



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TEMA

“Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico para las tiendas Tuti Ttde S.A.”

AUTOR:

Ing. Córdova León José Andrés

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
**MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

CERTIFICACIÓN

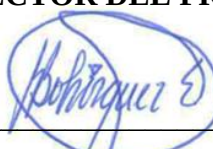
Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **José Andrés Córdova León** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **Magíster en Electricidad con Mención en Energía Renovable y Eficiencia Energética**.

TUTOR

f.  _____

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f.  _____

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, José Andrés Córdova León

DECLARO QUE:

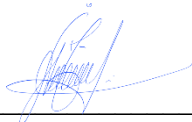
El Trabajo de Titulación, **“Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico para las tiendas Tuti Ttde S.A.”**, previo a la obtención del título de Magister en Energías Renovables Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de 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 científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico referido.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025

AUTOR

José Andrés Córdova León

f. 

CI: 0915974554



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, José Andrés Córdova León

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: **“Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico para las tiendas Tuti Ttde S.A.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025

AUTOR

José Andrés Córdova León

f. _____

CI: 0915974554

INFORME DE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

2.- Tesis Ing. José Córdova 14
Jul 2025

2%
Textos
sospechosos



2% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos (ignorado)
9% Textos potencialmente generados por la
IA (ignorado)

Nombre del documento: 2.- Tesis Ing. José Córdova 14 Jul 2025.docx
ID del documento: af324a6ed74efcb985bd6aaab41c1d17db8d1836
Tamaño del documento original: 3,9 MB

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez
Fecha de depósito: 30/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/7/2025

Número de palabras: 18.522
Número de caracteres: 120.918

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	T-UCSG-POS-MELE-21 JEAN CARLOS VERGARA.docx T-UCSG-POS-MELE... Viene de de mi biblioteca 35 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (832 palabras)
2	TESIS Ing. ROLANDO BOHORQUEZ-RABR.-URKUM-2-10-07-2025.docx ... Viene de de mi biblioteca 34 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (377 palabras)
3	TESIS KELLY VILLAO 8 de junio.docx TESIS KELLY VILLAO 8 de junio... Viene de de mi biblioteca 29 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (253 palabras)
4	UCSG-JORGE ANDRADE - TESIS-01-02-2023 revisada urkun (3).language... Viene de de mi biblioteca 22 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (171 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec Estudio de la factibilidad técnico económica para la ge... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/21201/1/T-UCSG-POS-MELE-16.pdf 22 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (167 palabras)

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación “**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS TIENDAS TUTI TTDE S.A**”, presentado por el Ing. José Andrés Córdova León, 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

A mi amada esposa Anita, y a mis dos tesoros Franco y Sara, gracias por el tiempo sacrificado y la paciencia que me dieron mientras perseguía esta meta. A mi mami, por tu apoyo incondicional en cada meta que tengo. A mi papá, hermanos y sobrinos, por creer siempre en mí y ser parte de este logro. Y a mis queridas tías Lulita y Mati, por tenerme siempre en sus oraciones.

José Andrés Córdova León

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y completar esta etapa tan importante.

A mi amada esposa, Anita, y a mis queridos hijos, Franco y Sara, ustedes son mi inspiración constante y la razón principal detrás de cada esfuerzo. Su amor y apoyo incondicional fueron el motor para alcanzar esta meta.

A mis padres, por darme la vida y por el valioso legado de valores y principios que me han formado como persona y profesional.

A mi brillante sobrina, Delia Córdova, futura ingeniera eléctrica, expreso mi más sincero agradecimiento por su invaluable y entusiasta ayuda en este proyecto. Su talento y dedicación fueron un aporte fundamental.

Finalmente, extendiendo mi profundo agradecimiento al Ing. Bayardo Bohórquez, mi director de tesis, por su gentil y desinteresada ayuda. Su compromiso y generosidad, no solo conmigo, sino con muchos profesionales, son un claro ejemplo de vocación y apoyo al avance académico.

José Andrés Córdova León



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

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.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
Resumen	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	2
Capítulo 1: Aspectos Generales	5
1.1. Justificación del Problema	5
1.2. Antecedentes	5
1.3. Definición del Problema.....	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
Capítulo 2: Marco Teórico.....	9
2.1. Fundamentación Conceptual y Técnica	9
2.1.1. Generación Distribuida y su Impacto en la Red Eléctrica	9
2.1.2. Sistemas de Almacenamiento de Energía (Integración de Baterías con Generación Fotovoltaica)	10
2.1.3. Sistemas de Almacenamiento de Energía	11
2.1.4. Baterías de Ion-Litio	15
2.1.5. Carga y Descarga	18
2.1.6. Vida Útil y Factores de Degradación en Baterías de Litio	18
2.1.7. Tecnologías de Conversión (Inversores Híbridos)	25
2.1.8. Software Meteonorm.....	26
2.1.9. Características Meteonorm.....	27
2.1.10. Aplicaciones Meteonorm en Energía Solar.....	28
2.1.11. Aplicación del Software Meteonorm en este Proyecto.....	28
2.1.12. Software Global Solar Atlas	29
2.2. Marco Normativo y Regulaciones en Ecuador.....	29

2.2.1. Regulación ARCERNR 008/23.....	29
Capítulo 3: Marco Metodológico	30
3.1. Metodología.....	30
3.2. Métodos.....	32
3.3. Metodología de Trabajo (Técnica, Herramienta y Procedimiento)	33
3.4. Análisis del Perfil de Consumo Energético de las Tiendas Tuti.....	35
3.4.1. Toma de Datos	35
3.4.2. Procesamiento de Datos	36
3.4.3. Selección y Distribución de Cargas.....	39
Capítulo 4: Dimensionamiento y Selección de Baterías	42
4.1. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico	42
4.1.1. Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento	42
4.1.2. Cálculo de Capacidad de Batería	42
Capítulo 5: Pérdidas y Tipo de Inversor	45
5.1. Inversor y Estimación de Pérdidas de Conversión	45
5.2. Configuración del Inversor.....	46
5.2.1. Modos de Operación.....	47
5.2.2. Programación de Franjas Horarias	53
5.2.3. Parámetros de Gestión de Batería	57
5.3. Cantidad de Baterías según Ley de Peukert.....	62
Capítulo 6: Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico.....	66
6.1. Irradiación en Guayaquil.....	66
6.2. Irradiancia Solar Máxima de la Zona Geográfica	67
6.3. Cálculo del Ángulo Óptimo de Inclinación de los Paneles	68
6.4. Cálculo de la irradiación global promedio con ángulo de inclinación	69
6.5. Cálculo de la Energía que deben Entregar Anualmente los Paneles	70
6.6. Cálculo de la Cantidad de Módulos.....	72
Capítulo 7: Análisis de Costos del Proyecto	74
7.1. Costos Sistema Híbrido	74
7.1.1. Costos de Importación	75
7.1.2. Costo Total FCA Shangai.....	76
7.1.3. Valores Totales.....	76
7.1.4. Otros Valores.....	76

7.2. Costos Suministro e Instalación de Transformador	77
7.2.1. Costos Operativos y Mantenimiento	78
7.2.2. Costos Beneficios y Limitaciones de Ambas Propuestas.....	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	86
ANEXO A: Diagrama Unifilar del Proyecto Sistema Híbrido Completo	86
ANEXO B: Registro de una Semana de Consumo de Energía en la Tienda Analizada.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los tipos de almacenamiento.....	131
Tabla 2. Metodología de Trabajo: Etapas, métodos y técnicas a usar en el estudio.....	342
Tabla 3. Distribución de cargas para el panel de distribución principal.....	397
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 las cargas fijas	408
Tabla 5. Irradiación solar global promedio por mes y por día más cercana al área geográfica del estudio	673
Tabla 6. Irradiación solar global por día corregido con ángulo de inclinación.....	698
Tabla 7. Valor total aproximado del proyecto	751
Tabla 8. Costo total para la instalación de cuarto de transformadores en las tiendas Tuti.....	773

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Curva de descarga de las baterías de ion litio (LiFePO_4 y LiMnO_2) y baterías de plomo ácido a una tasa de descarga de $0.2C$	142
Ilustración 2. Proceso de carga y descarga de una batería	164
Ilustración 3. Curva de voltaje y capacidad de las baterías ion litio.....	20
Ilustración 4. Curva del factor de corrección a la capacidad de las baterías de litio en relación a la temperatura.....	220
Ilustración 5. Curva del factor de corrección a la capacidad de las baterías de litio y plomo-ácido en relación a la temperatura.....	231
Ilustración 6. Registrador trifásico de calidad eléctrica Fluke 1735	353
Ilustración 7. Curva demanda vs tiempo durante las 24 horas del día de mayor consumo de las tiendas Tuti.....	364
Ilustración 8. Curva de demanda ajustada donde se muestra el impacto de las baterías en la red de carga durante el período de alta demanda.....	386

Ilustración 9. Lithium Battery, con celdas de LiFePO ₄ , 51.2 V-200 Ah-10.24 kWh.....	430
Ilustración 10. Inversor híbrido Sail Solar, modelo THOR, conexión Split Phase 10 kW	452
Ilustración 11. Esquema para la gestión del flujo de energía del inversor	474
Ilustración 12. Conexión de los cables positivo y negativo de la batería a los respectivos terminales del inversor	496
Ilustración 13. Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador	496
Ilustración 14. Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador, la red y la carga.	507
Ilustración 15. Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador, la red y la carga	507
Ilustración 16. Ubicación para la conexión de los cables positivo y negativo de los PVs.....	518
Ilustración 17. Display del panel principal del inversor.	49
Ilustración 18. Interfaz para el ajuste por franja de horarios del inversor	541
Ilustración 19. Interfaz para la configuración de los parámetros de gestión de la batería	585
Ilustración 20. Interfaz para la configuración de los parámetros de gestión de la batería	595
Ilustración 21. Módulo de panel bifacial monocristalino 590W de la marca Sail Solar	69
Ilustración 22. Cotización del proveedor para el proyecto total	740

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad total de energía y potencia nominal	186
Ecuación 2.: Ley de Peukert	197
Ecuación 3. Capacidad estado máximo de carga	19
Ecuación 4. Energía requerida	39
Ecuación 5. Ley de Peukert.....	640
Ecuación 6. Potencia aparente	641
Ecuación 7. Potencia DC	641
Ecuación 8. Corriente DC.....	651
Ecuación 9. Capacidad total del Banco de pruebas	65

Ecuación 10. Número de baterías	652
Ecuación 11. Corriente por batería	652
Ecuación 12. Corriente nominal según ecuación de Peukert	65
Ecuación 13. Ángulo de inclinación de paneles	685
Ecuación 14. Irradiación global promedio considerando ángulo de inclinación	695
Ecuación 15. Eficiencia total	707
Ecuación 16. Energía total suministrada en AC.....	707
Ecuación 17. Energía que deben suministrar los paneles para suplir las pérdidas de conversión de energía en el inversor y baterías.....	717
Ecuación 18. Energía de carga de un banco de baterías en función de la eficiencia del inversor	717
Ecuación 19. Energía mensual que entregarán los paneles	718
Ecuación 20. Potencia máxima del sistema fotovoltaico.....	728
Ecuación 21. Cantidad de módulos.....	69

Resumen

El crecimiento en la demanda energética de las tiendas Tuti TTDE S.A., muchas de las cuales superan los 20 kW permitidos por CNEL EP en redes de baja tensión, ha generado la necesidad de encontrar soluciones técnicas viables sin modificar la infraestructura existente. Esta investigación propone un sistema híbrido compuesto por generación solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías de litio (LiFePO_4), con el fin de reducir la demanda máxima a 20 kW y evitar la obligatoriedad de instalar un transformador propio. Se realizó un análisis detallado del perfil de consumo energético de las tiendas, dimensionando un sistema que suministre 8 kW durante las horas pico, a través de baterías que se cargan en la noche utilizando energía de la red. Para compensar las pérdidas por conversión y almacenamiento, se integraron paneles solares, cuyo dimensionamiento se basó en datos obtenidos con el software Meteonorm. Se seleccionó un inversor híbrido capaz de operar bajo diferentes modos y franjas horarias, garantizando la continuidad del suministro. Además, se compararon los costos de implementación frente a la alternativa de instalar un cuarto de transformadores, concluyendo que la solución híbrida representa una opción técnica y económicamente viable a mediano plazo, con potencial de replicarse en otras tiendas con limitaciones similares.

Palabras Clave: Generación Distribuida, Sistemas Híbridos, Energía Solar Fotovoltaica, Baterías de Litio, Ley de Peukert.

Abstract

The growing energy demand of Tuti TTDE S.A. stores—many of which now exceed the 20 kW limit allowed by CNEL EP for low-voltage connections—has made it necessary to develop viable technical solutions without altering the existing electrical infrastructure. This study proposes a hybrid system combining photovoltaic solar generation and lithium-ion battery storage (LiFePO_4) to reduce peak demand to 20 kW and avoid the need to install private transformers. An in-depth analysis of energy consumption profiles was conducted to design a system capable of supplying 8 kW during peak hours, using batteries charged at night from the grid. To offset conversion and storage losses, solar panels were integrated and dimensioned using Meteonorm software. A hybrid inverter was selected for its ability to manage various power sources and operate within programmable time frames, ensuring reliable supply. The project also includes a cost comparison against the alternative of transformer room installation, demonstrating that the proposed hybrid system is a technically and economically viable solution in the medium term, with potential for replication in other stores facing similar infrastructure constraints.

Keywords: Distributed Generation, Hybrid Systems, Photovoltaic Solar Energy, Lithium Batteries, Peukert's Law.

Introducción

En Ecuador, la regulación en torno a la Generación Distribuida para Autoabastecimiento (SGDA) ha evolucionado para fomentar el uso de energías renovables y el almacenamiento energético. La regulación ARCERNNR 001/2021 estableció el marco normativo para los clientes regulados que deseen desarrollar sistemas de generación distribuida con fuentes renovables, con o sin almacenamiento, permitiendo una potencia nominal de hasta 1 MW. Dicha regulación describe como una empresa con energía de autogeneración en exceso, puede acumular ese sobrante para su posterior descuento de las facturas de energía eléctrica, estos valores tendrían una vigencia de dos años. Para favorecer la inversión en proyectos de energía renovables, la regulación reciente ARCERNNR-008/23, posee umbrales mayores que la anterior, incentivando aún más a las empresas privadas.

La inclusión de estas regulaciones en el sistema eléctrico obedece la necesidad de reducir la demanda de energía de la red eléctrica, para que las empresas dependan menos del Estado y el consumo sea reemplazado por fuentes renovables. El consumo de energía en locales comerciales ubicados en sectores concebidos para manejar cargas residenciales ha aumentado considerablemente debido a la inclusión de equipos como centrales de aire acondicionado, congeladores y refrigeradoras tipo vitrina, ese fenómeno presenta desafíos a las empresas distribuidoras para poder entregar más cantidad de energía en sectores donde originalmente fueron concebidas las redes para manejar menor demanda.

Las primeras tiendas Tuti que se instalaron en la ciudad eran pequeñas y con poco equipamiento para conservar alimentos, dichos proyectos se presentaron en CNEL con una demanda no mayor a 20kW. En la actualidad los Tutis tienen una demanda promedio de 28kW lo

cual ha causado recalentamiento en el secundario de la red de distribución e incluso la operación de los fusibles que alimentan los transformadores en los postes, que generalmente están entre 37.5kVA y 50kVA. Ante este hecho CNEL ha pedido que en dichas tiendas se limite el consumo hasta que se pueda instalar un cuarto de transformadores desde la red de media tensión. No obstante, la falta de espacio físico y la escasa disponibilidad de líneas de media tensión han obstaculizado esta alternativa, dejando a 40 tiendas aún conectadas a la red en baja tensión.

Con respecto a lo antes mencionado, en el “Manual Para la Instalación de la Acometida y Sistema de Medición a los Consumidores de CNEL EP 2022”, numeral 4.14, se indica que cuando la demanda máxima especificada en la memoria técnica del proyecto supera los 12kW, queda a criterio de CNEL EP la posibilidad de conectarse en baja tensión. Basado en dicho criterio es que se permitió en los inicios de Tuti, la alimentación en baja tensión. Sin embargo, debido a los problemas antes mencionados se tomó la decisión de limitar el consumo con un *breaker* de 2P-100A.

Una táctica adicional para disminuir la demanda máxima sin necesitar más infraestructura eléctrica es la combinación de almacenamiento energético con generación distribuida. En este enfoque, los bancos de baterías recogen electricidad en las horas de poca demanda - normalmente por la noche - y la entregan durante los picos, evitando así que la red se sobrecargue. Los paneles solares resultan igualmente prácticos, ya que producen energía justo en el momento en que la carga es más alta; no obstante, el paso por los inversores y el ciclo en las baterías restan algo de eficiencia. Tanto la conversión de corriente continua a alterna que hacen los inversores híbridos como el almacenamiento mismo generan pérdidas adicionales. Integrar almacenamiento reduce esas pérdidas y refuerza la sostenibilidad general del sistema al suavizar la curva de demanda. Primero,

limita la potencia que la red debe ofrecer en los rangos críticos y, segundo, rebaja los costos operativos porque se recurre a electricidad ya guardada cuando los precios son más altos.

El objetivo de esta investigación es diseñar e implementar un sistema híbrido de almacenamiento y generación distribuida fotovoltaica que permita reducir la demanda máxima de un establecimiento sin necesidad de instalar un transformador propio, asegurando la continuidad del suministro eléctrico mejorando la eficiencia energética del sistema.

Capítulo 1: Aspectos Generales

1.1. Justificación del Problema

El crecimiento constante del consumo eléctrico en muchas industrias obliga a diseñar planes que cuiden el equilibrio de la red y, al mismo tiempo, controlen el gasto de energía. Incorporar sistemas de almacenamiento y de generación distribuida ayuda a gestionar esa demanda, reduce los cuellos de botella en las líneas y mejora la eficiencia en plantas que consumen grandes volúmenes de electricidad.

Esta investigación aborda el reto de dar soluciones a instalaciones cuya carga ya excede la capacidad disponible, pero que no pueden colocar un transformador propio por falta de espacio. La generación distribuida, junto con el almacenamiento disminuye la punta de demanda, favorece la inserción de fuentes renovables y hace posible un desplazamiento de carga más inteligente, adaptado a los patrones de uso diarios.

1.2. Antecedentes

El control de la demanda eléctrica mediante baterías y la integración de la energía solar fotovoltaica ha sido estudiado en varias circunstancias. En esos trabajos se constata que, al incluir baterías en la gestión de edificios comerciales e industriales, los picos de demanda disminuyen notablemente y mejora el patrón de consumo diario. Un ejemplo ilustrativo lo aporta la planta solar de 40 MW Arañuelo III en España, desarrollada por Ingeteam, que incorpora un sistema de almacenamiento de 3 MW y 9 MWh. Este proyecto evidencia la posibilidad de gestionar el excedente de energía producido durante las horas de máxima irradiación solar, almacenándolo para su uso posterior (Ingeteam, 2022).

Estos sistemas permiten, entre otras cosas, que se mejoren las tarifas eléctricas al controlar la suboferta y sobreoferta; análisis que pueden llevarse a cabo al lograr un buen control del

almacenamiento de energía a partir de fuentes renovables, en este caso solar, eólica e hidroeléctrica (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

En Ecuador, el marco normativo para la generación distribuida ha evolucionado en los últimos años con el fin de incentivar la integración de tecnologías renovables. La regulación ARCERNR 008/23 ha permitido ampliar los límites de capacidad para la generación distribuida, lo que favorece la implementación de sistemas híbridos que combinen almacenamiento y energía solar.

1.3. Definición del Problema

El problema que enfrentan las tiendas Tuti es que su demanda ha superado los 20 kW permitidos en la red secundaria; además, por múltiples razones, no les es posible la instalación de un transformador propio. El desafío consiste en reducir la demanda máxima sin que se requiera un cambio en la infraestructura de alimentación eléctrica, como la demanda máxima se presenta en un intervalo de tiempo reducido, se plantea utilizar un inversor híbrido para convertir la energía alterna de la red pública en energía en DC y a su vez ser almacenada en baterías. Esta energía será tomada de la red en horas nocturnas cuando la tienda no está funcionando y entregada al sistema en los momentos de mayor consumo. Esto permitiría aplanar la curva de demanda, evitando así la adición de un transformador independiente.

Para conseguir esto, se necesita conocer el comportamiento de la carga y así saber los momentos en que la demanda es máxima, con este dato conoceremos en valor exacto a generar, así como el tiempo en que nuestras baterías deberán entregar energía.

A través de esta investigación se espera validar la efectividad de la solución planteada en términos de la reducción de la demanda máxima y demostrar su aplicabilidad a otras limitaciones infraestructurales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la viabilidad técnico-económica de implementar un sistema de almacenamiento energético que permita aplanar la curva de demanda de las tiendas Tuti, de tal manera de que dichas tiendas puedan funcionar con todos sus equipos sin la necesidad de instalar un transformador eléctrico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Dimensionar el banco de baterías para que puedan entregar 8kW durante un cierto tiempo y así limitar la demanda máxima a 20 kW.
- Cuantificar utilizando los datos de placa de los equipos, las pérdidas que ocurrirán en el período de conversión y reconversión de energía.
- Diseñar un sistema solar fotovoltaico para compensar las pérdidas producidas en el inversor y banco de baterías, de tal manera de que no se genere un incremento en la planilla de luz.
- Finalmente comparar la instalación del sistema híbrido con la repotenciación del sistema eléctrico mediante un cuarto de transformadores.

1.5. Hipótesis

“La implementación de un sistema híbrido de almacenamiento de energía con baterías e integración de generación fotovoltaica permitirá aplanar la curva de demanda en establecimientos

sin modificar la infraestructura eléctrica existente, evitando la necesidad de un transformador propio y asegurando la continuidad del suministro en diferentes condiciones operativas. Además, representa una alternativa económicamente viable frente a la instalación de transformadores propios, al reducir costos de infraestructura y permitir el aprovechamiento de energías renovables para la gestión de la demanda.”

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Fundamentación Conceptual y Técnica

2.1.1. *Generación Distribuida y su Impacto en la Red Eléctrica*

La generación distribuida se define comúnmente como la instalación de pequeños generadores conectados a la red secundaria. Podemos considerar la generación distribuida como unidades descentralizadas de producción de energía que emplean fuentes renovables como solar, hidroeléctrica, eólica, biomasa, geotérmica y oceánica, ubicadas cerca de los puntos de consumo (Gómez et al., 2018).

El uso de energía eólica y solar ha crecido notablemente en el mercado porque ambas opciones reducen costos en el largo plazo si se les compara con el suministro eléctrico tradicional que proviene de una red centralizada. Sin embargo, su carácter intermitente y la dependencia de condiciones meteorológicas variables exigen un sistema de respaldo, ya sea mediante fuentes energéticas complementarias o a través de almacenamiento en baterías, a fin de asegurar un abastecimiento continuo (Gómez et al., 2018).

Una de las principales ventajas de la generación distribuida es el incremento de independencia de la red eléctrica, lo que contribuye en descargar las redes de distribución que usualmente se encuentran saturadas, si a esto le añadimos sistemas de almacenamiento, aumentan las ventajas, haciendo los proyectos más interesantes para un inversionista, al permitir la gestión eficiente de la demanda, disminuyendo los picos de consumo y reduciendo costos utilizando la energía acumulada en momentos estratégicos (Gómez et al., 2018).

2.1.2. Sistemas de Almacenamiento de Energía (Integración de Baterías con Generación Fotovoltaica)

En un sistema tradicional de generación fotovoltaica, las baterías almacenan la energía generada durante el día para su uso nocturno, o toman esa energía extra para bajar aún más el consumo durante el día. Sin embargo, el caso del sistema híbrido propuesto en esta investigación es diferente.

Durante la noche, cuando el consumo de las tiendas Tuti es casi nulo, en estos momentos las baterías se cargarán utilizando la energía de la red eléctrica. Esto permitirá aprovechar tarifas más bajas y garantizar que la batería esté completamente cargada para suplir los 8kW de demanda durante el día. En el período de máxima demanda, las baterías suministran 8 kW para evitar que el consumo de las tiendas supere el límite de 20 kW, reduciendo así la demanda en la red eléctrica.

Debido a que la conversión y almacenamiento de energía implica pérdidas (en inversores y baterías), se instalarán paneles solares con el propósito de generar energía suficiente para cubrir esas pérdidas y que no suba el consumo mensual de energía.

Si las tiendas Tuti motivo de esta investigación dependieran exclusivamente de la red eléctrica para cubrir la demanda en todo momento, enfrentarían los siguientes problemas:

- El consumo total superaría los 20 kW, lo que requeriría la instalación de un transformador propio.
- Al estar conectados a una red secundaria en baja tensión compartida con otros usuarios, ya han existido sobrecargas el conductor o el transformador que eventualmente generan un disparo de protecciones o derretimiento del secundario (en sectores donde se utiliza conductor de aluminio pre-ensamblado).

En contraste, el sistema híbrido con almacenamiento ofrece las siguientes ventajas:

- Reducción de demanda máxima por parte de la red eléctrica, evitando la necesidad de modificar la infraestructura eléctrica, lo cual sería una solución ideal en los casos que han motivado este estudio.
- Optimización del uso de energía, al aprovechar las baterías para suplir la demanda en momentos estratégicos.
- Compensación de pérdidas con generación solar, mejorando la eficiencia y sostenibilidad del sistema, así como la posibilidad de un retorno de inversión si se amplía la cantidad de paneles (en un futuro).

Es así como el uso de baterías para almacenar energía de la red en horarios de baja demanda al cargarse durante la noche, cuando la tienda tiene un consumo casi nulo, permitiría almacenar la cantidad suficiente de energía para suplir los 8 kW requeridos durante un momento específico del día donde existe mayor demanda.

Sin embargo, existen pérdidas durante la conversión y almacenamiento de energía, por lo que los paneles solares generan energía en el día para compensar estas pérdidas. Esto mejora el rendimiento del sistema y podríamos tener a mediano o largo plazo un ahorro.

2.1.3. Sistemas de Almacenamiento de Energía

En el artículo según Pardo Farias et al., (2024), El análisis y la comparación de las tecnologías de almacenamiento de energía son más sencillas si se dividen en cinco grupos fundamentales:

- Almacenamiento mecánico, que comprende el bombeo hidráulico, el aire comprimido y los volantes de inercia.

- Almacenamiento electroquímico, que comprende baterías que pueden ser de iones de litio, plomo ácido, o de flujo.
- Almacenamiento térmico, que utiliza calor o frío para almacenar energía en forma de sales fundidas o en sistemas de almacenamiento de hielo.
- Almacenamiento químico, que considera el hidrógeno y el metano sintético.
- Sistemas de almacenamiento de energía magnética superconductora.

Las baterías como sistemas de almacenamiento se destacan por su amplia disponibilidad en el mercado, su madurez tecnológica y la extensa investigación que respalda su eficiencia y versatilidad en diversas aplicaciones, también por su excelente desempeño en la cobertura de picos de demanda debido a su rápido tiempo de respuesta y su alta eficiencia energética, que puede alcanzar el 95%. Además, se utilizan en aplicaciones como reservas rotativas o la integración de energías renovables (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

Las baterías están constituidas por materiales que permiten reacciones químicas para convertir la energía eléctrica en energía química durante los ciclos de carga y descarga. Estas características influyen en aspectos fundamentales como la densidad, la capacidad de almacenamiento, el número de ciclos de descarga, la eficiencia energética y los costos (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

Tabla 1. Características de los tipos de almacenamiento

Tipo de Almacenamiento	Potencia (MW)	Capacidad (MWh)	Densidad de Energía (kWh/m ³)	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: Mendoza Santiago & Mateos Funes (2024)

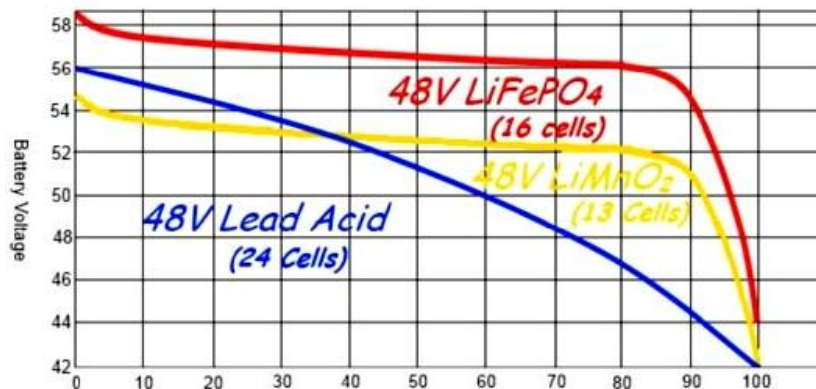
Para realizar una comparación entre estas tecnologías, se toma en cuenta una matriz de evaluación de la densidad de energía, potencia, capacidad de almacenamiento, de igual manera se considera la eficiencia, que refleja las pérdidas durante los ciclos de carga y descarga, y la vida útil, medida en ciclos, que evalúa la durabilidad de cada tecnología.

En este proyecto necesitaremos alrededor de 8kW (0.008MW) durante un intervalo de tiempo que según el análisis del comportamiento de la carga puede ser entre 2h y 6h, eso nos da una intervalo de capacidad de energía entre 16kWh (0.016MWh) y 48kWh (0.048MWh). Según este parámetro cualquiera de los 4 tipos de batería indicados en la Tabla1 podría servirnos.

En este proyecto nos centraremos en las baterías de litio que según como se puede observar presentan un comportamiento superior a las otras tanto en densidad de energía (capacidad de almacenamiento vs volumen) y la eficiencia, lo que nos permitirá no sólo tener las mínimas pérdidas posibles, sino también conseguir equipos compactos que se ajusten a los espacios reducidos de una oficina. Incluso en términos de vida útil sólo es superado por las baterías de Flujo Redox, que en este caso no existe suficiente disponibilidad comercial para que sea aplicable.

Las baterías plomo-ácido, aunque en declive, aún se hallan en el mercado ecuatoriano porque representan una solución probada y asequible, en general más barata que su par de litio. No obstante, ese coste inferior se acompaña de limitaciones en duración y eficiencia. Además, durante la carga liberan hidrógeno, un gas explosivo bajo ciertas condiciones, lo que añade un riesgo de seguridad que no puede ignorarse (del Valle et al., 2019).

Ilustración 1. Curva de descarga de las baterías de ion litio (LiFePO_4 y LiMnO_2) y baterías de plomo ácido a una tasa de descarga de $0.2C$



Fuente: DLN Energy (2023)

Como se observa en la imagen, la curva de descarga de las baterías de litio se mantiene relativamente plana y entrega un buen voltaje hasta el casi el 90% de su capacidad de uso, lo que indica que estas baterías pueden suministrar una potencia constante durante un periodo prolongado. Por el contrario, las baterías de plomo-ácido exhiben una curva de voltaje inclinada, de modo que el voltaje disminuye de manera paulatina a medida que se descarga. Como consecuencia, para ofrecer un flujo de energía uniforme resulta imprescindible sobredimensionar el conjunto, de manera que la reducción de tensión sea compensada y las distintas cargas puedan recibir el nivel adecuado de suministro (DLN Energy, 2023).

En Ecuador la batería de plomo-ácido sigue siendo una opción práctica, sobre todo en proyectos pequeños, en comunidades rurales o en paneles solares de casa donde el precio es

fundamental, aunque los modelos de litio ganan terreno por su eficacia y larga vida útil. Con el avance de la tecnología, aumento de oferta y disminución de precios de las baterías de litio, será en poco tiempo la opción generalizada para este tipo de proyectos.

Este tipo de almacenamiento moderno basado en la tecnología de litio, mitiga en gran parte la intermitencia característica de la energía solar, dando la oportunidad a que las baterías se carguen durante el día y entregan esa energía en la noche que no contamos con el recurso solar. Así mismo podemos utilizarlos para aplanamiento de la curva de demanda como se plantea en esta investigación.

En resumen, la selección de baterías de litio para el sistema híbrido se justifica por su elevada eficiencia, gran densidad energética, rápida respuesta ante cargas variables y capacidad de integrarse sin inconvenientes con la producción solar. Estas propiedades son fundamentales para ofrecer un almacenamiento fiable y económicamente viable en la administración de la demanda de electricidad.

2.1.4. Baterías de Ion-Litio

Hoy en día, las baterías de iones de litio alimentan casi cualquier dispositivo portátil, los vehículos eléctricos que han comenzado a llenar las calles e incluso las instalaciones que guardan energía solar o eólica, todo porque almacenan mucha energía en poco espacio, usan recursos de manera eficiente y mantienen su rendimiento durante años.

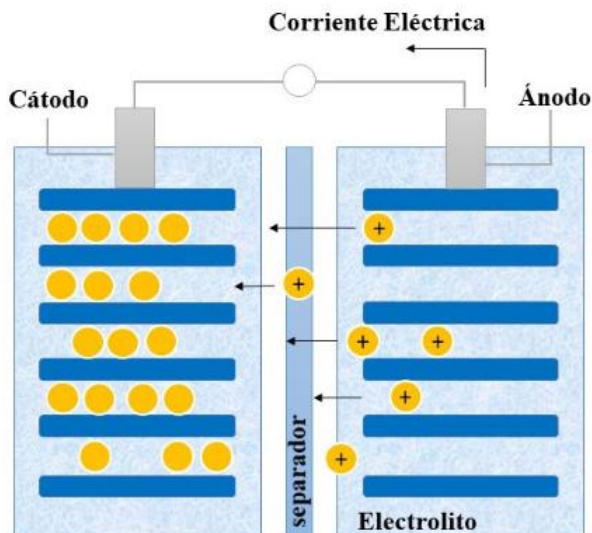
Están compuestas por cuatro elementos: ánodo, cátodo, electrolito y separador. Existen las baterías de litio primarias (no recargables) y secundarias (recargables); las baterías de litio primarias están hechas por compuestos como litio/óxido de cobre (Li/CuO), litio/ dióxido de manganeso (Li/MnO_2), litio/dióxido de azufre (Li/SO_2), litio/cloruro de tionilo ($Li/SOCl_2$). En

las baterías de litio secundarias, el electrodo negativo es de carbono y el electrodo positivo podrían ser de compuestos como óxido de cobalto de litio ($LiCoO_2$), óxido de manganeso de litio ($LiMn_2O_4$), fosfato de hierro y litio ($LiFePO_4$), litio-manganeso-níquel-óxido de cobalto ($LiNiMnCoO_2$), litio-níquel-cobalto-óxido de aluminio ($LiNiCoAlO_2$), entre otros (Quintero, 2021).

Durante la carga, los iones de litio se mueven desde el cátodo hacia el ánodo a través de un electrolito, que es necesario para permitir el flujo de los iones. Durante la descarga, los iones de litio se desplazan del ánodo al cátodo, liberando energía en el proceso.

En el proceso de carga, el ánodo pasa por un proceso de reducción (ganancia de electrones) y el cátodo presenta una reacción de oxidación (pérdida de electrones), mientras que en el proceso de descarga el ánodo se oxida y el cátodo se reduce (Quintero, 2021).

Ilustración 2. *Proceso de carga y descarga de una batería*



Fuente: Quintero (2021)

El almacenamiento de energía en las baterías de litio ocurre debido a la capacidad de los materiales de los electrodos para "alojar" a los iones de litio durante el proceso de carga. El ánodo es donde se acumulan estos iones durante la carga, mientras que el cátodo los libera durante la descarga.

El ánodo generalmente está compuesto de grafito o materiales que sean eficientes como agente reductor y conductor. Este material tiene una estructura que permite que los iones de litio se inserten entre sus capas de manera eficiente.

El cátodo, que se encuentra en el otro extremo, generalmente está compuesto de óxido de cobalto de litio ($LiCoO_2$), o fosfato de hierro de litio ($LiFePO_4$), mencionados anteriormente, que sirvan como agente oxidante.

El electrolito en las baterías de litio suele ser un material sólido, ya sea polimérico o cerámico, aunque también existen versiones líquidas. Su función principal es facilitar el transporte de iones entre el ánodo y el cátodo durante los ciclos de carga y descarga. Por otro lado, los separadores tienen la tarea de evitar que los electrodos entren en contacto directo y provoquen un cortocircuito, actuando como aislantes eléctricos. Estos separadores están fabricados generalmente con polímeros poliolefinos, como el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) (Gregorio et al., 2020).

Con respecto a la comparación entre diferentes tipos de baterías de Litio, según como puede observarse en la ilustración 1, se observa claramente que las baterías de $LiFePO_4$ tienen durante el período de mayor eficiencia un voltaje mayor a las de $LiMn_2O_4$, así mismo las de $LiFePO_4$ presenta curvas de voltaje más planas y esta estabilidad en el voltaje de salida es importante para garantizar que el inversor lo pueda utilizar como una fuente de energía.

2.1.5. Carga y Descarga

Idealmente las baterías tienen la misma capacidad de carga y descarga, pero en la práctica esto no es tan cierto ya que eso puede variar en casos de contingencia como el manejo de picos de demanda que son mucho mayores a su potencia nominal, durante un tiempo limitado (Mendoza Santiago & Mateos Funes, 2024).

La relación entre la capacidad total de energía y potencia nominal, idealmente se usa cuando se permite que el sistema de almacenamiento de energía use su capacidad total y el tiempo de descarga sería la relación:

Ecuación 1. *Capacidad total de energía y potencia nominal*

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

2.1.6. Vida Útil y Factores de Degradación en Baterías de Litio

Como se ha analizado anteriormente, las baterías de litio poseen muchas características y ventajas que las hacen convertirse en la opción ideal para un proyecto de almacenamiento de energía, sin embargo su capacidad para entregar energía se ve afectada de acuerdo al uso, específicamente hablando de la potencia que está entregando la misma. Siendo el voltaje relativamente constante, una manera de tener una referencia de la potencia es con el amperaje ya que guardan relación lineal. Por tanto una batería de acuerdo al amperaje que esté entregando va a tener una tasa de descarga, expresado como C-rate. Este índice se expresa en "C": una celda que se somete a 1C se vacía en torno a una hora, porque ese valor indica que la corriente extraída corresponde exactamente a su capacidad nominal. Poco importa que la comunidad de ingenieros intuya una relación directa entre C-rate y tiempo de descarga; en la práctica esa suposición se

rompe. Teóricamente, al aplicar un 2C, la energía completa debería salir en treinta minutos, es decir, y la expectativa es que se retire el doble de carga que a 1C; en realidad, el sistema devuelve un porcentaje inferior y la velocidad de salida ni siquiera es la mitad.

Dicho de otro modo, la famosa Ley de Peukert pone en evidencia que operar a altos C-rates no solo recorta la cantidad absoluta de energía recuperada, sino que además eleva el calor interno, desplaza la resistencia y finalmente castiga el rendimiento global de la batería.

Según la Ley de Peukert, la descarga a altas tasas no solo reduce la cantidad de energía extraída en comparación con la descarga a menor velocidad, sino que también aumenta el estrés térmico y la resistencia interna, lo que puede afectar negativamente el rendimiento de la batería. (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019)

Ecuación 2.: Ley de Peukert

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

Donde:

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

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

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

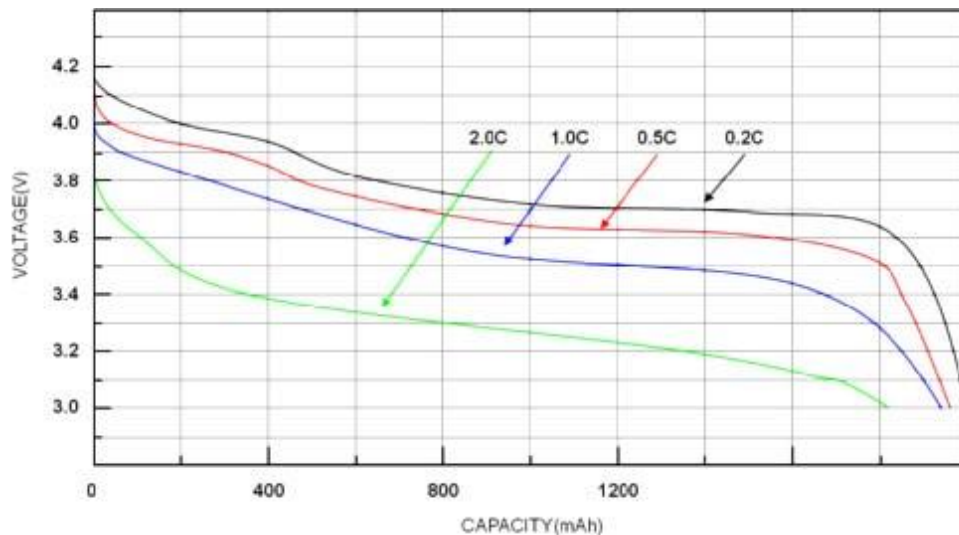
$I = \text{Corriente de descarga real (A)}$

La Ley de Peukert cuantifica este comportamiento no lineal, recuperada de Martínez Bertran (2017), indicando que a medida que la tasa de descarga aumenta, la energía disponible disminuye debido a las pérdidas adicionales que se generan por la resistencia interna de la batería. (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019) Esto es especialmente relevante para aplicaciones

que requieren ciclos de carga y descarga rápidos, ya que las cargas rápidas y las descargas profundas pueden degradar el estado de la batería.

Ilustración 3.

Curva de voltaje y capacidad de las baterías ion litio



Fuente: DLN Energy (2023)

A medida que el valor de C aumenta, la capacidad efectiva disminuye, principalmente debido al aumento de la resistencia interna y las pérdidas de energía en forma de calor. Además, el voltaje de la batería cae más rápidamente porque la batería no puede mantener una tensión estable frente a una alta demanda de corriente. A medida que va disminuyendo el valor de C, las pérdidas internas antes mencionadas disminuyen y la capacidad efectiva aumenta, por tanto la batería en el transcurso del tiempo podrá entregar más energía útil. Así mismo el voltaje se mantiene más constante durante el proceso de descarga. (DLN Energy, 2023)

A 2C (curva verde), para la batería considerada en este ejemplo, se puede observar una súbita disminución del voltaje de operación de la batería que inmediatamente cae desde 3.8V hasta

3.4V en sus primero 400mAh de consumo, llegando a un voltaje límite de 3V (a partir de ahí deja de entregar energía) a los 1800mAh de entrega.

A 0.2C (curva negra), se presenta la menor de caída de voltaje en comparación a los otros C-rating mostrados en el gráfico para la misma batería, trabajando bajo el resto de condiciones iguales salvo la tasa de descarga. Alcanzando a entregar 2000mAh justo antes de llegar a 3V (en este ejemplo se considera como el voltaje mínimo al que la batería entrega energía).

Considerando estos fenómenos, presentamos tres conceptos de mucho uso para expresar el estado de una batería que son SOH (“State of Health”), SOC (“State of Charge”), y DOD (“Depth of Discharge”).

La profundidad de descarga (DOD), nos indica cuanta energía está entregando la batería durante cada ciclo, parámetro que predecirá el porcentaje de degradación de una batería que está íntimamente relacionada a cuan descargada queda al finalizar cada ciclo. Al igual que la temperatura extrema, las descargas rápidas y las cargas a altas tasas contribuyen al aumento del desgaste de las celdas, afectando su capacidad de almacenamiento y su eficiencia.

El DOD es el porcentaje que expresa el límite de descarga máxima de la batería, cuya ecuación es:

Ecuación 3. Capacidad estado máximo de carga

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

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

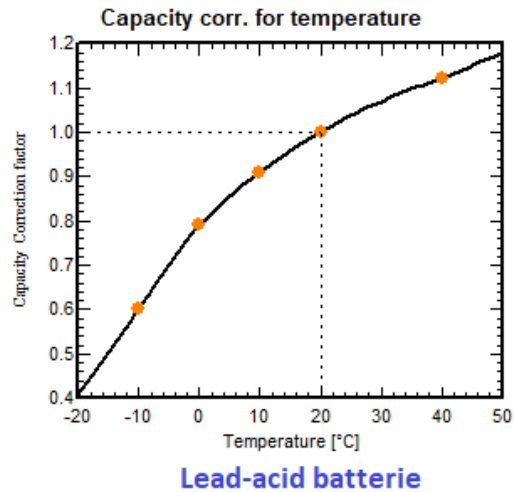
El Estado de Salud (SOH) de una batería nos indica cuanto se ha degradado la batería a lo largo de su uso, se representa como la división entre la capacidad actual (en kWh) y la capacidad nominal de la batería. Un SOH igual a 1, nos indica una batería prácticamente nueva, y un valor de 0.8 no indica que la batería ha perdido un 20% de su capacidad de entregar energía, que en baterías de litio indica el fin de su vida útil (Contreras Sillero et al., 2018).

Estado de carga (SOC), como su palabra lo indica nos da el porcentaje de carga de batería disponible. Se expresa como un valor entre 0 (totalmente descargada) y 1 (totalmente cargada). Se ve afectado por variables como la temperatura, corriente de descarga y estado de salud del acumulador (Contreras Sillero et al., 2018).

Entre los factores más influyentes en el estado de degradación de la batería están la temperatura y SOC. La temperatura tiene un impacto significativo en la capacidad de una batería y en su degradación. Operar la batería fuera del rango de temperatura ideal (15°C a 35°C) provoca la formación de litio en el ánodo y la aparición de reacciones no deseadas en el electrolito, lo que afecta negativamente la disponibilidad de energía y el estado de salud (SOH) de la batería (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

Ilustración 4.

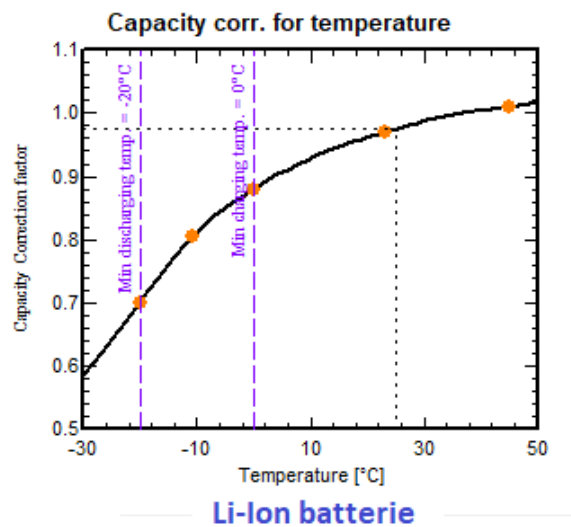
Curva del factor de corrección a la capacidad de las baterías de litio en relación a la temperatura



Fuente: PVsyst, s.f.

Ilustración 5.

Curva del factor de corrección a la capacidad de las baterías de litio y plomo-ácido en relación a la temperatura



Fuente: PVsyst, s.f.

El gráfico muestra una comparación del efecto de la temperatura sobre las baterías de plomo-ácido y las baterías de iones de litio. Aunque ambos tipos de baterías muestran una tendencia similar, las baterías de litio presentan un mejor rendimiento en bajas temperaturas en comparación con las de plomo-ácido. A temperaturas bajo cero, el electrolito de las baterías de plomo-ácido puede llegar a congelarse, un fenómeno que depende directamente del estado de carga. En ese escenario, el daño es mucho más severo en esas baterías que en las de litio, que aunque también sufren, siguen funcionando de un modo relativamente aceptable. Por el contrario, el calor extremo acorta la vida útil de ambas, pues tanto el plomo-ácido como el litio sufren degradación acelerada (PVsyst, s.f.).

El estado de carga, o SOC, resulta igualmente decisivo. En niveles altos de SOC, el potencial del ánodo supera al del cátodo, lo que favorece la oxidación del electrolito y la formación de la SEI o interfase sólida, mermando vida útil y eficiencia. A su vez, la corrosión del ánodo y la pérdida de estructura del cátodo en esas condiciones rápidas agravan el desgaste, reduciendo el estado de salud (SOH) y la potencia máxima disponible (Rodríguez Arribas & Nájera Álvarez, 2019).

Los ingenieros deben medir y estimar un conjunto variado de parámetros para lograr un indicador fiable del estado de una batería, razón por la cual existen múltiples técnicas para calcular el Estado de Carga (SOC) y el Estado de Salud (SOH). Para llevar a cabo esas evaluaciones, resulta imprescindible emplear un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) capaz de supervisar y regular en tiempo real los datos críticos mientras la celda de iones de litio está en uso. Esta unidad no solo garantiza que la batería se cargue y descargue de forma eficiente, sino que también limita la profundidad de descarga (DOD) y evita ciclos extremos, factores clave para prolongar su vida útil.

. En el mercado hay dispositivos de monitoreo avanzados que gestionan el estado de la batería, como cargadores programables que realizan ciclos de carga y descarga controlados. Estos dispositivos mejoran el estudio detallado de los ciclos y a su vez proporcionan datos importantes para mejorar el rendimiento y la duración de la batería (Quintero, 2021).

2.1.7. Tecnologías de Conversión (Inversores Híbridos)

Una de las principales características de los inversores híbridos es su capacidad para conducir el flujo de corriente en ambas direcciones. Dicha función es fundamental en los sistemas que utilizan baterías para su funcionamiento, ya que no solo permiten entregar energía a la carga desde un generador de energía, sistema solar fotovoltaico o red utilitaria, sino que también permite recargar las baterías desde la red eléctrica. También estos inversores permiten cargar la batería a la vez que desde la red utilitaria y los paneles solares (Sánchez Arroyo et al., 2023).

Inversores híbridos, según Castillo Meraz et al., 2013, estos dispositivos son claves en el funcionamiento en sistemas de generación de energías renovables, pues posibilitan una conversión eficiente de corriente directa (CD) generada por los paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en corriente alterna (CA) consumible. En este proyecto en particular, se utiliza un inversor multinivel con topología de puente H que se caracteriza por su modularidad, baja distorsión armónica y capacidad de operar en sistemas aislados o interconectados. Esa flexibilidad permite enlazar los equipos con bancos de baterías y con una red secundaria, de modo que el suministro sea continuo, confiable y ajustado, rasgo vital para la viabilidad técnica y energética del sistema proyectado (Castillo Meraz et al., 2013).

Según Pereira Ferreira (2024), los inversores híbridos representan una solución técnica eficaz que combina paneles solares, bancos de baterías y la red eléctrica en un mismo paquete. Estos componentes priorizan el uso de energía solar, almacenan el sobrante y, sólo cuando es

imprescindible, tiran de la red para cubrir demandas puntuales. En su marco teórico, Ferreira señala que dicho inversor amalgama rasgos de los sistemas conectados a la red con los de los sistemas aislados, lo que resulta en una operación flexible y continua. Como consecuencia, el sistema puede seguir funcionando durante apagones, caídas de tensión o variaciones en la irradiancia solar (Pereira Ferreira, 2024).

Elegir un inversor bidireccional resulta fundamental cuando se diseña un sistema solar fotovoltaico híbrido con almacenamiento. Este equipo gestiona la energía que se recibe desde la red utilitaria, así como del sistema fotovoltaico, repercutiendo directamente en el rendimiento del sistema, maximizando la energía que se puede aprovechar y compensando las pérdidas de conversión. De la misma manera, administrando cuidadosamente los ciclos de carga y descarga, se mantendrá las baterías en buen estado y por tanto alargará su vida útil, cuidando nuestra inversión.

2.1.8. Software Meteonorm

Meteonorm es una herramienta ampliamente aceptada en la industria de las energías renovables, especialmente en el estudio e implementación de sistemas fotovoltaicos solares, pues permite modelar condiciones climáticas locales en cualquier parte del planeta. Su objetivo principal consiste en reunir y entregar, para una ubicación elegida, datos precisos de irradiancia solar, temperatura y otras variables atmosféricas que resultan esenciales para realizar pronósticos y simulaciones confiables de la generación eléctrica de los paneles solares.

Gracias a la fiabilidad de sus cifras y al rigor de sus fuentes, el software se ha ganado la confianza de ingenieros y diseñadores de proyectos fotovoltaicos. La información meteorológica que despliega surge de una integración cuidadosa de registros de estaciones en tierra, imágenes de

satélites y modelos numéricos avanzados, de modo que sea posible prever con elevada certeza cómo fluctuará el tiempo a lo largo del año. Esta previsión permite a los profesionales calcular de manera precisa el rendimiento energético futuro, un aspecto crítico en el diseño y la viabilidad económica de una instalación solar.

2.1.9. Características Meteonorm

Meteonorm proporciona estimaciones en kWh/m²/día de la irradiación solar global (GHI) para un lugar específico, incorporando tanto la radiación directa como la componente difusa. Los datos se facilitan para superficies horizontales e inclinadas, lo que resulta útil para los sistemas fotovoltaicos, porque únicamente la irradiancia sobre el plano inclinado refleja realmente lo que los paneles recibirán según su orientación y ángulo.

- **Datos Climáticos Históricos:** El software proporciona datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y nublados. Estos parámetros son cruciales para ajustar las simulaciones de rendimiento de los paneles solares, ya que las temperaturas altas pueden reducir la eficiencia de los módulos fotovoltaicos.
- **Estudios Regionales:** Meteonorm proporciona datos para estaciones meteorológicas en todo el mundo. Los usuarios pueden elegir el sitio deseado para obtener datos específicos de irradiación solar para diseñar un sistema fotovoltaico.
- **Estimación de la Variabilidad Climática:** El programa también permite calcular la variabilidad climática y la estadística del clima local, lo que resulta útil para afinar la producción esperada de un sistema solar. Para proyectos a largo plazo, estos datos son imprescindibles, puesto que la variabilidad climática condicionará las expectativas de producción futuras.

2.1.10. Aplicaciones Meteonorm en Energía Solar

En el contexto de la energía solar, es posible determinar la potencia más efectiva que los paneles pueden alcanzar bajo ciertas condiciones, lo cual es importante para el desarrollo de "plantas" solares eficientes.

- Facilita a los desarrolladores evaluar si una instalación fotovoltaica tiene viabilidad en una cierta zona, considerando la radiación solar y el rendimiento de los sistemas solares en la región.
- Durante la planificación, los especialistas en sistemas solares utilizan Meteonorm para mejorar los parámetros de los paneles, el ángulo de inclinación y la orientación con el propósito de optimizar la captación de energía solar a lo largo del año.
- Los informes sobre la energía solar calculada a partir de los datos de Meteonorm son útiles para determinar la viabilidad económica de la inversión inicial y para planear los gastos operacionales para mucho tiempo en el futuro.

En el trabajo de Quintanar Quezada & Valencia Lucero (2017), se usó Meteonorm para obtener la meteorología y la irradiación solar necesarias para la evaluación de recursos en una localización determinada. Meteonorm resultó muy útil para calcular la irradiación solar global y las horas solares diarias, proporcionando los datos más fiables en comparación con otras fuentes como la NASA.

2.1.11. Aplicación del Software Meteonorm en este Proyecto

Esta plataforma sirvió para producir, mes a mes y día por día, series de irradiancia solar global y componentes directa y difusa, datos indispensables para dimensionar el sistema fotovoltaico. La calidad de la información resultó sobresaliente, incluso superior a la recopilada por NASA.

Mediante Meeonorm se recreó de una manera exacta todas las condiciones de radiación en el sitio donde se ejecutará el proyecto, hecho que ayudó en el diseño de paneles e inversor, con lo que se pudo proyectar la generación anual de energía.

2.1.12. Software Global Solar Atlas

Global Solar Atlas es un programa en línea que nos permite acceder gratuitamente a los datos de irradiación solar en cualquier lugar del mundo, posee herramientas interactivas para visualizar mapas de irradiación solar. Nos permite estimar la producción de energía a partir de las condiciones solares locales, los datos disponibles son en formato kWh/m² para su uso directo en el cálculo del sistema solar fotovoltaico.

2.2. Marco Normativo y Regulaciones en Ecuador

2.2.1. Regulación ARCERNNR 008/23

La Regulación ARCERNNR 008/23 marca un hito en el marco normativo y regulatorio en nuestro País en lo referente a la utilización de sistemas de almacenamiento de energía y su interconexión con el sistema nacional interconectado. Tal normativa especifica los procedimientos que se deben seguir para la ejecución de proyectos de generación distribuida, dando especial atención al almacenamiento de energía, tecnologías emergentes para gestión bidireccional de la energía y almacenamiento híbrido. Su objetivo es optimizar el uso de fuentes renovables y garantizar una implementación eficiente bajo ciertas condiciones cuando el sistema abastece a un solo consumidor regulado (Corral Rosales, 2023):

1. Si no hay inyección a la red, la potencia del sistema estará restringida a la demanda máxima registrada del consumidor y a la capacidad de conexión aprobada. Si hay inyección, el límite será de 2 MW.

2. Debe estar dentro del área de servicio de la empresa distribuidora correspondiente.
3. Es obligatorio el uso de tipos de energía basados en recursos renovables como la energía solar, energía eólica, minicentrales hidroeléctricas y energía eólica.
4. Es permitido el almacenamiento de energía con baterías, siempre y cuando la energía sea producto de la generación de una fuente renovable.
5. El proyecto debe generar beneficios al sistema eléctrico, ya sea a nivel de distribución o transmisión, de tal manera de que existan mejoras a nivel de voltaje, reducción de carga a equipos al límite, etc.

Este nuevo marco regulatorio refleja un importante avance en el compromiso del País con el fomento de uso de fuentes de energía limpia así como el incremento de la capacidad instalada de proyectos que involucren sistemas sostenibles, entrando en consonancia con las tendencias mundiales en pro de la descarbonización del sistema eléctrico y la eficiencia de las redes eléctricas.

Capítulo 3: Marco Metodológico

3.1. Metodología

Esta investigación se enfoca en diseñar e implementar un sistema híbrido de almacenamiento de energía utilizando baterías de litio y paneles solares fotovoltaicos para la optimización del consumo energético en las tiendas Tuti, específicamente las que enfrentan limitaciones de infraestructura y disponibilidad de red de media tensión, imposibilitando la capacidad de instalar un transformador propio.

El objetivo principal es llevar el consumo eléctrico de la tienda a límites que permitan conectarnos sin afectar a la red secundaria, para este proyecto hemos considerado que se asegure que la demanda oscile entre los 20 kW. Para esto, se evaluará el perfil de consumo de energía en las tiendas Tuti para identificar el periodo de máxima demanda y finalmente obtener la capacidad total del sistema de almacenamiento de energía para poder suplir los 8 kW que se desean disminuir durante el periodo crítico. Se dimensionará un sistema de almacenamiento de energía con baterías de litio (LiFePO₄) considerando la eficiencia del proceso de conversión en el inversor, así mismo se considerarán las pérdidas de energía según la tasa de descarga con que trabajarán. Conociendo el valor de pérdidas de conversión e internos en la batería por el C-rate, se dimensionará un sistema solar fotovoltaico para compensar dichas pérdidas y hacer el proyecto más tentativo.

Utilizando los datos meteorológicos obtenidos a través del programa Meteonorm, se determinará la producción solar disponible en la ciudad de Guayaquil a lo largo del año, lo que permitirá calcular la cantidad de paneles solares necesarios para suplir anualmente las pérdidas del sistema, teniendo la posibilidad incluso de cargar las baterías durante las horas de luz.

Para la estimación de paneles solares, se utilizarán los datos obtenidos de Meteonorm para los cálculos respectivos de irradiación, el cálculo del número de paneles será en base a las pérdidas del sistema.

Para la comparación económica, se realizará una evaluación de los costos de instalación y operación del sistema, que está conformado por las baterías de litio, paneles solares e inversor híbrido, y se realizará una comparación de inversión total con la opción de instalar un cuarto de transformadores propio. Este análisis comparativo, nos ayudará a determinar la opción más económica y sostenible a largo, aunque el proyecto busca optimizar el autoconsumo y reducir la

dependencia de la red para suplir las pérdidas del sistema indiferentemente de la inversión total para su implementación y ejecución.

3.2. Métodos

La metodología de esta investigación está dirigida hacia el diseño y análisis de un sistema híbrido de almacenamiento de energía haciendo uso de baterías de litio y paneles solares fotovoltaicos para aplanar la curva de consumo eléctrico en las tiendas Tuti, para mantener el consumo dentro de los límites establecidos por la red eléctrica. Esta metodología se desarrollará a través de la siguiente estructura:

- Realizar un análisis del perfil de consumo de energía de las tiendas Tuti para identificar el periodo de máxima demanda durante las horas de alto consumo, mediante el uso de un analizador de redes Fluke 1735 para registrar los datos de demanda durante una semana y aproximarlos a un valor mensual y anual. Luego, establecer la capacidad necesaria de las baterías de litio para suministrar la energía en las horas de demanda máxima, considerando las pérdidas de eficiencia de la batería durante los ciclos de carga y descarga. Al final determinar la cantidad de baterías LiFePO_4 más adecuadas, tomando en cuenta su vida útil, capacidad de descarga, tecnología y eficiencia.
- Hacer uso de la información técnica (manual de usuario o data sheets) del inversor y de las baterías seleccionadas para calcular las eficiencias de conversión en ambos componentes y determinar el impacto de esas pérdidas en la eficiencia total del sistema para asumir un sobre dimensionamiento en caso de ser necesario.
- Calcular la potencia solar fotovoltaica que se deberá conectar al inversor y generar anualmente la misma cantidad de energía que se perderá entre el inversor y las baterías.

- Utilizar el programa Meteonorm y así obtener los datos de radiación solar promedio en la ubicación de la tienda, con estos datos se calculará la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir las pérdidas anuales del sistema.
- Estimar el costo del suministro e instalación del inversor híbrido, bancos de baterías y paneles solares aquí propuestos. Comparar estos costos con los de la construcción de un cuarto de transformadores, incluyendo los costos de infraestructura, instalación del transformador, y determinar cuál opción resulta más económicamente viable en el mediano y/o largo plazo.

3.3. Metodología de Trabajo (Técnica, Herramienta y Procedimiento)

Tabla 2.*Metodología de Trabajo: Etapas, métodos y técnicas a usar en el estudio*

Etapas del proceso investigación-acción	Método utilizado	Técnica utilizada
Análisis del perfil de consumo energético	Evaluar el consumo de energía en las tiendas Tuti y determinar el periodo de picos de demanda	Revisión de registros de consumo energético y evaluación de curva de demanda promedio durante el periodo de registro
Dimensionamiento del sistema de almacenamiento	Calcular la capacidad de las baterías necesarias para cubrir el pico de demanda	Selección de baterías LiFePO ₄ , cálculo de capacidad con base en la demanda máxima y pérdidas esperadas
Estimación de pérdidas de conversión	Evaluar las pérdidas de conversión en el inversor híbrido y las baterías durante los ciclos de carga/descarga	Selección del inversor a usar y análisis de pérdidas utilizando las especificaciones del inversor híbrido
Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	Determinar la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir las pérdidas energéticas del sistema, incluyendo el ángulo de inclinación y número de paneles	Uso de Meteonorm para obtener datos climáticos para dimensionar el sistema fotovoltaico, considerando el número de paneles, ángulo de inclinación, y orientación
Comparación de costos	Realizar un análisis comparativo de los costos de implementar el sistema híbrido versus la construcción de un transformador, incluyendo el cálculo de la recuperación de la inversión.	Análisis financiero para calcular la inversión y comparación con los costos de poseer una sala de transformadores dedicada.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis del Perfil de Consumo Energético de las Tiendas Tuti

Con el propósito de obtener un perfil de demanda energética y representar el comportamiento del consumo de las tiendas Tuti de forma precisa, se realizó un registro de datos de potencia durante una semana utilizando un analizador de redes Fluke 1735. Este tipo de dispositivos posee la capacidad de medir parámetros eléctricos con gran precisión y detalle, tales como voltaje, corriente, potencia activa, energía, y armónicos, los cuales son necesarios para hacer un análisis profundo sobre el comportamiento de la carga y su relación con la distribución de energía dentro de las instalaciones.

3.4.1. Toma de Datos

Utilizamos un equipo Fluke 1735, que se configuró para registrar cada 5 minutos las mediciones de los valores promedio de potencia activa, reactiva, voltaje y amperaje. El equipo estuvo conectado durante 7 días para así registrar el comportamiento típico de cada día de la semana. Durante los días que se registraron los valores, no se observaron variaciones inusuales de consumo, ni existieron cortes de luz, por lo que podemos tomarlos como representativos durante una semana típica en las tiendas.

Ilustración 6.

Registrador trifásico de calidad eléctrica Fluke 1735



Fuente: Fluke Corporation, s.f.

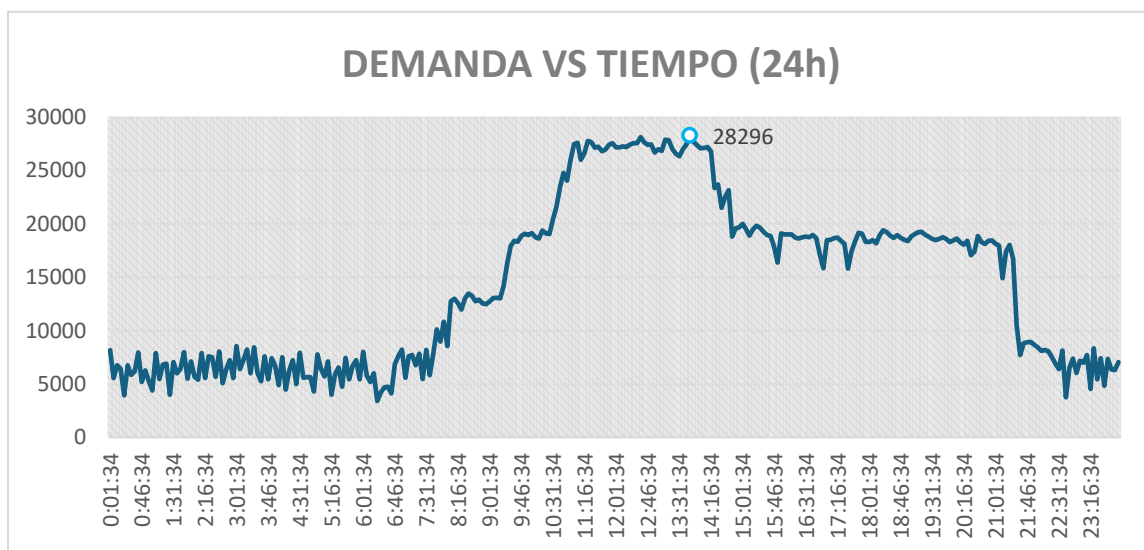
3.4.2. Procesamiento de Datos

Para obtener los datos registrados por el Fluke 1735, se utilizó PowerLog ya que tiene una interfaz amigable para la gestión de datos. Este software permite la extracción de datos de voltaje, corriente, potencia activa, energía y armónicos, los cuales son importantes para diagnosticar y analizar la calidad de la energía, así como la demanda de energía de las tiendas.

Después de descargar los datos, se analizó la curva de potencia activa total promedio. Esto se calculó sumando la demanda de las Líneas 1 y 2 del panel principal de las tiendas Tuti. El punto de referencia fue la fecha de consumo más alto registrada.

Con los datos recopilados, se generó la curva de demanda para un día típico en las tiendas Tuti. Esta curva es representativa del comportamiento del día de mayor consumo de energía en condiciones de operación normal y es fundamental para determinar las horas de máxima demanda, que serán cubiertas por el sistema de almacenamiento de energía con baterías de litio.

Ilustración 7. Curva demanda vs tiempo durante las 24 horas del día de mayor consumo de las tiendas Tuti



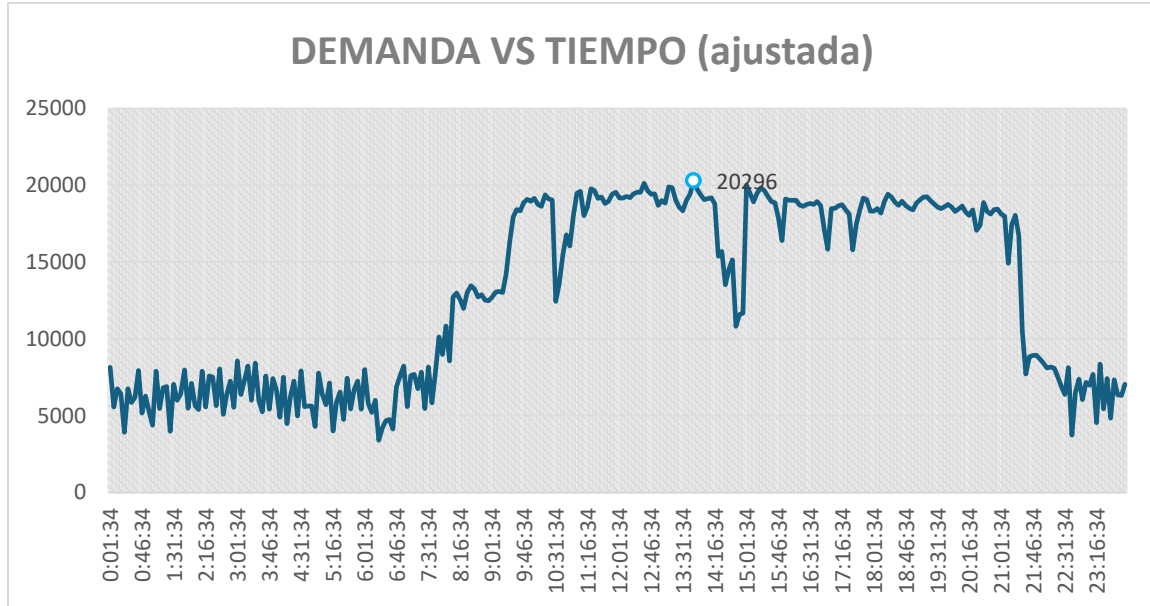
Fuente: Elaboración propia

En función de la curva de demanda mostrada, se observa que la demanda máxima registrada es de 28,296 W, alcanzada aproximadamente a las 13:46 horas del día. Además, el crecimiento de la demanda que supera los 20 kW comienza alrededor de las 10:30 AM y finaliza a las 15:00 horas. Este comportamiento es crucial para el desarrollo de la investigación, ya que evidencia la problemática central de las tiendas Tuti, las cuales originalmente fueron concebidas para operar con una demanda máxima de 20 kW. Sin embargo, con el paso de los años se han incorporado varios equipos de frío que durante el intervalo comprendido entre las 10:30 AM y las 15:00 PM, producen un aumento de la carga, que llega a superar los 28 kW en el pico de consumo.

Para nivelar la curva de demanda y reducir el consumo durante este período, se implementará un sistema de almacenamiento energético basado en baterías de litio. Esto permitirá mitigar el crecimiento de la carga, manteniendo el consumo dentro de los límites de 20 kW en el intervalo crítico. La curva de demanda resultante, con el sistema de almacenamiento implementado, se comportaría de la siguiente manera:

Ilustración 8.

Curva de demanda ajustada donde se muestra el impacto de las baterías en la red de carga durante el período de alta demanda



Fuente: Elaboración propia

En esta representación, se ha considerado únicamente la reducción de 8 kW durante el periodo de crecimiento de demanda. Esto implica que, fuera del intervalo de tiempo establecido, se observarían los valores de carga a lo largo del día. Este comportamiento refleja cómo, fuera del período comprendido entre las 10:30 AM y 3:00 PM, igual estaríamos cerca del límite de demanda planteado (20kW) por tanto se configurará el sistema para que desde las 21h30 hasta las 08h00 las baterías de litio estén en modo de carga para almacenar energía. De esta forma, las baterías cumplirán el rol de suministrar la energía necesaria durante las horas de alta demanda, y tendrán 10 horas y 30 minutos para almacenar energía y así estar listas para que durante 4 horas y 30 minutos entreguen dicha energía, garantizando que el consumo se mantenga dentro de los límites establecidos de 20 kW.

3.4.3. Selección y Distribución de Cargas

En esta sección se analizan individualmente las cargas y sus circuitos, para poder seleccionar entre ellas las que serán alimentadas por el sistema híbrido de baterías de litio, inversor y bancos de baterías de litio. Nos basaremos en la planilla de circuitos que es parte del análisis de demanda que tienen todas las tiendas previo a la presentación de documentos a CNEL para gestionar el servicio de energía eléctrica.

De todas las cargas analizadas se ha seleccionado un grupo que presenta un consumo estable alrededor de 7.9kW, se agruparán dichas cargas para que sean las que se alimenten del sistema híbrido.

Tabla 3.

Distribución de cargas para el panel de distribución principal

PANEL DE DISTRIBUCIÓN TUTI													
PANEL	RÓTULO	FASE	VOLTIOS	#PTOS	CARGA PARCIAL (W)	F.D.	CARGA TOT. (kW)	AMP. (A)	COND. AWG	Ø	BREAKER		OBSERVACIÓN
											AMP.	POLOS	
TDP1	A7	A	127	4	24	1	96	0,8	#14	1/2"	16	1	llu. Bodega, baño, colaboradores
	A8	B	127	12	12	1	144	1,1	#14	1/2"	16	1	Iluminación emergencia
	A9	C	127	6	24	1	144	1,1	#14	1/2"	16	1	Iluminación inferior área exterior
	A10	A	127	4	150	1	600	4,7	#12	1/2"	16	1	Iluminación superior área exterior
	T1	C	127	2	60	1	120	0,9	#12	1/2"	16	1	TC Oficina
	T2	A	127	3	60	1	180	1,4	#12	1/2"	16	1	TC Cajas
	T3	B	127	1	60	1	60	0,5	#14	1/2"	16	1	Timbre
	T4	C	127	1	60	1	60	0,5	#12	1/2"	16	1	TC Bodega: Mosquitero
	T5	A	127	2	60	1	120	0,9	#12	1/2"	16	1	TC Microondas y filtro de agua
	T6	B	127	2	60	1	120	0,9	#12	1/2"	16	1	TC Entrada y TrafoRoom
	T7	AB	220	3	600	1	1800	8,2	#12	1/2"	20	2	Grupo de vitrinas
	T8	BC	220	3	400	1	1200	5,5	#10	3/4"	20	2	Grupo de 3 congeladores #1
	AA1	CA	220	1	4900	1	4900	22,3	#8	3/4"	50	2	Aire acondicionado área tienda
	AA2	AB	220	1	4900	1	4900	22,3	#8	3/4"	50	2	Aire acondicionado área tienda
	AA3	BC	220	1	4900	1	4900	22,3	#8	3/4"	50	2	Aire acondicionado área tienda
	UCA	ABC	220	1	5200	1	5200	13,7	#8	3/4"	50	2	UCA: Condesadora de Vitrinas

SUMATORIO DE DEMANDAS TDP 24544 W

DEMANDA DE PANEL (F. Coincidencia = 0,84) 20617 W

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

PANEL DE DISTRIBUCIÓN BATERÍAS													
PANEL	RÓTULO	FASE	VOLTIOS	#PTOS	CARGA PARCIAL (W)	F.D.	CARGA TOT. (kW)	AMP. (A)	COND. AWG	Ø	BREAKER		OBSERVACIÓN
											AMP.	POLOS	
TDP2	A1	A	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A2	B	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A3	C	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A4	A	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A5	B	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A6	C	127	9	120	1	1080	8,5	#12	1/2"	16	1	Iluminación área tienda
	A11	B	127	1	24	1	24	0,2	#14	1/2"	16	1	Iluminación oficina
P. UPS	TR1	A	127	1	120	1	120	0,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Oficina
	TR2	A	127	1	120	1	120	0,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Caja de alarma
	TR3	A	127	1	120	1	120	0,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Rack
	TR4	A	127	2	120	1	240	1,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Caja 1
	TR5	A	127	2	120	1	240	1,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Caja 2
	TR6	A	127	2	120	1	240	1,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Caja 3
	TR7	A	127	1	120	1	120	0,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Bodega
	TR8	A	127	1	120	1	120	0,9	#12	1/2"	20	1	T/C Regulado: Punto de TV

SUMATORIO DE DEMANDAS TDP 7824 W

DEMANDA DE PANEL (F. Coincidencia = 1) 7824 W

Fuente: Elaboración propia

El sistema eléctrico está compuesto por un panel de distribución principal que se encuentra conectado a la red para luego derivarse a un panel secundario, en donde se encuentran las cargas que serán suministradas por el sistema híbrido de baterías, paneles solares y red. En el panel secundario encontramos cargas fijas, como iluminación y sistemas UPS que alimentan las cajas registradoras. Se seleccionaron ya que, al tener un consumo constante, no son dependientes de ciclos de encendido y apagado como son los congeladores.

Capítulo 4: Dimensionamiento y Selección de Baterías

4.1. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

4.1.1. Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento

El voltaje nominal a seleccionar de las baterías varía según el inversor a usar y la tensión de la red. La tensión nominal de la red es de 220 V y según el inversor a usar, las baterías de 48 V son las más comunes para sistemas solares fotovoltaicos. Son además compatibles con muchos inversores híbridos que operan en sistemas de 220 V.

En esta investigación se hará uso de baterías de litio LiFePO₄, cada celda tiene un voltaje nominal de 3.2 V. Para obtener un sistema de 48 V, necesitas conectar 15 celdas en serie, de tal forma que: $Voltaje = 3.2 \frac{V}{celda} \times 15 \text{ celdas} = 48 V$

4.1.2. Cálculo de Capacidad de Batería

Dado que la batería debe entregar 8 kW durante un periodo de 4 horas y 30 minutos (desde las 10:30 am hasta las 3:00 pm), idealmente la energía total necesaria será:

Ecuación 4. *Energía requerida*

$$Energía\ requerida = Potencia \times Tiempo$$

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

En el mercado existen muchos proveedores de baterías de litio con diferentes características técnicas. A pesar de que las fábricas sudamericanas de baterías de litio están en constante progreso, las opciones en mercados asiáticos en especial China, son las más convenientes con respecto a la variedad, calidad y precio. Por tanto, en este proyecto nos hemos centrado en marcas chinas (Kazimierski, 2018).

El sistema de baterías de litio es modular, lo que significa que no es necesario encontrar una batería exacta con todas las características especificadas (por ejemplo, 48 V y 36 kWh en un solo paquete). En lugar de buscar una batería con exactamente 36 kWh, se puede construir el sistema utilizando varias unidades de baterías modulares que, en conjunto, sumen la capacidad total que necesitas.

En base a estos cálculos sabemos que la batería a usar tiene que ser de Litio (LiFePO_4), 48 V de voltaje nominal y capaz de entregar 36 kWh. Con estos requerimientos, la batería escogida es una que se encuentra en el mercado de China, de la marca Sail Solar:

Ilustración 9.

Lithium Battery, con celdas de LiFePO_4 , 51.2 V-200 Ah-10.24 kWh



Fuente: Sail Solar, s.f.-a

Para esta investigación, se podrían seleccionar cuatro unidades de baterías, cada una con una capacidad de 10.24 kWh, lo que da un total de 40.96 kWh. Como se puede observar, los 40.96 kWh superan los 36 kWh antes establecidos como la necesidad diaria del sistema, este excedente es importante ya que el Depth of Discharge (DoD) que muestran los datos de placa de las baterías es el 80%, por lo que es necesario tener una reserva del 20% para que las mismas no

superen el DoD recomendado por el fabricante. Este valor representa el porcentaje de la capacidad total de la batería que se puede utilizar de forma segura. Más adelante, se utilizarán los datos de placa del inversor para definir la capacidad real del banco de baterías.

Capítulo 5: Pérdidas y Tipo de Inversor

5.1. Inversor y Estimación de Pérdidas de Conversión

Si las baterías deben entregar 8 kW durante 4 horas 30 min y el inversor se utiliza para manejar tanto las baterías como la energía fotovoltaica, el inversor debe ser capaz de entregar como mínimo 8 kW de potencia continua. Un inversor con una potencia nominal de 8-10 kW sería adecuado para gestionar tanto las cargas solares como la energía de la batería.

Se ha seleccionado un inversor híbrido de 10 kW de la serie Thor de Sail Solar, el cual está específicamente diseñado para gestionar la energía procedente tanto de la red eléctrica como de los paneles solares fotovoltaicos y almacenarla eficientemente en las baterías de litio.

Ilustración 10. *Inversor híbrido Sail Solar, modelo THOR, conexión Split Phase 10 kW*



Fuente: Sail Solar, s.f.-b

El inversor híbrido seleccionado tiene un voltaje nominal de 48 V, con una eficiencia de 95%, que es ideal para trabajar con las baterías de litio LiFePO_4 elegidas, y es capaz de manejar potencias de hasta 10 kW, lo que cubre adecuadamente la demanda de 8 kW durante las 4 horas y 30 minutos en las que se estima el consumo máximo.

Además, este inversor cuenta con características de inteligencia que permiten la optimización del uso de la energía disponible. El sistema de comunicación RS485 y CAN facilita el monitoreo y control del inversor de manera eficiente (PCM, 2021), mientras que su protección IP65 garantiza su resistencia y durabilidad por su alta resistencia al polvo y entrada de agua, permitiendo su uso en condiciones de climas adversos como Guayaquil (Berrade, 2024).

5.2. Configuración del Inversor

El proyecto requiere de las siguientes funcionalidades del inversor:

- Operación de 10:30 am a 3:00 pm:
 - Convertir simultáneamente la energía de CC de los paneles solares y las baterías a energía de CA para las cargas de la tienda.
 - Gestionar la contribución de la energía solar para compensar las pérdidas del sistema.
- Operación fuera del periodo de máxima demanda:
 - Permitir que la energía de CA de la red pase a las cargas de la tienda.
 - Desde las 22h00 hasta las 8h00 del día siguiente, cargar las baterías utilizando la energía de CA de la red.

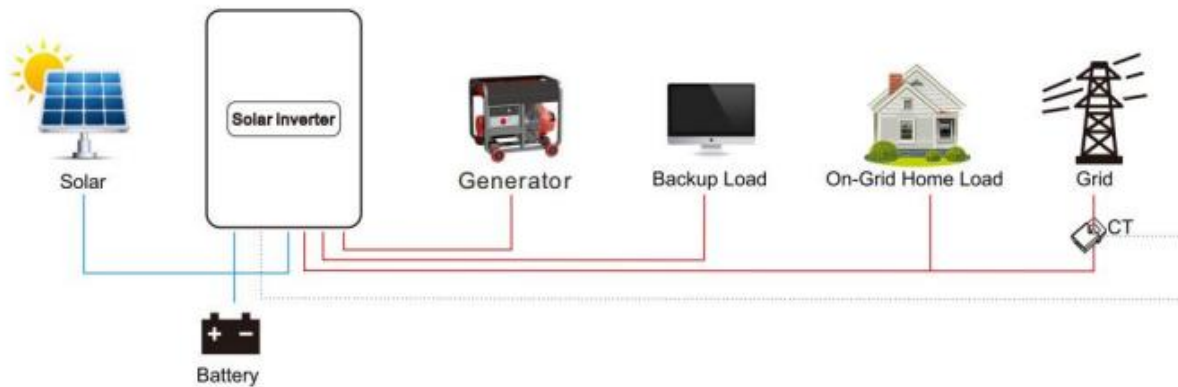
El inversor de la serie SEI UP, Solar Hybrid Inverter, según el manual de usuario proporcionado por la marca Sail Solar, está diseñado para manejar estos modos de operación, así como las funcionalidades de carga y descarga por franjas horarias, para cumplir con los requerimientos del proyecto.

Para más detalles sobre la configuración del inversor, consulte el Manual de Usuario que se encuentra en el **ANEXO A:** (Sail Solar,2025).

5.2.1. Modos de Operación

El inversor posee varias entradas (red utilitaria, paneles solares y baterías) y realiza la conversión de DC a AC, esto implica que es capaz de recibir y controlar entrada solar y de la batería simultáneamente. El inversor al ser tipo híbrido permite también funcionar con la energía de la red utilitaria. Es fundamental trabajar el sistema en modo híbrido para poder gestionar al mismo tiempo la energía de la red, los paneles solares y las baterías.

Ilustración 11. Esquema para la gestión del flujo de energía del inversor



Fuente: Manual de usuario Hybrid Solar Inverter (Sail Solar)

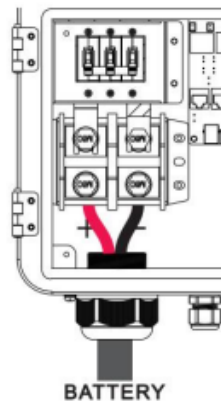
La imagen muestra un diagrama de un sistema híbrido de energía solar con especial énfasis en el inversor solar como el componente clave que controla el flujo de energía. El sistema se compone de varios subsistemas:

- Módulos Fotovoltaicos Solares (PV): Ubicados a la izquierda, los paneles solares reciben energía solar y producen electricidad en forma de corriente continua (CC).
- Inversor Solar: El principal componente del sistema, se encarga de interactuar entre las fuentes de energía que son la red utilitaria, los paneles solares, las baterías (en modo

descarga) y las cargas que son los equipos eléctricos a dar energía y el banco de baterías (en modo carga).

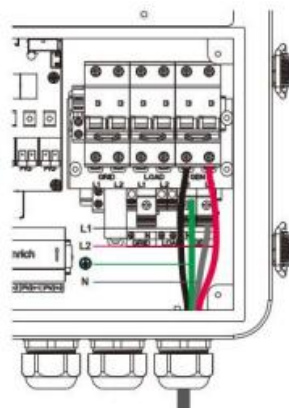
- **Batería (Battery):** Es uno de los elementos que más desarrollo tecnológico ha tenido en los últimos años y gracias a ello ha permitido un sinnúmero de nuevas aplicaciones portátiles de equipos eléctricos, en este caso utilizaremos la tecnología LiFePO₄.
- **Generador:** Las tiendas Tuti poseen un generador eléctrico a gasolina de 7500W que es utilizado en cortes de energía, actualmente se conecta a la carga mediante una transferencia manual tipo Switch. Al implementar este sistema podemos conectarla directo al inversor para integrar en solo equipo todas las fuentes y consumidores de energía.
- **Cargas (Backup Load):** Son los dispositivos a alimentar detallados en el diagrama unifilar de la tienda Tuti.
- **Red Eléctrica:** También llamada red utilitaria, corresponde a la fuente “infinita” de energía externa, en este caso administrado por la empresa CNEL EP Guayaquil. Si bien es cierto en este proyecto la capacidad de generación fotovoltaica y del sistema de respaldo con baterías nunca va a exceder el consumo interno de energía, si la cantidad de paneles solares crece a futuro lo suficiente, podría haber un flujo de energía hacia la red utilitaria. En este caso conviene a Tuti realizar el estudio y gestión para la instalación de un medidor bidireccional y así aprovechar al máximo las facilidades en la normativa eléctrica actual.
- **Transformador de Corriente (TC):** Instalado en el conductor de acometida desde la red utilitaria, sirve para poder monitorear el flujo de potencia total con respecto a la red, permitiendo conocer al inversor cuanto se está recibiendo o entregado desde la misma.

Ilustración 12. *Conexión de los cables positivo y negativo de la batería a los respectivos terminales del inversor*



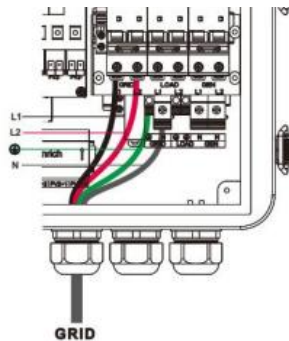
Fuente: Sail Solar, 2025

Ilustración 13. *Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador*



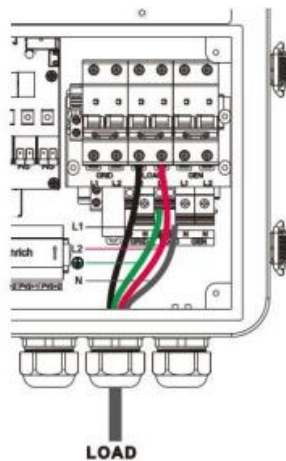
Fuente: Sail Solar, 2025

Ilustración 14. Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador, la red y la carga.



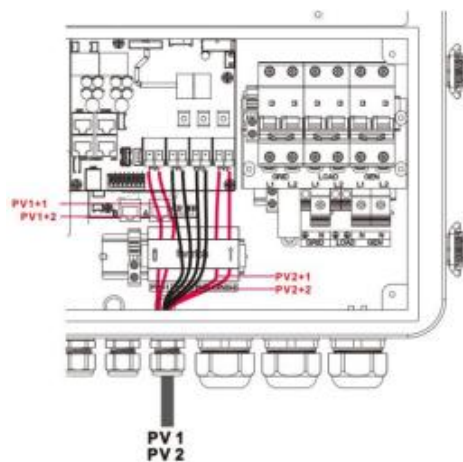
Fuente: Sail Solar, 2025

Ilustración 15. Conexión de los cables de las dos fases, neutro y tierra para conectar el generador, la red y la carga



Fuente: Sail Solar, 2025

Ilustración 16. *Ubicación para la conexión de los cables positivo y negativo de los PVs*



Fuente: Sail Solar, 2025

La interfaz principal del inversor híbrido proporciona una visión clara y detallada del estado de funcionamiento de los componentes conectados, como los paneles solares, las baterías, la red eléctrica y la carga del sistema. A través de una pantalla táctil intuitiva, el usuario puede observar en tiempo real la potencia generada por los paneles solares, el nivel de carga de las baterías, el rendimiento del inversor y la potencia que se está suministrando a la carga. Esta visualización es fundamental para optimizar la gestión de energía y asegurar que el sistema esté operando de manera eficiente.

Ilustración 17. *Display del panel principal del inversor.*



Fuente: Sail Solar, 2025

A continuación, describiremos cada uno de los íconos que se muestran en el display principal del inversor, en donde se nos muestra información esencial sobre el estado y operación actual del sistema:

- Panel Solar: Representa la potencia instantánea en watts que están entregando en ese momento los paneles solares.
- Batería: Indica el nivel de carga de las baterías lo que nos permite saber cuando va a estar lista para entregar energía a la carga, así mismo nos permite conocer cuando podría dejar de entregar al consumidor.
- Página Principal: Se representa como un icono de casa y permite visualizar la pantalla principal del inversor, la cual contiene todos los parámetros y el estado del sistema; este se monitorea en tiempo real.

- **Historial:** Se muestra en el display del equipo como un histograma de frecuencias, y entrega información histórica sobre el funcionamiento del equipo a lo largo del tiempo, mostrando también datos sobre el rendimiento del mismo.
- **Configuración:** Se muestra mediante un icono de rueda dentada y da acceso a los parámetros del inversor sobre la configuración del sistema, la energía de carga, modos de operación y demás elementos técnicos importantes.
- **Hora Local:** Presenta la hora local en el formato deseado, permitiendo sincronizar los registros de datos del sistema con el tiempo real.
- **Red (símbolo de torre de transmisión):** Representa la conexión a la red utilitaria, nos indica si el inversor está recibiendo energía de la red o si estamos entregando desde nuestro banco de baterías a la red externa.
- **Carga (Símbolo de casa):** Indica la potencia consumida por el usuario, valor de mucha utilidad ya que nos muestra el consumo en tiempo real.
- **Inversor activado (Símbolo de función senoidal):** Este ícono nos dice que el inversor está operando correctamente ya sea recibiendo o entregando energía desde las baterías, sistema solar, etc.
- **Sentido de la energía (Iconos de flechas):** Representa el flujo de potencia y su dirección en tiempo real.

5.2.2. Programación de Franjas Horarias

El inversor utilizado en este proyecto posee una función de configuración de carga y descarga de franja horaria, cuya utilización es fundamental para este proyecto. Utilizando esta función vamos a definir un intervalo de operación en modo descarga de baterías entre las 10:30

am y 03:00 pm, durante este tiempo también estará activo el modo de utilización de energía solar fotovoltaica. Fuera de dicho horario existirá una pausa y a partir de las 10.00 pm iniciará la carga de las baterías, aprovechando de esta manera tarifas reducidas por el rango horario así mismo los 8kW de demanda serían trasladados a los momentos en que el consumo de la tienda es mínimo.

Ilustración 18. Interfaz para el ajuste por franja de horarios del inversor



Fuente: Sail Solar, 2025

En la interfaz del inversor, la opción de Peak Shaving permite al usuario modificar diferentes configuraciones, facilitando por ende la personalización de los procesos de carga y descarga en función de los requisitos energéticos concretos. Estos son los parámetros que se pueden modificar de esta sección:

1. Time Charging/Discharging Enable:

- Este parámetro permite habilitar o deshabilitar la función para recargas y descargas por horarios. Al habilitar esta opción, el sistema se configura para realizar cargas y descargas pre programadas según el calendario definido.

2. Start/End Time:

- Indica el periodo de tiempo dentro del cual la carga y descarga programadas están activas. Los usuarios pueden establecer las marcas de inicio y fin del periodo dentro del cual el inversor realizará operaciones de carga y descarga. Esto es útil para adaptar la gestión energética a las necesidades de consumo específicas de la tienda.
 - Para *Timed charging enable*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:
 - Start Time: 22h00.
 - End Time: 08h00
 - Para *Timed discharging enable*, utilizaremos en este proyecto los siguientes valores:
 - Start Time: 10h30.
 - End Time: 15h00

3. Stop SOC (State of Charging - Estado de Carga):

Mediante la asignación de este parámetro estableceremos un valor máximo porcentual de carga para las baterías, que varía según las recomendaciones de los fabricantes que a su vez depende del tipo de batería, calidad, tipo de uso, entre otras variables. De tal manera que

podremos evitar sobrecargas de las mismas que pueden causar varios fenómenos desfavorables para su vida útil.

- Stop SOC: 100%.
- Para *Timed discharging enable*, este parámetro será seteado de la siguiente manera:
 - Stop SOC: 20%.

4. Stop Volt:

- El voltaje máximo que alcanzaría la batería durante el proceso de carga es un parámetro fundamental para proteger la misma ya que un exceso de voltaje implica también una posible sobrecarga. El valor del voltaje no sólo es relevante hacia los valores máximos sino también para los mínimos, por lo que ambos datos deben ser ingresados para garantizar la protección del banco de baterías,
- Para *Timed charging enable*, es decir el voltaje máximo de carga, ajustaríamos el setting al siguiente valor:
 - Stop Volt: 59.0V.
- Para *Timed discharging enable*, es decir el voltaje mínimo de descarga, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:
 - Stop Volt: 54.0V.

5. Max Power:

- Con este parámetro establecemos límites a la velocidad de carga y descarga de la batería, que está íntimamente relacionado con la potencia utilizada en este proceso.

De esta manera se definirá la potencia máxima con que la batería absorba y entregue energía, respetando así los límites operativos recomendados para los equipos de este sistema.

- Para *Timed charging enable*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:
 - Max Power: 4kW.
- Para *Timed discharging enable*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:
 - Max Power: 8kW.

Si el tiempo de descarga con una demanda de 8kW es de 4.5 horas, al configurar la potencia de carga a 4kW, necesitaríamos idealmente el doble de tiempo para cargar las baterías, es decir 9 horas. Por tanto, el tiempo establecido de carga de 10 horas, será suficiente poder cargar completamente la batería, incluso considerando las pérdidas que se analizarán más adelante.

5.2.3. *Parámetros de Gestión de Batería*

El inversor seleccionado durante el ingreso de energía mediante la red eléctrica nos da la opción de diversos modos de carga, siendo una de las opciones más útiles el permitir que las baterías se carguen incluso mientras se alimentan las cargas.

Existen ajustes (que serán descritos más adelante) que permiten prevenir la pérdida de vida útil de la batería, controlando parámetros como la corriente máxima de carga, voltajes mínimos de descarga, entre otros. Todos estos parámetros presentarán primero una alarma configurable y luego también se puede establecer valores de desconexión automática.

Todo esto aumentará considerablemente la expectativa de vida de las baterías, que como veremos más adelante constituyen uno de los elementos más costosos del sistema planteado en este proyecto.

Ilustración 19. *Interfaz para la configuración de los parámetros de gestión de la batería*



Fuente: Sail Solar, 2025

Ilustración 20. Interfaz para la configuración de los parámetros de gestión de la batería



Fuente: Sail Solar, 2025

En este proyecto se protegerá y controlará la batería desde los settings propios del modo *Peak Shaving*, recordando que anteriormente se hizo el cálculo del voltaje nominal de las baterías de LiFePO4 (LFP en el manual) con una cantidad de 15 celdas en serie. Por lo que, en el manual de usuario, ubicado en el **ANEXO A:** configuran los parámetros en base a la tabla correspondiente a las baterías de Litio (pág. 46 en el manual), donde existe una columna donde indican los valores recomendados a usar para las baterías de litio que contienen 15 celdas (L15). Sin embargo, describiremos algunos de los parámetros clave que se pueden configurar:

1. Maximum Chg. Voltage:

- Establece el valor máximo de voltaje de carga al que la batería debe llegar para detener la carga. Esto asegura que la batería no se sobrecargue.
- Para *Max Chg. Voltage*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:

i. Max Chg. Voltage: 54.0V.

2. Batt. Recharging Voltage:

- Define el voltaje en el que se reinicia la carga de la batería una vez que haya alcanzado el valor de voltaje de corte de carga.
- Para *Rechg. Voltage*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:

i. Rechg. Voltage: 50.4V.

3. Battery Curr. Stop Chg:

- Determina el valor máximo de corriente de carga. Una vez alcanzado, el sistema detiene la carga para evitar sobrecargar la batería.
- Más arriba se mencionó que la potencia máxima de carga sería 4kW, por lo que considerando el factor de potencia y eficiencia del inversor tendríamos:
$$\frac{4kW}{(0.9)(0.95)(48V)} = 9.47 A$$
eso dividido para las 6 baterías, nos da un valor de 16.24A de carga “idealmente”, entonces para *Curr. Stop Chg*, tendríamos el siguiente setting:

i. Curr Stop Chg.: 16.24A.

4. Maximum Charging Current:

- Con el ajuste de este parámetro controlaremos la corriente de carga, estableciéndole un límite ya que valores excesivos disminuyen considerablemente la vida útil de las baterías y puede ser evitado controlando este valor.
- Para *Max Chg. Current*, colocaríamos para proteger las baterías seleccionadas el siguiente valor:

i. Max Chg. Current: 200A.

5. Batt. Under Volt Alarm:

- Este parámetro es la primera alerta para prevenir un bajo valor de voltaje que pueda afectar la vida útil de las baterías.
- Para *Undervoltage alarm voltage*, como primera alarma de bajo voltaje tendríamos el siguiente valor:

i. Undervolt alarm: 46.4V.

6. Batt. Volt Fault Recovery:

- Establece el proceso de recuperación cuando la batería reporta una falla de voltaje bajo. Si la batería se recupera dentro de los parámetros establecidos, la falla será corregida.
- Para *Volt Fault Recovery*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:

i. Volt Fault Recovery: 45.6V.

7. Batt. Volt Low Fault:

- Esta alarma nos indica que existe un voltaje demasiado bajo para seguir operando con seguridad, previniendo el daño de la batería por llegar a valores que afecten considerablemente su vida útil.
- Para *Volt Low Fault*, se modificarán los parámetros según el siguiente setting:

i. Volt Fault Recovery: 43.6V.

8. Batt. Volt Low Fault Delay:

- Con esta opción añadimos un retardo a la desconexión automática de la batería como protección ante un voltaje demasiado bajo que ponga en peligro su vida útil, este parámetro permite que el sistema vuelva a entregar energía a la batería y cargarla antes de que se desconecte completamente.
- Para *Volt Low Fault Delay*, tendríamos en este proyecto el siguiente setting:
 - i. Volt Low Fault Delay: 30s.

5.3. Cantidad de Baterías según Ley de Peukert

Con la finalidad de tener un cálculo preciso para el cálculo de la capacidad y cantidad de baterías necesarias para suministrar 7.82 kW durante 4.5 horas, vamos a utilizar la Ley de Peukert que se presenta en la Ecuación 1. De esta manera vamos a ajustar los valores nominales de placa que se nos entrega el fabricante a las condiciones reales de funcionamiento de las baterías, lo que se verá reflejado en una mayor exactitud sobre la estimación de la capacidad real de almacenamiento de nuestro banco de baterías.

Tenemos los siguientes datos:

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

$$P_{total} = 7824\ W$$

$$FP = 0.9$$

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

$$V_{inv} = 48V$$

$$C_{nom} = 200Ah$$

$$DoD = 80\%$$

$$Tiempo\ de\ descarga\ deseado = 4.5h$$

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

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

Donde:

$V_{nom\ AC}$: *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

El exponente de Peukert debe ser siempre mayor que 1. Para baterías de Litio se recomienda utilizar valores que oscilen entre 1.00 y 1.06 (Battle Born, 2022); en este caso, tomaremos un valor de $k = 1.05$ como referencia. En cuanto al C-rate, dado que el fabricante no

proporciona este dato específico, se empleará un valor estándar de descarga lenta de $\frac{C}{20}$, lo cual es común en pruebas de descarga lenta. Esto se debe a que el fabricante especifica la capacidad nominal de la batería, pero no detalla la tasa exacta de descarga bajo condiciones reales de operación.

Utilizando la ley de Peukert $C_{nom} = I^k \times t$, y sabiendo que C_{real} representa la capacidad de descarga real de la batería multiplicada por el tiempo $t = \frac{C_{real}}{I}$, tendríamos la ley de Peukert expresada de esta manera:

Ecuación 5. *Ley de Peukert*

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

Constante de Peukert

Primero se necesita calcular la potencia aparente (S) demandada por el sistema en AC:

Ecuación 6. *Potencia aparente*

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

La potencia DC requerida por el banco de baterías, considerando la eficiencia del inversor de 95%, se calcula a partir de la relación entre la potencia aparente del módulo (ya que nuestro inversor es capaz de inyectar potencia activa y reactiva al sistema) y la eficiencia del inversor. Esto se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 7. *Potencia DC*

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

La corriente total DC que requiere el banco de baterías sería:

Ecuación 8. *Corriente DC*

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

Calculamos la capacidad total del banco de baterías que se necesita para suministrar durante las 4.5 horas considerando el DoD del 80%:

Ecuación 9. *Capacidad total del Banco de pruebas*

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

La cantidad de baterías necesarias para nuestro sistema serían:

Ecuación 10. *Número de baterías*

$$\begin{aligned} \text{Número de baterías} &= \frac{C_{total}}{C_{nom}} = \frac{1072.35 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah/batería}} = 5.36 \text{ baterías} \\ &\approx 6 \text{ baterías} \end{aligned}$$

Ahora, verificando con la Ley de Peukert para 6 baterías, la corriente por cada batería sería:

Ecuación 11. *Corriente por batería*

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

La constante de Peukert (Creal) la obtendríamos usando la ecuación anterior modificada:

Ecuación 12. *Corriente nominal según ecuación de Peukert*

$$I_n = \frac{C_{nom}}{t_{nom}} = \frac{C_{nom}}{20 h} = \frac{200 Ah}{20 h} = 10 A ; \text{Asumiendo } C_{rate} = \frac{1}{20} \quad (12)$$

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

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

Finalmente, usando la ley de Peukert:

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

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

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

El tiempo de descarga estimado por batería es de 4.72 horas, que es mayor que el tiempo requerido de 4.5 horas, por lo que un banco de 6 baterías es suficiente para lograr alimentar el sistema.

Capítulo 6: Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico

6.1. Irradiación en Guayaquil

Para calcular la irradiación solar promedio diaria se seleccionó la ubicación del Aeropuerto de Guayaquil, Ecuador en el programa Meteonorm, debido a que es el lugar que queda más cerca de una estación meteorológica oficial. Meteonorm registra datos de irradiación solar desde 1999 hasta 2019, también permite obtener los valores promedios mensuales y diarios de irradiación para la ubicación seleccionada.

Tabla 5.

Irradiación solar global promedio por mes y por día más cercana al área geográfica del estudio

Mes	Días	Gh (kWh/m ² mes)	Gh (kWh/m ² día)
Enero	31	142	4,58
Febrero	28	128	4,57
Marzo	31	157	5,06
Abril	30	154	5,13
Mayo	31	138	4,45
Junio	30	120	4,00
Julio	31	119	3,84
Agosto	31	119	3,84
Septiembre	30	118	3,93
Octubre	31	110	3,55
Noviembre	30	113	3,77
Diciembre	31	133	4,29
Media total		129,25	4,25

Fuente: Meterotest, s.f.

Ya que Guayaquil se encuentra ubicado en el hemisferio sur, es importante ubicar los paneles solares de tal forma que se orienten hacia el norte con la finalidad de recibir la mayor cantidad de irradiación solar durante el año. Con esto se asegura que los paneles obtengan la mayor cantidad de energía para optimizar su rendimiento.

6.2. Irradiancia Solar Máxima de la Zona Geográfica

Dentro del marco de Condiciones de Prueba Estándar (STC), se considera un valor de irradiancia máxima de 1000 W/m² para Guayaquil, cuyo valor se usa para la evaluación de potencia en los paneles solares en condiciones ideales (Alonso, 2024). Es notable que en la vida real muy pocas veces se alcanza este valor por razones como condiciones en el clima o la hora durante el día, este valor se puede considerar aceptable para el caso de Guayaquil, ya que es un valor estándar

que permite evaluar el rendimiento de los paneles solares para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

6.3. Cálculo del Ángulo Óptimo de Inclinación de los Paneles

En este trabajo se utiliza el método propuesto por Espinoza Meza (2021) para el cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares. Este método es práctico y efectivo para la región de Piura y ha sido adaptado para las condiciones de Guayaquil, Ecuador, en la presente investigación.

El primer método sugiere el uso del software Global Solar Atlas, el cual, para la ubicación de esta investigación en Guayaquil, determina que el ángulo óptimo de inclinación es de 4°. Sin embargo, también se adoptará el segundo método propuesto, que garantiza el abastecimiento continuo de energía eléctrica, incluso durante el mes con menor irradiación solar global diaria.

Ecuación 13. *Ángulo de inclinación de paneles*

$$\beta = \varphi + 10$$

. Ángulo de inclinación de los paneles

Donde:

φ : latitud de la instalación en grados decimales

Entonces:

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

Usaremos el valor propuesto por el método usando la ecuación y aproximaremos el ángulo de inclinación a 8°, que es un valor bastante aproximado y nos brinda facilidad de cálculos.

6.4. Cálculo de la irradiación global promedio con ángulo de inclinación

En este proyecto, para estimar la irradiación solar que vamos a tener tomando en cuenta el ángulo óptimo de inclinación, se utilizó una fórmula empírica ajustada planteada por Espinoza Meza (2021), quien utilizó este modelo para mejorar la precisión en el cálculo de un sistema solar fotovoltaico.

Utilizando los datos de irradiación promedio por mes y por día mostrados en la Tabla 5, se utilizará la fórmula ajustada descrita anteriormente para crear una nueva tabla.

Ecuación 14. *Irradiación global promedio considerando ángulo de inclinación*

$$I_{gm}(\beta) = \frac{I_{gm}(0)}{1 - (4.46 \times 10^{-4} \times \beta) - (1.19 \times 10^{-4} \times \beta^2)}$$

Reemplazando los valores de la tabla por mes tendríamos:

Tabla 6.

Irradiación solar global por día corregido con ángulo de inclinación

Mes	Igm(0) (kWh/m ² día)	Igm(β) (kWh/m ² día)
Enero	4,58	4,63
Febrero	4,57	4,62
Marzo	5,06	5,12
Abril	5,13	5,19
Mayo	4,45	4,50
Junio	4,00	4,05
Julio	3,84	3,88
Agosto	3,84	3,88

Septiembre	3,93	3,98
Octubre	3,55	3,59
Noviembre	3,77	3,81
Diciembre	4,29	4,34
Media	4,25	4,30

Fuente: Elaboración propia

6.5. Cálculo de la Energía que deben Entregar Anualmente los Paneles

Para el dimensionamiento de los paneles, necesitamos calcular las pérdidas de energía totales aproximadas del sistema. En primer lugar, debemos determinar la eficiencia todo el proceso, que involucre la eficiencia de las baterías, la eficiencia del inversor y las pérdidas adicionales (como las ambientales, el ruido, la temperatura, entre otras). La fórmula para este cálculo sería:

Ecuación 15. 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 calcular la energía suministrada, utilizaremos la potencia de la carga a la que vamos a dar servicio durante el tiempo de descarga y la multiplicaremos por el tiempo de descarga.

Ecuación 16. Energía total suministrada en AC

$$E_{total\ AC} = 7.824kW \times tiempo \quad (16)$$

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

Para obtener la energía que la red utilitaria entrega al inversor para cargar completamente las baterías, debemos dividir la energía total entregada (35.21 kWh) para la eficiencia total del sistema (0.8664). De esta manera podemos conocer cuanta energía deben generar los paneles solares diariamente para suplir las pérdidas de conversión en inversores y baterías.

Ecuación 17. *Energía que deben suministrar los paneles para suplir las pérdidas de conversión de energía en el inversor y baterías*

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

Ecuación 18. *Energía de carga de un banco de baterías en función de la eficiencia del inversor*

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

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

Ecuación 19. *Energía mensual que entregarán los paneles*

$$\begin{aligned} E_{paneles}(mensual) &= 5.43kWh/día \times 30\ días/mes \\ &= 162.9kWh/mes \end{aligned} \quad (19)$$

Siguiendo lo indicado en el trabajo previo de referencia Espinoza Meza (2021), para determinar la potencia máxima que debe generar el sistema fotovoltaico diario con el fin de cubrir las pérdidas en los meses con menor irradiación, es decir, en las condiciones más desfavorables, se considera diversos factores. Estos incluyen la eficiencia del inversor, con un valor de 95%, el factor de diseño establecido de irradiancia solar máxima tomada según el estándar en 4.2, que es de 1kW/m², un factor de seguridad de 1.2, y el mes con la menor irradiación global bajo el ángulo

de inclinación óptimo, el cual corresponde a octubre, con un valor de 3.59 kWh/m²día. Todos estos elementos se reflejan en la ecuación:

Ecuación 20. *Potencia máxima del sistema fotovoltaico.*

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{E_{paneles} \times Irradiancia\ Solar\ M\acute{a}x \times Factor\ de\ Seguridad}{Eficiencia\ del\ Inversor \times Irradiaci\acute{o}n\ Prom\ mensual\ m\acute{i}n}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{5.43 \times 1 \times 1.2}{0.95 \times 3.59} \cong 1.91kW$$

6.6. Cálculo de la Cantidad de Módulos

El número de módulos a utilizar, serán determinados a partir de la relación entre la potencia máxima requerida para los paneles para cumplir las necesidades de la carga y la potencia máxima de cada módulo, de acuerdo a lo que indiquen las especificaciones del fabricante. Considerando los anteriores análisis, para esta investigación se seleccionaron módulos monocristalinos bifaciales de 590W de la marca Sail Solar, correspondientes al modelo SAS590N-144M10.

Ilustración 21. *Módulo de panel bifacial monocristalino 590W de la marca Sail Solar*



Fuente: Sail Solar, s.f.-c

Luego, la cantidad de módulos a usar son:

Ecuación 21. *Cantidad de módulos*

$$Cantidad\ de\ módulos = \frac{P_{\text{máx a generar}}}{P_{\text{máx paneles}}} = \frac{1.91kW}{590W} = 3.23 \cong 4\ paneles \quad (21)$$

Capítulo 7: Análisis de Costos del Proyecto

7.1. Costos Sistema Híbrido

La cotización total del proyecto incluye todos los componentes necesarios para implementar el proyecto como el inversor, banco de baterías, paneles solares, combiner box, cables y conectores necesarios para la instalación. El costo total del sistema fotovoltaico híbrido es de \$8,483.28 USD, cuyo valor incluye el costo de FCA Shanghai, para el envío de parte del vendedor hacia el puerto de Shanghai, una vez que los productos se entregan al transportista, el comprador asume los costos y riesgos (Ascent, 2024).

Item	Model	Picture	Description	Quantity	Unit price	Amount
1	SAS Solar Panel Model:SAS590N-144H-B		Power: 590W Weight: 32KG Size: 2278*1134*30mm Warranty: 12 years 36pcs/pallet 720pcs/40HQ	4	\$57.82	US\$231.28
2	SRNE Hybrid Inverter SEI-10K-UP		Split Phase Power: 10KW Weight: 14KG Size: 620*445*130mm No. of MppTrackers: 2 Warranty: 5 years	1	\$1,395.00	US\$1,395.00
3	51.2V200Ah Lithium Battery Rack-Mounted		Capacity: 10.24KWH Max charge current: 200A Cycle life: >6000 Size: 503*482*267mm Weight: 96KG Warranty: 5 years	6	\$989.00	US\$5,934.00
4	PV Combiner Box		2 Input 1 output Max PV Voltage : 1000V Size: 155*400*300mm Weight: 8KG	1	\$100.00	US\$100.00
5	PV Cable		PV 4mm2	100	\$0.80	US\$80.00
6	MC4 Connector		30A, 1000VDC	32	\$0.80	
7	10KW system Roof Mounting brackets (whole set for solar modules)		Wind Load: 34m/s Snow Load: 1.4kn/s Structure: Anodized Aluminum+Stainless steel, Angle adjustable	1	\$505.00	US\$505.00
Total EXW Cost						US\$8,245.28
The FCA Shanghai (Shenzhen) Cost						US\$238.00
Total FCA Cost						US\$8,483.28

Ilustración 22. Cotización del proveedor para el proyecto total

Fuente: Sail Solar, s.f.-d

Hay que tener en consideración que existen otros costos adicionales para finiquitar la importación, como son los costos adicionales de envío internacional, IVA y otros cargos que se relacionan con la importación una vez llegados los productos al puerto de Guayaquil (Ascent, 2024). Estos costos, a pesar de no ser tan elevados, son importantes para la estimación precisa de la inversión total.

7.1.1. Costos de Importación

A continuación, se detallará el valor total aproximado del proyecto de importación de paneles, baterías, inversores, etc. desde el puerto de Shanghái hasta el puerto de Guayaquil, basándose en los costos de la mercancía, flete, gastos locales y algunos impuestos identificados. A continuación, la descripción detallada de lo que representa cada valor en la tabla:

Tabla 7.

Valor total aproximado del proyecto

Tipo	Detalle	Total
Costo total FCA Shanghai	Cotización del proveedor de la mercancía hasta el valor total de salida desde el puerto de Shanghái	\$ 8.483,28
Cotización FOB LCL Shanghai/Guayaquil	Flete marítimo (carga pesada)	\$ 250,00
	Gastos locales (documentos).	\$ 85,00
	Desconsolidación	\$ 150,00
	Total sin impuestos	\$ 8.968,28
	Fodinfra (0,5%)	\$ 44,84
	IVA (15%)	\$ 1.351,97
	Total final aprox	\$ 10.365,09

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Costo Total FCA Shanghai

Costo total FCA Shanghai: \$ 8.483,28 (Cotización del proveedor de la mercancía hasta la salida desde el puerto de Shanghai).

Cotización FOB LCL Shanghai/Guayaquil:

- Flete marítimo (carga pesada): \$ 250,00. Este es el costo del transporte marítimo.
- Gastos locales Document.: \$ 85,00. Estos son gastos administrativos y de documentación en origen.
- Desconsolidación: \$ 150,00. Este es el costo por separar tu carga LCL (Less than Container Load) de otros envíos al llegar a Guayaquil.

7.1.3. Valores Totales

- Total sin impuestos: \$ 8.968,28. Es el valor subtotal antes de impuestos.
- Fodinfra (0,5%): \$ 44,84. Corresponde al 0.5% del Sub-Total destinado al Fondo de Desarrollo para la Infancia (Fodinfra).
- IVA (15%): \$ 1.351,97. El IVA se calcula sobre el Sub-Total más el Fodinfra (\$9013.12).
- Total final aprox: \$ 10.365,09. Valor a final a pagar por el sistema híbrido.

7.1.4. Otros Valores

Es importante tener en cuenta que, debido a la RESOLUCIÓN No. 011-2024 del Comité de Comercio Exterior (Comex), el valor del arancel ad valorem para los componentes de un sistema de generación fotovoltaica es igual a 0%. Sin embargo, podrían existir otros costos asociados a la logística en el puerto de destino, como tasas de almacenaje si la mercancía permanece más de los

días permitidos sin ser retirada, y posibles servicios adicionales de carga y descarga si fueran necesarios fuera de lo estipulado inicialmente (Comité de Comercio Exterior [COMEX], 2024).

7.2. Costos Suministro e Instalación de Transformador

En la tabla 8, se muestra el costo actual por el suministro e instalación de un transformador eléctrico de 37.5kVA (incluye el alquiler de un montacargas o grúa), que incluye su montaje en un cuarto de dimensiones 2m x 2m, con una losa en la parte superior. El transformador se alimentará en media tensión con una acometida desde el poste más cercano con un cable #2-15kV, el presupuesto incluye el suministro del poste, caja portafusibles, pararrayos, puntas terminales, estribo, grapa de línea viva, tubo rígido de 3” con su respectivo reversible, codo rígido, elaboración de cajas de 90cm x 90cm x 90cm y demás requerimientos técnicos de acuerdo a lo especificado por CNEL. Se conserva la misma medición, sólo sería necesario agregar el nuevo alimentador desde el transformador hasta el medidor CI-200.

Tabla 8.

Costo total para la instalación de cuarto de transformadores en las tiendas Tuti

MEDIA TENSIÓN Y TRANSFORMADOR					
01	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE TRANSFORMADOR TIPO TANQUE CONVENCIONAL DE 37.5 KVA	U	1.00	\$4,700.00	\$4,700.00
02	DESCONEXION Y PUENTES PARA ALIMENTACION EN MEDIA TENSION.	U	1.00	\$284.00	\$284.00
03	SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURAS Y HERRAJES DE MEDIA Y BAJA TENSION EN POSTE DE HORMIGON	U	1.00	\$370.00	\$370.00
04	SUMINISTRO E INSTALACION DE PUESTA A TIERRA DE TRANSFORMADOR TIPO TANQUE	U	1.00	\$208.00	\$208.00
05	BAJANTE RIGIDA DE 3 PULGADAS, CODO RÍGIDO Y REVERSIBLE	U	1.00	\$589.23	\$589.23
06	CABLE XLPE # 2 15KV, aislamiento al 100% + # 4 DESNUDO	m	71.00	\$16.64	\$1,181.44
07	OBRA CIVIL, CONSTRUCCIÓN DE CUARTO DE TRANSFORMADOR, DIMENSIONES 2m x 2m CON LOSA SUPERIOR DE HORMIGÓN Y BASE DE INERCIA PARA ASENTAR TRANSFORMADOR.	U	1.00	\$2,650.00	\$2,650.00
08	CONSTRUCCIÓN DE 2 CAJAS DE PASO DE 90x90x90cm.	U	2.00	\$280.00	\$560.00
09	EXCAVACIÓN DE 25m LINEALES DE ZANJA PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS ELÉCTRICAS, RELLENO CON HORMIGÓN Y RESANE.	GL	1.00	\$320.00	\$320.00
TOTAL					\$10,862.67

Fuente: Elaboración propia

El cuarto de transformadores y todo lo que implica su implementación requiere de una importante inversión, pero dichos valores no han variado en los últimos dos años, por otro lado, el sistema híbrido planteado en este proyecto tiene costos que están sujetos a la variabilidad de las políticas arancelarias del gobierno lo que podría influir en cambios que favorezcan la instalación de un transformador.

7.2.1. Costos Operativos y Mantenimiento

El cuarto de transformadores generará costos operativos principalmente asociados al consumo de energía eléctrica de la red y al mantenimiento preventivo de los equipos. El sistema híbrido implicará costos de mantenimiento de los paneles solares, el mantenimiento o reemplazo de las baterías (con una vida útil finita) y el mantenimiento del inversor. Este parámetro también es importante a tomar en consideración a la hora de decidir la viabilidad del proyecto.

7.2.2. Costos Beneficios y Limitaciones de Ambas Propuestas

Instalar un transformador de 37.5kVA en un cuarto es una solución muy confiable, probada y con una vida útil mínimo de 15 años, así mismo al estar conectada a la red de media tensión, aumenta la confiabilidad del sistema, disminuyendo considerablemente el porcentaje anual de cortes de energía, así como la inestabilidad del voltaje. Sin embargo, generar el espacio en una tienda funcionando causaría problemas en la distribución de las perchas, así mismo la etapa de construcción sería aproximadamente de dos semanas que obligaría a cerrar la tienda lo cual ocasionaría un perjuicio económico por las ventas no generadas. No deja de ser importante que en ciertos sectores actualmente la situación social es tal que haría inviable el ingreso de contratistas con equipos y materiales a una construcción.

El sistema híbrido planteado en este proyecto constituye una solución que no implica grandes cambios en la arquitectura eléctrica de la tienda, las baterías modulares y el inversor

compacto escogidos en este proyecto tienen cabida en la oficina de las tiendas, junto al tablero principal, por lo que su interconexión será sencilla y de bajo costo. Al reducir la demanda, los alimentadores principales, así como el breaker principal serán sometidos a valores menores de corrientes lo cual se verá reflejado significativamente en su vida útil, posibilidad de puntos calientes, entre otros fenómenos causados por la temperatura. Así mismo la opción futura de aumentar la cantidad de paneles solares conectados al mismo inversor le da un atractivo adicional a esta tienda, generándose la opción de aprovechar mejoras futuras en los precios y rendimiento de los paneles solares. Como punto negativo tenemos que estas tecnologías no necesariamente van a tener la duración prometida por los fabricantes, también estos sistemas son menos robustos que un transformador, haciéndolos susceptibles que, ante un cortocircuito o sobrecarga, las protecciones internas del inversor lo saquen del sistema, y se apaguen todos los equipos que estaban conectados al mismo.

.

CONCLUSIONES

- En el cálculo de la cantidad de baterías necesarias para este proyecto, se pudo utilizar exitosamente la Ley de Peukert, que modela el comportamiento de una batería ante diferentes valores de corriente de descarga. Aplicando la misma, pudimos dimensionar adecuadamente la cantidad de baterías que podían asegurarnos los 8kW durante el período determinado en el análisis de la curva de demanda, es decir entre 10:30 y 15:00. Con estos cálculos se tiene la certeza de que el sistema planteado no tendrá un sobredimensionamiento, asegurando así un sistema eficiente.
- Si bien es cierto este sistema no tiene la capacidad suficiente para superar la demanda total de la tienda y así tener un excedente que se pueda entregar a la red utilitaria, este proyecto sirve como ejemplo del uso de sistemas de almacenamiento de energía para el aplanamiento de la curva de demanda de un usuario, aliviando la carga de las redes eléctricas de CNEL en horas pico.
- Fue indispensable en este proyecto el cálculo e integración de un sistema fotovoltaico para entregar al menos la energía perdida en el proceso de conversión entre el inversor, las baterías y el usuario. Dejando así mismo la posibilidad de expansión del sistema fotovoltaico de tal manera de que se pueda aprovechar la capacidad del Inversor y con la energía generada no solo disminuir las pérdidas, sino tener una disminución de las planillas mensuales de energía eléctrica.
- El análisis comparativo entre la opción del sistema de almacenamiento de energía planteado en este proyecto con un costo aproximado de \$10,365.09 versus la instalación de un transformador en cuarto, que incluye el costo de obras civiles y eléctricas (\$10,862.67), nos da una leve ventaja para el sistema híbrido, que se hace mayor al considerar el espacio físico de

2m x 2m que se perderá en áreas de ventas para poder colocar el transformador eléctrico, sin embargo el sistema de almacenamiento aquí planteado se podría colocar sin problemas en la oficina de las tiendas.

- El número mínimo de paneles considerado en este estudio deja disponible el 80% de la capacidad del inversor para la expansión de energía solar, lo que haría posible lograr un ahorro neto que permitiría recuperar la inversión hecha en inversores, baterías y paneles solares.

RECOMENDACIONES

- El análisis sugiere un sistema híbrido de implementación escalonada en la cadena de tiendas Tuti. Primero, se puede ejecutar un test en un grupo reducido de sucursales para evaluar su desempeño en el mundo real, así como recolectar información sobre el ahorro energético y la demanda.
- Para el sistema híbrido, además de la operación, es importante un control de monitoreo sistemático cuyo objetivo sea la evaluación de desempeño, por lo que el sistema deberá guardar información respecto a la generación solar, consumo energético, carga y descarga de baterías, así como la demanda de la red eléctrica. Con la recolección de todos estos datos, es posible determinar los cambios que se deben realizar a los parámetros del sistema para optimizar su eficiencia y rentabilidad.
- Para preservar la operatividad y efectividad del sistema híbrido, es necesario establecer un plan de mantenimiento que incluya la revisión rutinaria de paneles solares, baterías, y el inversor, así como la limpieza de los paneles y verificación de las conexiones eléctricas.
- Se recomienda realizar un análisis de escalabilidad para evaluar el potencial de expansión del sistema fotovoltaico en estas tiendas. Esto podría incluir la instalación de paneles solares adicionales en el área de techo que se tiene disponible, que son entre 300m² y 400m², para aumentar la generación de energía y reducir aún más la dependencia de la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

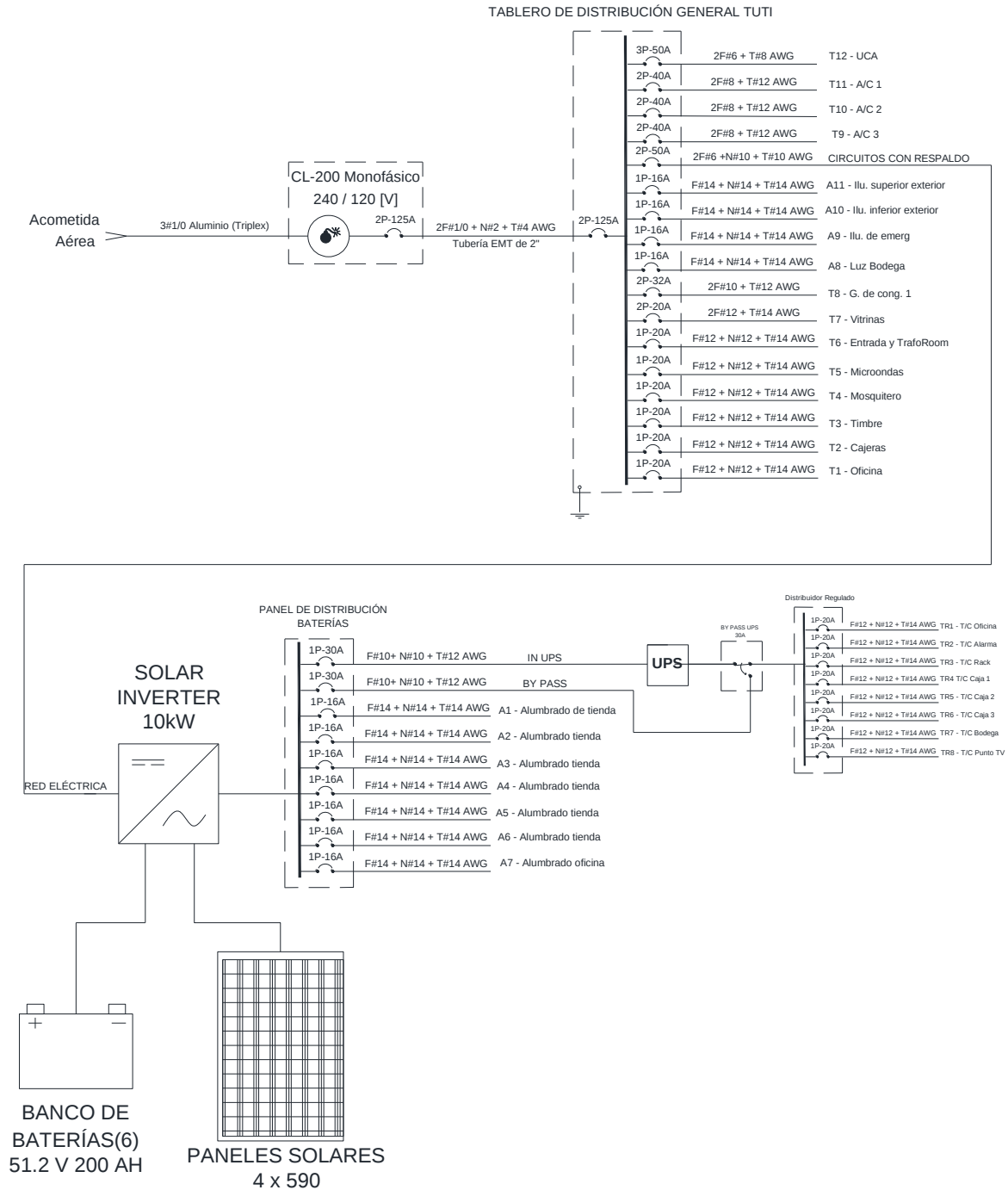
- Action, F. M. (2014). *Renewable energy*. Ministerio Federal de Economía y Energía de Alemania. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/renewable-energy.html>
- Alonso, J. A. (2024, noviembre 19). *Parámetros de panel fotovoltaico*. Sun Fields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/parametros-panel-fotovoltaico/>
- Ascent. (2024, mayo 23). *Incoterms explained: Free Carrier (FCA)*. <https://ascentlogistics-com.translate.goog/blog/incoterms-explained-free-carrier-fca>
- Battle Born. (2022, enero 3). *Peukert effect*. <https://battlebornbatteries.com/peukert-effect/>
- Berrade. (2024, agosto 11). *¿Qué es la seguridad IP65?* <https://berrade.com/armarios-de-telecomunicaciones/que-es-la-seguridad-ip65>
- bnamericas. (2023, noviembre 23). *Ecuador actualiza normativa sobre generación distribuida*. <https://www.bnamericas.com/es/noticias/ecuador-actualiza-normativa-sobre-generacion-distribuida>
- Castillo Meraz, R., Martínez Montejano, R. C., Delgado Aranda, F., & Campos Cantón, I. (2013). Sistema híbrido fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica. *Revista Académica de Investigación TLATEMOANI*, (24).
- Comité de Comercio Exterior (COMEX). (2024). *Resolución No. 009–2024: Reducción arancelaria temporal para generadores eléctricos*. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/10/resolucion_comex_009-2024-signed-signed.pdf
- Contreras Sillero, A., Vázquez Nava, N., Hernández Gutiérrez, C., Vázquez Nava, J., & Vaquero López, J. (2018). *Revisión de métodos para la estimación de los estados de carga y salud de una batería*. Celaya, México.
- Corral Rosales. (2023, noviembre 28). *Regulación para instalar y operar sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento*. <https://corralrosales.com/regulacion-para-instalar-y-operar-sistemas-de-generacion-distribuida-para-autoabastecimiento/>
- DLN Energy. (2023, noviembre 23). *Cómo interpretar las curvas de descarga de la batería*. <https://bateria18650.com/como-interpretar-las-curvas-de-descarga-de-la-bateria/>
- del Valle, J. A., González, M., Anseán, D., García, V. M., Blanco Viejo, C., & Viera Pérez, J. C. (2019). *Sistemas de almacenamiento masivo de energía con baterías (BESS): Estado actual y tendencias de futuro*. Universidad de Oviedo

- 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 de pregrado, Universidad Nacional de Piura].
- Estado, A. E. (2019, abril 5). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/con>
- Fluke Corporation. (s.f.). *Registrador de calidad eléctrica trifásico Fluke 1735*. <https://www.fluke.com/es-bo/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/1735>
- Gómez, V., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). Integración de generación distribuida al sistema eléctrico. *Revista Facultad de Ingeniería*, 27(1). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000100117&script=sci_arttext&tlng=pt
- Gregorio, V., García, N., & Tiemblo, P. (2020). Presente y futuro de los polímeros en el diseño de baterías de litio. *Revista de Plásticos Modernos*, 7.
- Hinostroza Meza, A. C. (2023). *Diseño del sistema fotovoltaico para atender incremento de carga en las instalaciones de la empresa FAMESA* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental].
- Ingeteam. (2022, enero 11). *Ingeteam pone en marcha la primera planta fotovoltaica con baterías de España*. <https://www.ingetteam.com/SaladePrensa/Noticias/tabid/226/articleType/ArticleView/articleId/3294/Ingeteam-pone-en-marcha-la-primera-planta-fotovoltaica-con-baterias-de-Espana.aspx>
- International Energy Agency. (2023, mayo 25). *Stimulation of sustainable energy production and climate transition (SDE+)*. <https://www.iea.org/policies/13639-stimulation-of-sustainable-energy-production-and-climate-transition-sde>
- Kazimierski, M. A. (2018). Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable: el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas. *Letras Verdes*, (25).
- Martínez Bertran, J. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas* [Tesis de máster, Universitat Politècnica de Catalunya].
- Mendoza Santiago, E., & Mateos Funes, J. M. (2024, septiembre). *Propuesta de instalación de banco de baterías para cubrir demanda en horario punta de la tarifa GDMTH*. Acapulco, México.
- Meteotest. (s.f.). *Meteonorm* [Software]. <https://meteonorm.com>

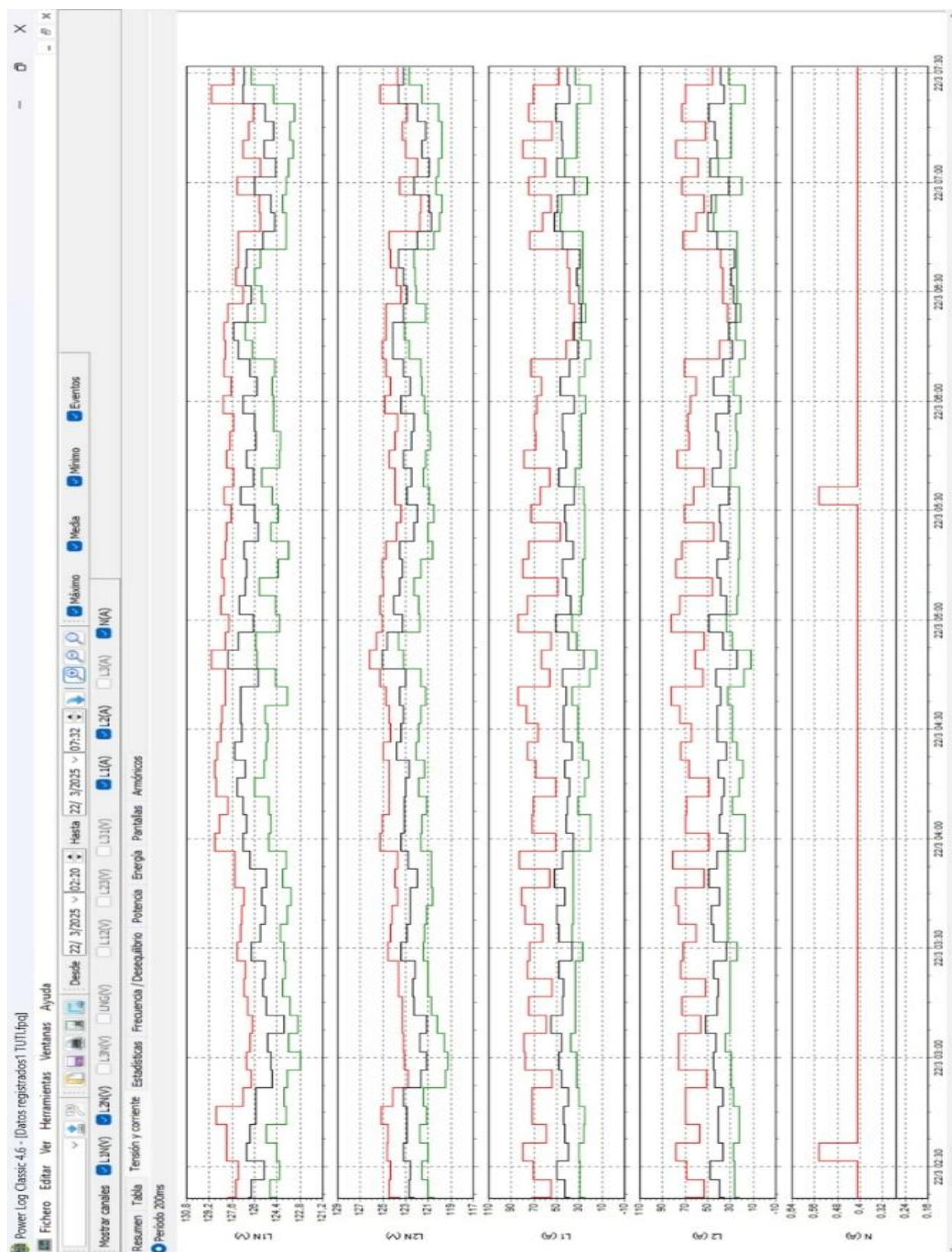
- PCM. (2021, septiembre 17). *CAN vs RS-485: What's the difference?* <https://es.pcm-cable.com/info/can-vs-rs-485-what-s-the-difference-100725114.html>
- PVsyst. (s.f.). *Battery capacity vs. temperature*. <https://www.pvsyst.com/help/physical-models-used/batteries/battery-model/capacity-vs-temperature.html>
- Pardo Farias, E. A., Corrales Bonilla, J. I., & Pazuña Naranjo, W. P. (2024, julio 16). Análisis de tecnologías de almacenamiento de energía para mejorar la gestión de energía renovable. *Revista Energía Ecuador*.
- Pereira Ferreira, D. (2024). *Inversor Híbrido para sistemas de energía solar fotovoltaica en aplicaciones de autoconsumo* [Trabajo de investigación, Universidad de Coimbra].
- Quintanar Quezada, F. E., & Valencia Lucero, D. M. (2017). *Evaluación de factibilidad y diseño de sistema solar térmico, para suplir agua caliente sanitaria a los procesos de cocimiento de jarabe, pasteurización y enlatado, en una planta productora de bebidas en El Salvador* [Tesis de licenciatura, Universidad Don Bosco].
- Quintero, V. (2021). Baterías de ion litio: características y aplicaciones. *Revista de I+D Tecnológico*, 9.
- Rodríguez Arribas, J., & Nájera Álvarez, J. (2019, noviembre). Caracterización de baterías de litio para el estudio del envejecimiento. *Revista Energía y Tecnología*, Madrid, España.
- Sail Solar. (2025). *Manual de usuario del inversor híbrido SEI UP Series 8-12 kW* (Versión 1.3) [Manual de usuario].
- Sail Solar. (s.f.-a). *Ficha técnica: Batería de litio 51.2V 200Ah* [Hoja de datos]. Sail Solar.
- Sail Solar. (s.f.-b). *Propuesta comercial para sistema solar híbrido 9KW* [Cotización técnica]. Sail Solar.
- Sail Solar. (s.f.-c). *Ficha técnica del módulo bifacial SAS570-590N* [Hoja de datos]. Sail Solar. <https://www.sailsolarpv.com>
- Sail Solar. (s.f.-d). *Ficha técnica: Inversor híbrido THOR Series 8–12kW* [Hoja de datos]. Sail Solar. <https://www.sailsolarpv.com>
- Sánchez Arroyo, P., Pérez García, J. M., & González Rebollo, M. Á. (2023, noviembre). Utilización de inversores bidireccionales comerciales para la realización de medidas de electroluminiscencia. *Revista Ingeniería y Energía*, Valladolid.

ANEXOS

ANEXO A: Diagrama Unifilar del Proyecto Sistema Híbrido Completo



ANEXO B: Registro de una Semana de Consumo de Energía en la Tienda Analizada





DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **José Andrés Córdova León**, con C.C: #**0915974554** autor del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LAS TIENDAS TUTI TTDE S.A.”** 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. 

Nombre: José Andrés Córdova León

C.C: 091597455-4

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	“Estudio de factibilidad de un sistema solar fotovoltaico para las tiendas Tuti Ttde S.A.”		
AUTOR(ES)	Córdova León José Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Bayardo Bohórquez Escobar Ph.D.		
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:	87
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.		
RESUMEN/ABSTRACT: En esta investigación se desarrolla una solución alternativa para complementar el suministro de energía en las tiendas Tuti, cuyo actual desafío es el aumento de la demanda original con la cual fueron originalmente concebidas (20 kW). Esto pone en riesgo su conexión a la red de baja tensión ya que actualmente es una carga demasiado grande para ser abastecida con el mismo transformador que alimenta los usuarios residenciales. CNEL ha dado un plazo de un año para que todas las tiendas que estén conectadas en baja tensión, coloquen un transformador y se alimenten en media tensión. La solución aquí presentada, propone el aplanamiento de la curva de demanda mediante un banco de baterías conectadas a al sistema por medio de un inversor híbrido, absorbiendo energía en horas de menor consumo y entregándolas en las horas con demanda máxima. Complementario a este sistema se plantea un sistema de paneles fotovoltaicos destinados a entregar la energía perdida en el proceso de conversión de energía. Al final se analiza una comparativa entre el costo del sistema aquí planteado versus el suministro e instalación de un transformador de distribución de 37.5kVA en un cuarto eléctrico. En conclusión, esta tesis presenta un estudio exhaustivo de factibilidad para una solución energética alternativa y eficiente destinada a las tiendas Tuti, que no solo resuelve eficazmente el problema de la sobrecarga de la red, sino que también promueve activamente el uso de fuentes de energía renovables y la optimización integral de los recursos energéticos disponibles.			
ADJUNTO PDF:	☐ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono:	E-mail: andrescordovaleon@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UCSG):	Nombre: Ing. Bayardo Bohorquez 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):			