotovoltaica para el funcionamiento del área. Fuera de este rango de horario, habrá una pausa, y a partir de las 10:00 p.m. se comenzará la carga de las baterías, beneficiándose la empresa de tarifas eléctricas reducidas en ese rango horario. De esta forma los 8 kW de demanda se trasladarán a los momentos de optimización y menor consumo en el área número 2 de la Cervecería.

Figura 12. Modo Interfaz para la configuración de ajustes según franjas horarias del inversor



Fuente: Empresa, Sail Solar, 2025

Observamos que en la interfaz del inversor, la función de Peak Shaving brinda al usuario la posibilidad de ajustar diversas configuraciones, lo que facilita la personalización de los ciclos de carga y descarga según las necesidades energéticas específicas. A continuación, se detallan los parámetros que pueden ser modificados en esta sección:

1. Time Charging/Discharging Enable:

- Este parámetro posibilita activar o desactivar la función de recargas y descargas basadas en horarios específicos. Al activarla, el sistema se ajusta para ejecutar cargas y descargas programadas conforme al calendario establecido.

2. Start/End Time:

Este parámetro permite determinar el período durante el cual las cargas y descargas programadas estarán en funcionamiento. Los usuarios tienen la posibilidad de configurar la hora de inicio y de finalización para que el inversor lleve a cabo estas actividades, lo que facilita al usuario ajustar la gestión energética según las demandas particulares de consumo de la tienda.

- Para la función de carga programada (Timed charging enable) en este proyecto, se configurarán los siguientes horarios:

Hora de inicio: 22:00

Hora de fin: 08:00

- Para la función de descarga programada (Timed discharging enable), se utilizarán los siguientes valores:

Hora de inicio: 10:30

Hora de finalización: 15:00

Uno de los aspectos claves en la gestión eficiente del banco de baterías es el ajuste de ciertos parámetros que regulan su comportamiento operativo. Entre ellos se encuentra el porcentaje máximo de carga, el voltaje permitido durante el proceso de carga y descarga, Es importante considerar la potencia límite para ambos casos. Estos valores deben configurarse según las recomendaciones del fabricante, que pueden variar en función del tipo de batería, su calidad, el uso previsto y las condiciones ambientales (Battle Born, 2022).

1. Porcentaje máximo de carga (Stop SOC)

Este parámetro determina hasta qué nivel se puede cargar una batería. Al fijar un tope, se evita que se sobrecargue, lo cual podría reducir su rendimiento o provocar fallos.

- En condiciones normales, el sistema permite una carga total:
Stop SOC: 100 %
- Cuando se activa la descarga programada (*Timed Discharging Enable*), se establece un mínimo para evitar que la batería se descargue por completo:
Stop SOC: 20 %

2. Límites de voltaje en carga y descarga (Stop Volt).

Se corre el riesgo de dañarla si los valores máximos y mínimos de voltaje no se respetan y no se le regula límites:

- Durante la carga (*Timed Charging Enable*), se fija un tope para evitar sobrecargas:
Stop Volt: 59.0 V

- Durante la descarga (*Timed Discharging Enable*), se establece un mínimo para proteger la batería:

Stop Volt: 54.0 V.

3. Potencia máxima permitida (Max Power).

Al poder controlar estos valores, se previenen picos de potencia que podrían forzar al sistema o acortar la vida útil de las baterías.

- Este sencillo ajuste regula cuánta energía puede recibir o entregar la batería en un momento dado. En la fase de carga (*Timed Charging Enable*), se limita la entrada a:

Max Power: 4 kW

- En la fase de descarga (*Timed Discharging Enable*), se permite una entrega máxima de:

Max Power: 8 kW

Estos parámetros dentro del proceso cotidiano, no solo protegen el sistema, sino que también ayudan a extender la duración de las baterías, por ende a reducir riesgos operativos y garantizar que la energía se gestione de forma más estable y eficiente.

Si por A o B motivo la batería se descarga durante 4.5 horas con una demanda de 8 kW, al establecer una potencia de carga de 4 kW, el tiempo necesario para recargarla sería aproximadamente el doble, es decir, 9 horas. Por lo tanto, el tiempo de carga fijado en 10 horas resulta suficiente para cargar completamente la batería, incluso tomando en cuenta las pérdidas que se evaluarán posteriormente.

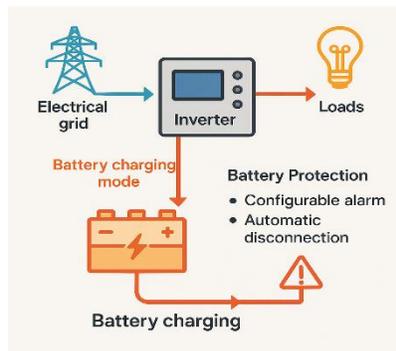
3.1.3. Parámetros de gestión de la batería

En este estudio el inversor seleccionado para la alimentación de energía desde la red eléctrica ofrece diferentes modos de carga, siendo especialmente útil la opción que permite cargar las baterías mientras se suministra energía a las cargas.

Además, observaremos que existen configuraciones (que se detallarán más adelante) diseñadas para proteger la batería y prolongar su vida útil, controlando parámetros como la corriente máxima de carga, los voltajes mínimos de descarga, entre otros. Estos parámetros primero generan una alarma configurable y, posteriormente, pueden activar una desconexión automática.

Todas estas medidas contribuyen significativamente a aumentar la durabilidad de las baterías, las cuales, como se explicará más adelante, representan uno de los componentes más costosos dentro del sistema planteado en este proyecto.

Figura 13. *Modo de la Interfaz para la configuración de gestión de las baterías*



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los ajustes específicos de Peak Shaving, siempre considerando una configuración de 15 celdas en serie para el control y la protección de baterías, se los ejecutará utilizando los ajustes de acuerdo a los parámetros principales ajustados al:

- Voltaje máximo de carga (54.0 V): se fija como límite seguro, este es el punto más alto que puede alcanzar la batería durante la carga. Superar este valor podría dañarla.
- Voltaje de reinicio de carga (50.4 V): en este punto se mantiene un ciclo de carga estable. Una vez que la batería deja de cargarse, este valor indica cuándo debe volver a cargarse nuevamente.
- Corriente máxima para detener la carga (16.24 A por batería): este ajuste garantiza que la corriente no supere lo recomendable y protege a cada batería de sobreesfuerzos, se calculó a partir de la potencia máxima de carga (4 kW), considerando también el rendimiento del inversor.
- Corriente máxima total de carga (200 A): evita que se acumulen excesos de corriente que reduzcan su vida útil. Este valor limita la carga que puede recibir el conjunto completo de baterías.
- Alarma por bajo voltaje (46.4 V): ayuda a prevenir daños, si el voltaje baja demasiado, esta alerta se activa para advertir al sistema de un posible problema.
- Recuperación tras falla de voltaje (45.6 V): este parámetro indica el punto desde el cual puede reiniciar su operación de forma segura si el sistema detecta que el voltaje fue muy bajo.
- Fallo por voltaje crítico (43.6 V): Este valor indica que el voltaje ha caído a un nivel muy peligroso. En ese caso, el sistema detiene la operación para proteger las baterías.

Estos valores no solo aseguran un funcionamiento eficiente del sistema, sino que también protegen las baterías y alargan su vida útil, adaptándose a las condiciones reales de operación.

3.2. ¿Cuál es el número de baterías a usar en el sistema según la Ley de Peukert?

Para obtener una cifra estimada, se precisa de la capacidad y el número de baterías requeridas para suministrar los 7.82 kW durante 4.5 horas, para esto, se tomó a consideración la Ley de Peukert, como se muestra en la Ecuación 2. Se observa que este método permite ajustar los valores nominales proporcionados por el fabricante a las condiciones reales de operación de las baterías.

Tenemos en orden los siguientes datos:

$$V_{nom AC} = 240V$$

$$P_{total} = 7824 W$$

$$FP = 0.9$$

$$\eta_{inv} = 95\%$$

$$V_{inv} = 48V$$

$$C_{nom} = 200Ah$$

$$DoD = 80\%$$

$$Tiempo de descarga deseado = 4.5h$$

$$Exponente de Peukert(k) = 1.05 (asumido)$$

$$C_{rate nom} = \frac{1}{20} (asumido)$$

Por ende:

$V_{nom AC}$: Voltaje nominal del sistema en AC.

P_{total} : Potencia de la carga.

FP : Factor de Potencia

η_{inv} : Eficiencia del inversor

V_{inv} : Voltaje nominal de entrada en DC del Inversor

C_{nom} : Capacidad nominal de las baterías (dada por el fabricante)

DoD : Profundidad máxima de descarga en porcentaje

$C_{rate\ nom}$: Tasa de descarga con la que el fabricante asegura que podemos obtener la capacidad nominal de la batería

Para baterías de litio, se considera que el exponente de Peukert debe ser mayor que 1. Por ello, se recomienda utilizar un valor dentro del rango de **1,00 a 1,06**, siendo este intervalo el más adecuado para representar su comportamiento en condiciones reales (Battle Born, 2022). En este análisis, se adopta un valor de **k = 1,05** como referencia técnica.

En cuanto a la tasa de descarga o **C-rate**, dado que el fabricante no proporciona un valor específico, se recurre a una descarga lenta estándar de **C/20**, la cual es comúnmente utilizada en ensayos de rendimiento. Esto se debe a que, aunque se indica la capacidad nominal de la batería, no se especifica una tasa precisa de descarga bajo operación real.

Para estimar la **capacidad real de descarga**, se aplica la Ley de Peukert, partiendo de su forma clásica, ley de Peukert $C_{nom} = I^k \times t$, y reorganizándola de acuerdo con la siguiente expresión:

Fórmula 5. Forma de cálculo según la Ley de Peukert

$$C_{real} = \frac{C_{nom}}{I^{k-1}}$$

Constante Real (C_{real}) de Peukert

Luego seguimos con encontrar la potencia aparente (S) porque el sistema requiere de corriente alterna (AC):

Formula 6. *¿Cómo se Calcula la potencia aparente Sistema?*

$$S = \frac{P_{total}}{FP} = \frac{7824W}{0.9} = 8693.33 VA$$

En esta ecuación se establece que la potencia en corriente continua (DC) requerida por el banco de baterías considera una eficiencia del inversor del 95 %. Este valor se obtiene al relacionar la potencia aparente generada por el sistema —teniendo en cuenta que el inversor puede inyectar tanto potencia activa como reactiva— con el rendimiento del propio inversor. La expresión matemática correspondiente se presenta a continuación:

Formula 7. *Modo Cálculo de la potencia DC*

$$P_{DC} = \frac{S}{\eta_{inv}} = \frac{8693.33 VA}{0.95} = 9150.87 W$$

Paso para calcular la corriente total DC que necesita el banco de baterías sería:

Formula 8. *corriente DC*

$$I_{DC} = \frac{P_{DC}}{V_{DC}} = \frac{9150.87 W}{48 V} = 190.64 A$$

Se determina la capacidad total requerida del banco de baterías para asegurar el suministro de energía durante un período de 4,5 horas, tomando en cuenta una profundidad de descarga (DoD) del 80 %.

Formula 9. *Modo de Cálculo de la capacidad total del Banco de pruebas*

$$C_{total} = \frac{I_{DC} \times tiempo}{DoD} = \frac{190.64 A \times 4.5 h}{0.8} = 1072.35 Ah$$

Observemos cual sería la cantidad de baterías necesarias para el sistema serían:

Formula 10. *Modo del Cálculo del número de baterías*

$$\text{Número de baterías} = \frac{C_{total}}{C_{nom}} = \frac{1072.35 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah/batería}} = 5.36 \text{ baterías}$$

$$\approx 6 \text{ baterías}$$

Como siguiente paso, se procede a verificar el comportamiento del banco de seis baterías aplicando la Ley de Peukert, tomando en cuenta la corriente individual que circula por cada una de ellas.

Formula11. *Corriente por batería*

$$\text{Corriente por batería} = \frac{I_{DC}}{\text{No. de baterías}} = 190.64 \text{ A}/6 = 31.77 \text{ A}$$

Siguiente paso: la constante de Peukert (C_{real}), se obtendríamos usando la ecuación anterior modificada:

Formula 12. Según ecuación de Peukert Tenemos la corriente nominal (nom)

$$I_n = \frac{C_{nom}}{t_{nom}} = \frac{C_{nom}}{20 \text{ h}} = \frac{200 \text{ Ah}}{20 \text{ h}} = 10 \text{ A}; \text{ Asumiendo } C_{rate} = \frac{1}{20}$$

$$C_{real} = \frac{C_{nom}}{I^{k-1}}$$

$$C_{real} = \frac{200 \text{ Ah}}{10^{1.05-1}} = 178.25 \text{ Ah}(h)^{0.05}$$

Ley de Peukert:

$$C_{real} = I^k \times t_{real}$$

$$178.25 = 31.77^{1.05} \times t_{real}$$

$$t_{real} = \frac{178.25}{31.77^{1.05}} = 4.72 \text{ h}$$

El tiempo estimado de descarga por batería resultó ser de 4,72 horas, lo cual supera

ligeramente el requerimiento mínimo de 4,5 horas. Esto indica que un banco conformado por seis baterías resulta adecuado e incluso ofrece un margen adicional para asegurar el suministro de energía al sistema.

CAPÍTULO IV – CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico - consideraciones importantes.

4.1. Irradiación en la ciudad de Guayaquil

Considerar la irradiación solar promedio diaria de Guayaquil, tomando de referencia el Aeropuerto de Guayaquil, Ecuador, utilizando el software Meteonorm, nos ayuda, ya que es el punto más cercano a una estación meteorológica oficial. El software Meteonorm logra recopilar datos de irradiación solar desde 1999 hasta 2019 y permite obtener los valores promedio mensuales y diarios para la ubicación seleccionada.

Tabla 5. *Modo de Consideraciones de la Irradiación solar global promedio por mes y por día.*

Mes	Irradiación Solar Promedio Mensual	Irradiación Solar Promedio Diario
Enero	200	6.45
Febrero	190	6.75
Marzo	210	6.75
Abril	190	6.33
Mayo	170	5.48
Junio	160	5.33
Julio	160	5.16
Agosto	170	5.48
Septiembre	180	6.00
Octubre	190	6.13
Noviembre	190	6.33
Diciembre	200	6.45

Fuente: Meterotest, s.f.

Dado que Guayaquil está situado en el hemisferio sur, es fundamental orientar los paneles solares hacia el norte para maximizar la captación de irradiación solar a lo largo del año. Esta orientación garantiza que los paneles reciban la mayor cantidad de energía posible, optimizando así su desempeño.

4.2. Irradiación solar de la zona geográfica

El sistemas fotovoltaicos se manejan con un máximo de irradiación de hasta 1000 W/m², Aunque en condiciones reales rara vez se alcanza dicho nivel de irradiación, esto es por el clima y otros factores de variación de horarios en el día, sin embargo este parámetro, se considera una base aceptable para el análisis técnico, ya que permite evaluar de manera uniforme la eficiencia y la potencia de los módulos en el proceso de dimensionamiento del sistemas. Estas condiciones de prueba estándar (STC), dentro de un valor de irradiación máxima de hasta 1000 W/m² bien puede usarse como referencia para la ciudad de Guayaquil. Este valor, es reconocido internacionalmente, y se utiliza para estimar el rendimiento ideal de los paneles solares (Alonso, 2024).

4.3. Ángulo óptimo de inclinación de los paneles ¿Por qué es importante?

Para entender de mejor forma el desarrollo de este estudio, se ha considerado el método propuesto por Espinoza Meza (2021) para calcular el ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares. Se trata de una metodología práctica y comprobada, cuyos resultados fueron especialmente efectivos en la región de Piura, Perú. Dada su solidez técnica y su aplicabilidad en zonas de características climáticas similares, este enfoque ha sido ajustado y aplicado a las condiciones particulares de Guayaquil, Ecuador, como parte del análisis realizado en este estudio.

Fórmula básica más común (para generación anual promedio):

$$\beta = \phi \pm 10$$

Donde:

- β : Ángulo de inclinación óptimo (en grados)
- ϕ : Latitud del lugar (en grados)
- **+10** si se quiere optimizar para invierno (más vertical)
- **-10** si se quiere optimizar para verano (más inclinado)

4.4. Para el caso del proyecto en Cervecería Nacional (Guayaquil):

- **Ubicación:** Guayaquil, Ecuador
- **Latitud aproximada:** $\phi \approx -2.196^\circ$ (sur)

Aplicando la fórmula:

Si deseas optimizar el sistema para los meses con menor irradiación solar diaria (como junio o julio), conviene usar el ajuste para invierno:

$$\beta = \phi + 10 = -2.196 + 10 = 7.8^\circ$$

4.5. Modo del Cálculo del suministro de energía que deben entregar al año los paneles.

Para lograr el dimensionamiento de todos los paneles, vamos a necesitar obtener las pérdidas de energías totales del sistema, la eficiencia del inversor y las pérdidas adicionales como son: las ambientales, los ruidos, la temperatura, entre otras. La fórmula para este modo de cálculo es:

Formula 13. Modo de Cálculo de la eficiencia total

η_B : eficiencia de las baterías (96%)

η_i : eficiencia del inversor (95%)

η_p : eficiencia debido a otras pérdidas (95%)

$$\eta_T = \eta_B \times \eta_i \times \eta_p = 0.96 \times 0.95 \times 0.95 = 0.8664$$

Para lograr obtener la energía suministrada, utilizaremos la potencia de carga, con la que se pretende dar servicio durante el tiempo de descarga.

Formula14. *Modo del Cálculo de la energía total suministrada en corriente alterna (AC)*

$$E_{total\ AC} = 7.824kW \times tiempo$$

$$E_{total\ AC} = 7,824kW \times 4.5h = 35.21\ kWh$$

Para lograr calcular la energía que la red eléctrica que suministra al inversor, para cargar completamente las baterías, es necesario dividir la energía total requerida (35.21 kWh) entre la eficiencia global del sistema (0.8664). De esta forma se logra determinar la cantidad de energía que los paneles solares deben generar diariamente para compensar las pérdidas de conversión en los inversores y las baterías para una eficiente función y distribución de energía.

Formula 15. *Modo del Cálculo de suministro de energía de los paneles para sustituir las pérdidas de conversión de energía entre el inversor y batería.*

$$E_{paneles} = E_{carga} - E_{descarga}$$

Formula 16. *Cálculo de la energía de carga de un banco de baterías en función de la eficiencia del inversor*

$$E_{carga} = \frac{E_{descarga}}{\eta_T} = \frac{35.21\ kWh}{0.8664} = 40.64\ kWh$$

$$E_{paneles}(diaria) = 40.64kWh - 35.21kWh = 5.43kWh/día$$

Formula 17. *Modo del Cálculo de la energía que entregan mensualmente los paneles*

$$E_{paneles}(mensual) = 5.43kWh/día \times 30\ días/mes = 162.9kWh/mes$$

De acuerdo con lo planteado en el estudio previo de Espinoza Meza (2021), para calcular la potencia máxima que el sistema fotovoltaico debe generar diariamente y así cubrir las pérdidas durante los meses con menor irradiación —es decir, en las condiciones más adversas— se consideran varios factores. Entre ellos están la eficiencia del inversor, que es del 95%, un factor de diseño basado en una irradiancia solar máxima estándar de 4.2 (equivalente a 1 kW/m²), un factor de seguridad de 1.2 y el mes con la menor irradiación global corregida por el ángulo óptimo de inclinación, que corresponde a octubre con un valor de 3.59 kWh/m² por día. Todos estos elementos se integran en la siguiente ecuación:

Formula 18. *Forma del Cálculo de la P_{máx}(Potencia Maxima) del sistema fotovoltaico.*

$$P_{máx} = \frac{E_{paneles} \times Irradiancia\ Solar\ Máx \times Factor\ de\ Seguridad}{Eficiencia\ del\ Inversor \times Irradiación\ Prom\ mensual\ mín}$$

$$P_{máx} = \frac{5.43 \times 1 \times 1.2}{0.95 \times 3.59} \cong 1.91kW$$

4.6. ¿Cómo se calcula la cantidad de módulos?

El número de módulos se calcula dividiendo la potencia máxima necesaria para los paneles entre la potencia máxima de cada módulo, conforme a las especificaciones del fabricante. En este estudio, se eligieron módulos de 590W de la marca Sail Solar, modelo SAS590N-144M10.

Figura 14. *Visualización del módulo de panel bifacial monocristalino 590W (Sail Solar).*



Fuente: Empresa Sail Solar, s.f.-c

Tenemos, la cantidad de los módulos a usar serian:

Formula 19. *Modo para la medición de la cantidad de módulos*

$$\text{Cantidad módulos} = \frac{P_{\text{máx a generar}}}{P_{\text{máx paneles}}} = \frac{1.91kW}{590W} = 3.23$$
$$\cong 4 \text{ paneles}$$

CAPÍTULO V – ANÁLISIS, VALORES Y GASTOS DEL PROYECTO

5. Análisis de los valores

5.1. Valores del sistema híbrido

En Este estudio a nivel técnico-económico se evalúa la viabilidad de poder implementar un **sistema de generación de energía fotovoltaica** para la **Línea 2 del área de envasado de la empresa Cervecería Nacional**, con el objetivo de:

- Reducir significativamente los costos asociados al consumo energético durante horas pico,
- Disminuir notablemente la huella de carbono de la operación,
- Y lograr avanzar hacia un modelo de producción más resiliente, sostenible y funcional en sintonía con los lineamientos globales y nacionales en materia de transición energética.

Aprovechando los **altos niveles de irradiación solar** en la región y las ventajas regulatorias actuales (como el arancel 0% para componentes solares según la RESOLUCIÓN No. 011-2024 de COMEX), el sistema propuesto está compuesto por los siguientes elementos clave:

- **Paneles solares** con una **capacidad estimada de 100 kWp**,
- **Inversores híbridos**, estructuras metálicas, cableado y conectores,
- **Baterías** para respaldo (configuración opcional para almacenamiento),
- Transporte internacional, seguros, logística portuaria y aduanera,
- Servicios profesionales: ingeniería de detalle, permisos eléctricos y ambientales, y
- Capacitación técnica para el personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema.

5.1.1. Costos de importación

A continuación, se muestra al detalle de los valores totales del proyecto, desde los valores para la importación de paneles, baterías e inversores, etc. Considerados desde la salida del puerto de Shenzhen hasta llegar al puerto de Guayaquil, en la tabla 7 se incluyen costos e impuestos.

Tabla 6. Inversión, operación y visión

CONCEPTO	MONTO (USD)
Costos de importación (sistema híbrido)	117,300
Suministro e instalación del transformador	32,000
Inversión Inicial Total	149,300

Fuente: Empresa Sail Solar, s.f.-d

Figura15. Cotización del proveedor para el proyecto e inversión total

CONCEPTO	DETALLE	ORIGEN / PUERTO	COSTO APROXIMADO
Paneles solares	100 kWp, paneles	Fábrica en Shenzhen,	58,000
Inversores	Fabricados en China	Shenzhen, China	19,000
Estructuras metálicas	Fabricadas en China	Shenzhen, China	7,500
Cableado y accesorios	China	Shenzhen, China	4,800
Baterías (opcional)	Importadas de China	Shenzhen, China	9,500
Transporte internacional	Flete marítimo desde Puerto de	Puerto Shenzhen	3,800
Aranceles e impuestos	Aduana Ecuador, impuestos de	Puerto Guayaquil	6,800
Seguros y gestión logística	Seguro de carga y manejo en	Shenzhen y Guayaquil	2,900
Ingeniería y diseño	Servicios locales para	Ecuador	3,000
Permisos y licencias	Trámites en Ecuador para	Ecuador	1,000
Capacitación técnica	Formación para operación y	Ecuador	1,000
Total estimado			117,300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Inversión en cifras: cuánto cuesta electrificar una decisión

Concepto	Descripción	Costo (USD)
Transformador eléctrico 37.5 kVA	Suministro del transformador	12,000
Alquiler de montacargas o grúa	Para montaje e instalación	2,000
Construcción del cuarto técnico	Obra civil (estructura 2m x 2m, losa superior)	6,000
Suministro de poste y accesorios	Poste, caja portafusibles, pararrayos, etc.	3,500
Materiales eléctricos	Cableado, tubo rígido, codos, grapas	2,500
Elaboración de cajas eléctricas	Cajas de 90 x 90 x 90 cm	1,500
Mano de obra eléctrica	Instalación, conexión y pruebas	3,000
Otros costos técnicos	Inspección, certificación, imprevistos	1,500
Total estimado		32,000

Fuente: Elaboración propia

A la hora de tomar decisiones energéticas, la técnica puede ser impecable y la lógica indiscutible, pero el número final siempre tiene la última palabra. Por eso, más allá de curvas de carga y eficiencia operativa, es necesario mirar de frente el costo de implementación real de cada solución.

La opción tradicional —la instalación de un transformador de 37.5 kVA en un cuarto técnico— tiene un costo total estimado de \$32,000, desglosado en una serie de componentes que van desde el suministro del transformador hasta las inspecciones finales:

Esta inversión, si bien significativa, ha demostrado ser estable en el tiempo. Durante los últimos dos años, los costos asociados a este tipo de obra no han sufrido variaciones importantes, lo que otorga a esta alternativa una cualidad muy valorada por las gerencias: previsibilidad.

En cambio, el sistema híbrido, si bien plantea una solución más flexible y con mayor potencial de expansión, está sometido a un entorno mucho más volátil. Su costo total (incluyendo

baterías, inversores y estructura solar) ronda los \$117,300, pero con una advertencia: los precios están sujetos a cambios derivados de políticas arancelarias y medidas fiscales sobre importación de tecnología renovable.

Este matiz no es menor. Dependiendo de decisiones gubernamentales —como incentivos a la energía limpia, exenciones arancelarias o nuevas regulaciones de conectividad— el sistema híbrido podría beneficiarse en el corto plazo o encarecerse inesperadamente. La sostenibilidad económica, en este caso, no depende solo de la ingeniería... sino también del clima político.

Así, mientras el transformador apuesta por la solidez de lo previsible, el sistema híbrido propone una estrategia más dinámica, en la que la incertidumbre puede jugar a favor o en contra, dependiendo de cómo sople el viento institucional.

Lo cierto es que ambos caminos tienen costos, beneficios, riesgos y tiempos distintos. Pero lo importante es que ahora —con esta investigación en la mano— Cervecería Nacional tiene no solo los datos técnicos, sino también el lenguaje financiero necesario para decidir con inteligencia estratégica.

Y eso, en un mundo donde la energía es tan volátil como esencial, ya es tener medio kilovatio de ventaja.

5.1.2. Costos Operativos y de Mantenimiento.

Detrás de cada decisión energética no solo hay voltios y eficiencia. También hay una

pregunta persistente, casi doméstica en su esencia: ¿cuánto cuesta mantener todo esto funcionando? Porque instalar es solo el primer capítulo; sostener es donde se escribe el verdadero relato de viabilidad.

En el caso del cuarto de transformadores, los costos operativos son relativamente previsibles. Consisten principalmente en el consumo continuo de energía desde la red —una dependencia fija que varía con las tarifas eléctricas— y en las tareas de mantenimiento preventivo: limpieza, revisión de aislamiento, pruebas de carga, lubricación de interruptores, entre otras. Son procedimientos conocidos, periódicos y, en su mayoría, externalizables.

Como cualquier batería, su capacidad de almacenamiento se degrada con el tiempo, lo que podría implicar reemplazos parciales o totales a mediano plazo. A esto se suma el mantenimiento del inversor, un dispositivo electrónico sensible que exige monitoreo y, eventualmente, actualización o sustitución. En este estudio, el sistema híbrido, tiene gastos operativos que de no ser tomados en cuenta puede dejar ineficiente el sistema, estos incluyen la limpieza y mantenimiento de los paneles solares, el cuidado del banco de baterías, que a pesar de estar diseñado con módulos de calidad, tiene una vida útil limitada.

Estos indicadores llamados gastos, no deben alarmar, sino simplemente ser parte del cálculo honesto y completo del sistema. La sostenibilidad de un sistema energético no depende solo de su eficiencia inicial, sino del ¿Cómo lo mantennos operativo? Para que este sea realmente rentable y adaptativo en el tiempo.

En otras palabras, más que elegir entre dos tecnologías, Cervecería Nacional está trazando una ecuación entre previsibilidad y evolución, entre costo fijo y flexibilidad. Una decisión que combina economía, logística y visión estratégica.

Y es que en el fondo, como ocurre con las mejores recetas cerveceras, la clave no está en el ingrediente más fuerte... sino en el equilibrio entre todos.

5.2. Beneficios y Limitaciones. Dos caminos, dos filosofías: lo tradicional contra lo híbrido

A la hora de tomar decisiones energéticas, hay opciones que se sienten como un regreso a lo conocido: confiables, robustas, casi indiscutibles. Tal es el caso de la instalación de un transformador de 37.5 kVA en un cuarto técnico dedicado. Es una solución probada hasta la saciedad, con una vida útil que puede superar los 15 años, y con la virtud de conectar la planta a la red de media tensión, lo que implica mayor estabilidad eléctrica, menos cortes, menos sobresaltos.

Pero esa solidez tiene un precio. Literal y figurado.

Como todo estudio, el proyecto nos lleva a considerar, que es fundamental no parar la producción, para esto se requiere tiempo, espacio y silencio operativo para la construcción de un cuarto de transformadores, una caja metálica de alta tensión en medio de un entorno pensado para seguir produciendo cerveza, no electricidad, y todo esto en menos dos semanas de ejecución, con el riesgo de detener temporalmente la línea de envasado. A eso se suma la complejidad logística:

coordinar contratistas, asegurar accesos, lidiar con restricciones sociales o comunitarias.

En cambio, el sistema híbrido propuesto se mueve con otra lógica: la de la integración suave, casi quirúrgica. No exige salas nuevas ni altera el corazón operativo de la planta. Sus baterías modulares y su inversor compacto pueden instalarse en espacios existentes —oficinas, cuartos eléctricos, junto al tablero principal—, con una instalación de bajo impacto, rápida y, sobre todo, sin interrumpir la producción. El sistema, al reducir el consumo durante los picos, también disminuye la presión sobre los alimentadores y el interruptor principal, lo que se traduce en menos calor, menos desgaste, más vida útil.

Además, su arquitectura abierta permite mirar hacia adelante: ampliar con más paneles solares, integrar nuevas tecnologías, adaptarse a la evolución del mercado energético. Es, en esencia, un sistema diseñado para mutar.

Eso sí: no todo brilla como un panel al mediodía. El sistema híbrido es tecnológicamente más joven, y como todo lo nuevo, viene con incertidumbres. Sus componentes electrónicos son más sensibles, menos tolerantes a eventos extremos como sobrecargas o cortocircuitos. En condiciones severas, podrían desconectarse automáticamente para protegerse... dejando sin suministro momentáneo a los equipos conectados. La durabilidad prometida por los fabricantes es optimista, pero la vida real —con calor, polvo y uso intensivo— aún está escribiéndose.

Lo interesante, sin embargo, no es ver cuál sistema es “mejor”, sino entender lo que cada uno representa:

El transformador es fuerza bruta, permanencia, continuidad casi mineral.

El sistema híbrido es inteligencia adaptativa, eficiencia distribuida, flexibilidad tecnológica.

Uno exige construir para resistir. El otro propone integrar para evolucionar.

Y en medio de esa disyuntiva, Cervecería Nacional se encuentra ante una oportunidad estratégica única: no solo elegir un sistema eléctrico, sino definir su filosofía energética para la próxima década.

CONCLUSIONES

- Para que un sistema funcione no basta con instalar tecnología: hay que entenderla, prever su comportamiento, y diseñarla como si fuera un organismo vivo. En ese sentido, uno de los puntos más notables de esta propuesta es la manera en que se abordó la incómoda, y a menudo subestimada, pregunta del almacenamiento.
- La Ley de Peukert está formulada para modelar el comportamiento real de las baterías bajo diferentes niveles de descarga, sin embargo, ¿Cuántas baterías deberían ser suficientes, sin caer en el exceso? No hay una respuesta exacta, sin embargo, sí hay una herramienta matemática para la utilidad presente, a esto puede existir una verdad algo amarga, y es que, cuanto más exigimos, menos nos dan. No es una debilidad, sino una advertencia, no se puede tratar a una batería como a una presa hidráulica. Tiene límites invisibles que solo se revelan con números finos.
- Gracias a este enfoque, el equipo logró dimensionar con precisión quirúrgica la cantidad de baterías necesarias para asegurar un suministro estable de 8 kW durante el periodo crítico, entre las 10:30 y las 15:00. Se evitó así el sobredimensionamiento —ese pecado capital de todo sistema mal calculado— y se consiguió una operación optimizada, ágil, sin grasa innecesaria.
- Ahora bien, la solución propuesta no pretende cubrir toda la demanda energética de la línea de envasado, ni inyectar excedentes a la red. Pero esa no es su misión. Su valor reside en

el control, no en la conquista. Al almacenar energía en las horas de calma y liberarla en los momentos de tensión, el sistema contribuye de manera directa a aplanar la curva de demanda, esa montaña rusa que tanto angustia a las redes eléctricas urbanas. Es un acto de solidaridad técnica: la cervecería se autorregula, y el operador eléctrico respira más tranquilo.

- En ese delicado equilibrio entre eficiencia y pérdida, entre generación y conversión, aparece otro protagonista: el sistema fotovoltaico. No fue incluido para alimentar sueños de autosuficiencia utópica, sino por una razón muy concreta: compensar las pérdidas energéticas que se producen entre el inversor, las baterías y el punto de consumo. Cada panel instalado es, en este sentido, un corrector de entropía, un equilibrador solar que convierte lo que se pierde en algo que vuelve.
- Y, como todo buen diseño debe aspirar al crecimiento, se ha dejado margen: el inversor opera al 80% de su capacidad, permitiendo futuras ampliaciones solares con una simple adición de paneles. Así, el ahorro energético y la reducción de costos eléctricos mensuales están lejos de su techo.
- Desde la perspectiva económica, los números son tan reveladores como los kilovatios. El sistema híbrido —con un coste de instalación y puesta en marcha de aproximadamente \$117,300, más \$32,000 si se incluye un transformador— resulta más competitivo que la solución tradicional. Pero no solo por el monto total. Lo es porque no requiere invadir áreas

productivas con un cuarto técnico, sino que puede instalarse en zonas administrativas sin alterar ni un metro cuadrado de eficiencia operativa.

- En resumen, la apuesta energética no se limita a resolver un problema técnico: abre la puerta a una nueva forma de gestionar el consumo, el espacio, la inversión y el futuro. Lo que aquí se ha diseñado es algo más que un sistema: es un precedente.
- Y tal vez, sin quererlo, Cervecería Nacional ha hecho algo más que almacenar energía. Ha almacenado visión, ha liberado innovación... y ha recordado que en el mundo industrial, como en la vida, no siempre gana el más grande, sino el que mejor anticipa.

RECOMENDACIONES

- Implementar una transición energética no es solo cuestión de instalar paneles y cruzar los dedos. Requiere método, inteligencia situacional y una saludable dosis de prudencia técnica. Por eso, la propuesta no plantea una instalación inmediata a gran escala, sino algo mucho más sensato (y elegante): una implementación progresiva, que arranque como prueba piloto en una sección controlada de la planta, por ejemplo, la Línea 2 del área de envasado.
- Este enfoque permite ensayar sin comprometer, probar sin arriesgar. Pero, sobre todo, recopilar datos reales: cuánta energía solar se genera en campo, cómo se comportan las baterías en un entorno industrial real, qué tanto se suaviza la curva de demanda, y cuál es el ahorro económico concreto. Porque en la teoría todo brilla, pero solo el uso cotidiano revela los matices.
- Para lograr esto con rigor, será fundamental contar con un sistema de monitoreo continuo. No un simple medidor, sino una plataforma inteligente que registre la generación fotovoltaica, el consumo eléctrico por franja horaria, los ciclos de carga y descarga del banco de baterías y la dependencia residual de la red. Esta observación sistemática no solo validará el modelo: permitirá ajustar parámetros, detectar cuellos de botella y optimizar con datos en mano. La eficiencia no se impone: se afina.
- Por supuesto, ningún sistema, por brillante que sea, sobrevive sin cuidados. De ahí la necesidad de establecer un plan de mantenimiento regular, que contemple desde la limpieza

periódica de los paneles solares hasta la inspección del estado de las baterías, la revisión de las conexiones y el chequeo del inversor. Como un jardín tecnológico que, si se atiende bien, puede dar frutos por décadas.

- Y si el piloto resulta exitoso —como todo indica—, el horizonte se ensancha. Existen ya identificadas áreas disponibles en los techos de la planta con una superficie estimada entre 300 y 400 metros cuadrados, listas para albergar una ampliación del sistema fotovoltaico. Esta expansión no sería solo un gesto ecológico, sino una jugada estratégica: más generación, menos dependencia, mayor resiliencia y ahorro acumulado.
- En otras palabras: la cervecería no solo está solucionando un problema de tensión. Está diseñando una plataforma energética escalable, adaptable y propia. Un modelo que puede empezar con una línea, pero que bien puede —y debe— inspirar a toda la industria.
- Porque si algo nos enseña esta experiencia, es que la transformación energética no necesita héroes, sino ingenieros que sepan escuchar a los números... y a los paneles. Y que incluso en un entorno dominado por acero, vapor y etiquetas adhesivas, hay espacio para algo tan sutil como una curva de demanda aplanada por el sol.

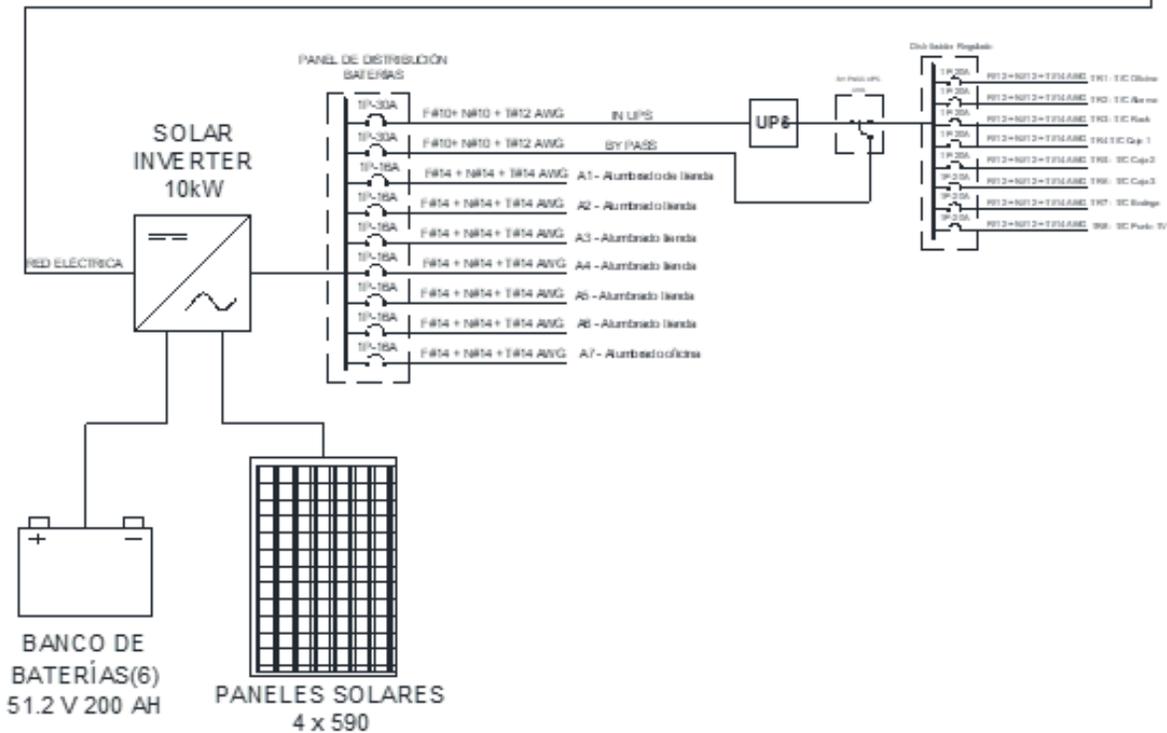
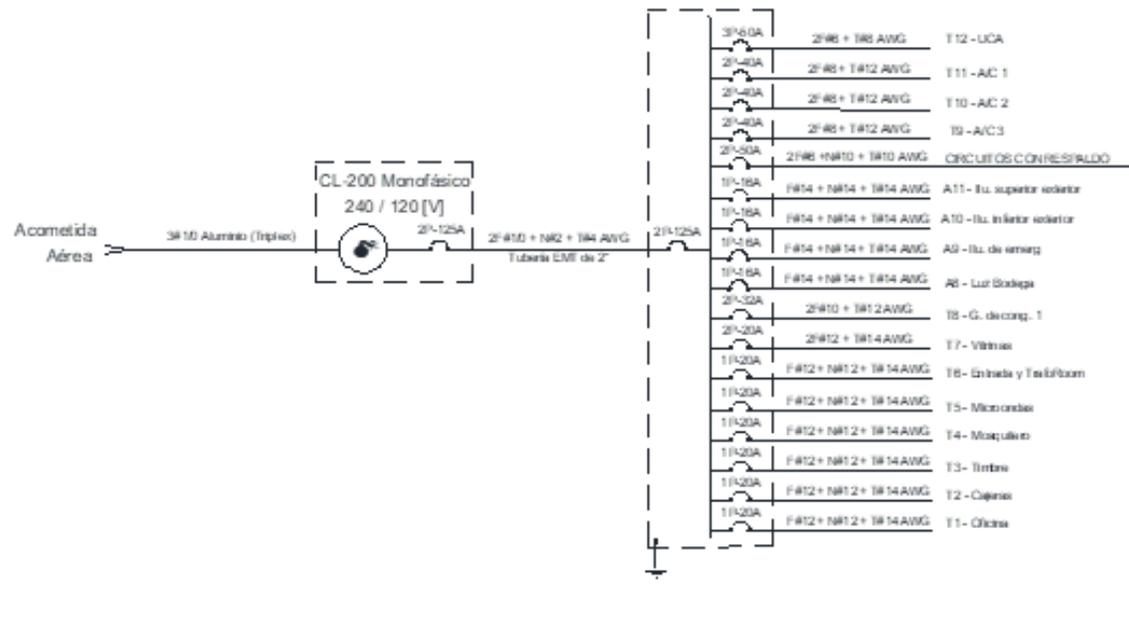
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bnamericas. (2023). Ecuador actualiza normativa sobre generación distribuida.
- Comité de Comercio Exterior (COMEX). (2024). Resolución No. 009–2024: Reducción arancelaria temporal para generadores eléctricos.
- Contreras Sillero, A., et al. (2018). Revisión de métodos para la estimación de los estados de carga y salud de una batería.
- Corral Rosales. (2023). Regulación para instalar y operar sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento.
- del Valle, J. A., et al. (2019). Sistemas de almacenamiento masivo de energía con baterías (BESS): Estado actual y tendencias.
- DLN Energy. (2023). Cómo interpretar las curvas de descarga de la batería.
- Espinoza Meza, D. J. (2021). Análisis de factibilidad para el diseño de una estación de carga de medios de transporte eléctrico utilizando energía solar fotovoltaica en Piura (Tesis).
- Estado, A. E. (2019). Real Decreto 244/2019 sobre autoconsumo eléctrico.
- Gregorio, V., García, N., & Tiemblo, P. (2020). Presente y futuro de los polímeros en baterías de litio.
- Hinostroza Meza, A. C. (2023). Diseño del sistema fotovoltaico para atender incremento de carga (Tesis).
- Ingeteam. (2022). Ingeteam pone en marcha la primera planta fotovoltaica con baterías de España.
- Kazimierski, M. A. (2018). Almacenamiento energético frente al paradigma renovable: baterías ion-litio y perspectivas sudamericanas.

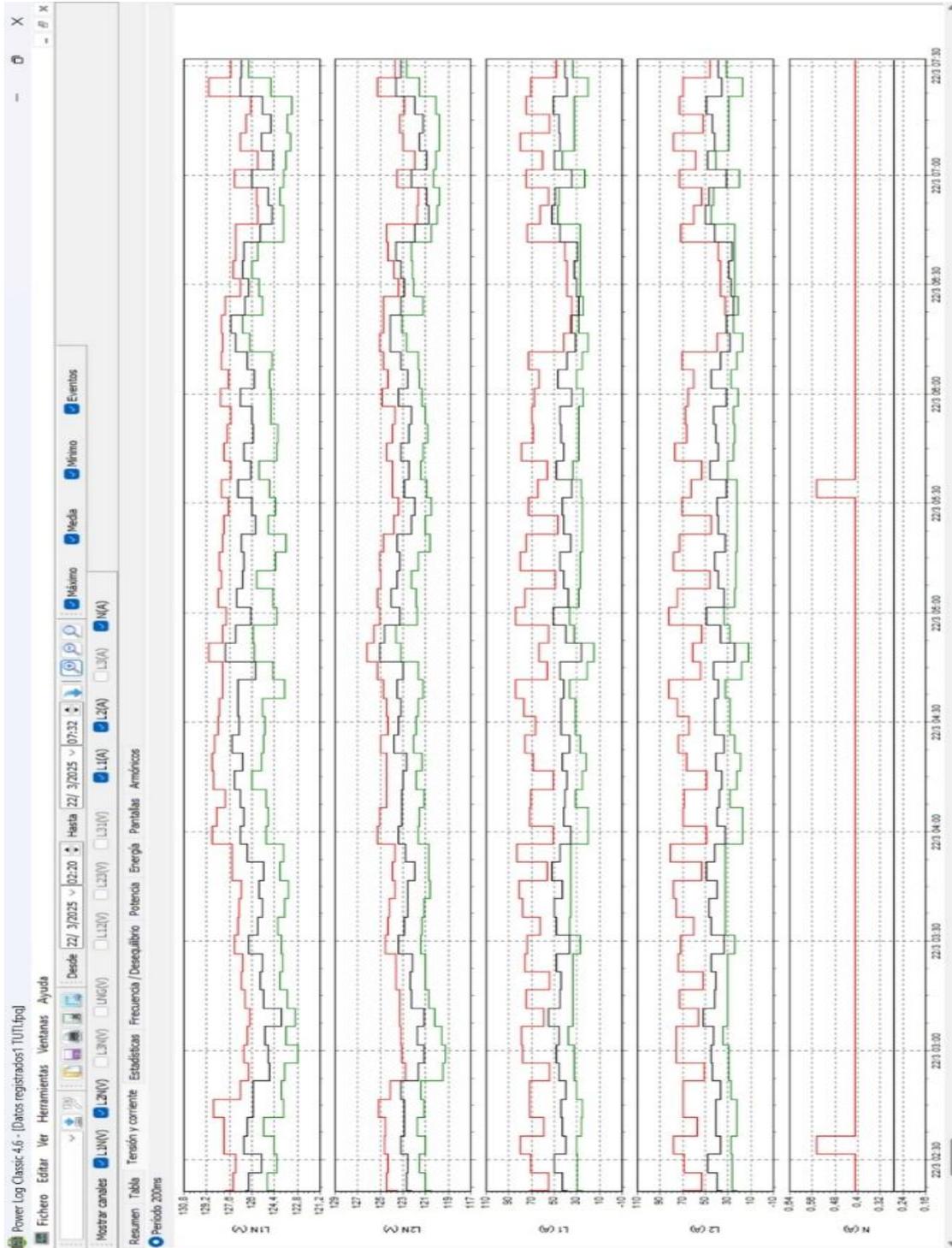
- Martínez Bertran, J. (2017). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas (Tesis).
- Meteotest. (s.f.). Meteonorm (Software).
- Pereira Ferreira, D. (2024). Inversor Híbrido para sistemas de energía solar fotovoltaica en autoconsumo (Trabajo de investigación).
- PVsys. (s.f.). Battery capacity vs. temperature.
- Quintanar Quezada, F. E., & Valencia Lucero, D. M. (2017). Evaluación de factibilidad y diseño de sistema solar térmico.
- Sail Solar. (2025). Manual de usuario del inversor híbrido SEI UP Series 8-12 kW (Versión 1.3).
- Sail Solar. (s.f.-c). Ficha técnica del módulo bifacial SAS570-590N.
- Sail Solar. (s.f.-d). Ficha técnica: Inversor híbrido THOR Series 8–12kW.
- Sánchez Arroyo, P., et al. (2023). Utilización de inversores bidireccionales para medidas de electroluminiscencia.

ANEXOS

ANEXO A: Diagrama unifilar detallado del sistema híbrido fotovoltaico con almacenamiento, incluyendo la configuración del inversor híbrido y la conexión con la carga de la cervecería analizada en Guayaquil.



ANEXO B: Registro y análisis del consumo energético durante una semana en la cervecera, con datos que respaldan el dimensionamiento del sistema y la gestión de la energía mediante el inversor híbrido.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Jean Carlos Vergara Velasco**, con C.C: # **0941208209** autor del trabajo de titulación: **“Estudio de factibilidad de un sistema de generación de energía fotovoltaica para la línea 2 del área de envasado de Cervecería Nacional.”** previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** 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, **27** de agosto de **2025**

f. Carlos Vergara V.

Nombre: **Jean Carlos Vergara Velasco**

C.C: 0941208209



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA LÍNEA 2 DEL ÁREA DE ENVASADO DE CERVECERÍA NACIONAL."		
AUTOR(ES)	Vergara Velasco Jean Carlos		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, PhD/ Ricardo Ubilla González, Mgs/ Daniel Bohórquez Heras, Mgs		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de agosto de 2025	No. DE PÁGINAS:	75
ÁREAS TEMÁTICAS:	SISTEMA FOTOVOLTAICO, PANELES SOLARES, BATERIAS, CELDAS, RADICION SOLAR, HORASOLAR PICO, INVERSOR HÍBRIDO		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Generación Distribuida, Sistemas Híbridos, Energía Solar Fotovoltaica, Baterías de Litio, Ley de Peukert		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: Cervecería Nacional en la actualidad enfrenta un incremento sostenido en su demanda energética, especialmente en la línea 2 del área de envasado, en esta sección, la operación continua ha superado la capacidad del sistema eléctrico originalmente instalado. Esta línea depende actualmente de un transformador compartido con usuarios residenciales, esta situación ha generado inestabilidad y riesgo operativo. Frente a esta problemática y enfoque técnico, y ante la exigencia de la empresa distribuidora CNEL de migrar todas las instalaciones de baja a media tensión, se ha planteado la necesidad de evaluar una alternativa más eficiente y sostenible que la tradicional instalación de un nuevo transformador.</p> <p>El estudio ofrece una solución, busca reducir la dependencia de la red pública, estabilizar el suministro energético y mejorar la eficiencia operativa sin comprometer espacio físico ni afectar las operaciones de producción desde la implementación de un sistema totalmente híbrido, que combina energía fotovoltaica con almacenamiento en baterías mediante un inversor híbrido, permitiendo además futuras ampliaciones gracias al 80 % de capacidad disponible del inversor.</p> <p>De acuerdo a este análisis de tipo técnico, económico y normativo, se demuestra que, esta alternativa puede ser viable, competitiva y alineada con las regulaciones vigentes del país, particularmente con la Resolución ARCERNR 008/23 sobre generación distribuida. La propuesta representa no solo una mejora operativa, sino una alternativa estratégica de transición energética coherente con los objetivos de sostenibilidad empresarial y con las políticas nacionales de fomento a las energías renovables.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-989938779		E-mail: jean.vergara@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, PhD		
	Teléfono: 0995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@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):			