



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SUBSISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TEMA:

**“Estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes
renovables para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de
Santiago de Guayaquil”**

AUTOR:

Alex Roberto Cando Chango

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

TUTOR:

Ing. Bohórquez Heras Daniel Bayardo, Mgs

Guayaquil, 07 de agosto del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SUBSISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación de Maestría fue realizado en su totalidad por CANDO CHANGO ALEX ROBERTO, como requerimiento para la obtención del Grado Académico de MAGISTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

TUTOR

Ing. Bohórquez Heras Daniel Bayardo, Mgs

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bohórquez Heras Daniel Bayardo, Mgs

Guayaquil, 07 de agosto del 2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SUBSISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cando Chango Alex Roberto

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación: ESTUDIO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO ENERGÉTICO BASADO EN FUENTES RENOVABLES PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL previo a la obtención del título de magíster en electricidad con mención en energías renovables y eficiencia energética, el presente trabajo ha sido elaborado respetando derechos intelectuales de terceros conforme a las citas contenidas en el documento, cuyas fuentes están consignadas en sus referencias o bibliografías. En consecuencia, esta obra es de mi autoría íntegra.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 07 de agosto del 2026

EL AUTOR

Cando Chango Alex Roberto



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SUBSISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Cando Chango Alex Roberto

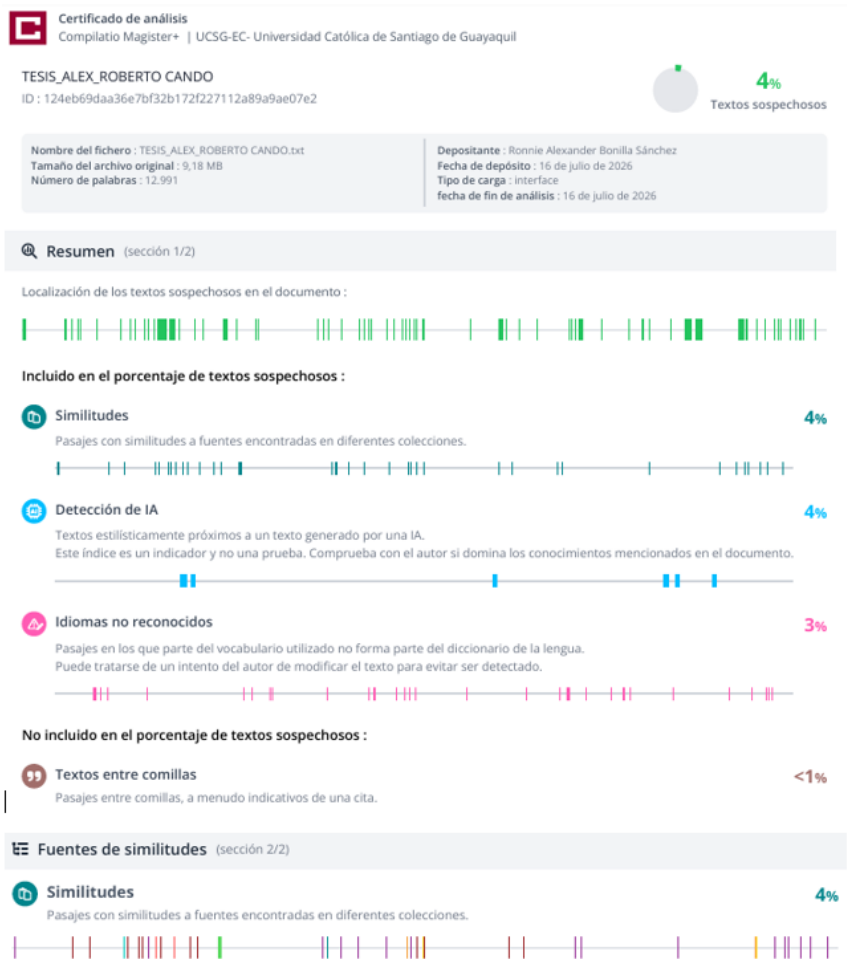
Autorizo a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil a la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de Maestría titulada: **ESTUDIO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO ENERGÉTICO BASADO EN FUENTES RENOVABLES PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi total y exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, 7 de agosto del 2026

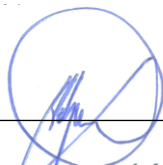
El Autor

Cando Chango Alex Roberto

INFORME DE COMPILATIO



Certifico que luego de revisar el documento final del trabajo de titulación ESTUDIO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE RESPALDO ENERGÉTICO BASADO EN FUENTES RENOVABLES PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, presentado por el estudiante CANDO CHANGO ALEX ROBERTO, fue enviado al sistema Anti plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al (4%), por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Ing. Bohórquez Heras Daniel Bayardo, Mgs
TUTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a los docentes de la Maestría y a mis compañeros por los conocimientos compartidos, el compañerismo y las amistades que se fortalecieron durante este proceso. Asimismo, a la Facultad de Ciencias de la Salud por las facilidades brindadas para el desarrollo de este estudio.

A mi tutor de tesis por las observaciones y recomendaciones realizadas durante el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a mi familia y a aquellos amigos que, con el tiempo, se convirtieron en mi familia de corazón. Gracias por su apoyo, comprensión y confianza durante este camino. Su respaldo fue fundamental para alcanzar esta meta.

Alex

DEDICATORIA

Volver a sentir la satisfacción de culminar una meta tan importante, como lo fue obtener mi título de Ingeniero y ahora finalizar esta maestría, me ha permitido revivir muchas emociones y recordar todo el camino recorrido. Por ello, dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para alcanzar este nuevo logro.

A la memoria de mi padre, a quien extraño profundamente. Gracias por el ejemplo de esfuerzo, trabajo y perseverancia que dejó en mi vida. Sus enseñanzas han guiado cada paso que he dado y continúan acompañándome cada día.

A mi madre, por su amor incondicional, sus consejos y el apoyo que siempre ha brindado a mí y a toda mi familia. Gracias por estar presente en cada etapa de mi vida.

A mi esposa, Verónica, quien me ha acompañado desde nuestros años de universidad. Gracias por tu amor, tu paciencia y por permanecer a mi lado en los buenos y en los malos momentos. Cada meta alcanzada también es el resultado del esfuerzo y los sueños que hemos construido juntos. Gracias por caminar siempre a mi lado. Nunca olvides que te amo.

Finalmente, quiero dedicar este logro de manera muy especial a mi querido hijo, Jared, quien, siendo aún tan pequeño, se ha convertido en el motor que me impulsa a seguir creciendo cada día. A ti dedico cada uno de mis logros, con la esperanza de que, cuando algún día leas estas palabras, recuerdes que no existen sueños imposibles cuando se lucha con esfuerzo, disciplina y perseverancia. Espero que cada consejo que te dé a lo largo de la vida y cada ejemplo que procure brindarte sean el impulso que necesites para construir tu propio camino y alcanzar todo aquello que te propongas. Te amo hijo.

Alex



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SUBSISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Bohórquez Heras Daniel Bayardo, Mgs

TUTOR

Ing. Zamora Cedeño Néstor Armando, Mgs

REVISOR

Ing. Ronnie Bonilla Sánchez, Mgs

REVISOR

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
INDICE GENERAL	IX
INDICE DE TABLAS	XIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	2
CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
1.1 Definición del problema	4
1.2 Justificación del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Hipótesis de la investigación	6
1.5 Metodología de la investigación.....	6
2.1. Sistema eléctrico.....	7
2.1.1 Generación.....	8
2.1.2 Transmisión	9
2.1.3 Distribución	10
2.2 Demanda eléctrica	11
2.2.1 Evolución del sector eléctrico ecuatoriano	12
2.3 Consumo energético	15
2.3.1 Eficiencia energética.....	16
2.4 Sistemas de respaldo energético	17
2.4.1 Principales problemas energéticos.....	17
2.4.1.1 Variación de voltaje	17
2.4.2 Clasificación de los sistemas de respaldo de energía	18
2.4.2.1 UPS (Sistema de Alimentación Interrumpida SAI).....	18
2.4.2.2 Generadores eléctricos.....	20

2.5	Energías renovables.....	21
2.5.1	Tipos de energía renovables	21
2.5.1.1	Energía Solar	21
2.5.1.2	Energía Eólica.....	22
2.5.1.3	Energía Geotérmica	23
2.5.1.4	Energía Hidroeléctrica	24
2.6	Sistemas fotovoltaicos	25
2.6.1	Paneles solares.....	25
2.6.1.1	Paneles Monocristalinos	26
2.6.1.2	Paneles Policristalinos	26
2.6.2	Controladores de carga	27
2.6.2.1	Controlador PWM	28
2.6.2.2	Controlador MPPT	28
2.6.3	Baterías	29
2.6.3.1	Baterías de plomo acido	29
2.6.3.2	Baterías AGM.....	30
2.6.3.3	Baterías de Gel.....	31
2.6.3.4	Baterías de Litio	31
2.6.4	Inversores	32
2.6.4.1	Aislados	32
3	CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....	34
3.1	Levantamiento de Información.....	34
3.2	Ubicación Geográfica del sitio	35
3.3	Área útil para uso de implementación de paneles solares	35
3.4	Análisis de áreas disponibles en terraza para la instalación del sistema fotovoltaico.....	36
3.5	Consideraciones estructurales para una futura implementación fotovoltaica	37
3.6	Levantamiento de información del sistema eléctrico existente.....	38
3.6.1	Tablero de distribución general	40
3.7	Análisis técnico del sistema eléctrico existente.....	43
3.7.1	Balance de cargas del sistema	43
4	CAPITULO 4: RESULTADOS.....	44
4.1	Alcance de la propuesta técnica.....	44

4.2	Criterio técnico de diseño del sistema fotovoltaico.....	44
4.2.1	Disponibilidad de superficie para la instalación fotovoltaica.....	45
4.2.1.1	Área efectiva para instalación de paneles.....	47
4.2.1.2	Calculo para le número de paneles en el área disponible.....	47
4.2.1.3	Capacidad de generación fotovoltaica proyectada	48
4.2.2	Estimación de la energía diaria por el sistema fotovoltaico	49
4.3	Selección de componentes.....	50
4.3.1	Selección del módulos fotovoltaicos e Inversor	51
4.3.1.1	Selección de módulos fotovoltaicos	51
4.3.2	Selección del Inversor Hibrido	51
4.3.2.1	Funcionalidad	52
4.3.2.2	Potencia fotovoltaica por inversor hibrido Growatt WIT 50K-XHU 53	
4.3.2.3	Numero de módulos fotovoltaicos por inversor hibrido.....	54
4.3.3	Dimensionamiento de los strings.....	55
4.3.3.1	Cálculo del número máximo de módulos por string	56
4.3.3.2	Determinación de numero de módulos por string en el inversor....	58
4.3.3.3	Verificación eléctrica de la configuración propuesta en el inversor	59
4.3.3.4	Verificación de la tensión del circuito abierto (Voc)	60
4.3.4	Dimensionamiento del banco de baterías	60
4.3.4.1	Capacidad nominal requerida del sistema de respaldo (BESS).....	62
4.3.4.2	Selección de las baterías de respaldo.....	62
4.3.4.3	Energía útil disponible	63
4.3.4.4	Verificación de la autonomía	63
4.3.5	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico proyectado.....	64
5	CAPITULO: ANALISIS DE COSTOS.....	65
5.1	Análisis de costos	65
5.1.1	Componentes considerados	65
5.1.1.1	Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico hibrido	66
5.1.2	Evaluación de la rentabilidad económica	67
5.1.2.1	Producción anual de energía.....	67
5.1.2.2	Estimación del ahorro económico	68
5.1.2.3	Periodo de recuperación de la inversión o Payback	70

5.1.2.4	Valor actual neto VAN	70
5.1.2.5	Tasa Interna de retorno (TIR)	73
CONCLUSIONES.....		76
RECOMENDACIONES		77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		78
ANEXOS		84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Causas de variaciones de voltaje	18
Tabla 2: Tipos de UPS	19
Tabla 3: Especificación técnica de los paneles solares.....	37
Tabla 4: Especificaciones técnicas de la cubierta	38
Tabla 5: Datos de los consumos que realiza la Facultad de Ciencias de la Salud /UCSG	40
Tabla 6: Características del tablero de distribución instalado	41
Tabla 7: Mediciones tomadas en condiciones normales en el tablero de distribución..	41
Tabla 8: Características de la superficie disponible para la instalación de paneles solares	46
Tabla 9: especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico.....	51
Tabla 10: Datos técnicos inversor híbrido Growatt WIT 50K-XHU.....	52
Tabla 11: Distribución de módulos por inversor	54
Tabla 12: Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaica según la ficha técnica	55
Tabla 13: Parámetros del inversor híbrido según la ficha técnica	56
Tabla 14: especificaciones técnicas del inversor Growatt WIT 50K-XHU.....	59
Tabla 15: Dimensionamiento del banco de baterías	60
Tabla 16: Componentes necesarios para la ejecución	65
Tabla 17: Análisis de costos referenciales	66
Tabla 18: Datos utilizados para el VAN	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19: Datos del VAN obtenidos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20: Flujo de caja utilizado para el cálculo de la TIR	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21: Comparación entre la TIR obtenida y la tasa de descuento.¡Error! Marcador no definido.	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema sistema de suministro eléctrico	8
Figura 2: Generación de energía eólica, solar	9
Figura 3: Líneas de transmisión	10
Figura 4: Subestación eléctrica	11
Figura 5: Demanda de energía	11
Figura 6: Evolución de la producción de energía eléctrica	12
Figura 7: Demanda de energía eléctrica 2020	13
Figura 8: Demanda eléctrica 2021	14
Figura 9: Curva de generación(MW)	14
Figura 10: Grafica de la producción de energía	15
Figura 11: Consumo energético por habitante.....	16
Figura 12: Eficiencia energética.....	17
Figura 13: Sistema de respaldo eléctrico.....	19
Figura 14: Generador de energía.....	20
Figura 15: Paneles solares	22
Figura 16: Campo de generación de energía eólica	23
Figura 17: Construcción de central geotérmica.....	23
Figura 18: Central hidroeléctrica	24
Figura 19: Componentes del sistema fotovoltaico	25
Figura 20: Panel monocristalino	26
Figura 21: Paneles policristalinos	27
Figura 22: Controladores de carga	28
Figura 23: Batería de plomo acido	30
Figura 24: Batería AGM.....	30
Figura 25: Batería de Gel	31
Figura 26: Batería de Litio	32
Figura 27: Inversor Aislado.....	33
Figura 28: Mapa de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil	34

Figura 29: Mapa de ubicación de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil	35
Figura 30: Superficie para instalación de paneles solares en UCSG	36
Figura 31: Transformador de distribución de la Facultadas de Ciencias de la Salud....	39
Figura 32: Mediciones del consumo de la Facultada de Ciencias de la Salud / UCSG	39
Figura 33: Tablero de distribución instalado en al Facultad de Ciencias de la Salud /UCSG	40
Figura 34: Area 1000m2 proyectada para módulos fotovoltaicos.....	45
Figura 35: Área proyectada para los módulos fotovoltaicos calculados.....	48
Figura 36: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	64

RESUMEN

La continuidad del suministro eléctrico es un aspecto fundamental para el funcionamiento de instalaciones destinadas a la formación en ciencias de la salud, donde la interrupción del servicio puede afectar el desarrollo de actividades académicas y el funcionamiento de equipos especializados. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar el estudio técnico para el dimensionamiento de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, empleando revisión documental, levantamiento de información en campo, mediciones de parámetros eléctricos, análisis de la demanda energética y evaluación del recurso solar disponible. Como resultado del diagnóstico se identificó un desbalance de cargas del 31,40 %, información que sirvió como base para el diseño del sistema propuesto.

La propuesta contempla un sistema fotovoltaico híbrido con una capacidad instalada de 177,14 kWp, conformado por 241 módulos fotovoltaicos, cuatro inversores híbridos y un sistema de almacenamiento con baterías de litio de 816,14 kWh, capaz de proporcionar aproximadamente cuatro horas de autonomía para las cargas críticas. Asimismo, se estimó una producción anual de 219,83 MWh.

La evaluación económica determinó un ahorro anual de USD 26.160, un período de recuperación de la inversión de 4,55 años, un Valor Actual Neto (VAN) de USD 118.550,37 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 21,84 %, resultados que demuestran la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Palabras clave: sistema fotovoltaico híbrido, respaldo energético, energías renovables, almacenamiento de energía, baterías de litio, energía solar fotovoltaica.

ABSTRACT

The continuity of the electrical power supply is essential for the proper operation of facilities dedicated to health sciences education, where power interruptions may affect academic activities and the operation of specialized equipment. In this context, this research aimed to develop a technical study for the sizing of a renewable energy-based backup power system for the Faculty of Health Sciences at the Catholic University of Santiago de Guayaquil.

The research followed a quantitative approach with a non-experimental design, using documentary review, on-site data collection, electrical parameter measurements, energy demand analysis, and assessment of the available solar resource. The electrical system diagnosis identified a 31.40% load imbalance, which served as the basis for the technical design of the proposed system.

The proposed solution consists of a hybrid photovoltaic system with an installed capacity of 177.14 kWp, comprising 241 photovoltaic modules, four hybrid inverters, and a lithium battery energy storage system with a nominal capacity of 816.14 kWh, providing approximately four hours of backup autonomy for the identified critical loads. The estimated annual energy production was 219.83 MWh.

The economic evaluation estimated annual savings of USD 26,160, a 4.55-year payback period, a Net Present Value (NPV) of USD 118,550.37, and an Internal Rate of Return (IRR) of 21.84%, demonstrating the technical feasibility and economic viability of the proposed system.

Keywords: hybrid photovoltaic system, backup power system, renewable energy, energy storage, lithium batteries, solar photovoltaic energy.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad continua de energía eléctrica es un requisito indispensable para el funcionamiento adecuado de infraestructuras que albergan actividades críticas, particularmente en el ámbito de la salud y la formación clínica. Como propuesta se propone incorporar un sistema basados en fuentes renovables que garanticen la estabilidad energética en la facultad de ciencias de la salud, estos sistemas al integrar almacenamiento mediante baterías proponen ser opciones confiables para respaldar energía eléctrica en situaciones críticas.

A nivel mundial existen estudios y organismos que respaldan que los sistemas energéticos basados en energías renovables son fiables para implementar en ocasiones en donde la energía eléctrica varía. Estos enfoques consideran variables técnicas como la demanda eléctrica, la disponibilidad del recurso energético y los requerimientos de autonomía, permitiendo establecer configuraciones que aseguren la continuidad del suministro en distintos escenarios de operación.

Bajo este contexto, la presente investigación aborda el estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables aplicado a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El estudio para realizar tiene como ideal diseñar una propuesta técnica capaz de solventar la falta de energía eléctrica, así como el respaldo energético en zonas críticas como áreas de la salud, en este caso la facultad de la universidad católica Santiago de Guayaquil.

ANTECEDENTES

En los últimos años el desarrollo de sistemas de respaldo de energía implementados con fuentes renovables han sido materia de estudio como una alternativa para la mejorar la continuidad del suministro eléctrico en diferentes tipos de instalaciones. A nivel académico, se demostrado que la utilización de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento ha permitido garantizar el correcto funcionamiento de cargas críticas.

En el Ecuador, la Escuela Politécnica Nacional se ha realizado un análisis del comportamiento de sistemas fotovoltaicos mediante la caracterización de la demanda eléctrica y la evaluación de su desempeño en condiciones reales, demostrando su eficiencia como una solución para el respaldo energético, se utilizó el software PVsyst para simular y analizar el consumo y generación de la energía por el sistema fotovoltaico. (Pupiales , 2024).

Un año después en la misma universidad se realizaron investigaciones que han permitido profundizar los análisis técnicos de los sistemas energéticos renovables, incorporando criterios de eficiencia y confiabilidad para su utilización en distintos entornos. La metodología de análisis se utilizó algoritmos desarrollados en Python el cual permite vincular con softwares de simulación como CYME.

El presente análisis busca evaluar los efectos que produce la integración de generación distribuida (GD) en una red de distribución eléctrica. Asimismo, se examina cómo la selección adecuada del punto de instalación de estas fuentes de generación favorece el desempeño del sistema, al disminuir las pérdidas de potencia activa y optimizar los niveles de voltaje en las distintas fases del alimentador. Como resultado, se obtiene un funcionamiento más eficiente de la red y una mejora en la calidad del servicio de energía eléctrica suministrado a los usuarios. (Lloré, 2025).

En la universidad Politécnica Salesiana se han realizado investigaciones dirigidas a la evaluación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento, en los cuales se considera el análisis de la demanda eléctrica, la identificación de las cargas y el comportamiento del sistema ante variaciones en el suministro, lo que establece una viabilidad técnica para el uso de respaldos por medio de sistemas fotovoltaicos.

El estudio a continuación se realiza para el diseño e implementación futura de un sistema fotovoltaico, esto se basa en la utilidad de energía renovable como ayuda al medio ambiente y evitar otro tipo de energías. (Olivo & Chango, 2023)

A nivel de Latinoamérica, la Pontificia Universidad Católica del Perú han abordado el estudio de estos sistemas basados en fuentes renovables, destacando la importancia de la demanda que se tiene en el Perú y la evaluación del desempeño del sistema permitiendo así garantizar la continuidad del suministro eléctrico en caso de fallas (Barbaran, 2024)

La disponibilidad continua de energía eléctrica es un requisito indispensable para el funcionamiento adecuado de infraestructuras que albergan actividades críticas, particularmente en el ámbito de la salud y la formación clínica. La dependencia exclusiva de la red eléctrica convencional expone a estas instalaciones a interrupciones del suministro que pueden afectar tanto la operatividad de equipos biomédicos y de laboratorio, [RBD4.1] como la continuidad de los servicios académicos y asistenciales

CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Definición del problema

La continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico constituyen un factor crítico para el adecuado funcionamiento de las instituciones de educación superior, particularmente aquellas que se encuentran vinculadas al área de la salud. En este tipo de instalaciones, la disponibilidad permanente de energía eléctrica es indispensable para el correcto desempeño de laboratorios, equipos médicos, sistemas de climatización, redes de datos, iluminación especializada y demás servicios esenciales que permiten que las actividades académicas, de investigación y administrativas que sean ejecutadas sin contratiempos. (Heredia, 2018)

En este contexto, la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil está sujeta a una alta dependencia de la red eléctrica convencional como fuente energética principal. La ausencia de un sistema de respaldo correctamente dimensionado, basado en criterios técnicos actualizados, incrementa la vulnerabilidad de la infraestructura ante interrupciones del suministro de energía, lo que afectaría de manera directa el funcionamiento de equipos sensibles, interrupción en actividades académicas y riesgos asociados a la seguridad de los usuarios.

Frente a esta problemática, la incorporación de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables surge como una alternativa viable para mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico. No obstante, su implementación requiere de un estudio técnico que permita evaluar la demanda eléctrica real, identificar las cargas críticas, seleccionar tecnologías apropiadas y realizar un dimensionamiento adecuado que garantice su funcionamiento eficiente y confiable.

1.2 Justificación del Problema

La Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil desarrolla diariamente actividades académicas, prácticas de laboratorio, investigación y procesos administrativos que dependen de un suministro eléctrico confiable. Durante el levantamiento de información realizado para esta investigación se identificó un desbalance de cargas del 31,40 % en el sistema trifásico de distribución, situación que evidencia la necesidad de evaluar alternativas que contribuyan a mejorar el

desempeño de la infraestructura eléctrica y reduzcan el impacto que pueden ocasionar las interrupciones del servicio. Bajo estas condiciones, el uso de un sistema de respaldo basado en energía solar fotovoltaica y almacenamiento mediante baterías representa una alternativa con potencial para incrementar la confiabilidad del suministro eléctrico.

La implementación de una solución de este tipo también resulta de interés para la institución, ya que una interrupción del servicio puede afectar el funcionamiento de laboratorios, equipos de climatización, sistemas informáticos y redes de comunicación indispensables para el desarrollo de las actividades universitarias. Contar con un sistema de respaldo permitiría mantener operativos estos servicios durante fallas de la red eléctrica y disminuir el riesgo de interrupciones que puedan afectar el desarrollo normal de las actividades académicas y administrativas.

Finalmente, este estudio proporciona una propuesta técnica para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico de respaldo adaptado a las condiciones reales de la Facultad de Ciencias de la Salud. Los resultados obtenidos constituyen una referencia para futuras iniciativas orientadas al aprovechamiento de fuentes de energía renovable, la modernización de la infraestructura eléctrica y el fortalecimiento de la continuidad del servicio en instalaciones universitarias con características similares.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar el estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables para la facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a fin de garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico ante fallas de la red convencional.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la demanda eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Salud mediante la caracterización de los perfiles de consumo y la identificación de las cargas críticas, considerando su comportamiento temporal y requerimientos energéticos.
- Evaluar el potencial de integración de fuentes de energía renovable para la Facultad de Ciencias de la Salud, mediante el análisis del recurso energético

disponible y criterios técnicos que permitan seleccionar la alternativa más adecuada para el sistema de respaldo.

- Diseñar una propuesta de sistema fotovoltaico de respaldo energético para la Facultad de Ciencias de la Salud, considerando los resultados del levantamiento de cargas, la identificación de las cargas críticas y las condiciones de operación de la infraestructura eléctrica existente.
- Evaluar el desempeño técnico de la propuesta de sistema fotovoltaico de respaldo energético mediante indicadores de confiabilidad, eficiencia y continuidad del suministro eléctrico, considerando diferentes escenarios de operación e interrupciones de la red eléctrica convencional.

1.4 Hipótesis de la investigación

El dimensionamiento de un sistema de respaldo energético fotovoltaico con almacenamiento por baterías (BESS), basado en la demanda eléctrica y la priorización de cargas críticas en la Facultad de Ciencias de la Salud de la UCSG, garantizara la disponibilidad del servicio eléctrico en las áreas críticas a un 99.9%, mitigando el impacto de las interrupciones de la red eléctrica convencional

1.5 Metodología de la investigación

En la presente investigación se utilizará el método cuantitativo, ya que se debe analizar variables de medición relacionadas con el consumo energético, los perfiles de carga y comportamiento del suministro de energético. El diseño de tipo no experimental permite estudiar el comportamiento real del sistema eléctrico sin manipulación de variables. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista, 2014)

Para el desarrollo metodológico se realizará un levantamiento de información por medio de revisión documental y observación directa, incluyendo datos de consumo eléctrico, características de equipos instalados y condiciones de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, permitiendo identificar las cargas críticas y evaluar la alternativa de implementar un respaldo energético basado en fuentes renovables. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista, 2014)

Fase 1. Diagnóstico energético de la instalación

Se realizó el levantamiento de información de la infraestructura eléctrica existente, incluyendo transformador de distribución, tableros eléctricos, principales cargas conectadas y áreas potenciales para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Adicionalmente, se efectuaron mediciones de parámetros eléctricos como voltaje, corriente y balance de fases, con el propósito de caracterizar la demanda energética y determinar las condiciones operativas de la instalación.

Fase 2. Evaluación del recurso renovable

Para el desarrollo del estudio fotovoltaico en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se analizó el recurso solar disponible en la ciudad de Guayaquil con el propósito de verificar que los niveles de radiación solar sean adecuados para la generación de energía fotovoltaica de manera estable a lo largo del año.

Fase 3. Diseño de la propuesta técnica

Una vez analizado el potencial solar disponible en la ciudad de Guayaquil, se procedió a la selección de los equipos y componentes eléctricos necesarios para el diseño del sistema fotovoltaico. Para la propuesta se consideraron materiales y equipos comercialmente disponibles en el mercado nacional, garantizando su disponibilidad para la implementación del proyecto.

Fase 4. Evaluación del desempeño técnico

El análisis de la propuesta técnica bajo diferentes escenarios de operación permitió determinar que el sistema fotovoltaico híbrido constituye una alternativa viable para suministrar energía de respaldo a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, contribuyendo a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional.

2.1. Sistema eléctrico

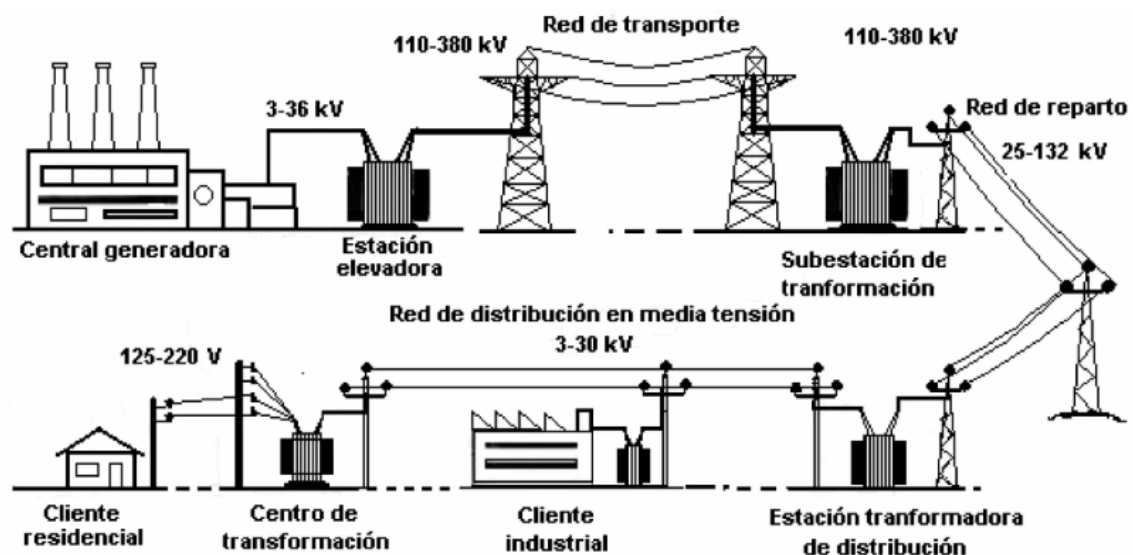
Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos encargados de transportar la energía desde la subestación hasta el usuario final. Los componentes que se utilizan para la distribución de energía son: las líneas primarias de distribución, transformadores de

transformación, las líneas secundarias de distribución, acometidas y medidores (Yebra, 2019).

La distribución de energía eléctrica debe realizarse de manera responsable permitiendo que el cliente final reciba un servicio continuo, sin interrupciones y valores de tensión adecuados para que sus equipos eléctricos funcionen de manera eficiente y sin armónicas. (Yebra, 2019)

Figura 1

Esquema sistema de suministro eléctrico



Nota. Etapas de un sistema eléctrico. (Aranea, 2024)

2.1.1 Generación

La generación de energía eléctrica es el proceso que se sigue para obtener la electricidad a partir de otra manera de energía, por ejemplo, energía mecánica producida por una turbina en movimiento, de calor al quemar combustible, luz solar al ser capturada por paneles fotovoltaicos entre otras. Es decir, se toma energía primaria para convertirla electricidad, la misma que será distribuida en hogares e industrias. (Delfos, 2025)

Figura 2

Generación de energía eólica, solar



Nota. Energías renovables (Delfos, 2025)

2.1.2 Transmisión

El sistema de distribución eléctrica es la encargada de transportar la energía eléctrica desde el lugar donde se genera la electricidad hasta el lugar donde se consume o se distribuye.

Las líneas de transmisión son estructuras complejas que transportan grandes cantidades de energía eléctrica como en la Figura 3, estas líneas son clasificadas de acuerdo con el nivel de tensión que estas transportan:

- Bajo Voltaje: menor o igual a 0.06 kV
- Medio Voltaje: mayor a 0.6 kV y menor o igual a 40kV
- Alto Voltaje: mayor a 40 kV (Chicaiza & Carranza, 2023)

Figura 3

Líneas de transmisión



Nota. Línea de transmisión El Inga – Tisaleo, ene el sur del Ecuador (Radio Pichincha, 2023)

2.1.3 Distribución

La distribución de energía eléctrica está compuesta por torres de distribución, líneas de transmisión y subestaciones de transmisión, las cuales estas compuestas por transformadores, equipos de protección y control.

En el Ecuador la distribución de la energía eléctrica está incluido en el Sistema Nacional de Transmisión que consiste en el conjunto de líneas de transmisión, las subestaciones, con los cuales a su vez forman parte del Sistema Nacional Interconectado(SIN) (CEER, 2022)

Figura 4

Subestación eléctrica



Nota. Subestación Azogues II contribuye con 20 megavatios (CENEL, 2025)

2.2 Demanda eléctrica

La demanda eléctrica es la cantidad total de electricidad que la utilizan en un momento, sea dentro o fuera del hogar. Cuando se utiliza demasiada electricidad a la vez, esto produce un aumento en la demanda de toda la red eléctrica y esto a su vez produce un aumento en los costos ya que se debe generar energía adicional. (Barahona, 2024)

Reducir su demanda máxima significa menos tensión y más ahorro.

Figura 5

Demanda de energía



Nota. Cuando todos utilizan energía al mismo tiempo el sistema alcanza su demanda máxima (Barahona, 2024)

2.2.1 Evolución del sector eléctrico ecuatoriano

Actualmente en el Ecuador el parque generador produce energía eléctrica de diferentes fuentes de energía renovables (hidráulica, solar, eólica y termina) y fuentes de energía no renovable (térmica de MCI, Turbo-gas y Turbo-vapor). Durante el periodo de 1999 al 2005 el crecimiento de la potencia efectiva de fuentes renovables fue casi nula, en cambio del 2006 al 2011 tuvo una crecida del 4.6%. (Salazar & Panchi, 2024)

La demanda eléctrica, desde 1999 al 2011 tuvo un crecimiento 5.8%. De los mas de 15 200 GWh de energía eléctrica fueron entregados de la siguiente manera:

- 35.1% sector residencial
- 19.4% sector comercial
- 31.5% sector industrial
- 5.8% alumbrado publico
- 8.3% otros (Salazar & Panchi, 2024)

En la Figura 6 producción anual de se muestra la evolución anual de energía eléctrica

Figura 6

Evolución de la producción de energía eléctrica



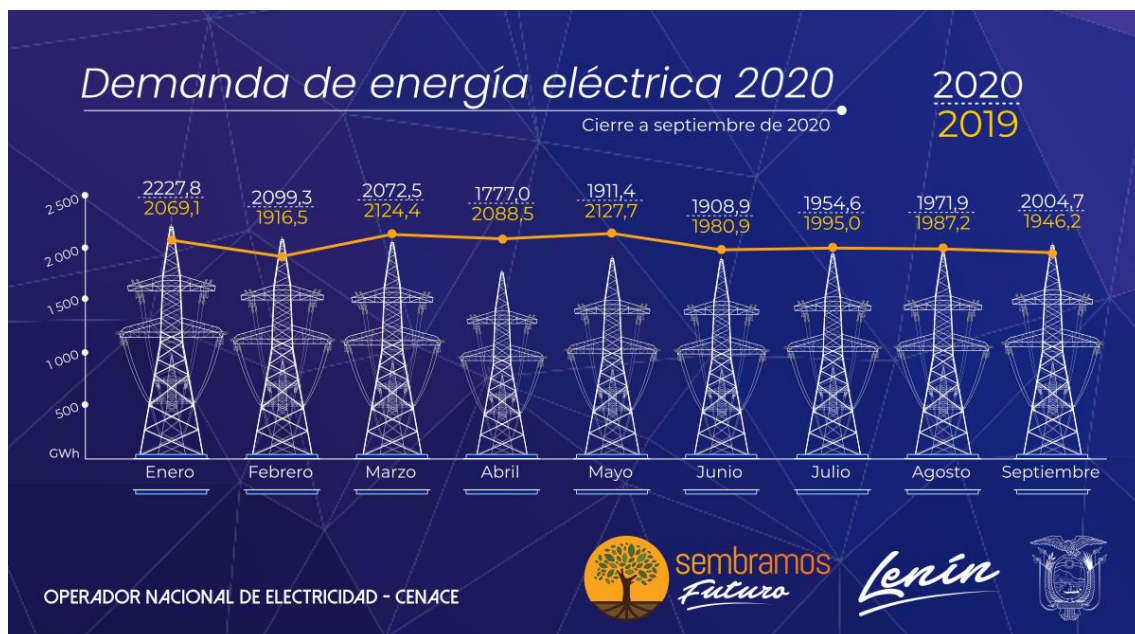
Nota. Evolución de la producción anual de la energía eléctrica (Salazar & Panchi, 2024)

Durante la emergencia sanitaria por el COVID-19 en el 2020, el Operador Nacional de Energía (CENACE) ha registrado una disminución en la demanda eléctrica de más del 10 % debido a la paralización en el sector comercial, donde oficinas, restaurantes, centros comerciales, entre otros permanecieron cerrados. El consumo nacional en ese año fue de 1559.7 GWh, geográficamente distribuidos de la siguiente manera: 64% en la costa, 33% en la sierra y 3% en el oriente. (CENACE, 2021)

En la Figura 7 se muestra la demanda de energía eléctrica durante el 2020.

Figura 7

Demanda de energía eléctrica 2020



Nota. La demanda en el Ecuador durante el 2020 se fue recuperando poco a poco (CENACE, 2021)

Durante el 2021, en los meses de enero hasta julio se evidencio un aumento del 8.13% de la demanda eléctrica en comparación al mismo periodo, pero en el 2020, esto equivale a que se consumieron 15086 GWh, este consumo estaba dividido en la región costa con el 62.2%, sierra 34,7% y amazonia con el 3.1%, como se muestra en la Figura 8. (CENACE, 2023)

Figura 8

Demanda eléctrica 2021



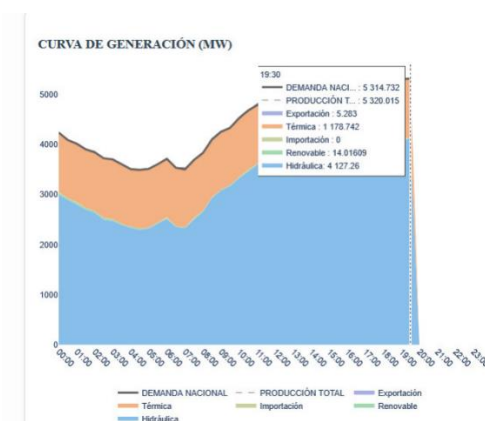
Nota. Distribución de la demanda en el territorio ecuatoriano (CENACE, 2023)

Actualmente el Ecuador durante los meses de marzo y abril del 2026, la demanda de energía alcanzado tres picos históricos registrados por el Operador Nacional de Electricidad (CENACE). Estos picos fueron los siguiente;

- El 18 de marzo el pico de demanda alcanzó los 5274MW
- El 10 de abril el pico de demanda alcanzo los 5333 MW
- El mayor récord en el pico de demanda se alcanzo el 14 de abril con 5374 MW como se muestra en la Figura 9. (CENACE, 2026)

Figura 9

Curva de generación(MW)



Nota. Record de demanda alcanzada el 14 de abril del 2026 (CENACE, 2026)

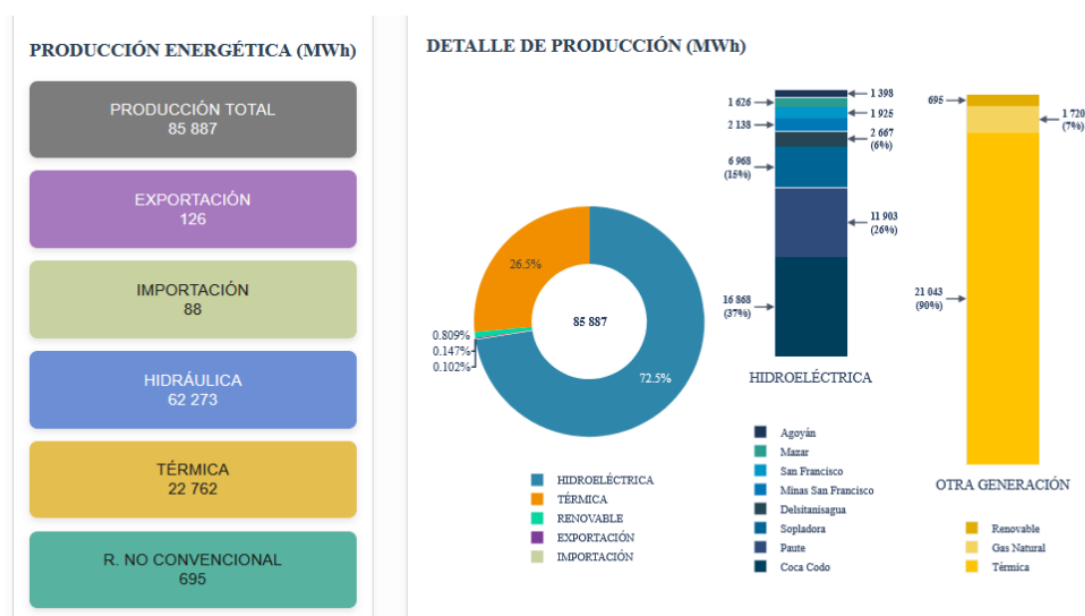
Para solventar el récord alcanzado el 14 de abril del 2026, el sistema tuvo que operar a límite de su capacidad, donde la matriz generadora se detalló de la siguiente manera:

- Hidráulica: aporte 4.066,45MW
- Térmica: aporte con 1198.086 MW
- Renovables (eólicas / solares): aportaron con 32.89 MW
- Importación: se compró 14.56 MW para estabilizar el sistema (CENACE, 2026)

Lo mencionado se detalla en la Figura 10.

Figura 10

Grafica de la producción de energía



Nota. Detalle del aporte de energía en MW de la matriz generadora, para solventar el récord de demanda del 14 de abril del 2026 (CENACE, 2026)

2.3 Consumo energético

El consumo energético es la cantidad total que se necesita para una tarea determinada y se mide en kilovatios hora (kWh). El consumo energético está directamente relacionado con la eficiencia energética, ya que a mayor consumo menor es la eficiencia energética.

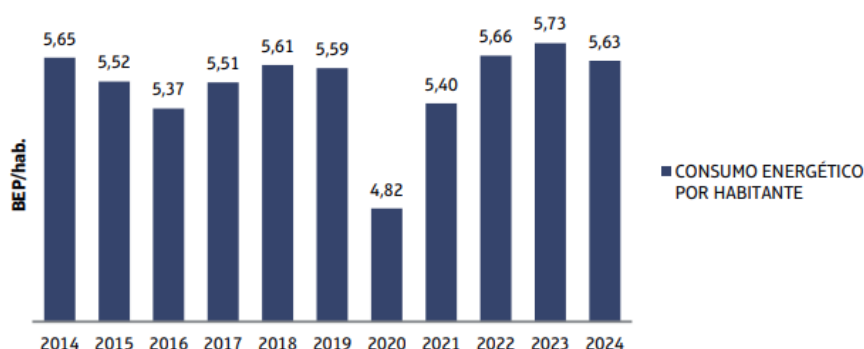
Se estima que en el transcurso de una hora se consume alrededor de 1000 vatios de energía eléctrica, por lo que este dato se utiliza para el cálculo del valor de las planillas mensual por el servicio. Adicional, existen varios factores que influyen en el consumo de energía tales como:

- El lugar de consumo sea hogar o negocio
- Número de personas que habitan en el lugar
- El rendimiento energético de los electrodomésticos (Repsol, 2023)

Según el Balance Energético Nacional entre el 2014 y 2024, el consumo energético por habitante disminuyó en un 0.4%, pasando de 5.65BEP/hab. a 5.63 BEP/hab. Como se visualiza en la Figura 11. (MAE, 2024)

Figura 11

Consumo energético por habitante



Nota. Detalle del consumo energético por cada habitante durante el 2014 al 2024 (MAE, 2024)

2.3.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética se la define como la optimización del consumo de energía para alcanzar niveles de confort y servicio con menor gasto, esto permite reducir facturas, mejorar el rendimiento de equipos y disminuir el impacto ambiental (Martinez, 2026). La eficiencia energética tiene algunos beneficios los cuales se muestran en la Figura 12

Figura 12

Eficiencia energética



Nota. Benéficos de la eficiencia energética. (UDLA, 22022)

2.4 Sistemas de respaldo energético

Un sistema de respaldo energético es una solución que permite obtener energía alternativa cuando el suministro de energía principal falla. En la industria la principal utilidad es evitar el paro de la producción, proteger equipos sensibles y garantizar que infraestructuras críticas continúe operando durante cortes de energía. (Quartux, 2026)

2.4.1 Principales problemas energéticos

En la actualidad se ha detectado que el 85% de las fallas existentes en los equipos eléctricos y electrónicos son consecuencia de variaciones de voltaje, estas variaciones son comunes en zonas donde hay sobre cargas en la red.

2.4.1.1 Variación de voltaje

La variación de voltaje son cambios en la tensión eléctrica que llega a una instalación, ya sea que este por encima o debajo del valor nominal, se ha registrado valor mayores o menores al 10% del voltaje ideal. Estas variaciones pueden ser momentáneas y sus principales causas se detallan en la Tabla 1 (CELEC, 2025).

Tabla 1*Causas de variaciones de voltaje*

Causa	Motivo
Sobrecargas en la red	Problemas en el sistema eléctrico (transformadores, líneas eléctricas)
Arranque de motores de alto consumo	Cuando la red detecta cambios bruscos en la demanda
Infraestructura eléctrica deficiente	Cuando la carga no esta bien distribuida en las fases del sistema trifásico
Tormentas eléctricas	Los rayos y vientos fuertes son causantes de variaciones
Fallas en el suministro de la empresa eléctrica	Problema en los equipos del sistema de distribución

Nota. Principales causas que producen las variaciones de voltaje en la red. Fuente: (CELEC, 2025)

La variación de voltajes puede producir daños a los equipos tanto en la funcionabilidad como en la durabilidad, ya que cuando se tiene un voltaje bajo los motores pueden sobrecalentarse y producir un desgaste prematuro, en cambio si se tiene un voltaje elevado puede dañar lo que son las tarjetas electrónicas, fuentes de poder y componentes sensibles (CELEC, 2025).

2.4.2 Clasificación de los sistemas de respaldo de energía

Los sistemas de respaldo de energía se clasifican en sistemas de acción instantánea (UPS) y sistemas de respaldo a largo plazo (generadores).

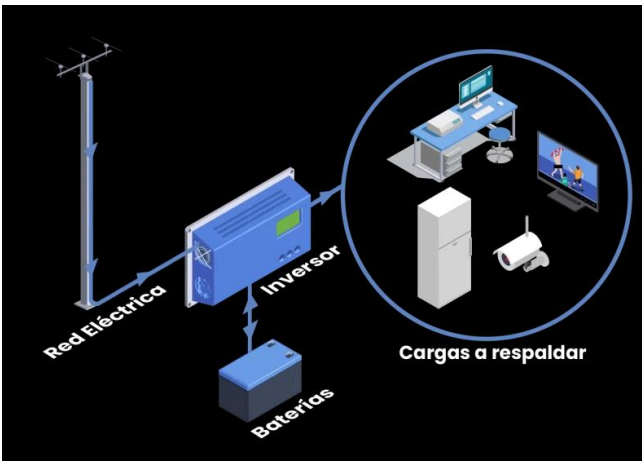
2.4.2.1 UPS (Sistema de Alimentación Interrumpida SAI)

El sistema de alimentación interrumpida es un sistema que almacena energía en sus elementos, puede proporcionar energía por un tiempo de energía limitado, cuando existen fallas en el suministro principal. Además, este sistema tiene la capacidad de filtrar las variaciones de voltajes.

Estos sistemas son utilizados principalmente para respaldar equipos que manejen procesamiento de datos que no puede ser interrumpido como se muestra en la Figura 13. (Tisnado, 2025)

Figura 13

Sistema de respaldo eléctrico



Nota. Sistema de respaldo eléctrico con UPS. Fuente; (SAGET, 2024)

En la actualidad existen diferentes tipos de UPS, los cuales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Tipos de UPS

Tipo UPS	Detalle
Corriente continua	Trata de mantener la tensión en la carga en corriente continua mediante un rectificador
Corriente alterna	Trata de mantener la tensión en la carga en corriente alterna
Standby	Es el mas utilizado en los ordenadores con una respuesta de 5 milisegundos

Interactivos	Son utilizado en pequeñas empresas, servidores, el UPS se activa cuando detecta disminución de energía
Standby on-line hybrid	No presenta ningún tipo de transferencia de energía ante un fallo de alimentación
Standby Ferro	Generan de 3 a 15 kVA
En línea de doble conversión	Convierte corriente alterna en corriente continua

Nota: Clasificación de UPS y sus principales detalles. Fuente: (Tisnado, 2025)

2.4.2.2 Generadores eléctricos

El generador eléctrico es una máquina eléctrica que transforma la energía mecánica en eléctrica, esta transformación se produce gracias a la intervención de dos elementos: la parte móvil llamada rotor y la parte estática que se denomina estator (ICADE, 2024). En la Figura se muestra un generador de energía.

Figura 14

Generador de energía



Nota. Generador de energía eléctrica. Fuente: (IASA, 2024)

2.5 Energías renovables.

Las energías renovables son energías que provienen de fuentes naturales que puede reponerse más rápido de lo que se las consume, tales como la luz solar y el viento que se los encuentra en cualquier entorno. En comparación con las energías no renovables estas producen menos emisiones que la quema de combustibles fósiles. (ONU, 2025)

Una de las principales ventajas del uso de energías renovables es que son inagotables y producen un bajo o nulo impacto al medio ambiente con lo que se contribuye a frenar el calentamiento global. (Valverde, 2023)

En Latinoamérica se estableció en el 2019 un objetivo de cambiar el 70% de energía no renovables a energía renovables hasta el 2030, los países involucrados son Paraguay, Costa Rica, Ecuador, Uruguay, El Salvador, Panama, Colombia, Venezuela, Brasil, Nicaragua y Guatemala. (UNIR, 2023)

2.5.1 Tipos de energía renovables

2.5.1.1 Energía Solar

De todas las fuentes de energía natural la que mas abunda en la solar y fácil de conseguirla, ya que esta puede ser captada a pesar de que el cielo este nublado. La velocidad con la que intercepta la tierra la energía solar es aproximadamente 10000 veces superior a la velocidad con la que el humano la consume.

Las tecnologías solares tienen la capacidad de convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos o a través de espejos que almacenan la radiación solar. Los paneles solares tienen una vida útil de alrededor de 30 años. (ONU, 2025)

Los principales beneficios del uso de la energía solar son:

- Es una fuente natural inagotable
- No produce emisiones de CO₂ al medio ambiente
- No produce contaminación auditiva
- Es una de las energías más accesibles y fáciles de instalar (Repsol, 2026)

En la Figura 15 se muestra un campo con paneles solares que generan la energía eléctrica.

Figura 15

Paneles solares



Nota. Campo de generación energía solar por medio de paneles solares.

Fuente: (Repsol, 2026)

2.5.1.2 Energía Eólica

La energía eólica es una de las principales energías renovables, ya que es producida por la fuerza del viento. La energía eólica se genera aprovechando la energía cinética de la fuerza del movimiento del viento. (ONU, 2025)

Esta energía es generada por medio de unas turbinas eólicas ubicadas en la superficie terrestre, en alta mar o en aguas dulces.

En el Ecuador se tiene la central eólica Villonaco ubicada en la provincia de Loja, inicio su construcción en 2011 y se encuentra operando de manera normal y contribuyendo con 16.5 MG de potencia. Villonaco cuenta con 11 aerogeneradores de 1.5 MW cada uno como se muestra en la Figura 16 (CELEC, 2023).

Figura 16

Campo de generación de energía eólica



Nota. Central eólica Villonaco de 16.5MW de potencia se encuentra ubicado en la provincia de Loja. Fuente: (CELEC, 2023)

2.5.1.3 Energía Geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable e inagotable que se obtiene al aprovechar el calor interno de la tierra de lugares que cumplan ciertas condiciones físicas.

En el Ecuador se está realizando el proyecto Chachimbiro en Imbabura, sería la primera planta generadora de energía geotérmica con una capacidad proyectada de 50MW, en la Figura 17 se muestra la plataforma de perforación del proyecto. (Llamosa, 2025)

Figura 17

Construcción de central geotérmica



Nota. Plataforma de perforación del proyecto Chachimbiro Ecuador.

Fuente: (Llamosa, 2025)

2.5.1.4 Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica en la actualidad es la mayor fuente de energía renovable representando el 16% de energía mundial, esta energía se produce por el movimiento del agua cuando se eleva o desciende de manera pronunciada, y puede generarse a partir de embalses y ríos. (ONU, 2025)

Una central hidroeléctrica aprovecha el movimiento del agua que circula por ríos para transformarlos en energía eléctrica, para ello se utiliza turbinas acopladas a los alternadores.

En el Ecuador actualmente cuenta con un amplio catálogo relacionado a la infraestructura hidroeléctrica para la generación y suministro de energía eléctrica entre las más grandes se tiene a Coca Codo Sinclair con una potencia nominal de 1500 MW y efectiva de 1476MW; Mazar con una potencia de 170MW, esta central se encuentra situada en la provincia del Azuay (Guadamud, 2024)

Figura 18

Central hidroeléctrica



Nota. Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair operada por CELEC, se encuentra en la provincia del Napo con una potencia nominal de 1500MW. Fuente: (Guadamud, 2024)

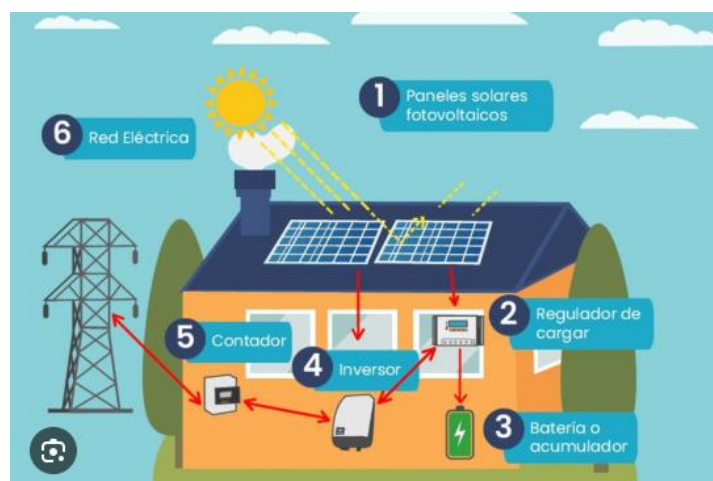
2.6 Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico también conocido como sistemas FV es un sistema en el cual se convierte la energía solar en energía eléctrica por medio de placas fotovoltaicas formadas por celular solares, que generan una corriente continua al estar expuesto de manera directa a la luz solar.

Los principales componentes de un sistema fotovoltaico son paneles solares, inversor, sistema de montaje, regulador de carga y baterías. Los paneles generan corriente continua y por medio de los inversores lo transformas a corriente alterna. En la Figura 19 se muestra los componentes del sistema fotovoltaico. (Alonso, 2025)

Figura 19

Componentes del sistema fotovoltaico



Nota. Componentes de un sistema fotovoltaico. Fuente: (Arias, 2024)

2.6.1 Paneles solares

Los paneles solares también conocidos como módulos fotovoltaicos, es el componente principal del sistema. Este compuesto por gran cantidad de celular fotovoltaicas que convierte la luz solar en energía eléctrica y están hechos de materias semiconductor principalmente silicio. Cuando la luz solar se refleja sobre las células, los fotones excitan los electrones en la materia, generando así corriente eléctrica. Existen dos tipos de paneles solares el monocristalino y el policristalinos. (Arias, 2024)

2.6.1.1 Paneles Monocristalinos

Los paneles solares monocristalinos se encuentran fabricados con silicio de alta pureza por lo que ofrecen una alta eficiencia superior al 22%. Se los consigue en un amplio rango de potencias, lo que permite que sean adaptables a cualquier tipo de proyecto. En la Figura 20 se muestra una instalación de paneles monocristalinos (Arias, 2024)

Figura 20

Panel monocristalino



Nota. Paneles solares monocristalinos instalados en el techo de una casa.

Fuente (EFC Solar, 2022)

2.6.1.2 Paneles Policristalinos

Los paneles solares se encuentran fabricados con silicio en bruto, por lo que son menos eficientes que los monocristalinos. Poseen una eficiencia entre 18 y 20% y son mucho más económicos. Se los consigue en potencias menores a 340W y se distinguen por su color azul como se muestra en la Figura 21 (Arias, 2024).

Figura 21

Paneles policristalinos



Nota. Campo de paneles solares de policristalino. Fuente: (Arias, 2024)

2.6.2 Controladores de carga

Los controladores de carga como su nombre lo dice controlan la corriente continua de los paneles solares evitando así que las baterías no sufran una sobrecarga, además permite medir el respaldo de energía que dispone. (Arias, 2024)

Existen 2 tipos de controladores:

- PWM: dispone de una tecnología más simple y económica
- MPPT: dispone de una mayor eficiencia y ajusta continuamente la carga

Figura 22

Controladores de carga



Nota. En la imagen se muestran los dos estilos. Fuente: (Arias, 2024)

2.6.2.1 Controlador PWM

Un controlador PWM (Pulse Width Modulation) es un equipo utilizado en los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, el cual tiene como finalidad regular las cargas de las baterías a partir de paneles solares. Las diferentes maneras de utilizar el PWM se los detalla a continuación:

- Este tipo de controlador se lo utiliza para alternar el ancho de los pulsos de la señal, lo que permite controlar la potencia que se entrega a un dispositivo, la carga de baterías y poder mantener condiciones óptimas.
- El PWM se lo utiliza para regular la tensión y corriente en la carga de baterías, uno de sus objetivos principales es evitar la sobrecarga y la descarga profundas de las baterías, aumentando así su vida útil.

2.6.2.2 Controlador MPPT

El controlador de tecnología MPPT (Maximum Power Point Tracking) es uno de los componentes principales del sistema fotovoltaico autónomo, ya que permite maximizar el rendimiento de los módulos solares, ya que permite el rastreo del punto pico de potencia eléctrica para realizar el ajuste de la tensión y corriente de carga de las baterías (Huaracha, 2025). Adicionalmente tiene otras funciones que se detallan a continuación:

- Este tipo de controladores están diseñados especialmente para la optimización de la eficiencia de los paneles solares, garantizando así que estén operando en su punto de potencia máxima en todo momento incluso cuando existe sombra.
- Adicional, este controlador viene con una interfaz que permite configurar parámetros específicos, como la tensión de carga y descarga, así como también permite el monitoreo del rendimiento del sistema en tiempo real (Huaracha, 2025).

2.6.3 Baterías

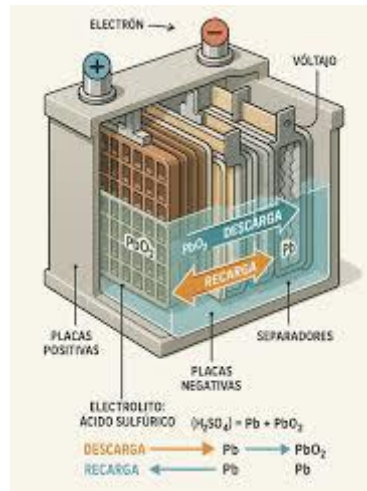
Las baterías son los dispositivos utilizados para almacenar la energía producida por los paneles solares. Esta energía almacenada se la puede utilizar cuando se presenten cortes de energía o no hay luz solar, según la tecnología utilizada para la fabricación de baterías se existen diferentes tipos.

2.6.3.1 Baterías de plomo ácido

Las baterías de plomo ácido tienen una composición de plomo y ácido sulfúrico, que permite el almacenamiento de energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en dos electrodos primarios y el ácido sulfúrico, su fabricación es económica por lo es más accesible en cuestión de costos. (Derich, 2024)

Figura 23

Batería de plomo ácido



Nota. Partes de una batería de plomo ácido (Derich, 2024)

2.6.3.2 Baterías AGM

Las baterías AGM (Absorben Glass Mat), son un tipo de batería herméticas que utiliza una tecnología en la que separa las fibras de vidrio absorben para mantener el electrolito en su lugar. Al ser herméticas reduce la posibilidad de que existan derrames, sea más resistente a golpes y vibraciones.

Las baterías AGM poseen una alta capacidad de corriente y una baja tasa de descarga. (Cetelem, 2024)

Figura 24

Batería AGM



Nota. Batería AGM de uso general – Serie FC. Fuente: (MCA, 2025)

2.6.3.3 Baterías de Gel

Este tipo de baterías también conocidas como baterías de celda, es un plomo ácido regulado por una válvula. Los componentes de la batería de gel son electrolitos parecidos a un gel; este electrolito se lo consigue con la mezcla del ácido sulfúrico con sílice para permitir que se vuelva mas visco que el líquido por lo que necesitan poco ningún tipo de mantenimiento para mantener su correcto funcionamiento. (Moreno, 2025)

Figura 25

Batería de Gel



Nota. Batería de gel solar WJC. Fuente: (Moreno, 2025)

2.6.3.4 Baterías de Litio

Las baterías de litio son utilizadas para usos de alta exigencia y son apta para 900 1500 ciclos de carga y descarga, y operan sin problemas a temperaturas mayores a los 60 grados centígrados. Son baterías recargables que poseen compuesto de litio y su funcionamiento de basa en el desplazamiento de iones de litio entre el ánodo y el cátodo como la finalidad de acumular y liberar eléctrica. En la Figura 26 se visualiza una batería de litio (Adriano, 2025).

Figura 26

Batería de Litio



Nota. Batería de litio 50 AH 12.8V LiFe P04 con BMS integrado, descarga máxima 100ª hasta 2000 Ciclos. Fuente: (Atempower, 2025)

2.6.4 Inversores

Los inversores con los encargados de transformarla corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alternan. Los diferentes tipos de inversores que se los detalla a continuación.

2.6.4.1 Aislados

Los inversores de tipo aislado están diseñados para trabajar en viviendas que no están conectado a la red eléctrica, es decir que dependen directamente de la energía que les proporciona los paneles solares. Las baterías son muy importantes en este caso, ya que son las que permiten obtener una autonomía energética de la casa durante el día y la noche. (CETELM, 2025)

Figura 27

Inversor Aislado



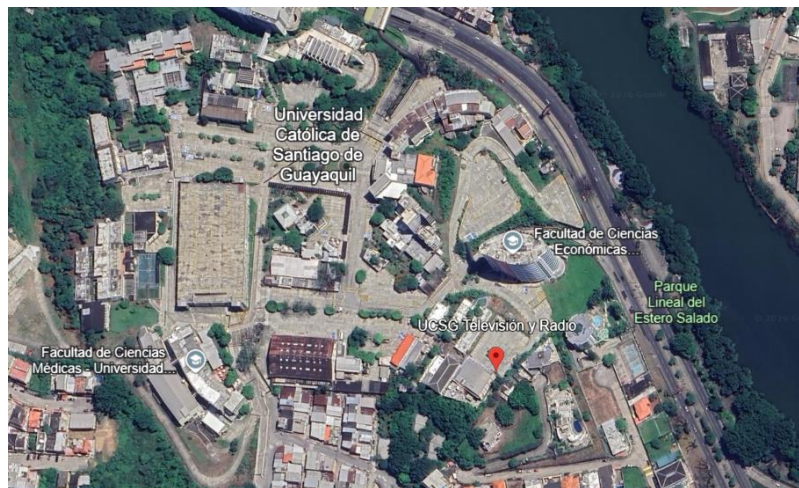
Nota. Inversor Vistron Multiplus 12V 500VA 20+16A. Fuente:
(CETELM, 2025)

3.2 Ubicación Geográfica del sitio

La Facultad de Ciencias de la Salud se encuentra ubicada dentro del campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. La infraestructura está conformada por aulas, laboratorios, áreas administrativas y sistemas de apoyo que requieren un suministro eléctrico confiable para su operación.

Como parte del presente estudio, se realizó una visita técnica a las instalaciones con el objetivo de identificar la infraestructura eléctrica existente, los puntos de alimentación energética y las condiciones actuales del sistema de distribución eléctrica.

Figura 29: Mapa de ubicación de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil



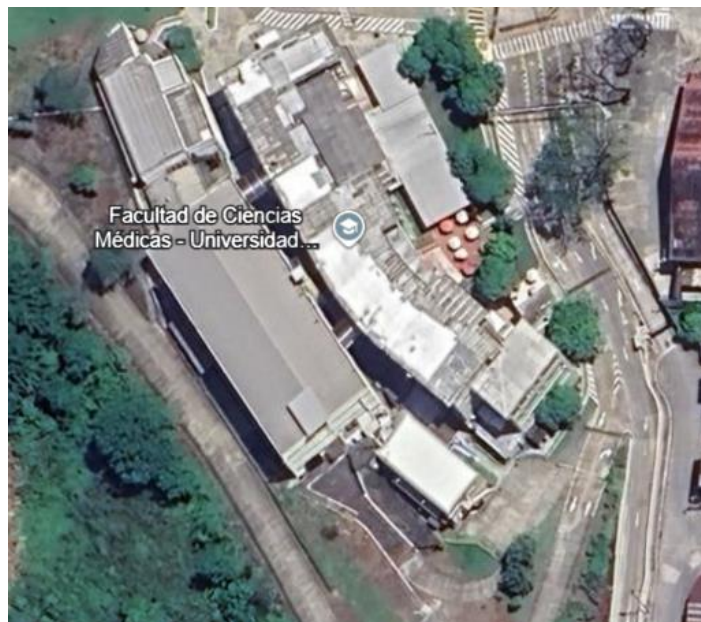
Nota. Mapa geográfico de la ubicación de la UCSG **Fuente:** Google Maps

3.3 Área útil para uso de implementación de paneles solares

Se realizó una inspección visual de la infraestructura de la Facultad de Ciencias de la Salud con el objetivo de identificar áreas potenciales para la implementación de sistemas fotovoltaicos. El análisis preliminar permitió determinar superficies con adecuada exposición solar y disponibilidad de espacio para la instalación de paneles solares, considerando la presencia de obstáculos como equipos de climatización, ductos y otros elementos constructivos que podrían afectar el aprovechamiento de las cubiertas.

Figura 30

Superficie para instalación de paneles solares en UCSG



Nota. Cubierta donde se puede instalar lo paneles solares. **Fuente:** Google Maps

La Figura 30 muestra una proyección referencial de la distribución de paneles solares sobre las cubiertas de la edificación, con el objetivo de visualizar las áreas potencialmente aprovechables para el desarrollo de soluciones de respaldo energético basadas en fuentes renovables.

3.4 Análisis de áreas disponibles en terraza para la instalación del sistema fotovoltaico

Las superficies analizadas presentan áreas con potencial para la instalación de módulos fotovoltaicos. Sin embargo, se identificaron elementos como equipos de climatización, ductos y estructuras auxiliares que deberán considerarse en futuras etapas de diseño debido a su influencia en la distribución de los módulos y la generación de sombras.

Como referencia técnica, se consideró el uso de módulos fotovoltaicos monocristalinos de aproximadamente 735 W de potencia nominal, cuyas dimensiones

comerciales se encuentran cercanas a 2,2 m de largo por 1,1 m de ancho, requiriendo una superficie aproximada de 3,5 m² por módulo, incluyendo espacios destinados a mantenimiento y circulación

Tabla 3

Especificación técnica de los paneles solares

PARAMETRO	VALOR REFERENCIAL
Tipo de panel	Monocristalino
Potencia nominal del panel	735 W
Dimensiones aproximadas	2,2 m × 1,1 m
Área física del panel	2,42 m ²
Área recomendada por panel (incluye separación y mantenimiento)	3,5 m ²
Aplicación prevista	Sistema de respaldo energético

Nota. Elaboración propia

3.5 Consideraciones estructurales para una futura implementación fotovoltaica

La instalación de sistemas fotovoltaicos sobre cubiertas requiere verificar previamente la capacidad estructural de la infraestructura, debido a las cargas adicionales generadas por los módulos solares, estructuras de soporte, canalizaciones y demás componentes asociados al sistema.

La ejecución de este análisis permitirá establecer la factibilidad técnica de la instalación fotovoltaica, así como identificar posibles adecuaciones o refuerzos estructurales necesarios para garantizar la integridad de la infraestructura y la operación segura del sistema.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la cubierta

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Tipo de cubierta	Hormigón, metálica u otro material
Estado de conservación	Evaluación visual de la infraestructura
Capacidad portante	Verificación de cargas admisibles
Estructuras de soporte	Compatibilidad con el sistema fotovoltaico
Requerimiento de refuerzos	Determinación de adecuaciones necesarias

Nota. Elaboración propia

3.6 Levantamiento de información del sistema eléctrico existente

Con el propósito de conocer las condiciones operativas de la infraestructura eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Salud, se realizó un levantamiento de información en campo de los principales componentes que conforman el sistema de distribución eléctrica. La actividad incluyó la inspección de transformadores, tableros de distribución, alimentadores y demás elementos asociados al suministro de energía de la instalación.

Se realizó la inspección del transformador de distribución que alimenta la Facultad de Ciencias de la Salud. Durante la visita técnica se recopilaron los principales datos de placa y características operativas del equipo para conocer las condiciones generales del suministro eléctrico.

Figura 31

Transformador de distribución de la Facultadas de Ciencias de la Salud



Nota. La Facultad se encuentra en la UCSG. Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Mediciones del consumo de la Facultada de Ciencias de la Salud / UCSG



Nota. Mediciones de las tres fases. **Fuente:** Elaboración propia

Tabla 5

Datos de los consumos que realiza la Facultad de Ciencias de la Salud /UCSG

Parámetro	Fase A	Fase B	Fase C	NEUTRO
Voltaje fase-neutro (V)	124	126	126	
Corriente (A)	645.4	451.3	376.8	108.17
Factor de potencia	0.94	0.94	0.94	0.94

Fuente: Elaboración propia

3.6.1 Tablero de distribución general

Se realizó la inspección del Tablero de Distribución General (TDG) de la Facultad de Ciencias de la Salud. Durante la visita técnica se identificaron las características principales del tablero, sus elementos de protección y los circuitos asociados a la distribución de energía eléctrica dentro de la infraestructura.

La información recopilada permitió conocer la configuración general del sistema de distribución y los principales puntos de alimentación de las cargas conectadas a la instalación.

Figura 33

Tablero de distribución instalado en la Facultad de Ciencias de la Salud /UCSG



Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de evaluar las condiciones operativas del Tablero de Distribución General (TDG), se realizaron mediciones de los principales parámetros eléctricos del sistema trifásico, incluyendo voltajes, corrientes y potencias por fase. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Características del tablero de distribución instalado en la Facultadas de Ciencias de la Salud / UCSG

Parámetro	Valor
Ubicación	Cuarto de tableros
Tensión nominal (V)	240
Sistema eléctrico	Trifásico
Número de fases	3
Interruptor principal (A)	1000
Capacidad del tablero (A)	1000
Número de circuitos	Varios

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de caracterizar el comportamiento eléctrico de la instalación, se realizaron mediciones en el Tablero General de Distribución durante condiciones normales de operación. Los datos obtenidos permiten conocer el nivel de carga del sistema y las condiciones de suministro presentes en la facultad.

Tabla 7

Mediciones tomadas en condiciones normales en el tablero de distribución de la Facultad de Ciencias de la Salud UCSG

Parámetro	Fase A	Fase B	Fase C
Voltaje fase-neutro (V)	126	125	127
Corriente (A)	645.4	451.3	376.8
Factor de potencia	0.94	0.94	0.94
Potencia (kw)	76.44	53.03	44.98

Fuente: Elaboración propia

Potencia por fase:

FASE A

$$PA = V \times A \times Fp$$

$$PA = 126 \times 645,4$$

$$PA = 81.320 \times 0,94$$

$$PA = \mathbf{76,44 \text{ kW}}$$

FASE B

$$PB = V \times A \times Fp$$

$$PB = 125 \times 451,3$$

$$PB = 56.412 \times 0,94$$

$$PB = \mathbf{53,03 \text{ kW}}$$

FASE C

$$PC = V \times A \times Fp$$

$$PC = 127 \times 376,8$$

$$PC = 47.853 \times 0,94$$

$$PC = \mathbf{44,98 \text{ kW}}$$

POTENCIA TOTAL

$$PT = PA + PB + PC$$

$$PT = \mathbf{174,45 \text{ kW}}$$

A partir de los datos obtenidos durante el levantamiento de información y de los cálculos realizados, se estimó una potencia activa total de 174,45 kW para el sistema eléctrico de la Facultad de Ciencias de la Salud.

3.7 Análisis técnico del sistema eléctrico existente

Con la información obtenida durante el levantamiento de campo se realizó el análisis del sistema eléctrico de la Facultad de Ciencias de la Salud. Las mediciones efectuadas en los diferentes equipos permitieron conocer la forma en que se distribuyen las cargas, verificar las condiciones de operación de la infraestructura eléctrica e identificar los aspectos que deben considerarse para la incorporación de un sistema de respaldo energético.

3.7.1 Balance de cargas del sistema

De las tomas de carga físicas tanto en el transformador como el tablero de distribución principal es importante tener en cuenta que los valores de corriente, voltaje y potencia presentados corresponden a mediciones puntuales realizadas durante la visita técnica efectuada en la Facultad de Ciencias de la Salud. De las mediciones realizadas se identificó una distribución eléctrica en desbalance de las cargas entre las fases del sistema eléctrico. La Fase A del tablero de distribución principal registró una corriente de 645,4 A, mientras que las fases B y C presentaron valores de 451,3 A y 376,8 A, respectivamente. En cuanto a los resultados se determinó un desbalance de carga del 31,40 %, evidenciando una mayor concentración de demanda en la Fase A. Esta condición puede influir en la eficiencia operativa del sistema eléctrico y debe ser considerada en futuras acciones de optimización y en el diseño de la propuesta de respaldo energético basada en fuentes renovables.

CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1 Alcance de la propuesta técnica.

La presente propuesta desarrolla el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido de respaldo energético para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, tomando como base los resultados obtenidos durante el levantamiento y análisis del sistema eléctrico existente presentado en el Capítulo III.

El diseño se fundamenta en una demanda activa instantánea estimada de 174,45 kW. Debido a que el estudio no dispone de registros históricos de consumo ni de curvas de carga, la propuesta corresponde a un redimensionamiento técnico, orientado a evaluar la factibilidad de implementar un sistema de respaldo energético basado en generación fotovoltaica y almacenamiento mediante baterías.

Como criterio de diseño, no se considera el respaldo energético del 100% sino de la capacidad instalada en cuanto a paneles solares priorizando las cargas esenciales de la facultad con el fin de garantizar la continuidad operativa durante interrupciones del suministro eléctrico. Para ello se realizará el dimensionamiento preliminar del campo fotovoltaico, el banco de baterías (BESS), los inversores híbridos y los principales equipos asociados.

4.2 Criterio técnico de diseño del sistema fotovoltaico

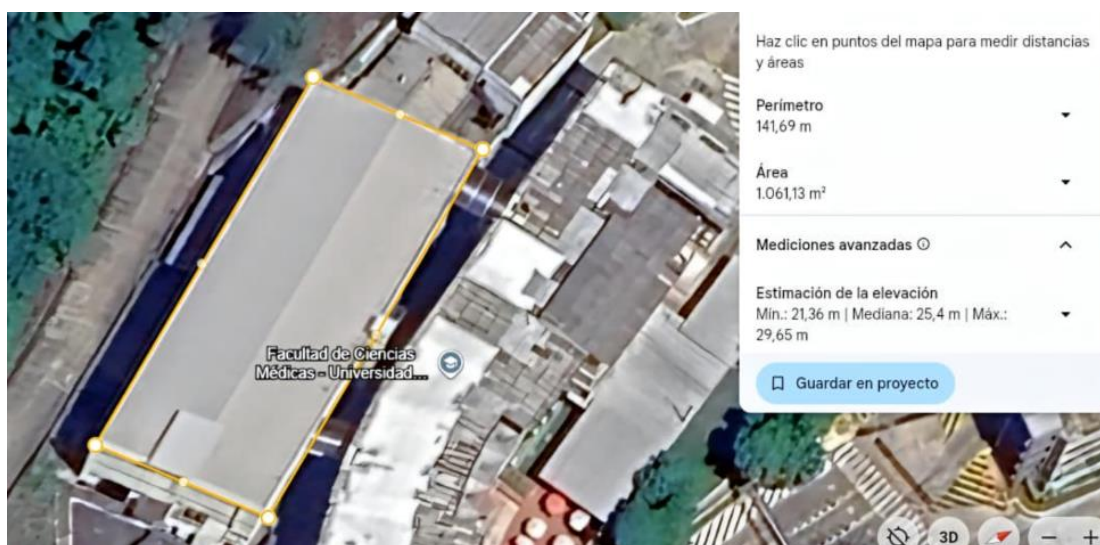
El diseño conceptual del sistema fotovoltaico híbrido de respaldo energético se desarrolló considerando criterios técnicos que garantizaran la viabilidad de la propuesta desde los puntos de vista eléctrico, energético y constructivo. Como parte del estudio, se verificó la disponibilidad de espacio para la instalación del campo fotovoltaico, así como de los equipos que conforman el sistema de respaldo. Con base en este análisis y en el levantamiento de evidencias fotográficas realizado en sitio, se desarrolló la ingeniería conceptual del sistema fotovoltaico para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

4.2.1 Disponibilidad de superficie para la instalación fotovoltaica

De acuerdo con la inspección técnica realizada en la Facultad de Ciencias de la Salud, se identificó una cubierta con un área aproximada de **1 000 m²**, considerada potencialmente apta para la instalación del campo fotovoltaico debido a la superficie disponible y a sus condiciones generales. No obstante, previo a la implementación del sistema, será indispensable realizar una evaluación estructural de la edificación con el fin de verificar su capacidad portante frente a las cargas adicionales generadas por los módulos fotovoltaicos, la estructura de soporte, los equipos auxiliares y las acciones ambientales, garantizando así la seguridad y estabilidad de la infraestructura durante la vida útil del proyecto.

Figura 34

Área 1000m2 proyectada para módulos fotovoltaicos



Fuente: Elaboración propia

Para la propuesta de se seleccionan módulos fotovoltaicos monocristalinos de 735 W, cuyas medidas aproximadas es de 2,384 x 1,303 m.

Donde:

L = longitud del panel (m)

A = ancho del panel (m)

$$A_{panel} = L \times A$$

$$A_{panel} = 2.384 \times 1.303$$

$$A_{panel} = 3.11 \text{ m}^2$$

Para el aprovechamiento del área disponible se deben considerar aspectos como la separación entre filas de módulos, espacios para mantenimiento, inclinación de los paneles y distancias de seguridad. Por esta razón, el área útil de instalación será inferior al área total disponible.

A continuación, en la Tabla 8 presenta las características consideradas en el análisis de la superficie disponible

Tabla 8

Características de la superficie disponible para la instalación de paneles solares

Parámetro	Valor
Área disponible en cubierta	1 000 m ²
Potencia del módulo	735 W
Longitud del módulo	2,384 m
Ancho del módulo	1,303 m
Área física del módulo	3,11 m ²

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1 Área efectiva para instalación de paneles

Basado en los aspectos considerados como espacio, mantenimientos, etc., al disponer de 1000m² de disponibilidad, lo ideal sería ocupar el 75% del espacio, entonces el área realmente disponible sería:

$$A_{efectiva} = 1000 \times 0.75$$

$$A_{efectiva} = 750 \text{ m}^2$$

4.2.1.2 Cálculo para el número de paneles en el área disponible

Con base en la superficie útil disponible, se efectuó una estimación preliminar de la cantidad máxima de módulos fotovoltaicos que pueden ser instalados, considerando las dimensiones de los paneles seleccionados presentadas en la tabla anterior.

$$N = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Espacio por panel}}$$

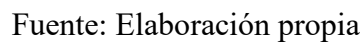
$$N = \frac{750 \text{ m}^2}{3.11 \text{ m}^2}$$

$$N = 241 \text{ paneles}$$

De acuerdo con la estimación realizada, el área útil disponible permite la instalación de aproximadamente 241 módulos fotovoltaicos de 735 W.

La imagen a continuación muestra el área proyectada para los módulos fotovoltaicos calculados.

Área proyectada para los módulos fotovoltaicos calculados



A partir del número estimado de módulos fotovoltaicos que pueden instalarse sobre la superficie útil disponible, se determinó la capacidad de generación fotovoltaica proyectada del sistema. Este parámetro representa la potencia nominal máxima que podría ser instalada en la cubierta de la edificación, constituyendo un criterio de referencia para el posterior dimensionamiento del sistema híbrido de respaldo energético.

$$P_{FV} = \text{Capacidad de generación fotovoltaica proyectada}$$
$$P_{MODULO} = \text{Potencia nominal de cada modulo (kWp)}$$

$$P_{FV} = 241 \times 0.735$$

$$P_{FV} = 177.14kWp$$

48

instalada estimada de 177,14 kWp. Este valor representa la potencia pico máxima preliminar que podría instalarse en la cubierta bajo las condiciones de área considerada.

4.2.2 Estimación de la energía diaria por el sistema fotovoltaico

Para estimar la energía diaria por el sistema proyectado de 177,14 kWp, se consideró 4 horas solar pico para la ciudad de Guayaquil y una eficiencia del sistema fotovoltaico del 85%, en donde se toma en cuenta las pérdidas por temas de temperatura, cableados y operaciones relacionados a equipos como inversores etc.

Para ello usamos la siguiente formula:

$$E_{FV} = P_{FV} \times HSP \times \eta$$

Donde:

E_{FV} = Energía diaria estimada en kWh/día

P_{FV} = Potencia fotovoltaica instalada en kWp

HSP = Horas solar pico h/día

η = eficiencia solar del sistema

Entonces:

$$E_{FV} = P_{FV} \times HSP \times \eta$$

$$E_{FV} = 177,14 \times 4 \times 0,85$$

$$E_{FV} = 602,259 \text{ kWh/día}$$

El sistema fotovoltaico proyectado entregará una energía estimada de 602,259 kWh/día. Para determinar el porcentaje real de respaldo que representa esta planta solar, es necesario calcular previamente la energía fotovoltaica requerida en caso de respaldar el 100% de la demanda activa instantánea registrada en la Facultad de Ciencias de la Salud.

Este análisis permite comparar la energía que entregaría el sistema propuesto frente al requerimiento energético total de la carga medida, estableciendo así el nivel real de cobertura o respaldo que podría aportar la planta fotovoltaica proyectada.

$$E_{req} = P_T \times t$$

$$E_{req} = 174,45 \times 4$$

$$E_{req} = 697,8 \text{ kWh}$$

Con los valores obtenidos de la energía fotovoltaica generada por el sistema proyectado y la energía fotovoltaica requerida para respaldar el 100% de la demanda activa de la Facultad de Ciencias de la Salud, se determina el porcentaje real de cobertura energética que proporciona la propuesta planteada.

$$\%Respaldo = \frac{E_{FV}}{E_{req}} \times 100$$

$$\%Respaldo = \frac{581,77}{697,8} \times 100$$

$$\%Respaldo = 83,37\%$$

4.3 Selección de componentes

Para el estudio del sistema fotovoltaico se considera equipos comerciales que priorice la eficiencia, compatibilidad y disponibilidad en el mercado, para ello es importante considerar:

- Paneles fotovoltaicos monocristalinos
- Inversor híbrido trifásico con integración FV, BESS, RED
- Baterías de litio LiFePO4
- Sistema de monitoreo, supervisión de generación, carga, descarga y falla

4.3.1 Selección del módulos fotovoltaicos e Inversor

4.3.1.1 Selección de módulos fotovoltaicos

Para el campo solar se seleccionaron módulos fotovoltaicos monocristalinos de 735W, basados en la tecnología TOPCon Tipo N debido a su elevada eficiencia de conversión, mayor potencia unitaria y mejor aprovechamiento de la superficie disponible para la instalación.

La Tabla 9 muestra las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado

Tabla 9

Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico

Parámetro	Valor
Fabricante	Jinko Solar
Modelo	JKM735N-66HL5-BDV
Tecnología	TOPCon Tipo N
Potencia nominal	735 W
Eficiencia	23,66 %
Dimensiones	2384 × 1303 × 33 mm
Peso	37,5 kg
Vmp	41,23 V
Imp	17,83 A
Voc	49,52 V
Isc	18,88 A
Tensión máxima del sistema	1500 VDC

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Selección del Inversor Híbrido

Se considera usar un inversor híbrido de marca comercial y conocida en Ecuador, este tipo de inversores gestiona de manera eficaz la generación, almacenamiento y

consumo de energía combinando las funcionalidades de los inversores solares tradicionales y los inversores de batería.

4.3.2.1 Funcionalidad

En condiciones normales de operación, el inversor híbrido prioriza el aprovechamiento de la energía generada por los paneles fotovoltaicos para abastecer las cargas conectadas. La energía producida en corriente continua es convertida a corriente alterna para su consumo inmediato.

Tabla 10

Datos técnicos inversor híbrido Growatt WIT 50K-XHU

Parámetro	Valor
Fabricante	Growatt
Modelo	WIT 50K-XHU
Tipo	Inversor híbrido trifásico
Potencia nominal	50 kW
Cantidad propuesta	4
Potencia total instalada	200 kW
Eficiencia máxima	98,10%
MPPT	4
Strings por MPPT	2
Tensión máxima FV	1100 V
Rango MPPT	180–1000 V
Voltaje baterías	200–900 V
Protección	IP66
Comunicación	RS485 / CAN
Función UPS	Sí
Black Start	Sí
Entrada para generador	Sí

Nota. Inversor híbrido Growatt WIT 50K-XHU

De lo mostrado en la Tabla 10 y la propuesta para el proyecto que corresponde a 177,14 kWp, se plantea la utilización de cuatro inversores híbridos Growatt WIT 50K-XHU, obteniendo una capacidad total de conversión de 200 kW.

La relación entre la potencia fotovoltaica instalada y la potencia nominal de los inversores se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_{(DC/AC)} = P_{FV} / P_{INV}$$

Donde:

$$R_{(DC/AC)} = \text{Relación DC/AC}$$

$$P_{FV} = \text{Potencia fotovoltaica instalada (kWp)}$$

$$P_{INV} = \text{Potencia nominal total de los inversores (kW)}$$

Datos de nuestro sistema:

$$\text{Potencia fotovoltaica} = 177,14 \text{ kWp}$$

$$\text{Potencia de inversores} = 200 \text{ Kw}$$

$$R_{(DC/AC)} = 177,14 / 200$$

$$R_{(DC/AC)} = 0,89$$

Este resultado indica que la potencia fotovoltaica instalada representa el 89 % de la capacidad nominal de conversión, proporcionando un margen operativo adecuado para el funcionamiento del sistema y futuras ampliaciones

4.3.2.2 Potencia fotovoltaica por inversor híbrido Growatt WIT 50K-XHU

La potencia total calculada del sistema fotovoltaico proyectado es de 177,14kW por lo cual se ha calculado el uso de 4 inversores para la distribución uniforme mediante la siguiente expresión:

$$P_{FV-INV} = \frac{P_{FV}}{N_{INV}}$$

Donde:

P_{FV-INV} = Potencia fotovoltaica asignada a cada inversor, en kWp

P_{FV} = Potencia total instalada del campo fotovoltaico, en kWp

N_{INV} = Numero de inversores seleccionados

$$P_{FV-INV} = \frac{177,14}{4}$$

$$P_{FV-INV} = 44,29kWp$$

Por lo tanto, cada inversor gestionara aproximadamente 44,29kWp del campo fotovoltaico proyectado.

4.3.2.3 Numero de módulos fotovoltaicos por inversor hibrido

Tomando en cuenta que cada módulo fotovoltaico tiene una potencia nominal de 735W, esto equivale a 0,735 kWp, el número de módulos se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{MOD-INV} = \frac{P_{FV-INV}}{P_{MOD}}$$

$$N_{MOD-INV} = \frac{44,29}{0,735}$$

$$N_{MOD-INV} = 60,26$$

Según el cálculo realizado se estima que cada inversor soporta alrededor de 61 módulos fotovoltaicos de 735W.

La siguiente tabla a continuación muestra la distribución de módulos por inversor, para la potencia proyectada.

Tabla 11

Distribución de módulos por inversor

Inversor	Número de módulos	Potencia asignada
Inversor 1	61	44,84 kWp
Inversor 2	60	44,10 kWp
Inversor 3	60	44,10 kWp
Inversor 4	60	44,10 kWp
Total	241	177,14 kWp

Nota. Elaboración propia

4.3.3 Dimensionamiento de los strings

El proceso de dimensionamiento de los strings fotovoltaicos determina la disposición eléctrica de los módulos solares, verificando que los valores de tensión y corriente obtenidos se mantengan dentro del rango de entrada admitido por el inversor híbrido. Esta verificación garantiza la compatibilidad entre ambos equipos, favorece una operación estable del sistema fotovoltaico y reduce el riesgo de fallas asociadas a condiciones de sobretensión o sobre corriente.

En la Tabla 12 muestra los parámetros eléctricos del módulo fotovoltaica según la ficha técnica.

Tabla 12

Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaica según la ficha técnica

Parámetro	Valor
Potencia máxima	735 W
Voltaje circuito abierto (Voc)	49,52 V
Voltaje máxima potencia (Vmp)	41,23 V
Corriente máxima potencia (Imp)	17,83 A
Corriente cortocircuito (Isc)	18,88 A

Nota. Elaboración propia

El siguiente paso es verificar los parámetros del inversor híbrido según la ficha técnica, mismos que se muestran la Tabla 13.

Tabla 13

Parámetros del inversor híbrido según la ficha técnica

Parámetro	Valor
MPPT	4
Strings por MPPT	2
Voltaje máximo DC	1100 V
Rango MPPT	180–1000 V
Corriente MPPT	40 A

Nota. Elaboración propia

4.3.3.1 Cálculo del número máximo de módulos por string

Según la ficha técnica del inversor híbrido, el Growatt WIT 50K-XHU admite una tensión máxima de entrada de 1.100 VDC, mientras que el módulo JinkoSolar de 735 W presenta una tensión de circuito abierto V_{oc} de 49,52 V y un coeficiente térmico de tensión de $-0,25 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$N_{max,STC} = \frac{V_{max,INV}}{V_{oc}}$$

Donde:

$N_{max,STC}$ = Número máximo teórico de módulos por strings.

$V_{max,INV}$ = Tensión máxima de entrada del inversor.

V_{oc} = Tensión de circuito abierto del módulo.

$$N_{max,STC} = \frac{1000}{49,52}$$

$$N_{max,STC} = 22,21$$

Para que exista un máximo de seguridad en este string, entonces para este procedimiento se adopta una temperatura mínima de diseño de 10°C

$$V_{OC,Corr} = V_{OC,STC} [1 + \beta V_{OC} [(1 + \beta V_{OC}) (25 - T_{MIN})]$$

Donde:

$V_{OC,Corr}$ = Tensión de circuito abierto corregido.

βV_{OC} = Coeficiente térmico de tensión 0,0025/°C

T_{min} = Temperatura mínima del diseño

25°C = Temperatura de referencia en condiciones STC

$$V_{OC,Corr} = 49,52[1 + 0,0025(25 - 10)]$$

$$V_{OC,Corr} = 51,38V$$

El número real de módulos para el string sería:

$$N_{max} = \frac{1100}{51,38}$$

$$N_{max} = 21,41$$

Según el cálculo ajustado en base referencias térmicas y demás el número máximo de módulos fotovoltaicos sería 21 de una potencia de 735W.

4.3.3.2 Determinación de numero de módulos por string en el inversor

En este punto distribuiremos los 241 módulos fotovoltaicos proyectados entre los 4 inversores mediante los strings. Para ello, se verifica que la configuración propuesta cumpla con las restricciones eléctricas del inversor, principalmente el rango de seguimiento MPPT, la tensión máxima de entrada y la corriente máxima admisible por cada seguidor MPPT.

Según lo calculado anteriormente cada módulo recibe 61 módulos fotovoltaicos, por lo tanto, la distribución para los 241 paneles será:

- Inversor 1= 61 módulos fotovoltaicos
- Inversor 2= 60 módulos fotovoltaicos
- Inversor 3= 60 módulos fotovoltaicos
- Inversor 4= 60 módulos fotovoltaicos

El inversor hibrido Growatt WIT 50K-XHU consta de:

- 4 MPPT
- 2 String por MPPT

Es decir, un total de 8 strings por inversor, de los cuales se usan los necesarios para el sistema fotovoltaico, entonces usaremos una distribución sencilla.

$$N_{\text{modulos por string}} = \frac{\text{Modulos por inversor}}{\# \text{ string}}$$

$$N_{\text{modulos por string}} = \frac{60}{4}$$

$$N_{\text{modulos por string}} = 15$$

Para calcular el voltaje del string con los 15 módulos fotovoltaicos:

$$V_{OC} = 15 \times 49,52$$

$$V_{oc} = 742,8 \text{ V}$$

El voltaje por string cumple ya que no llega al máximo de 1100V.

4.3.3.3 Verificación eléctrica de la configuración propuesta en el inversor

La Tabla 14 presenta el resumen del dimensionamiento preliminar del campo fotovoltaico, considerando la distribución de los módulos entre los inversores híbridos seleccionados y la configuración inicial de los strings. Asimismo, se verifican los principales parámetros eléctricos de operación, tales como potencia, tensión y corriente, con el propósito de comprobar que la propuesta cumple con las especificaciones técnicas del inversor Growatt WIT 50K-XHU y constituye una configuración eléctricamente viable para el sistema fotovoltaico híbrido de respaldo energético.

Tabla 14

Especificaciones técnicas del inversor Growatt WIT 50K-XHU

Parámetro	Valor	Observación
Número total de módulos	241	Módulos Jinko 735 W
Potencia total instalada	177,14 kWp	Campo fotovoltaico
Número de inversores	4	Growatt WIT 50K-XHU
Potencia por inversor	44,29 kWp	Distribución uniforme
MPPT por inversor	4	Según ficha técnica
Strings máximos por inversor	8	2 strings por MPPT
Strings utilizados por inversor	4	Configuración propuesta
Módulos por string	15	Configuración preliminar
Potencia por string	11,03 kWp	15 × 735 W
Potencia por MPPT	22,05 kWp	2 strings por MPPT
Voltaje del string (Voc)	742,8 V	Menor a 1100 V
Voltaje del string (Vmp)	618,45 V	Dentro del rango MPPT
Corriente por string	17,83 A	Según ficha técnica del módulo

Corriente por MPPT

35,66 A

Menor a 40 A

Nota: Elaboración propia

4.3.3.4 Verificación de la tensión del circuito abierto (Voc)

Para determinar la tensión, máxima del sting se usa la siguiente formula:

$$V_{OC,string} = N \times V_{OC}$$

Donde:

N = Numero de modulos por string

V_{OC} = Voltaje de circuito abierto del modulo

$$V_{OC,string} = 15 \times 49,52$$

$$V_{OC,string} = 742,80 \text{ V}$$

El valor calculado es menor al valor de voltaje máximo por string 1100V, y cumple con lo admitido con el inversor.

4.3.4 Dimensionamiento del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías tomaremos en cuenta siguiente tabla, en resumen.

Tabla 15

Dimensionamiento del banco de baterías

Parámetro	Valor
Potencia activa de referencia	174,45 kW
Autonomía requerida	4 h
Tecnología de batería	LiFePO ₄
Profundidad de descarga, DoD	90%
Eficiencia considerada	95%
Tensión admitida por el inversor	200–900 VDC
Número de inversores	4
Inversor seleccionado	Growatt WIT 50K-XHU

Nota: Elaboración propia

Para determinar la energía requerida que permita abastecer la demanda durante un período de respaldo de 4 horas, se emplea la siguiente ecuación.

$$E_{req} = P_{carga} \times t$$

Donde:

E_{req} = Energía requerida en kWh

P_{carga} = Potencia activa respaldada en kW

t: tiempo de autonomía en horas

$$E_{req} = 174,45 \times 4$$

$$E_{req} = 697,80 \text{ kWh}$$

Por tanto, el sistema deberá entregar como mínimo 697,80 kWh de energía útil para respaldar la demanda instantánea completa durante cuatro horas.

4.3.4.1 Capacidad nominal requerida del sistema de respaldo (BESS)

La capacidad nominal debe ser mayor que la energía útil requerida, debido a que las baterías no deben descargarse completamente y existen pérdidas durante la conversión energética.

Se calcula mediante la ecuación:

$$C_{BESS} = \frac{E_{req}}{DoD \times \eta}$$

Donde:

C_{BESS} = capacidad nominal requerida en kWh

DoD = Profundidad máxima de descarga

η = Eficiencia global considerada

$$C_{BESS} = \frac{697,80}{0,90 \times 0,95}$$

$$C_{BESS} = 816,14 \text{ kWh}$$

En consecuencia, el banco de baterías debe disponer de una capacidad nominal mínima aproximada de 816,14 kWh.

4.3.4.2 Selección de las baterías de respaldo

Para la selección del sistema de almacenamiento se consideran soluciones comerciales compatibles con el inversor híbrido previamente seleccionado. En este caso, se propone el empleo del sistema de baterías Growatt APX 200.7H-S, cuya capacidad nominal por gabinete es de 200,7 kWh.

A partir de la energía requerida para mantener las cargas seleccionadas durante un período de respaldo de cuatro horas, se determina el número de gabinetes mediante la siguiente expresión:

$$N_{gab} = \frac{C_{BESS}}{C_{gabinete}}$$

$$N_{gab} = \frac{816,14}{200,7}$$

$$N_{gab} = 4,07$$

Según el cálculo, arroja el requerimiento de 4 gabinetes de baterías, sin embargo, se considera el inmediato superior es decir 5 gabinetes para garantizar la capacidad instalada.

$$C_{instalada} = 5 \times 200,7$$

$$C_{instalada} = 1003,50 \text{ kWh}$$

4.3.4.3 Energía útil disponible

La energía útil del banco se calcula considerando la profundidad de descarga y la eficiencia.

$$E_{util} = C_{instalada} \times DoD \times \eta$$

$$E_{util} = 1003,50 \times 0,90 \times 0,95$$

$$E_{util} = 858,0 \text{ kWh}$$

El banco propuesto podría entregar aproximadamente 858,0 kWh útiles.

4.3.4.4 Verificación de la autonomía

La autonomía estimada se determina mediante:

$$t_{aut} = \frac{E_{util}}{P_{carga}}$$

CAPITULO: ANALISIS DE COSTOS

5.1 Análisis de costos

En este capítulo se presenta la evaluación económica del sistema de respaldo energético propuesto, considerando la estimación de la inversión requerida para la adquisición de los principales equipos, entre ellos módulos fotovoltaicos, inversor híbrido, banco de baterías, estructuras, protecciones y demás componentes necesarios para su implementación. Asimismo, se analiza la viabilidad del proyecto considerando tanto los indicadores económicos como los beneficios técnicos derivados de garantizar la continuidad del suministro eléctrico en la Facultad de Ciencias de la Salud.

5.1.1 Componentes considerados

Para una mejor organización del presupuesto, los costos fueron agrupados de acuerdo con la función que desempeñan dentro del sistema, incluyendo el campo fotovoltaico, el sistema de conversión de potencia, el sistema de almacenamiento energético (BESS), las obras complementarias y los servicios de ingeniería e implementación.

En la Tabla 16 se muestra los componentes considerados para la ejecución.

Tabla 16

Componentes necesarios para la ejecución

Categoría	Componentes considerados
Sistema fotovoltaico	Módulos fotovoltaicos Jinko 735 W, estructuras metálicas de soporte, conectores MC4, cableado DC, cajas combinadores y protecciones en corriente continua.
Sistema de conversión de potencia	Inversores híbridos Growatt WIT 50K-XHU, tablero de distribución AC, interruptores termomagnéticos, dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD), medidores de energía y sistema de comunicaciones.
Sistema de almacenamiento energético	Gabinetes de baterías Growatt APX,.

Obras complementarias

Canalizaciones, bandejas portacables, sistema de puesta a tierra, señalización eléctrica y adecuaciones civiles

Ingeniería e implementación

Ingeniería de detalle, supervisión técnica, montaje electromecánico, programación, puesta en marcha.

Nota. Elaboración propia

5.1.1.1 Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico híbrido

Para estimar la inversión necesaria para la implementación del sistema fotovoltaico híbrido, se elaboró un presupuesto referencial con base en los principales equipos, materiales y servicios requeridos para su instalación. Los costos fueron obtenidos a partir de cotizaciones, catálogos de fabricantes y precios disponibles en el mercado nacional. En la Tabla 17 se presenta el presupuesto referencial del sistema propuesto

Tabla 17

Análisis de costos referenciales

Ítem	Cantidad	Valor unitario (USD)	Subtotal (USD)
Panel fotovoltaico Jinko 735 W	241	105.00	25,305.00
Inversor híbrido Growatt WIT 50K-XHU	4	4,200.00	16,800.00
Banco de baterías Growatt APX ($\approx$ 200 kWh/gabinete)	5	8,000.00	40,000.00
Estructuras metálicas	1	10,000.00	10,000.00
Cableado DC y conectores MC4	1	3,500.00	3,500.00
Cableado AC	1	3,500.00	3,500.00
Cajas combinadoras DC	1	900.00	900.00
Protecciones DC (fusibles, seccionadores, SPD)	1	1,200.00	1,200.00

Protecciones AC (breakers, SPD, tableros)	1	1,200.00	1,200.00
Sistema de monitoreo y comunicaciones	1	2,000.00	2,000.00
Sistema de puesta a tierra	1	1,500.00	1,500.00
Canalizaciones y bandejas portacables	1	6,000.00	6,000.00
Ingeniería de detalle	1	3,000.00	3,000.00
Supervisión técnica	1	3,000.00	3,000.00
Transporte y logística	1	1,000.00	1,000.00
SUBTOTAL			118,905.00

Nota. Elaboración propia

5.1.2 Evaluación de la rentabilidad económica

Con el fin de evaluar la rentabilidad económica del sistema fotovoltaico híbrido propuesto, se analizaron los beneficios económicos generados por la producción de energía en relación con la inversión requerida para su implementación.

5.1.2.1 Producción anual de energía

La producción anual del sistema fotovoltaico se estimó a partir de la potencia instalada, las horas solares pico promedio registradas en la ciudad de Guayaquil, el número de días del año y la eficiencia global considerada para el sistema.

Para poder calcular la producción anual se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{anual} = P_{FV} \times HSP \times 365 \times \eta$$

Donde:

E_{anual} = energía anual estimada en kWh/año

P_{FV} = Potencia fotovoltaica instalada en kWp

HSP = Hora solar pico promedio en h/día

η = Eficiencia global considerada

365 = número de días al año

Datos del sistema:

- Potencia instalada: 177,14 kWh
- Hora solar pico: 4h/día
- Eficiencia global: 85%

$$E_{anual} = 177,14 \times 4 \times 365 \times 0,85$$

$$E_{anual} = 219830,74 \text{ kWh/año}$$

Este valor equivale a 219,83 MWh/año

5.1.2.2 Estimación del ahorro económico

Para la estimación del ahorro económico anual se consideró que el 85 % de la energía generada es aprovechada de forma efectiva para sustituir el consumo de energía de la red eléctrica. Este factor incorpora las pérdidas propias del sistema y refleja un escenario de operación conservador.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$E_{ap} = E_{anual} \times F_{ap}$$

Donde:

E_{ap} = energía anual aprovechable en kWh/año

P_{anual} = producción anual del sistema fotovoltaico (kWh/año)

F_{ap} = factor de aprovechamiento energético.

$$E_{ap} = 219830,74 \times 0,85$$

$$E_{ap} = 186856,13 \text{ kWh/año}$$

Posteriormente, el ahorro económico anual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro} = E_{ap} \times T_E$$

Donde:

Ahorro = Ahorro económico anual (USD/año)

E_{ap} = energía anual aprovechable (kWh/año)

T_E = tarifa promedio de energía eléctrica (USD/kWh)

$$\text{Ahorro} = 186856,13 \times 0,14$$

$$\text{Ahorro} = 26.159,86 \text{ USD/año}$$

En consecuencia, el sistema híbrido propuesto permitiría generar un ahorro económico anual aproximado de USD 26.159,86

5.1.2.3 Periodo de recuperación de la inversión o Payback

El período de recuperación de la inversión representa el tiempo estimado para recuperar la inversión, mediante los ahorros económicos generados por el sistema fotovoltaico

Se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Capex}}{A_{\text{anual}}}$$

$$\text{Payback} = \frac{118,905}{26159,86}$$

$$\text{Payback} = 4,55 \text{ años}$$

Según el cálculo realizado la recuperación será en 4,5 años, además del ahorro energético, la propuesta garantiza la continuidad del suministro eléctrico en una infraestructura crítica, aportando beneficios adicionales relacionados con la confiabilidad del sistema, la protección de equipos sensibles y la reducción de interrupciones del servicio.

5.1.2.4 Valor actual neto VAN

Con el propósito de complementar la evaluación económica del sistema de respaldo energético propuesto, se determinó el Valor Actual Neto (VAN), indicador financiero que permite establecer si los beneficios económicos generados durante la vida útil del proyecto superan la inversión inicial realizada. Este indicador considera el valor del dinero en el tiempo mediante la aplicación de una tasa de descuento, permitiendo expresar todos los flujos de caja futuros en términos de valor presente.

Para el presente estudio se consideró una inversión inicial (CAPEX) de USD 118.905, un ahorro económico anual constante de USD 26.160, una vida útil del proyecto de 25 años y una tasa de descuento del 10 %, valor de referencia ampliamente utilizado en estudios de factibilidad técnico-económica de proyectos de ingeniería.

Parámetros usados:

Tabla 18

Datos utilizados para el VAN

Parámetro	Valor
Inversión inicial (CAPEX)	USD 118.905
Ahorro económico anual	USD 26.160
Vida útil del proyecto	25 años
Tasa de descuento	10 %

Nota. Elaboración propia

El cálculo del VAN se realizó mediante la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:

VAN: Valor anual neto (USD)

F_t: Flujo de caja correspondiente al año t (USD)

i: Tasa de descuento

n: Horizonte de evaluación (años)

I₀: Inversión inicial del proyecto (USD)

Sustituyendo en la ecuación:

$$VAN = \frac{26.160}{(1+0.10)^1} + \frac{26.160}{(1+0.10)^2} + \frac{26.160}{(1+0.10)^3} + \dots + \frac{26.160}{(1+0.10)^{25}} - 118.905$$

Tabla 19

Datos del VAN obtenidos

Año	Flujo de caja (USD)	Factor de descuento (10 %)	Valor presente (USD)
1	26.160,00	0,9091	23.781,82
2	26.160,00	0,8264	21.619,83
3	26.160,00	0,7513	19.654,40
4	26.160,00	0,6830	17.867,63
5	26.160,00	0,6209	16.243,30
6	26.160,00	0,5645	14.766,64
7	26.160,00	0,5132	13.424,22
8	26.160,00	0,4665	12.203,83
9	26.160,00	0,4241	11.094,39
10	26.160,00	0,3855	10.085,81
11	26.160,00	0,3505	9.168,92
12	26.160,00	0,3186	8.335,38
13	26.160,00	0,2897	7.577,62
14	26.160,00	0,2633	6.888,75
15	26.160,00	0,2394	6.262,50
16	26.160,00	0,2176	5.693,18
17	26.160,00	0,1978	5.175,62
18	26.160,00	0,1799	4.705,11
19	26.160,00	0,1635	4.277,37
20	26.160,00	0,1486	3.888,52

21	26.160,00	0,1351	3.535,02
22	26.160,00	0,1228	3.213,65
23	26.160,00	0,1117	2.921,50
24	26.160,00	0,1015	2.655,91
25	26.160,00	0,0923	2.414,46
Total, valor presente			237.455,37

Nota. Elaboración propia

Posteriormente, el Valor Actual Neto se obtiene restando la inversión inicial al valor presente acumulado de los flujos de caja:

$$\text{VAN} = 237.455,37 - 118.905,00$$

$$\text{VAN} = 118.550,37 \text{ USD}$$

El resultado obtenido indica que el valor presente de los beneficios económicos generados por el sistema fotovoltaico supera la inversión inicial requerida para su implementación.

5.1.2.5 Tasa Interna de retorno (TIR)

Con el propósito de complementar la evaluación económica del sistema fotovoltaico de respaldo propuesto, se determinó la Tasa Interna de Retorno (TIR), indicador financiero ampliamente utilizado para medir la rentabilidad de un proyecto de inversión.

La TIR representa la tasa de rendimiento que genera el proyecto durante su vida útil y corresponde a la tasa de descuento para la cual el Valor Actual Neto (VAN) es igual a cero. En otras palabras, es el punto en el que el valor presente de los beneficios económicos generados por el proyecto es exactamente igual a la inversión inicial realizada.

Para el cálculo de la TIR se utilizaron los mismos parámetros considerados en la evaluación del VAN, correspondientes a una inversión inicial de USD 118.905, un ahorro económico anual constante de USD 26.160 y un horizonte de evaluación de 25 años.

La Tasa Interna de Retorno se determina mediante la siguiente expresión:

Donde:

- **I₀**: Inversión inicial del proyecto (USD).
- **F_t**: Flujo de caja correspondiente al año t (USD).
- **n**: Horizonte de evaluación del proyecto (25 años).
- **TIR**: Tasa Interna de Retorno.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Tabla 20

Flujo de caja utilizado para el cálculo de la TIR

AÑO	FLUJO
0	-118905
1	26160
2	26160
3	26160
4	26160
5	26160
6	26160
7	26160
8	26160
9	26160
10	26160
11	26160
12	26160
13	26160
14	26160
15	26160
16	26160
17	26160
18	26160
19	26160
20	26160
21	26160
22	26160
23	26160
24	26160
25	26160

Nota. Elaboración propia

Al aplicar la función TIR de Microsoft Excel al flujo de caja descrito anteriormente, se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 21,84 %.

Con el fin de evaluar la rentabilidad del proyecto, este resultado fue comparado con la tasa de descuento del 10 % adoptada en la presente investigación.

Tabla 21

Comparación entre la TIR obtenida y la tasa de descuento

Indicador	Valor
Tasa de descuento	10,00 %
Tasa Interna de Retorno (TIR)	21,84 %

Nota. Elaboración propia

Se observa que la Tasa Interna de Retorno (21,84 %) es superior a la tasa de descuento utilizada como referencia (10 %). Esto significa que el proyecto genera una rentabilidad superior al rendimiento mínimo esperado, recuperando la inversión inicial y produciendo beneficios económicos durante su vida útil.

En consecuencia, desde el punto de vista financiero, la propuesta de implementación del sistema fotovoltaico de respaldo resulta económicamente viable, ya que la rentabilidad obtenida supera el costo de oportunidad del capital considerado para el análisis.

CONCLUSIONES

- El análisis de la demanda eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Salud permitió conocer el comportamiento del consumo energético y establecer una demanda activa de 174,45 kW, a partir del levantamiento de información en campo y de la evaluación de la infraestructura eléctrica existente.
- De la evaluación de energía renovable realizada, permitió establecer que la energía solar fotovoltaica es la alternativa más adecuada para la Facultad de Ciencias de la Salud, considerando la disponibilidad del recurso solar en la ciudad de Guayaquil y el área disponible para la instalación de los módulos, Se dimensionó un sistema con una capacidad instalada de **177,14 kWp**, capaz de generar aproximadamente **219,83 MWh** de energía al año.
- Con base en el análisis de la demanda eléctrica y las condiciones de la infraestructura existente, se desarrolló una propuesta técnica de un sistema híbrido de respaldo conformado por módulos fotovoltaicos, inversores híbridos y un banco de baterías de litio. El dimensionamiento de sus componentes se realizó considerando criterios técnicos y especificaciones de los fabricantes, obteniendo una solución compatible con la infraestructura eléctrica de la Facultad y con posibilidad de integración al sistema institucional.
- De la evaluación técnica realizada se demostró que es viable implementar un sistema fotovoltaico híbrido con almacenamiento de energía en la Facultad de Ciencias de la Salud. La propuesta disminuirá la dependencia de la red eléctrica convencional y proporciona una alternativa de respaldo energético para la infraestructura de la facultad.
- la Tasa Interna de Retorno (21,84 %) es superior a la tasa de descuento utilizada como referencia (10 %). Esto significa que el proyecto genera una rentabilidad superior al rendimiento mínimo esperado, recuperando la inversión inicial y produciendo beneficios económicos durante su vida útil.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio estructural detallado de la edificación destinadas a la instalación de los módulos fotovoltaicos, con el propósito de verificar su soporte previo a la instalación de los módulos fotovoltaicos.
- Previo a la implementación del sistema propuesto, se desarrolle una ingeniería de detalle que incluya el dimensionamiento de conductores, la selección de protecciones eléctricas, la definición de los recorridos del cableado y la elaboración de planos constructivos por especialidad, con el fin de garantizar una correcta ejecución del proyecto.
- Una vez implementado el sistema de respaldo energético, se establezca un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que garantice el adecuado funcionamiento de sus componentes. Asimismo, se recomienda incorporar un sistema de monitoreo remoto mediante una plataforma SCADA, con el fin de supervisar en tiempo real las principales variables de operación, detectar posibles fallas y facilitar la gestión y mantenimiento del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adriano, W. (2025). *Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para Suministro de Energía Eléctrica a la Planta de Asfalto de la Empresa H e H Ubicada en la Ciudad de Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/25043/1/UCSG-C437-24568.pdf>
- Alonso, J. (2025). *Sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/sistema-fotovoltaico/?srsltid=AfmBOopBoPnM8Tw0Mg1C-x6HRlSd0YUI3eJh22AMCdNb1EbQVeReVqS0>
- Aranea, L. (2024). *Estructura del Sistema Electrico en el Ecuador*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/estructura-del-sistema-electrico-en-el-ecuador/55556667#2>
- Arias, R. (2024). *¿Cuáles son los componentes de los sistemas fotovoltaicos?* Obtenido de <https://artessolutions.com.co/cuales-son-los-componentes-de-los-sistemas-fotovoltaicos/>
- Atempower. (2025). *Bateria litio 50AH | Atempower*. Obtenido de <https://volcanotrailer.cl/producto/bateria-litio-50ah/>
- Barahona, M. (2024). *La demanda eléctrica impulsa nuestro futuro compartido*. Obtenido de <https://espanol.ouc.com/about/electric-services/what-is-electric-demand/>
- Barbaran, D. (2024). *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Obtenido de Diseño de un sistema de energía solar electrica y termina en una edificación mutifamiliar de la ciudad de Ayacucho: <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5cb43955-bb84-4aa8-9f1a-c2f36a36cf4e/content>
- CEER. (2022). *Guia de Districubion de Energia Electrica*. Obtenido de [https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/18.-Guia-Distribucion-de-energia.pdf#:~:text=En%20Ecuador%20las%20l%C3%ADneas%20de%20transmisi%C3%B3n%20operan,230%20kV%20y%20500%20Kv%20\(ARCERNR%2C%202022b\).](https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/18.-Guia-Distribucion-de-energia.pdf#:~:text=En%20Ecuador%20las%20l%C3%ADneas%20de%20transmisi%C3%B3n%20operan,230%20kV%20y%20500%20Kv%20(ARCERNR%2C%202022b).)
- CELEC. (2023). *CENTRAL EÓLICA “VILLONACO”*. Obtenido de <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/>

- CELEC. (2025). *Variación de voltaje y regulación eléctrica*. Obtenido de <https://grupointuindustrial.com.co/variacion-voltaje-regulacion-electrica/>
- CENACE. (2021). *Demanda de energía eléctrica del Ecuador se recupera*. Obtenido de <https://www.cenace.gob.ec/demanda-de-energia-electrica-del-ecuador-se-recupera/>
- CENACE. (2023). *La demanda eléctrica del Ecuador aumentó en un 8,13%*. Obtenido de <https://www.cenace.gob.ec/la-demanda-electrica-del-ecuador-aumento-en-un-813/>
- CENACE. (2026). *Ecuador registra pico histórico de 5.314 MW en demanda eléctrica al inicio de la noche, en plena ola de calor*. Obtenido de <https://www.radiopichincha.com/ecuador-registra-pico-historico-demanda-electrica/>
- CENACE. (2026). *Operador Nacional de Electricidad - CENACE*. Obtenido de <https://www.cenace.gob.ec/info-operativa/InformacionOperativa.htm>
- CENEL. (2025). *La Subestación Azogues II beneficiará a 60.000 habitantes de Cañar*. Obtenido de <https://www.presidencia.gob.ec/la-subestacion-azogues-ii-beneficiara-a-60-000-habitantes-de-canar/>
- Cetelem. (2024). *¿Qué son las baterías secas AGM y GEL?* Obtenido de <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-son-las-baterias-secas-agm-y-gel>
- CETELEM. (2025). *Inversores aislados*. Obtenido de <https://autosolar.es/inversores/inversores-aislada>
- Chicaiza, S., & Carranza, D. (2023). *Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de REGLAMENTO TÉCNICO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN:
https://evirtual.insteclrg.edu.ec/pluginfile.php/73386/mod_resource/content/1/%20Estructuras%20de%20l%C3%ADneas%20de%20transmisi%C3%B3n.pdf
- Delfos. (2025). *Generación de energía: qué es, tendencias y principales tipos de generación de energía*. Obtenido de <https://www.delfos.energy/es/blog-posts/generacion-de-energia>

- Derich, M. (2024). *Batería de plomo ácido: qué es, ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://www.derichebourgespana.com/bateria-de-plomo-acido/>
- EFC Solar. (2022). *Paneles solares monocristalinos*. Obtenido de <https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/placas-solares-monocristalinas-caracteristicas-y-ventajas/>
- Guadamud, L. (2024). Expreso. *¿Cuáles son las hidroeléctricas del Ecuador y dónde se encuentran ubicadas?*, págs. <https://www.expreso.ec/actualidad/son-hidroelectricas-ecuador-encuentran-ubicadas-216962.html>.
- Heredia, D. (2018). *Ciencia abierta UTP*. Obtenido de Desarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones de medidores: <https://repositorio.utp.edu.co/items/4f45bdbd-c462-4360-9e0d-72adecf40b64>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. 6). McGraw-Hill Education.
- Huaracha, Y. (2025). *ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y GUÍAS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO CON DISTINTOS TIPOS DE PANELES SOLARES, CONTROLADORES PWM Y MPPT, CON Y SIN ACUMULACIÓN DE POLVO DEL LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE LA EPIER UNAJ*. Obtenido de <https://repositorio.unaj.edu.pe/bitstreams/172efd61-c5f4-4bb3-bdb7-26eb97e09f06/download>
- IASA. (2024). *Tipos de generadores electricos*. Obtenido de <https://iasaglobal.com/ecuador/tipos-generadores-electricos/>
- ICADE. (2024). *GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA*. Obtenido de <https://www.vaiiki.com/Capacitacion/Vista/Descargas/Generacion4.pdf>
- International Renewable Energy Agency. (2019). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de Hybrid renewable energy systems: <https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hybrid-renewable-energy-systems>
- Llamosa, O. (2025). *Avanza el proyecto geotérmico Chachimbiro en Ecuador: Celec preselecciona empresas para la primera fase*. Obtenido de

<https://www.piensageotermia.com/avanza-el-proyecto-geotermico-chachimbiro-en-ecuador-celec-preselecciona-empresas-para-la-primera-fase/>

Lloré, Y. (2025). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Tratamiento de problemas de optimización en redes eléctricas de distribución radiales y desbalanceadas utilizando métodos iterativos programados en lenguaje python: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26977/1/CD%2015499.pdf?utm_source=chatgpt.com

MAE. (2024). *Ministerio del Ambiente y Energía* . Obtenido de Balance Nacional Energetico 2024: https://www.ambienteyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2025/09/BEN_24_compressed-comprimido-1.pdf

Martinez, P. (2026). *Eficiencia energética: qué es y cómo calcularla*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/>

MCA. (2025). *Batería AGM de uso general - Serie FC*. Obtenido de <https://www.mcabattery.com/ProductDetail/1.html>

Moreno, L. (2025). *¿Qué son las baterías de gel?? Todo lo que necesitas saber*. Obtenido de <https://www.whcsolar.com/what-are-gel-batteries/?lang=es>

National Renewable Energy Laboratory. (2019). *National Renewable Energy Laboratory*. Obtenido de Photovoltaic systems and storage analysis.: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74462.pdf>

OHM. (2025). *¿Qué es un sistema eléctrico y cuáles son sus elementos?* Obtenido de <https://ohmsolution.co/blog/que-es-sistema-electrico/>

Olivo, E., & Chango, W. (2023). *Universidad Politécnica Salesiana* . Obtenido de Implementación de un sistema de energía fotovoltaico para electrificación en zona costera de la provincia del Guayas: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24580/1/UPS-GT004253.pdf?utm_source=chatgpt.com

ONU. (2025). *Organizacion de Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

- Pupiales , L. (2024). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Diseño de sistemas de fotovoltaicos autonomos para viviendas en zonas aisladas de la red eléctrica : https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26212/1/CD%2014442.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Quartux. (2026). *Respaldo eléctrico y su importancia en la industria*. Obtenido de <https://quartux.com/es/blog/respaldo-electrico-y-su-importancia-en-la-industria>
- Radio Pichincha. (2023). *Perú se adelanta en la construcción de línea de interconexión eléctrica con Ecuador*. Obtenido de <https://www.radiopichincha.com/peru-construccion-linea-interconexion-electrica-ecuador/>
- Repsol. (2023). *Hacia un consumo en el hogar más eficiente*. Obtenido de <http://repsol.com/es/energia-avanzar/energia/consumo-energetico/index.cshtml>
- Repsol. (2026). *Que es la energia solar y que beneficio tiene* . Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-avanzar/energia/energia-solar/index.cshtml>
- SAGET. (2024). *¿Cómo funcionan los Sistemas de Respaldo Eléctrico?* Obtenido de <https://sagetve.com/respaldo-electrico/>
- Salazar, G., & Panchi, B. (2024). Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética. *Escuela Politecnica Nacional* , 1.
- Tisnado, L. (2025). *Tipos de Sistemas de Respaldo Eléctrico*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/437730781/Sistemas-de-Respaldo-de-Energ>
- UCSG. (2025). *UCSG ONLINE*. Obtenido de <https://www.ucsg.edu.ec/la-universidad/mapa-de-la-universidad/>
- UDLA. (2022). *Universidad de las Americas*. Obtenido de Día Mundial de la Eficiencia Energética: <https://sitios.udla.edu.ec/2022/03/dia-mundial-de-la-eficiencia-energetica/>
- UNIR. (2023). *Universidad Internacional de la Rioja*. Obtenido de <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/energias-renovables/>

Valverde, A. (2023). *Energías Renovables*. Obtenido de <https://www.lineaverdecarreno.com/lv/consejos-ambientales/energias-renovables/energias-renovables.pdf>

Yebra, J. (2019). *Sistemas Eléctricos de Distribución*. Barcelona: Reverté.

YTL. (2020). *YTL Publicación Trimestral*. Obtenido de Historia del desarrollo de los medidores de energía eléctrica.: <https://n9.cl/03hss>

- Diagrama Unifilar sistema fotovoltaico proyectado



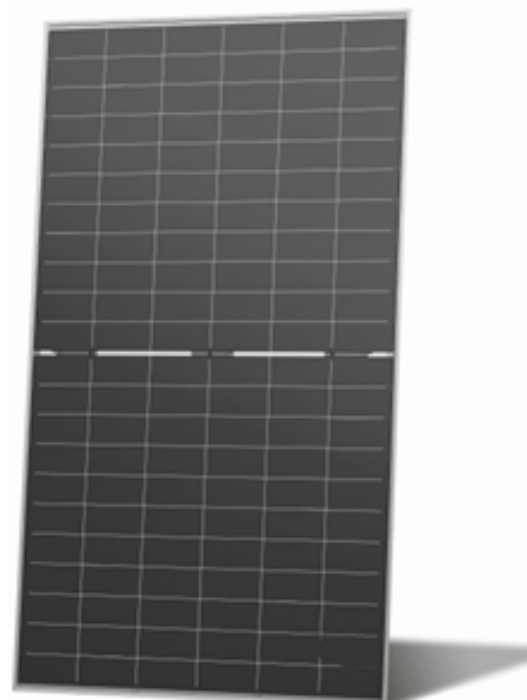
TIGER Neo

66HL5-BDV

710-735 Watt

BIFACIAL MODULE WITH DUAL GLASS

N-type



N-type Technology

N-type modules with Tunnel Oxide Passivating Contacts (TOPCon) technology offer lower LID/LeTID degradation and better low light performance.



HOT 3.0 Technology

N-type modules with JinkoSolar's HOT 3.0 technology offer better reliability and efficiency.



Dual-Sided Power Generation

Dual-sided power generation gain increases with backside exposure to light, significantly reducing LCOE.



Mechanical Load Enhanced

Certified to withstand:
5400 Pa front side max static test load
2400 Pa rear side max static test load

12 Year Product Warranty | **30 Year** Linear Power Warranty | **1 %** Annual Power Degradation | **0.40 %** Annual Degradation Over 10 Years

- IEC61215:2021 / IEC61730:2023
- IEC61701 / IEC62716 / IEC60068 / IEC62804
- ISO9001:2015: Quality Management System
- ISO14001:2015: Environment Management System
- ISO45001:2018: Occupational health and safety management systems



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Anti-PID Guarantee

Minimizes the chance of degradation caused by PID phenomena through optimization of cell production technology and material control.



JKM710-735N-66HL5-BDV-Z3-EU

66HL5-BDV 710-735 Watt

Mechanical Characteristics

Cell Type	N-type Mono-crystalline
No. of cells	132 (66×2)
Dimensions	2384×1303×33 mm
Weight	37.5 kg
Front Glass	2.0 mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0 mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Protection Class	Class II
IEC Fire Type	Class C
Connector Type	JK03M / JK03M2 / Others*
Output Cables (Including Connector)	4.0 mm ² (+): 400 mm, (-): 200 mm or Customized Length

* MC4 and MC4-EVO2 available upon request and subject to availability

Packaging Configuration

Pallet Dimensions	1325×1121×2496 mm
Packing Detail (Two pallets = One stack)	33 pcs/pallets, 594 pcs/ 40'HQ Container

Specifications (STC)

Maximum Power - P _{max} [Wp]	710	715	720	725	730	735
Maximum Power Voltage - V _{mp} [V]	40.65	40.77	40.89	41.00	41.11	41.23
Maximum Power Current - I _{mp} [A]	17.47	17.54	17.61	17.69	17.76	17.83
Open-circuit Voltage - V _{oc} [V]	48.73	48.88	49.04	49.20	49.36	49.52
Short-circuit Current - I _{sc} [A]	18.53	18.60	18.67	18.74	18.81	18.88
Module Efficiency STC [%]	22.86	23.02	23.18	23.34	23.50	23.66
Power Sorting	0 ~ +3 %					
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.29 %/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.25 %/°C					
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.045 %/°C					

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

Specifications (BNPI)

Maximum Power - P _{max} [Wp]	784	790	795	800	805	810
Maximum Power Voltage - V _{mp} [V]	40.66	40.80	40.92	41.03	41.14	41.25
Maximum Power Current - I _{mp} [A]	19.28	19.36	19.43	19.50	19.57	19.64
Open-circuit Voltage - V _{oc} [V]	48.72	48.85	48.99	49.12	49.25	49.38
Short-circuit Current - I _{sc} [A]	20.48	20.55	20.63	20.71	20.79	20.87

BNPI: Irradiance: front 1000W/m², rear 135W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

Application Conditions

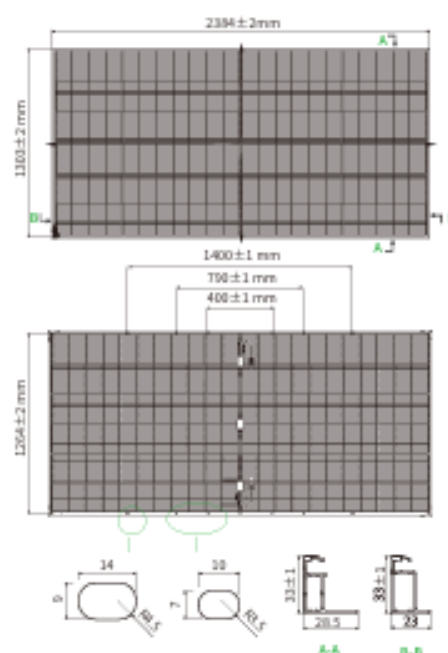
Operating Temperature	-40 °C ~ +70 °C
Maximum System Voltage	1500 VDC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating	35 A
Bifaciality Coefficients	q/V _{oc} : 98±5 %, q/I _{sc} : 80±5 %, q/P _{max} : 80±5 %

Jinko Solar

© 2025 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.

Note: Please read the safety and installation manual before using the product. We reserve the right of final interpretation. The specifications in this datasheet are subject to change without notice.

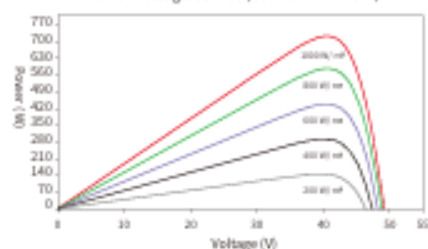
Engineering Drawings



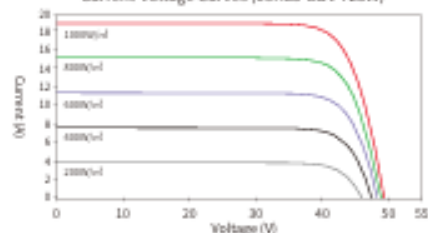
*Note: For specific dimensions and tolerance ranges, please refer to the corresponding detailed module drawings.

Electrical Performance

Power-Voltage Curves (66HL5-BDV 725W)



Current-Voltage Curves (66HL5-BDV 725W)



JKM710-735N-66HL5-BDV-Z3-EU

www.jinkosolar.com
www.jinko-solar.eu

- WIT HYBRID INVERTER

WIT Hybrid Inverter

(WIT 29.9~50K-XHU)

- Multiple MPPTs and battery input
- Support DG input and smart load function
- Support UPS function and black start function
- Support multi-system operation in parallel in off-grid mode
- Intelligent air cooling, no derating at 50°C ambient temperature
- 100% three-phase unbalanced output and 150% off-grid overload capacity
- Strong power grid adaptability, supporting weak grid environments with SCR<1.2



Preliminary Version

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

GROWATT

www.ginverter.com

Datasheet	WIT 29.9K-XHU	WIT 30K-XHU	WIT 36K-XHU	WIT 40K-XHU	WIT 50K-XHU
Input Data (PV)					
Max. recommended PV power (for module STC)	59.8kW	60kW	72kW	80kW	100kW
Start voltage			195V		
Max. DC voltage			1100V		
Nominal voltage			620V		
MPPT voltage range			180V-1000V		
Full load DC voltage range	375V-850V	375V-850V	450V-850V	500V-850V	620V-850V
Max. input current per MPP tracker			40A		
Max. short-circuit current per MPP tracker			50A		
No. of PV strings per MPP tracker			2		
No. of MPP trackers			4		
Battery Data (DC)					
Battery voltage range			200-900V		
Full load battery voltage range	200-800V	200-800V	225-800V	250-800V	310-800V
Recommended battery voltage			512V		
No. of battery input			3		
Max. charging/discharging current			55A*3		
BMS communication			RS485/CAN		
Input/Output AC					
AC input/output nominal power(Grid)	59.8kW/29.9kW	60kW/30kW	72kW/36kW	80kW/40kW	100kW/50kW
Max. AC input/output apparent power(Grid)	59.8kVA/29.9kVA	60kVA/30kVA	79.2kVA/39.6kVA	88kVA/44kVA	110kVA/55kVA
Max. input/output current(Grid)	90.6A/45.3A	100A/50A	120A/60A	133.3A/66.7A	166.7A/83.3A
Max. input current(GEN/AC couple)	90.6A/45.3A	100A/50A	120A/60A	133.3A/66.7A	166.7A/83.3A
N/A, continuous AC passthrough current			200A		
Nominal AC voltage/range ^a			380V/400V -15%~10%		
Nominal AC grid frequency/range			50Hz/60Hz, 45-55Hz/55-65Hz		
Power factor(@nominal power)			>0.99		
Adjustable power factor			-1...+1		
THDi			<3%		
AC grid connection type			3P3W+PE/3P3W+PE		
Backup Power					
AC nominal output power	29.9kW	30kW	36kW	40kW	50kW
Max. AC apparent power	29.9kVA	40kVA	54kVA	60kVA	75kVA
Nominal AC voltage			220V/230V(L-N), 380V/400V(L-L)		
Nominal AC frequency			50/60Hz		
Max. output current	68.2A	68.2A	81.8A	91A	113.6A
Overload capability			1.5 times of rated power, 10s		
THDv			<3% (@Linear full load)		
Switch time			<10ms		
Efficiency					
Max. efficiency			98.1%		
Protection Devices					
DC reverse polarity protection			Yes		
Battery reverse protection			Yes		
Insulation resistance monitoring			Yes		
AC/DC surge protection			Type II		
AC short-circuit protection			Yes		
Ground fault monitoring			Yes		
Grid monitoring			Yes		
String monitoring			Yes		
Anti-islanding protection			Yes		
Residual-current monitoring unit			Yes		
General Data					
Dimensions (W / H / D)			920/585/120mm		
Weight			90kg		
Operating temperature range			-30°C - 60°C (+50°C derating)		
Noise emission			<55dB		
Altitude			4000m		
Topology			Transformerless		
Cooling			Smart air cooling		
Protection degree			IP66		
Relative humidity			0~95%		
Interfaces					
Display			OLED+LED+APP		
Interfaces			RS485/USB/CAN, WIFI/LAN(Optional)		
Warranty: 5 / 10 years			Yes/Optional		

NRS 097-2-1:2017, EN 50649-1, AC RFG, PSE-2018, PTPREE-2021, IEC 62116, IEC 61727, G99-2020, VDE 4106, IEC/EN 61000-6-1, IEC/EN 61000-6-3, IEC/EN 62477-1, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2

* 1 The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard. All specifications are subject to change without notice.

© SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY CO., LTD. All rights reserved. Subject to change without notice.

- Banco de baterias tipo rack 129-200k APX

129-200kWh APX Commercial Battery

- Flexible capacity options, 129kWh to 200kWh
- Module level energy optimization
- Support to mix new and old battery modules in one system
- Easy installation with modular and stacked design
- Long lifespan, 10 years warranty



Preliminary Version

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

GROWATT

en.growatt.com

Datasheet	APX 129.0H-S1	APX 143.3H-S1	APX 157.6H-S1	APX 172.0H-S1	APX 186.3H-S1	APX 200.7H-S1
System demo						
Control module	APX 1000140-C1					
Number of power modules	1					
Battery module	APX 14.3P-B1					
Battery module energy	14.33kWh					
Number of battery modules	9	10	11	12	13	14
Nominal energy	129.03kWh	143.36kWh	157.69kWh	172.03kWh	186.36kWh	200.70kWh
Rated energy	116.11kWh	129.03kWh	141.92kWh	154.82kWh	167.72kWh	180.63kWh
Max. output power ¹	66kW	71kW	76kW	81kW	86kW	100kW
Peak output power	93kW/60s	99kW/60s	109kW/60s	120kW/60s	130kW/60s	140kW/60s
Dimension (W/H/D)/column ²	920/1350/510mm/2	920/1485/510mm/2	920/1598/510mm/2	920/1733/510mm/2	920/1846/510mm/2	920/1981/510mm/2
Weight	1277kg	1412kg	1547kg	1682kg	1817kg	1952kg
Compatible inverter	WIT 50~100kW/400V series inverter					
Nominal voltage	768V					
Operating voltage range	650V~945V					
Output full load voltage range	720V~880V					
Nominal capacity	280Ah(@25°C)					
Rated capacity	252Ah(@25°C)					
Battery type	Cobalt Free Lithium Iron Phosphate (LFP)					
Ingress protection	IP44					
Installation ³	Floor installation					
DoD	90%					
Operating ambient temperature	-10°C~50°C					
Relative humidity	5%~95%					
Cooling	Smart air cooling					
Altitude	≤4000m					
Warranty	10 years					
Control Module						
APX 1000140-C1						
Dimension(W/H/D)	920/135/510 mm					
Weight	25kg					
Communication port	CAN					
Operating voltage range	250V~950V					
Max. continuous current	140A					
Peak current	196A/60s					
Monitoring parameters	SOC, System voltage, current, cell voltage, cell temperature, PCBA temperature					
Battery Module						
APX 14.3P-B1						
Nominal energy	14.33kWh					
Nominal voltage	80V					
Operating voltage range	0~125V					
Rated power	7.16kW					
Max. continuous current	140A					
Peak current	196A/60s					
Dimension(W/H/D)	920/248/510 mm					
Weight	135kg					
IEC 62619(Cell&Pack), IEC 60529, IEC 60730, CE, UN 38.3, RoHS						

¹1 Depending on the max. battery charge/discharge power of the inverter.

²2 Including control module (APX 1000140-C1)

³3 Floor installation requires extra base (W/H/D=920/110/510mm)

* APX series battery has EU models and American models, the storage inverters sold in European countries only work with EU model APX battery.

* Nominal charge/discharge current and power derating will occur related to temperature and SOC.

SHENZHEN GROKKT NEWENERGY CO.,LTD.All rights reserved. All specifications are subject to change without notice.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alex Roberto Cando Chango** con C.C: # **1804000162** autor del trabajo de titulación: **Estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, 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, 07 de agosto de 2026

f. _____

Alex Roberto Cando Chango
C.C: 1804000162

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
AUTOR(ES)	Alex Roberto Cando Chango		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Daniel Bohórquez Heras, MSc/Ronnie Bonilla Sánchez, MSc/PHD. Bayardo Bohórquez Escobar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad mención energías renovables y eficiencia energética.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	07 de agosto de 2026	No. DE PÁGINAS:	110
ÁREAS TEMÁTICAS:	sistema de respaldo energético, energía solar fotovoltaica, almacenamiento de energía, baterías, sistema fotovoltaico híbrido, eficiencia energética.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	backup power system, photovoltaic solar energy, energy storage, lithium batteries, hybrid photovoltaic system, energy efficiency.		
RESUMEN/ABSTRACT: La continuidad del suministro eléctrico constituye un elemento fundamental para el adecuado funcionamiento de instituciones vinculadas al área de la salud, debido a la dependencia de equipos, laboratorios y servicios que requieren energía de manera permanente. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar el estudio técnico de un sistema de respaldo energético basado en fuentes renovables para la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, con el propósito de fortalecer la confiabilidad del suministro eléctrico ante interrupciones de la red convencional. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, empleando revisión documental, observación directa, levantamiento de información de la infraestructura eléctrica, mediciones de parámetros eléctricos y análisis del recurso solar disponible. Como resultado del diagnóstico energético y del análisis de las áreas disponibles para la instalación fotovoltaica, se determinó que la energía solar representa la alternativa renovable más adecuada para el sistema de respaldo. A partir de ello, se diseñó una propuesta técnica conformada por un sistema fotovoltaico híbrido con una capacidad instalada de 177,14 kWp, integrado por 241 módulos fotovoltaicos, cuatro inversores híbridos y un sistema de almacenamiento mediante baterías con una capacidad nominal aproximada de 816,14 kWh, capaz de proporcionar una autonomía estimada de cuatro horas para las cargas consideradas. Asimismo, se estimó una generación anual de 219,83 MWh y un período referencial de recuperación de la inversión cercano a 10,8 años, evidenciando la viabilidad técnica y económica de la propuesta. Se concluye que el sistema diseñado constituye una alternativa técnicamente factible para incrementar la continuidad del servicio eléctrico, reducir la dependencia de la red convencional y promover la incorporación de fuentes renovables en instalaciones universitarias con requerimientos energéticos críticos.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI		☐ NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-987338667	E-mail: alex.cando@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: PHD. Bayardo Bohórquez Escobar Teléfono: +593-995147293 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):			