



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

TEMA:

**Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica
para la fundación AEI de SOLCA.**

AUTOR:

Salguero Torres, Marcos Roberto

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

TUTOR:

Ing. Palau De La Rosa, Luis Ezequiel

Guayaquil, Ecuador

2 de septiembre del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Salguero Torres, Marcos Roberto** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD**.

TUTOR

f. _____

Ing. Luis Ezequiel Palau De La Rosa

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, PhD.

Guayaquil, al 2 día del mes de septiembre del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Salguero Torres, Marcos Roberto**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica para la fundación AEI de SOLCA** previo a la obtención del título de **Ingeniera Eléctrica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 2 días del mes de septiembre del año 2025

EL AUTOR

Salguero Torres, Marcos Roberto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Salguero Torres, Marcos Roberto**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica para la fundación AEI de SOLCA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 2 días del mes de septiembre del año 2025

EL AUTOR:

Salguero Torres, Marcos Roberto

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza, la salud y la paciencia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida, por iluminar mi camino y darme la confianza para superar cada obstáculo.

Agradezco a mis padres que, con su apoyo incondicional, consejos y sacrificios me motivaron a seguir adelante y no dar paso atrás ante cualquier problema.

De manera especial agradezco a mi tutor y a los docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales fueron fundamentales para mi formación profesional y personal.

Salguero Torres, Marcos Roberto

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este logro a Dios, por regalarme la vida, la salud y la fortaleza para culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mi madre y mi padre que nunca se rindieron conmigo y a mi familia, que con su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor inspiración.

A mi abuela, a quien agradezco por sus enseñanzas y cariño que siempre me acompañan y vivirán en mi corazón.

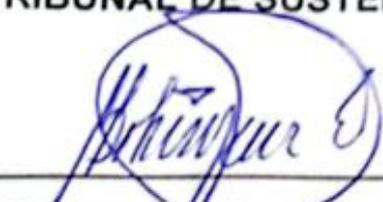
Y a mis amigos más cercanos, que con su apoyo y compañía me motivaron a no rendirme en el transcurso de este camino académico.

Salguero Torres, Marcos Roberto



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Bohórquez Escebar, Celso Bayardo, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, MsC.
COORDINADOR DEL ÁREA

Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Dr.
OPONENTE

Índice General

AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
Índice General	IX
Índice de figuras	XIII
Índice de Tablas	XV
Resumen	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Definición del Problema.....	5
1.4 Justificación del Problema.	6
1.5 Objetivos del Problema de Investigación.	6
1.5.1 Objetivo General.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
1.6 Hipótesis.....	7
1.7 Metodología de Investigación.	7
2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Fundamentos teóricos.	8
2.2 Energías Renovables	8
2.3 Relevancia de las Fuentes Energéticas en el Escenario Actual.	9
2.4 Fuentes de energía más usadas.....	10
2.4.1 Fuentes de origen Fósil.....	10
2.4.2 Petróleo y sus derivados.	10
2.4.3 Gas natural.....	11
2.4.4 Carbono mineral.	12
2.4.5 Energía Nuclear.	12
2.4.6 Fisión.....	13
2.4.7 Fusión.....	13
2.5 Recursos Energéticos Renovables.....	14

2.5.1	¿Qué es la energía solar?	14
2.5.2	Energía solar en un solo punto.	15
2.5.3	Energía solar térmica.	16
2.5.4	Energía solar fotovoltaica.	16
2.5.5	Energía eólica.	17
2.5.6	Energía procedente de biomasa.	17
2.5.7	Energía geotérmica.	18
2.5.8	Energía por mecanismos hidráulicos.	19
2.5.9	Desventajas estratégicas de las energías renovables en el sector industrial.....	20
2.6	Fundamentos físicos del efecto fotovoltaico.	20
2.6.1	Que son las células y módulos solares.	21
2.7	Partes para un sistema fotovoltaico.	22
2.7.1	¿Que son los paneles solares?	22
2.7.2	¿Para qué sirve el inversor solar?.....	22
2.7.3	Regulador de carga para las baterías solares.	23
2.8	Requisitos para la implementación de un generador fotovoltaico.	23
2.8.1	Radiación solar disponible.	24
2.8.2	Orientación e inclinación de los módulos.	24
2.8.3	Condiciones ambientales.....	25
2.9	Tipos de sistemas para generadores fotovoltaicos.....	25
2.9.1	Sistemas a red (on-grid).....	26
2.9.2	Sistemas aislados (off-grid).....	27
2.9.3	Sistemas híbridos.....	28
2.10	Impacto del Factor de Potencia Bajo la Red Hospitalaria	29
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	30
3.1	Características del estudio.....	30
3.2	Tipo de investigación.....	30
3.3	Técnicas usadas para la recolección de datos	31
3.4	Fases del Diseño y Herramientas Clave	32
3.4.1	Diagnóstico energético	32

3.4.2	Dimensionamiento del sistema	32
3.4.3	Diseño eléctrico.....	33
3.4.4	RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas).....	33
3.4.5	NEC (National Electrical Code).....	33
3.4.6	Regulación ARCERNNR 001/2021	34
3.4.7	Lineamientos del Ministerio de Salud Pública (MSP).....	34
3.5	Integración con la red eléctrica.....	34
3.6	Simulación y validación por medio del Software FusionSolar y Pvsyst	35
3.7	Metodología de desarrollo	36
4	CAPITULO 4: DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO	37
4.1	Características geográficas.....	37
4.2	Cálculo de la potencia instalada.	37
4.3	Equipos críticos que requieren respaldo.	38
4.3.1	Horarios de operación y demanda pico.	39
4.3.2	Sobredimensionamiento del sistema.....	39
4.4	Cálculo de la demanda energética diaria.....	40
4.5	Selección del panel solar y la cantidad.	41
4.5.1	Especificaciones técnicas de panel	42
4.5.2	Criterios de orientación e inclinación de los paneles.	43
4.5.3	Cantidad de paneles solares.....	44
4.5.4	Protección para el inversor.....	44
4.6	Inversor para el diseño fotovoltaico	46
4.6.1	Protección para la Corriente Alterna.....	47
4.6.2	Baterías para el sistema backup: calculo y selección	48
4.6.3	Calculo para el número de baterías necesarias para el sistema 49	
4.6.4	Protección para las baterías.	50
4.6.5	integración del Smart Power Sensor.....	50
4.6.6	Simulación de generación solar con el Programa PVSyst	51
4.7	Disposición y conexión de los paneles solares.....	52
4.8	Ubicación de los tableros de cada área.....	53

4.9	Diseño propuesto del sistema fotovoltaico.....	55
4.10	Conexiones del inversor.....	56
4.11	Sistema backup del inversor fotovoltaico	57
4.12	Adición de un ATS al sistema de respaldo.....	57
4.13	Protecciones para el tablero de cargas críticas.....	58
4.14	Diagrama Unifilar.....	59
4.15	Demostración de los resultados por medio de simulación en el software Fusionsolar.	60
4.16	Control por medio de la aplicación Fusionsolar.	60
4.17	Esquema simple del sistema fotovoltaico híbrido de la fundación AEI	61
4.18	Control del sistema por medio del software FusionSolar.	62
4.19	Funcionamiento del sistema fotovoltaico en cortes.....	63
4.20	Sistema de alarmas.....	64
4.21	Control y registro energético mensual y anual de la Fundación AEI	65
4.22	Medición del Factor de Potencia en el Sistema	67
4.23	Datos del sistema en tiempo real	67
4.24	El factor de potencia del sistema fotovoltaico	68
5	Conclusión.....	73
6	Recomendación.....	74
7	Referencia.....	75
	ANEXOS.....	78

Índice de figuras

FIGURA 1. OFERTA DE ENERGÍA POR FUENTES EN EL MUNDO.....	9
FIGURA 2.FUENTES FÓSILES.....	10
FIGURA 3. PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS.....	11
FIGURA 4. GAS NATURAL.....	11
FIGURA 5. CARBONO MINERAL.....	12
FIGURA 6. PLANTA DE ENERGÍA NUCLEAR.....	13
FIGURA 7. PLANTA DE FISIÓN.....	13
FIGURA 8. LA FUSIÓN.....	14
FIGURA 9. UTILIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR.....	15
FIGURA 10. ENERGÍA SOLAR DIRECTA.....	15
FIGURA 11. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	16
FIGURA 12. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	16
FIGURA 13. PARTES DE UN GENERADOR EÓLICO.....	17
FIGURA 14. ENERGÍA PROCEDENTE DE LA BIOMASA.....	18
FIGURA 15. ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	19
FIGURA 16. ENERGÍA HIDRÁULICA.....	19
FIGURA 17. FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL EFECTO FOTOVOLTAICO.....	21
FIGURA 18.CÉLULAS Y MÓDULOS SOLARES.....	21
FIGURA 19. FUNCIONAMIENTO DEL INVERSOR SOLAR.....	23
FIGURA 20. MAPA DE IRRADIACIÓN SOLAR.....	24
FIGURA 21. SISTEMAS CONECTADOS A RED (ON-GRID).....	26
FIGURA 22.SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS (OFF-GRID).....	27
FIGURA 23. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS.....	28
FIGURA 24. TEORÍA DEL FACTOR DE POTENCIA.....	29
FIGURA 25.SOFTWARE PVSYST.....	35
FIGURA 26. SOFTWARE FUSIONSOLAR.....	36
FIGURA 27. DATOS ARQUITECTÓNICOS DE LA FUNDACIÓN AEI.....	37
FIGURA 28, ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	40
FIGURA 29. IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL.....	41
FIGURA 30.PANEL SOLAR LONGI SOLAR LRS-66HIH-500M G2.....	43
FIGURA 31. BREAKER SOLAR DC 2X20A 800V.PARA LA CORRIENTE DC.....	45
FIGURA 32. INVERSOR HIBRIDO PARA EL DISEÑO QUE SE USARA... ..	47
FIGURA 33. INTERRUPTOR TRIFÁSICO DE 40 A PARA LA CORRIENTE ALTERNA.....	47
FIGURA 34. BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA BACKUP.....	49
FIGURA 35. DISYUNTOR MAGNETOTÉRMICO ABB 2CCS862001R0634.	50
FIGURA 36.SMART POWER SENSOR.....	51
FIGURA 37. SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	51
FIGURA 38. UBICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES.....	52
FIGURA 39. CONEXIÓN DE LOS PANELES SOLARES.....	53
FIGURA 40. INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES.....	53
FIGURA 41. FUNDACIÓN AEI PLANTA BAJA.....	54
FIGURA 42. FUNDACIÓN AEI PLANTA ALTA.....	54
FIGURA 43. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN AUTOCAD.....	55
FIGURA 44.CONEXIONES DEL INVERSOR EN AUTOCAD.....	56
FIGURA 45. ATS PARA EL TABLERO DE CARGAS CRITICAS.....	57

<i>FIGURA 46.MCB 4P 40 A.....</i>	<i>58</i>
<i>FIGURA 47.DERECHA: RCD TIPO B 4P.</i>	<i>59</i>
<i>FIGURA 48.DIAGRAMA UNIFILAR.....</i>	<i>59</i>
<i>FIGURA 49. SOFTWARE FUSIONSOLAR.....</i>	<i>60</i>
<i>FIGURA 50.PARAMETROS GENERALES.</i>	<i>61</i>
<i>FIGURA 51. DIAGRAMA SIMPLE DEL SISTEMA.....</i>	<i>61</i>
<i>FIGURA 52. GESTIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. .</i>	<i>62</i>
<i>FIGURA 53. ESQUEMA SIMPLE DEL SISTEMA MODO OFF GRID.....</i>	<i>64</i>
<i>FIGURA 54. CUADRO DE ALERTAS.....</i>	<i>64</i>
<i>FIGURA 55.CONTROL DE LOS PANELES.</i>	<i>65</i>
<i>FIGURA 56. GESTIÓN ENERGÉTICA MENSUAL.....</i>	<i>65</i>
<i>FIGURA 57. GESTIÓN ANUAL.</i>	<i>66</i>
<i>FIGURA 58.DATOS DEL DISPOSITIVO EN TIEMPO REAL</i>	<i>68</i>
<i>FIGURA 59.DIAGRAMA FASORIAL DEL FACTOR DE POTENCIA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....</i>	<i>69</i>

Índice de Tablas

TABLA 1. POTENCIA TOTAL USADA EN LAS ÁREAS CON MAYOR FLUJO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	38
TABLA 2. EQUIPOS MÉDICOS.....	39
TABLA 3. TIEMPO DE USO DE LOS EQUIPOS MÉDICOS.....	39
TABLA 4. DATOS TÉCNICOS DEL PANEL SOLAR LONGI SOLAR LRS-66HIH-500M G2.....	42
TABLA 5. ORIENTACIÓN DE LOS PANELES	43
TABLA 6. ESPECIFICACIÓN DEL INVERSOR.....	46
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS USADAS PARA EL SISTEMA BACKUP.	48
TABLA 8. COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PROPUESTO.	70

Resumen

El trabajo se centra en el diseño de un sistema de respaldo basado en energía solar fotovoltaica para la Fundación AEI (Asociación de Enfermos Incurables) de SOLCA. El objetivo principal es garantizar la seguridad de los pacientes, reducir el consumo de energía, proteger los equipos médicos y de ventilación, y contar con un sistema de respaldo automático.

Para el diseño fue necesario realizar un análisis de cargas, calcular la cantidad y capacidad de los paneles, evaluar el rendimiento, estudiar las posibles sombras y seleccionar los componentes adecuados, como inversores y sistemas de almacenamiento. Además, se consideró el aspecto económico relacionado con el costo de los materiales.

La investigación se enfocó en la creación de un sistema fotovoltaico como parte de una central híbrida para la Fundación AEI, con el fin de disminuir los elevados costos de electricidad y, al mismo tiempo, aportar al cuidado del medio ambiente mediante la generación de energía limpia. Esto da mayor seguridad y comodidad para los pacientes. se registró los datos del consumo de la fundación AEI. Estas medidas son del tablero eléctrico, con la supervisión del personal de mantenimiento.

También se usaron softwares como PVsyst y FusionSolar para simular y evaluar el sistema. Los resultados mostraron que no solo contribuiría a reducir el valor de la factura eléctrica, sino también a disminuir las emisiones de CO₂, dando un beneficio económico y ambiental. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema cumple de manera satisfactoria con los objetivos planteados.

Palabras claves: Energía solar fotovoltaica, Consumo de energía, Sistema fotovoltaico, Costos de electricidad, Consumo energético, Sistemas FusionSolar, Emisiones de CO₂, PVSyst.

ABSTRACT

The goal of this project is to design a solar backup system for the Association of Incurable Patients (AEI Foundation) at SOLCA. Keeping patients safe, conserving energy, safeguarding ventilation and medical equipment, and making sure an automated backup system is in place are the primary objectives

To plan the system, we first looked at the foundation's electricity consumption. Then, we calculated the number and size of solar panels needed, checked their performance, studied shading issues, and chose the right components like inverters and storage systems. We also considered the cost of materials.

Developing a system as a component of a hybrid energy system was the plan. In addition to generating clean energy that is beneficial for the environment, this would help reduce electricity expenses. Additionally, it increases patients' safety and comfort.

Under the supervision of the maintenance team, we began the project by gathering data on electricity usage straight from the main electrical panel. Additionally, we simulated and assessed the system's operation using programs like PVsyst and FusionSolar.

The results showed that the system could cut electricity costs and reduce CO₂ emissions, bringing both economic and environmental benefits. Overall, it proved that the system meets its goals successfully.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Energy consumption, Photovoltaic system, Electricity costs, Energy consumption, FusionSolar systems, CO₂ emissions, PVSyst.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

Los hospitales dependen en gran medida de la electricidad cualquier corte del suministro eléctrico podría poner en peligro la vida de los pacientes. Una fuente de energía confiable es necesaria para que la AEI de SOLCA, especializada en atención oncológica, mantenga sus equipos médicos en funcionamiento continuo,

el uso de energías renovables como respaldo es esencial, ya que ofrece seguridad operativa, beneficios económicos y ventajas ambientales, Además, una separación adecuada entre los circuitos eléctricos es esencial para reducir el riesgo de errores en cadena (Lamigueiro, 2025)

Por el aumento del consumo energético se impulsó la búsqueda de mejores métodos para la producción energética, actualmente las fuentes de energías renovables son más variadas así que entre todas las fuentes conocidas se optó por la energía fotovoltaica ya que esta es la más accesible en la actualidad, esta funciona gracias a que capta la radiación solar y la transforma en energía por medio de semiconductores que están en los paneles, esta alternativa ayuda a disminuir los costos energéticos y la contaminación ante el uso de generadores eléctricos a base de combustibles.

Para la instalación del sistema fotovoltaico se recolecto información sobre el consumo diaria energético la radiación solar en el área y hacer el diseño en los distintos softwares que ayudaran a la simulación y demostración del sistema, así mismo se diseñara un sistema de respaldo para ciertas oraciones en la que el suministro eléctrico tenga deficiencia.

1.2 Antecedentes

Los generadores distribuidos son para fortalecer la red de distribución, dan beneficio técnico que sirve para que este siempre en función. Las fuentes renovables son positivas, ya que son la mejor opción, influyendo de manera en que las empresas eléctricas calculan y facturan el consumo

Según los reportes de la IRENA, en los últimos años se ha evidenciado un crecimiento sostenido en la adopción de energías renovables en Latinoamérica ((IRENA), 2022)

En Ecuador, entidades como la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) han promovido la adopción de estas tecnologías, evidenciando sus beneficios en la medición y facturación neta de energía. La integración de este tipo de generación en sistemas convencionales puede aportar mejoras notables en la eficiencia, calidad y operación de las instalaciones eléctricas ((OLADE), 2022).

1.3 Definición del Problema.

La Fundación AEI depende de la red pública, lo que la hace tener problemas ante cortes inesperados de energía. los equipos médicos son sensibles antes los cambios bruscos de voltaje o de corriente ya que sus circuitos son delicados y pueden afectar a los dispositivos, la atención de los pacientes y poner en riesgo su vida.

Sin un sistema de respaldo se pone en riesgo la vida de los pacientes ya que ellos dependen de equipos médicos constantemente, es necesario contar con una alternativa energética que asegure estabilidad, seguridad y autonomía. Esta solución debe mantener en funcionamiento las cargas críticas ante cualquier eventualidad, disminuyendo la dependencia de la red pública y, al mismo tiempo, incorporando tecnologías limpias que apoyen la sostenibilidad del centro.

1.4 Justificación del Problema.

La falta de un sistema de respaldo en un hospital es un peligro para la vida de los pacientes, al detener los dispositivos y servicios durante cortes. Un sistema de respaldo sustentado por energías renovables dará la continuidad de los servicios médicos esenciales y preservará la iluminación en todas las zonas de la fundación que no tienen luz natural. Además, este tipo de sistema puede resultar más económico a largo plazo, fortaleciendo la autonomía energética del hospital.

Además, fomenta una ayuda ecológica al disminuir la necesidad de combustibles. Se potenciará la habilidad de la entidad para manejar situaciones de emergencia o cortes, dando más resistencia en esas áreas y asegurando su uso seguro y estable.

1.5 Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema de respaldo energético utilizando fuentes renovables que asegure el suministro eléctrico continuo en las áreas críticas de la Fundación AEI de SOLCA en Guayaquil.

1.5.2 Objetivos Específicos.

❖ Determinar la demanda energética crítica de la Fundación AEI de SOLCA durante situaciones de emergencia.

❖ Diseñar un sistema de respaldo que suministre energía a las cargas críticas de las áreas escogidas en la fundación AEI.

❖ Asegurar que el suministro continuo para los equipos médicos críticos ante cortes del suministro público.

1.6 Hipótesis.

Con la aplicación de un sistema fotovoltaico en la fundación se reducirá el consumo eléctrico procedente de la red pública, generando un ahorro económico sostenible. De igual forma, disminuirá los problemas ambientales asociados al uso de fuentes no renovables y ayudará a la eficiencia en la atención médica, ya que con todos los equipos funcionando constantemente sin interrupciones en el suministro eléctrico.

1.7 Metodología de Investigación.

Este estudio se realiza con una metodología mixta, fusionando técnicas cualitativas y cuantitativas. En el ámbito cualitativo, se consideran la estimación de la radiación solar, la identificación de las horas de mayor sol y la valoración del desempeño estimado del sistema, elementos que requieren una interpretación del contexto y un análisis energético, con el elemento cuantitativo se utiliza en el diseño técnico, incluyendo la aplicación de ecuaciones, el cálculo de la acometida eléctrica, la elección de protecciones y la proyección de la estructura de soporte.

El marco teórico adoptado es de carácter exploratorio–experimental, dado que el cumplimiento de los objetivos depende de variables estimadas y de condiciones específicas del entorno, lo cual exige una metodología flexible y ajustada al contexto particular del estudio.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos teóricos.

Las energías renovables provienen de recursos naturales que pueden regenerarse de manera constante, entre ellos la radiación solar, el viento, el agua, la biomasa y la energía geotérmica. Se distinguen por ser prácticamente inagotables en la escala de vida humana y por generar un impacto ambiental mucho menor frente al uso de combustibles fósiles. (Vega., 2020)

La energía constituye un recurso fundamental para la vida moderna, pues está presente tanto en las actividades diarias como en los distintos procesos productivos. En el sector agrícola se emplea en labores como la fertilización, el riego y la producción de insumos; en la industria resulta indispensable para procesos de conservación, tratamiento de metales, elaboración de cemento o papel; en el transporte impulsa automóviles, camiones, motocicletas, aviones y embarcaciones; y en el ámbito doméstico facilita la iluminación, la preparación de alimentos, el funcionamiento de electrodomésticos y el entretenimiento. Sus aplicaciones son tan amplias que prácticamente no tienen límite. (Vega., 2020)

2.2 Energías Renovables

La energía es un elemento indispensable en la vida actual, pues se aplica tanto en las actividades diarias como en los distintos procesos de producción. En el campo agrícola interviene en tareas como la fertilización, el riego y la elaboración de insumos; en la industria se utiliza para la conservación, el tratamiento de metales y la fabricación de materiales como cemento y papel; en el transporte es la base del funcionamiento de automóviles, camiones, motocicletas, aviones y embarcaciones; mientras que en el hogar permite la iluminación, la preparación de alimentos, el uso de electrodomésticos y el entretenimiento. Sus aplicaciones abarcan prácticamente todos los ámbitos de la sociedad moderna. (Díaz Velilla, 2024)

Las sociedades contemporáneas dependen de manera integral del suministro de energía en todas sus formas. Esta dependencia se remonta

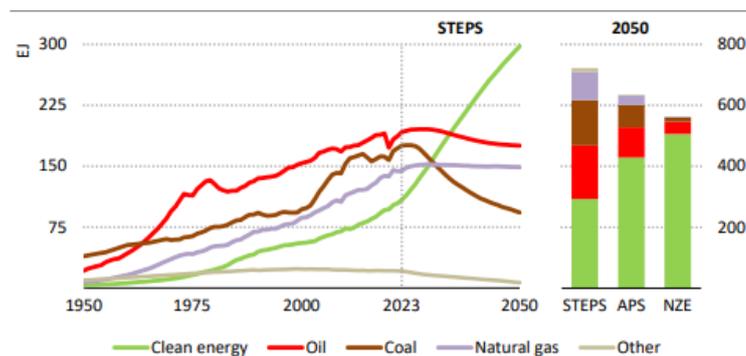
desde el dominio del fuego por los primeros humanos, continuó durante la Revolución Industrial y se mantiene en la actualidad con la generación de energía a través de plantas modernas. (Díaz Velilla, 2024)

2.3 Relevancia de las Fuentes Energéticas en el Escenario Actual.

Recientemente, las energías renovables han ganado gran importancia en el contexto energético mundial, debido a su papel en la mitigación de los impactos ambientales asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la reducción de la dependencia de los recursos fósiles. En Colombia, la matriz eléctrica es mayormente limpia, con la energía hidráulica como su principal fuente de generación; sin embargo, el país aún no ha desarrollado de manera significativa la integración de otras formas de energías alternativas disponibles. (Santos Aza, 2021)

El propósito del estudio es analizar la situación de las energías renovables en el departamento de Santander, considerando la matriz de generación eléctrica de Colombia, con el fin de determinar la contribución de la biomasa en la producción energética de esta región (Santos Aza, 2021). Como se demuestra en la figura 1:

Figura 1. Oferta de energía por fuentes en el mundo



Nota: transición hacia energías limpias y la mejora en la eficiencia energética.

Fuente: reviewenergy.

2.4 Fuentes de energía más usadas.

Las fuentes de energía que más se usan corresponden a aquellas que siempre se han empleado en la producción de electricidad, entre ellas el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear. Si bien su utilización se ha demostrado ser eficiente, también ocasiona un elevado impacto ambiental y se trata de recursos limitados que en cualquier momento pueden agotarse. (Kuyper, 2020).

2.4.1 Fuentes de origen Fósil.

Los combustibles de origen fósil, el carbón, el petróleo y el gas natural, son recursos no renovables formados a partir de restos orgánicos que se descompusieron durante millones de años bajo condiciones de alta presión y temperatura. Estos combustibles han sido la base del desarrollo industrial moderno, pero su uso constante ha generado serios problemas ambientales, como el cambio climático y la contaminación del aire (Rice, 2017), como por medio de la figura 2 que se presenta a continuación:

Figura 2. Fuentes Fósiles



Fuente: bbva.com

2.4.2 Petróleo y sus derivados.

El petróleo crudo constituye la base fundamental de la industria de refinación. Se trata de una mezcla compleja de hidrocarburos formados principalmente por átomos de carbono e hidrógeno, acompañados en menor

proporción por otros elementos. Dentro de su composición se encuentran compuestos heterocíclicos que contienen nitrógeno, oxígeno y azufre, así como organometálicos, además de presentar impurezas como agua y sedimentos inorgánicos. (Figueira, 2020), como por medio de la figura 3 que se presenta a continuación:

Figura 3. Petróleo y sus derivados.



Nota: El petróleo es un recurso natural fósil, compuesto por hidrocarburos, que se extrae del subsuelo y se utiliza como fuente de energía y materia prima. Fuente: hocalpipeindustries.home 2020

2.4.3 Gas natural.

El gas natural está compuesto por una combinación de hidrocarburos, en la que predomina el metano junto con otros de mayor peso molecular. Se trata de un combustible que se localiza en la naturaleza dentro de yacimientos subterráneos, generalmente atrapado en formaciones de rocas porosas. Dependiendo de su origen, puede clasificarse como gas asociado (extraído junto con el petróleo) o gas no asociado (extraído de depósitos sin petróleo) (Palacio, 2022), como por medio de la figura 3 que se presenta a continuación:

Figura 4. Gas natural.



Nota: El gas natural es almacenado en grandes reservas para su exportación y usos industriales. Fuente: primicias.ec 2022

2.4.4 Carbono mineral.

El carbón mineral es una roca sedimentaria de origen orgánico, formada por la acumulación y transformación de restos vegetales en ambientes pantanosos. Es muy rica en carbono y posee un alto poder calorífico, lo que lo convierte en uno de los combustibles fósiles más utilizados en el mundo (Santana, 2021), como por medio de la figura 5 que se presenta a continuación:

Figura 5. Carbono mineral.

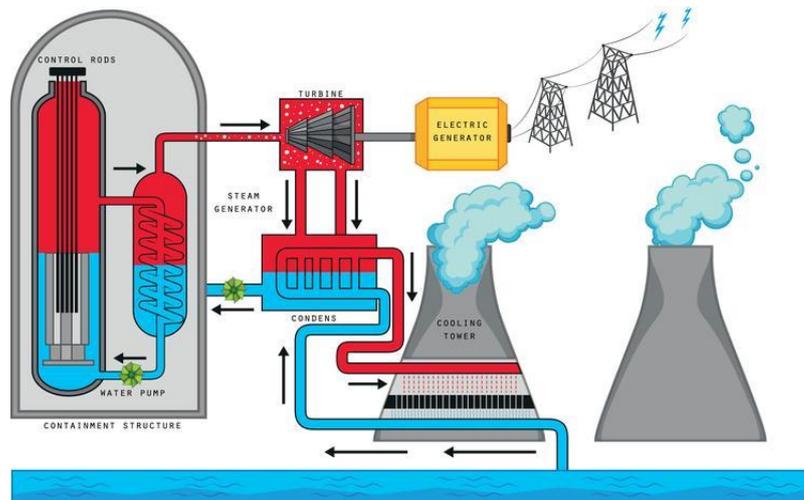


Nota: El carbón mineral es un combustible fósil sólido formado por la descomposición de materia orgánica, utilizado principalmente para la generación de energía y en procesos industriales. Fuente: combustiblesgarbosa2021

2.4.5 Energía Nuclear.

La energía nuclear es aquella que se libera del núcleo atómico a través de procesos como la fisión o la fusión. Se libera mediante procesos de fisión o fusión nuclear. En la actualidad, la fisión es el proceso más utilizado para generar electricidad en centrales nucleares, donde se divide el núcleo de átomos pesados como el uranio, liberando una gran cantidad de energía en forma de calor (Nuclear, Agencia de Energía, 2020), como por medio de la figura 6 que se presenta a continuación:

Figura 6. Planta de Energía Nuclear.

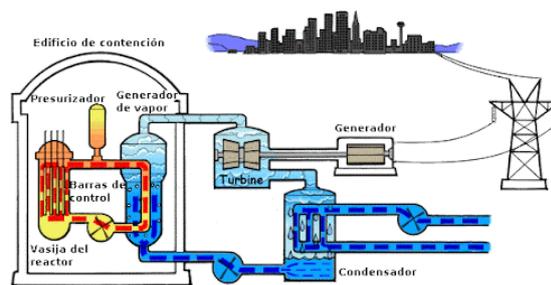


Nota: funcionamiento y partes de una central nuclear Fuente: ecologiaverde.com 2020

2.4.6 Fisión.

Hoy en día, varios países operan centrales nucleares que emplean la fisión, un proceso donde los núcleos de uranio enriquecido son divididos en partes más pequeñas, lo que libera gran cantidad de energía, pero también produce desechos radiactivos peligrosos. (Vicente, 2019), como por medio de la figura 7 que se presenta a continuación:

Figura 7. Planta de Fisión.



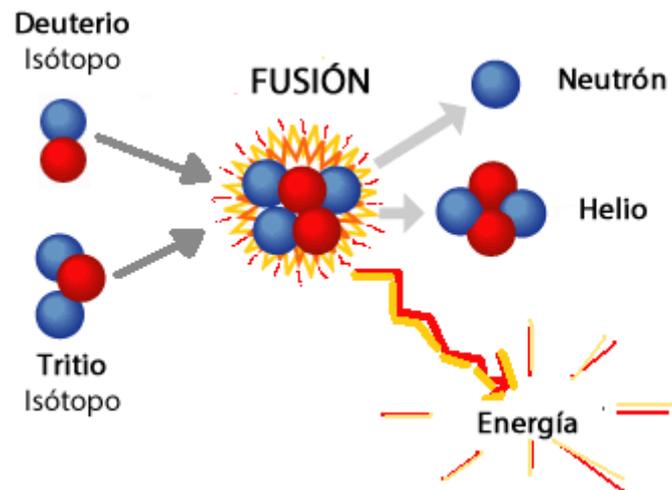
Nota: Una planta de fisión es una central nuclear que genera electricidad a partir de la energía liberada al dividirse los núcleos de átomos pesados Fuente: tecno.iesvegadelturia.es 2019

2.4.7 Fusión.

A largo plazo se investiga la fusión nuclear, proceso en el que átomos ligeros, como los isótopos del hidrógeno, se unen para formar núcleos más

pesados, liberando una cantidad de energía hasta cuatro veces mayor que la fisión y sin generar residuos radiactivos peligrosos. (Vicente, 2019), como por medio de la figura 8 que se presenta a continuación:

Figura 8. La Fusión.



Nota: proceso de fusión nuclear, donde los isótopos deuterio y tritio se combinan para formar helio y un neutrón, liberando una gran cantidad de energía. Fuente: tplaboratorioquimico.com 2019

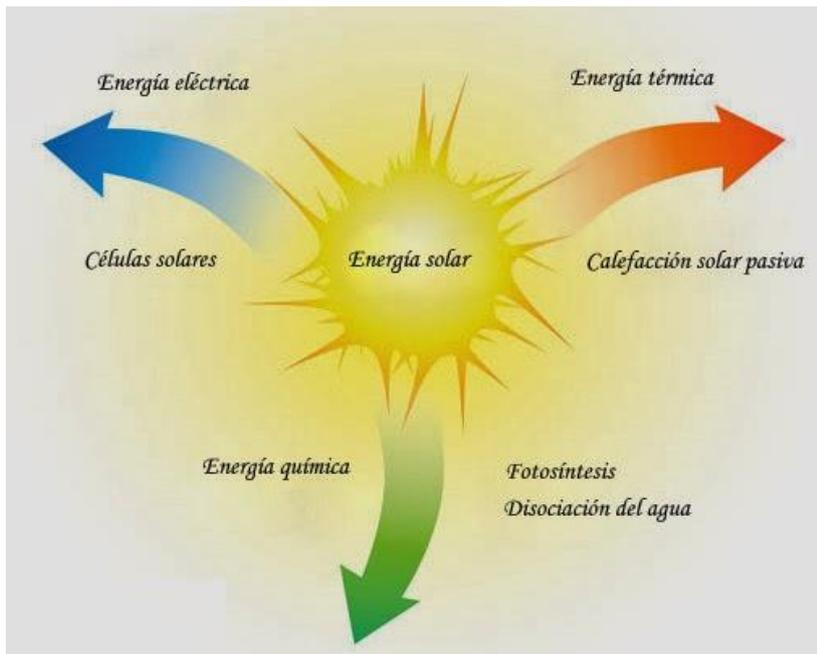
2.5 Recursos Energéticos Renovables.

Son los recursos capaces de regenerarse sin límite fijo, como el sol, el viento, el agua, la biomasa y el calor interno de la Tierra. Estas fuentes son parte clave para un desarrollo energético sostenible, ya que no se agotan con su uso y tienen un impacto reducido (Vega de Kuyper, 2020).

2.5.1 ¿Qué es la energía solar?

La energía solar es una energía renovable que se obtiene de la radiación electromagnética el cual se transforma en energía térmica o eléctrica por tecnologías como los paneles o los colectores solares térmicos (Mendoza, 2023). A continuación, se muestra sus funciones en la figura 9:

Figura 9. Utilidades de la energía solar

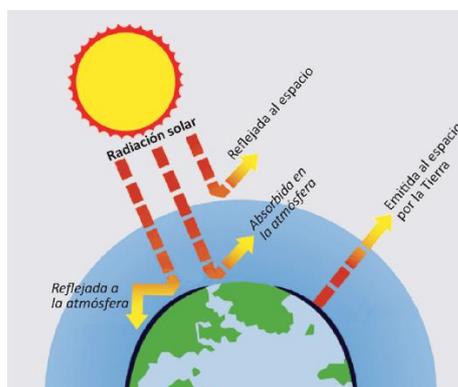


Nota: Aplicaciones de la energía solar. Fuente: blogspot 2021

2.5.2 Energía solar en un solo punto.

La energía solar en un solo punto son las mediciones de radiación solar para generar calor o electricidad, sin necesidad de procesos intermedios de transformación. Este tipo de energía se mide en sistemas como los colectores solares térmicos o los paneles fotovoltaicos, que convierten la luz solar o en energía útil (López-Cózar, 2023), como por medio de la figura 10 que se presenta a continuación:

Figura 10. Energía solar directa.



Nota: Cantidad de radiación solar que llega a la tierra. Fuente: heliosfera 2023

2.5.3 Energía solar térmica.

La energía solar térmica se erige como una piedra angular en la búsqueda de una matriz energética sustentable y eficiente. Consiste en la conversión de la radiación solar en calor útil, utilizado principalmente para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y, en sistemas avanzados, generación de electricidad mediante tecnologías termo solares (Pérez D. , 2024), como por medio de la figura 11 que se presenta a continuación:

Figura 11. Energía solar térmica.



Nota: La energía solar térmica atrapa el calor del sol para transformarlo en energía aprovechable. Fuente: autosolar.es 2024

2.5.4 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es una forma de energía renovable que convierte directamente la luz solar en electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas. Estas celdas están hechas generalmente de materiales semiconductores como el silicio, que al recibir la luz solar generan una corriente eléctrica (Perpiñán, 2024), como por medio de la figura 12 que se presenta a continuación:

Figura 12. Energía solar fotovoltaica.

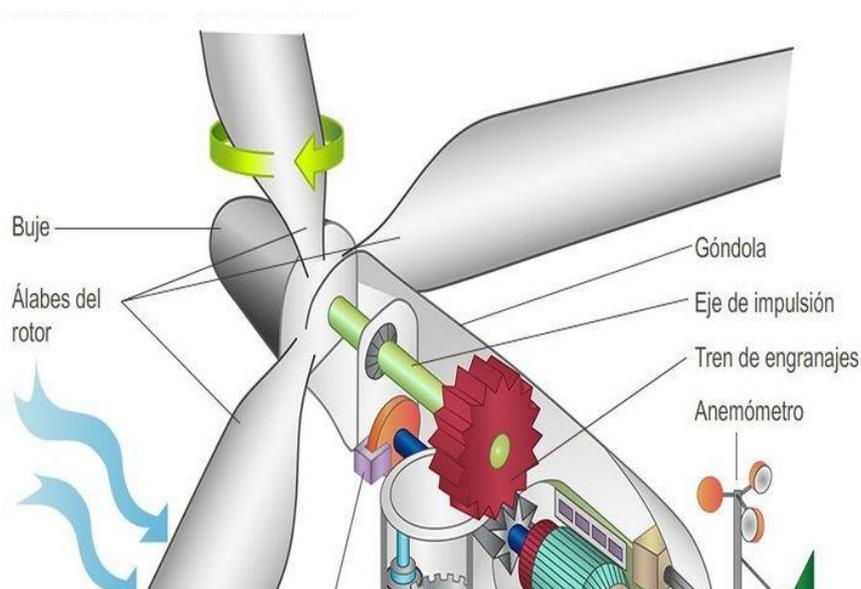


Nota: La energía solar fotovoltaica, que atrapa la luz del sol y la convierte en electricidad. Fuente: autosolar.es

2.5.5 Energía eólica.

La energía eólica es una forma de energía renovable que se produce utilizando la fuerza del viento para mover aerogeneradores que transforman ese movimiento en electricidad. Este tipo de energía se genera mediante aerogeneradores, dispositivos que transforman la energía cinética del aire en energía eléctrica. Los aerogeneradores están compuestos por grandes aspas que giran cuando el viento sopla, y ese movimiento activa un generador que produce electricidad. La energía eólica es una alternativa limpia y sostenible a los combustibles fósiles, ya que no emite gases contaminantes ni contribuye al cambio climático. Además, es una tecnología madura que se ha expandido rápidamente en todo el mundo, especialmente en regiones con vientos constantes (Pérez D. , 2023). Como se muestra a continuación en la figura 13.

Figura 13. Partes de un generador eólico.



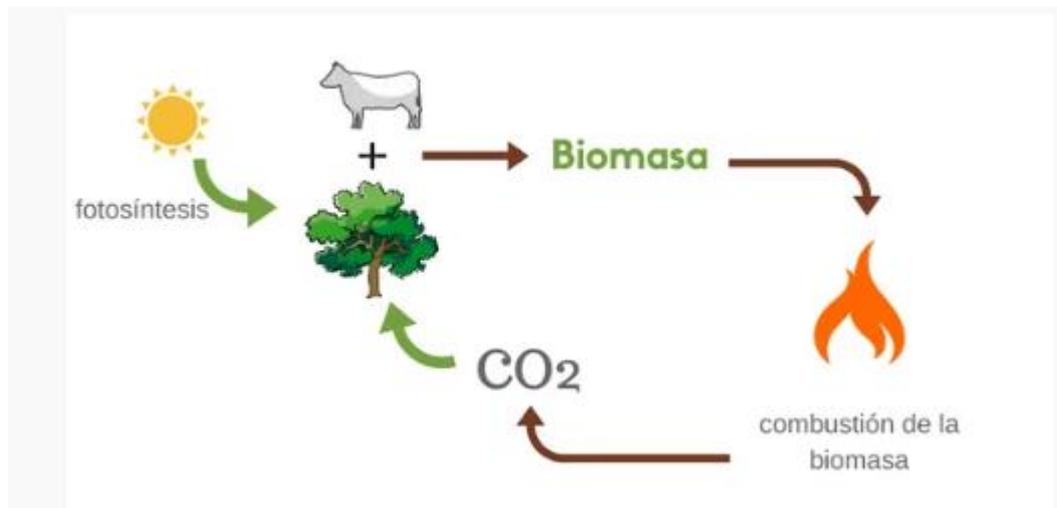
Nota: Aerogenerador con caja multiplicadora Fuente: Héctor F 2019

2.5.6 Energía procedente de biomasa.

La energía de la biomasa se produce aprovechando materia orgánica proveniente de recursos vegetales o animales. Esta energía proviene indirectamente del sol, ya que las plantas capturan la energía solar mediante la fotosíntesis y la almacenan en forma de compuestos orgánicos. A través

de diversos procesos como la combustión, la digestión anaerobia o la fermentación esta materia puede transformarse en calor, electricidad o biocombustibles líquidos y gaseosos. La biomasa incluye residuos agrícolas, forestales, estiércol, residuos orgánicos urbanos y cultivos energéticos (Lara, 2020), como por medio de la figura 14 que se presenta a continuación:

Figura 14. Energía procedente de la biomasa.



Nota: El ciclo de la biomasa. Fuente: Greene 2020

2.5.7 Energía geotérmica.

La energía geotérmica se genera a partir del calor interno de la Tierra, el cual puede emplearse en la producción de electricidad, calefacción, climatización o diversas aplicaciones industriales, y tiene su origen en la descomposición de elementos radiactivos del núcleo terrestre y en el calor remanente de la formación del planeta. El agua de lluvia o de deshielo se infiltra en el subsuelo, donde se calienta al entrar en contacto con rocas calientes, formando reservorios geotérmicos. A través de perforaciones, este calor puede ser extraído y aprovechado de forma sostenible. A diferencia de otras fuentes renovables como la solar o la eólica, la energía geotérmica es constante y no depende de las condiciones climáticas (Cammisa, 2019). , como por medio de la figura 15 que se presenta a continuación:

Figura 15. Energía geotérmica

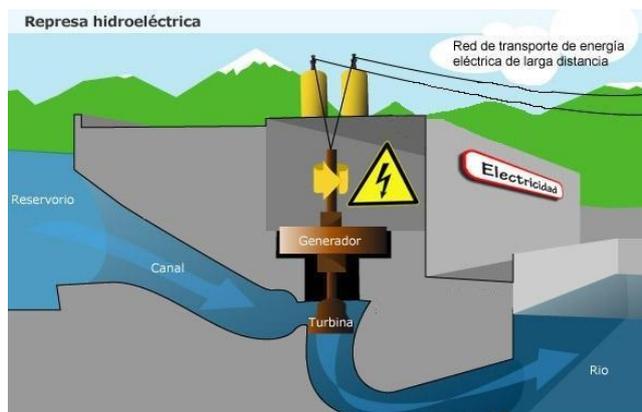


Nota: Funcionamiento interno de una planta geotérmica. Fuente: futuroelectrico 2019

2.5.8 Energía por mecanismos hidráulicos.

El movimiento del agua produce la energía hidráulica, usando la fuerza de ríos o corrientes con presas y turbinas para producir electricidad. Este tipo de energía se convierte en energía eléctrica en las plantas hidroeléctricas, donde el agua en movimiento provoca la rotación de turbinas vinculadas a generadores. Es una fuente de energía renovable, limpia y eficaz, que no genera emisiones contaminantes durante su funcionamiento y puede ajustarse a diversas magnitudes, desde grandes presas hasta pequeñas plantas hidroeléctricas (Osorio, 2016), como por medio de la figura 16 que se presenta a continuación:

Figura 16. Energía Hidráulica.



Nota: Diseño interno de una represa hidroeléctrica Fuente: lineaverdehuelva 2022

2.5.9. Ventajas que tienen las energías renovables para el sector industrial.

En el sector industrial, las energías renovables son una ventaja, ya que permiten a las empresas diversificar sus fuentes de energía, reducir los costos operativos a largo plazo y aumentar su competitividad. Estas ventajas posicionan a las energías renovables no solo como una solución al problema ecológico, sino también como un medio para la innovación y la sostenibilidad en el sector empresarial. (D'Addario, 2019).

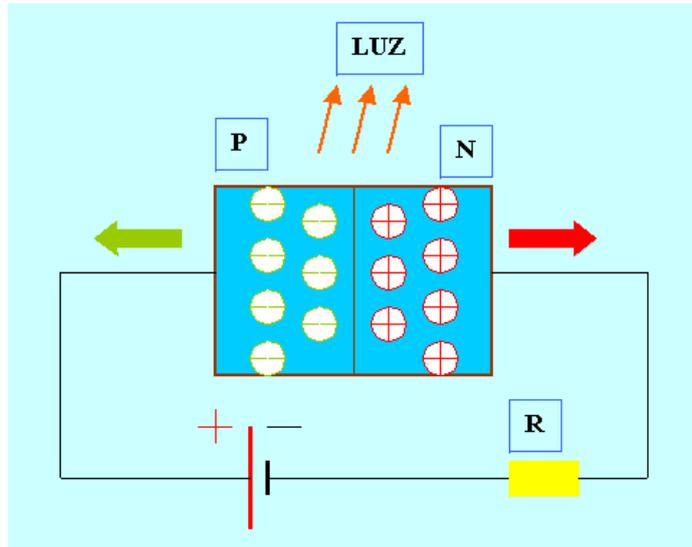
2.5.9 Desventajas estratégicas de las energías renovables en el sector industrial.

Este tipo de fuentes es buena, pero su uso de forma industrial tiene algunos obstáculos como el abastecimiento, la exigencia de inversiones considerables y la complejidad de unirse con la infraestructura ya existente. Resalta que por factores climáticos y la poca capacidad para almacenar energía pueden afectar en la función de ciertos equipos que necesitan de un consumo constante. (Pons, 2021).

2.6 Fundamentos físicos del efecto fotovoltaico.

Un generador de energía solar se produce por el principio físico del efecto fotovoltaico, a través del cual algunos materiales semiconductores, como el silicio, transforman la energía solar en energía eléctrica. Este procedimiento inicia cuando las células solares son impactadas por los fotones de la luz solar, liberando electrones y creando pares electrón-hueco. Debido a una estructura interna con una unión de tipo p-n, se genera un campo eléctrico que divide estas cargas, facilitando que los electrones se desplazan por un circuito externo generando corriente continua. El generador de energía solar se compone de varios módulos solares interconectados, y su diseño debe tener en cuenta elementos como la radiación solar existente, la orientación y ángulo de los paneles, y la necesidad de energía del sistema. Además, comprende elementos como inversores, reguladores de carga y baterías (en sistemas independientes), que facilitan la adaptación y el almacenamiento de la energía producida para su utilización eficaz. (Pareja, 2025), como por medio de la figura 17 que se presenta a continuación:

Figura 17. Fundamentos físicos del efecto fotovoltaico.



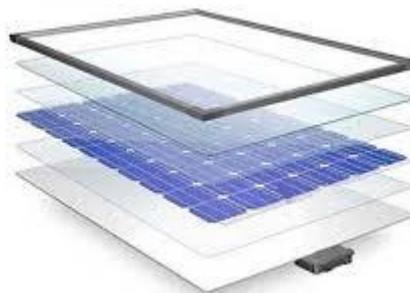
Nota: Las células solares convierten la luz solar en energía. Fuente: wordpress2024

2.6.1 Que son las células y módulos solares.

Las células solares son semiconductores que transforman la luz del sol en energía a través del efecto fotovoltaico. Son hechas en silicio, los módulos solares al unirse entre ellos son para incrementar la energía producida.

Los módulos están cubiertos para proteger las células de factores ambientales como humedad, polvo y radiación ultravioleta. Además, el libro detalla cómo se seleccionan y configuran los módulos según la demanda energética, la ubicación geográfica y las condiciones de radiación solar (Pareja, 2025).

Figura 18. Células y módulos solares.



Nota: Partes del panel solar. Fuente: esenergia.es2025

2.7 Partes para un sistema fotovoltaico.

Un sistema fotovoltaico está compuesto de muchas piezas que te benefician para recibir, cambiar y utilizar de manera óptima la energía del sol. Los principales son los módulos solares, que son los que llevan luz para convertirla en energía eléctrica; el inversor, que convierte corriente continua por corriente alterna; el regulador de carga y las baterías (para sistemas independientes), que regulan y guardan la energía; junto con estructura soporte, cableado y sistemas de seguridad. Cada uno desempeña un papel concreto para asegurar el desempeño y la protección del sistema. (Pareja, 2025)

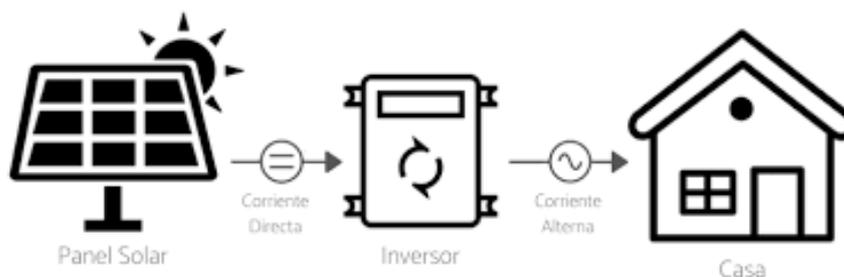
2.7.1 ¿Que son los paneles solares?

Los paneles solares son dispositivos compuestos por varias células fotovoltaicas que absorben la energía solar y la transforman en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Estas células, normalmente fabricadas en silicio, producen corriente continua al excitar los electrones del material semiconductor por medio de los fotones solares. (Pareja, 2025).

2.7.2 ¿Para qué sirve el inversor solar?

Es un componente esencial de los sistemas fotovoltaicos, al tener como función convertir la corriente continua (CC) generada en los paneles solares en corriente alterna (CA), es decir, en el suministro de energía eléctrica utilizado por la mayor parte de aparatos eléctricos para hogares e industrias. Además de esta transformación, los inversores actuales administran el caudal de energía, mejoran el desempeño a través de tecnologías como el monitoreo del punto de máxima potencia (MPPT), y proporcionan protecciones frente a sobrecargas y fluctuaciones de voltaje. Hay varios tipos de inversores, tales como los de una sola fase y tres fases, así como los de onda sinusoidal pura, que aseguran una señal eléctrica pura y estable para aparatos delicados. (Pareja, 2025), como por medio de la figura 19 que se presenta a continuación:

Figura 19. Funcionamiento del inversor solar.



Nota: El Inversor convierte la corriente continua en corriente alterna. Fuente: autosolar 2025

2.7.3 Regulador de carga para las baterías solares.

El regulador, u controlador de carga solar, es uno de los elementos clave en los sistemas fotovoltaicos con baterías. Tiene como objetivo principal controlar el flujo de energía del panel solar a las baterías, para prevenir tanto descarga profunda como sobrecarga, extendiendo así la vida útil de las mismas. Son dos tipos básicos: Los PWM (Pulse Width Modulation), simples, pero más de precio, siendo los MPPT (Maximum Power Point Tracking), más sofisticados, optimizando captación de energía variando la tensión para extraer mayor rendimiento del sistema (Pareja, 2025).

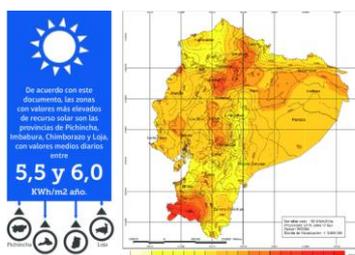
2.8 Requisitos para la implementación de un generador fotovoltaico.

Instalar generadores fotovoltaicos requiere planeación técnica que tenga en cuenta varios parámetros esenciales. Al proceder Perpiñán Lamigueiro, es fundamental tomar en cuenta la geometría y radiación del local, ya que tanto este como otros factores delimitan eficiencia energética del sistema. Deberán también seleccionarse los aparatos, como módulos y generadores, dependiendo de aplicación definitiva: red de suministro, suministro rural, bombeo de aguas. El diseño debe considerarse también para configuración eléctrica, dimensión de inversores, y observar variables como la seguridad eléctrica, rango de variación de potencia, y estudio de datos de producción. Elementos que, al afinarse, apuntan para no tener fallos en largo plazo (Perpiñán, 2024).

2.8.1 Radiación solar disponible.

La radiación solar disponible es uno de los parámetros más importantes para la implementación de un generador fotovoltaico, ya que determina cuánta energía solar puede ser captada por los paneles en una ubicación específica. Se mide en kWh/m²/día y varía según la latitud, altitud, clima y estación del año. Este valor se obtiene a partir de datos históricos o mediante estaciones meteorológicas y mapas solares. Una correcta evaluación de la radiación permite dimensionar adecuadamente el sistema, optimizar la orientación e inclinación de los paneles y estimar la producción energética anual (Perpiñán, 2024), como por medio de la figura 20 que se presenta a continuación:

Figura 20. Mapa de irradiación solar.



Nota: Zonas en el Ecuador donde hay mayor radiación solar. Fuente: researchgate 2024

2.8.2 Orientación e inclinación de los módulos.

La orientación se refiere al ángulo horizontal (azimut) respecto al norte geográfico, y la inclinación al ángulo vertical entre el plano del módulo y la horizontal del terreno. Para maximizar la captación energética anual, los módulos deben orientarse hacia el ecuador (norte en el hemisferio sur, sur en el hemisferio norte) y su inclinación óptima suele aproximarse a la latitud del lugar.

Estos parámetros se ajustan en función del tipo de aplicación: por ejemplo, en sistemas conectados a red se busca maximizar la producción anual, mientras que en sistemas autónomos puede priorizarse la producción en meses de menor radiación (Perpiñán, 2024).

2.8.3 Condiciones ambientales.

Las condiciones ambientales son factores externos que influyen directamente en el rendimiento y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Entre las más relevantes se encuentran:

- Temperatura ambiente: A medida que aumenta la temperatura, la eficiencia de las células solares disminuye, especialmente en módulos de silicio, debido a la reducción del voltaje de salida.
- Humedad y polvo: La acumulación de partículas sobre la superficie de los módulos reduce la transmisión de luz, afectando la generación eléctrica.
- Fuerza del viento: Pese a que no tiene un impacto directo en la producción, puede tener un impacto en la refrigeración de los módulos y en la estabilidad estructural de la instalación.
- Sombras parciales o totales: La presencia de sombras, incluso pequeñas, puede reducir significativamente la producción energética, especialmente si no se utilizan optimizadores o micro inversores.
- Altitud y presión: En lugares de mayor altitud, la radiación solar puede ser más fuerte, pero también hay que considerar la mayor exposición a condiciones extremas **(Perpiñán, 2024)**.

2.9 Tipos de sistemas para generadores fotovoltaicos

Los sistemas para generadores fotovoltaicos representan una de las soluciones más versátiles y sostenibles para la generación de energía eléctrica a partir del sol. Su diseño y configuración dependen de diversos factores como la disponibilidad de la red eléctrica, el perfil de consumo energético y los objetivos del usuario. En términos generales, estos sistemas se clasifican en tres grandes grupos: conectados a red (on-grid), aislados (off-grid) y híbridos, cada uno con características técnicas y aplicaciones específicas.

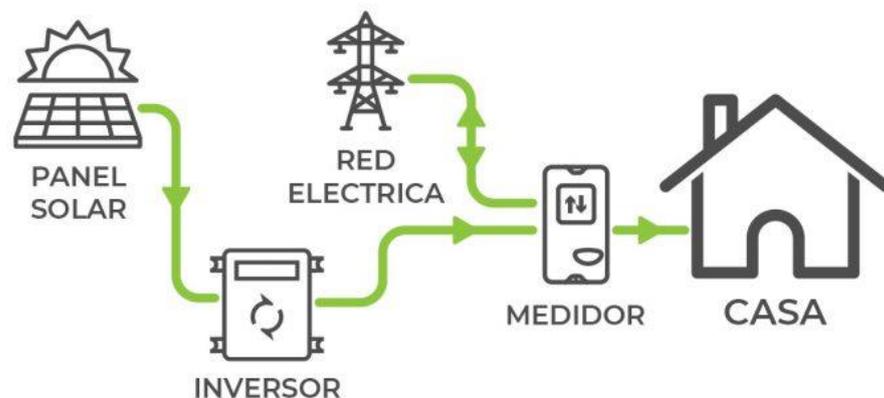
La diferencia entre los tipos de sistemas ayuda a seleccionar la solución mejor en función del lugar, lo económico y energético. Mientras que los sistemas conectados a red pública aprovechan el sistema eléctrico existente, los sistemas aislados dan autonomía total en zonas remotas. Por su parte, los sistemas híbridos combinan lo mejor de ambos lados, poniendo fuentes

de energía para garantizar un suministro seguras y rápidas. Esta clasificación es buena en el diseño y planificación de proyectos (Perpiñán, 2024).

2.9.1 Sistemas a red (on-grid).

No necesitan baterías, ya que la red funciona como backup cuando la producción de energía solar no satisface la demanda. Los módulos solares transforman la energía producida en corriente alterna a través de un inversor sincronizado con la red, lo que permite su utilización inmediata para el consumo local o su exportación al sistema eléctrico. Este tipo de sistema resulta perfecto para ambientes urbanos e industriales donde se dispone de una conexión constante a la red (Perpiñán, 2024), como por medio de la figura 21 que se presenta a continuación:

Figura 21. Sistemas conectados a red (on-grid).



Nota: Es un sistema hecho para disminuir el costo de la factura eléctrica. Fuente: enerlife 2024

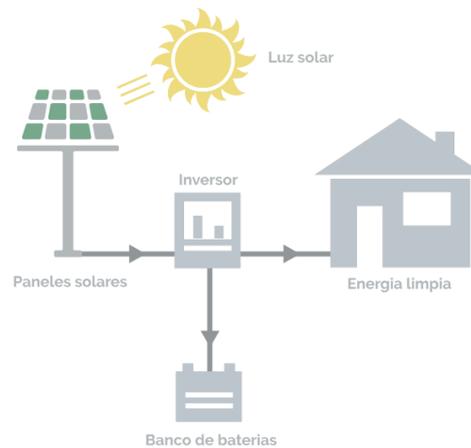
Además de su diseño simple, los sistemas on-grid facilitan el uso de mecanismos de ayuda como la medición neta, en los que el usuario puede obtener préstamos por la energía sobrante que suministra a la red. Esto ayuda a disminuir en partes la factura de electricidad y a promover la utilización de energías renovables. Sin embargo, al depender de la red, estos sistemas no operan durante interrupciones eléctricas, a no ser que se incorporen a soluciones de respaldo o híbridas. Su diseño debe tener en

cuenta elementos como la radiación solar existente, la dirección y ángulo de los módulos, y las medidas eléctricas vigentes en cada país o zona.

2.9.2 Sistemas aislados (off-grid).

Estos sistemas aislados (off-grid) operan de manera independiente, sin conexión a la red. Están para suministrar energía en lugares remotos o rurales donde no existe acceso a la red, y dependen de la radiación solar para generar electricidad, estos sistemas requieren componentes extras como baterías para almacenar la energía, reguladores de carga para proteger las baterías, e incluso generadores auxiliares en caso de baja producción solar (Perpiñán, 2024), como por medio de la figura 22 que se presenta a continuación:

Figura 22. Sistemas fotovoltaicos aislados (off-grid).



Nota: Los sistemas off grid son Ideales para lugares sin la red pública. Fuente: energiasolar 2024

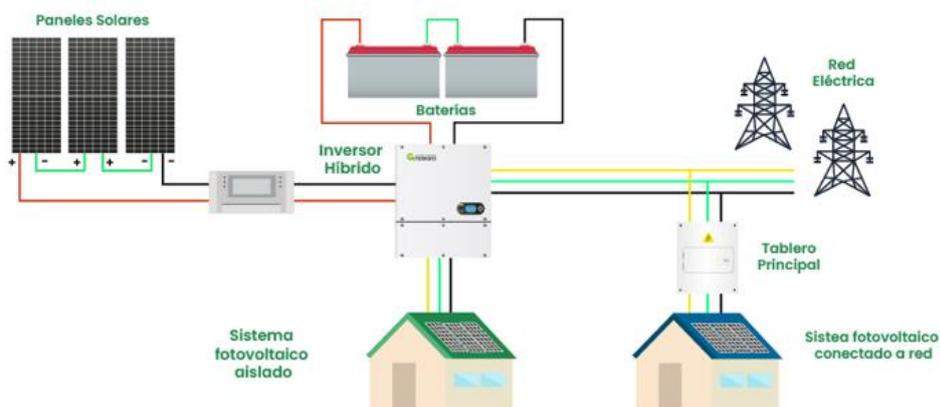
La ventaja de los sistemas aislados es la capacidad de dar energía, lo que los hace solo para viviendas rurales, refugios, instalaciones agrícolas o radio en zonas de difícil acceso. Sin embargo, su diseño debe ser exacto, ya que la demanda energética diaria, la variabilidad climática, y la capacidad de almacenamiento para garantizar un suministro continuo. Estos sistemas suelen tener un costo inicial más alto debido al uso de baterías, pero dan una

solución sostenible y confiable en contextos donde la red eléctrica no está disponible (Perpiñán, 2024).

2.9.3 Sistemas híbridos.

Los sistemas híbridos fusionan la energía solar con otras fuentes de producción, como la red pública, generadores de diésel o incluso energía eólica. Estos sistemas se han creado para proporcionar una mayor facilidad y protección energética, en áreas donde la red eléctrica no es buena o donde se debe disminuir el uso de combustibles fósiles. La energía solar se emplea como principal fuente, mientras que las fuentes de respaldo se activan cuando la producción solar no basta para satisfacer la demanda. (Perpiñán, 2024)

Figura 23. Sistemas fotovoltaicos híbridos.



Nota: Deje estar conectado a la red pública y a las baterías al mismo tiempo. Fuente: autosolar.2024

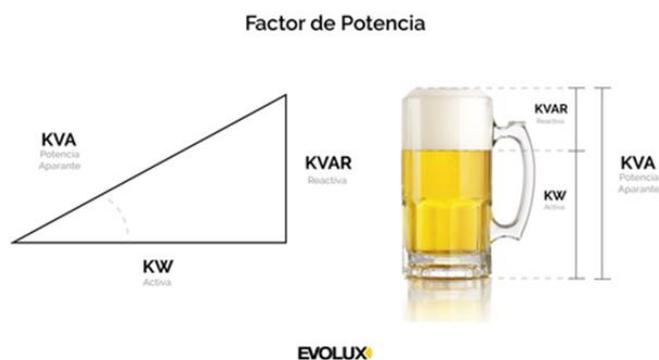
La ventaja de los sistemas híbridos es de mejorar el uso de recursos energéticos, reduciendo costos y la contaminación. Estos sistemas incluyen medidores inteligentes para el flujo de energía entre las distintas fuentes y los consumos, priorizando la energía solar cuando está disponible. Además, pueden meter baterías para almacenar el excedente y mejorar el sistema. Son útiles en zonas industriales, comunidades rurales, instalaciones críticas y proyectos que buscan una transición energética sostenible, para eso este diseño es el mejor ya que sirve para cualquier necesidad. (Perpiñán, 2024).

2.10 Impacto del Factor de Potencia Bajo la Red Hospitalaria

En cualquier hospital se debe mantener un factor de potencia de 1 resulta bueno porque un valor bajo ocasiona que circule más corriente de la necesaria para alimentar los equipos. Este exceso de corriente produce mayores pérdidas eléctricas en los conductores y transformadores, lo cual se traduce en calentamientos y una reducción en la vida útil de los componentes. También puede provocar sobrecargas en los interruptores, tableros y protecciones eléctricas, incrementando el riesgo de fallas en la red interna (Gaete, 2016).

Desde lo económico, las empresas distribuidoras saben aplicar recargos en la factura cuando el factor de potencia se mantiene por debajo del límite (generalmente 0,90 o 0,95). Esto significa un gasto adicional que afecta directamente al presupuesto de la institución. Además, un FP bajo reduce la capacidad disponible del sistema eléctrico, pues parte de la energía entregada por la red se pierde en la circulación de reactivos en lugar de convertirse en trabajo útil. En un entorno hospitalario, estas condiciones aumentan la probabilidad de fallos en equipos críticos como ventiladores, monitores o sistemas de diagnóstico, poniendo en riesgo la continuidad del servicio médico (Gaete, 2016).

Figura 24. Teoría del factor de potencia.



Nota: El factor de potencia es la relación entre la potencia útil (kW) y la potencia total demandada (kVA), indicando qué tan eficientemente se aprovecha la energía eléctrica.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis de factibilidad y el diseño del sistema fotovoltaico híbrido instalado, se sigue una metodología estructurada que abarca varias fases clave, utilizando herramientas técnicas específicas para garantizar un resultado eficiente y seguro. En la fase de planificación, se realiza un estudio detallado del consumo energético, la ubicación óptima de los paneles solares y la capacidad de respaldo requerida. Se emplean herramientas de simulación y software especializado para modelar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de irradiación y carga, así como para calcular los costos asociados a la instalación y operación. Esta metodología permite evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto, asegurando que el sistema pueda operar tanto en modo conectado a la red como en modo aislado durante interrupciones del suministro eléctrico.

3.1 Características del estudio.

El estudio es aplicado, pues es para cubrir una demanda de energía en el lugar con un sistema híbrido con capacidad para guardar y dar las sobras de energía. Por el lado cuantitativo, usando datos técnicos, cálculos energético y simulaciones para comprobar el diseño y función del diseño.

El estudio es descriptivo y explicativo, pues analiza los componentes del sistema, su uso energético bajo diferentes condiciones de funcionamiento. Se aplicó un método experimental, en el que los ensayos evidenciaron niveles bajos de generación de energía, principalmente a causa de factores climáticos.

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicado, ya que tiene como objetivo satisfacer la demanda energética de la fundación AEI a través del diseño e de un sistema fotovoltaico híbrido con sistema de respaldo para almacenar y

exportar excedentes. Su meta principal es desarrollar una solución técnica que pueda aplicarse en ambientes domésticos o comerciales para incrementar la eficiencia energética y la independencia ante interrupciones en el abastecimiento de electricidad.

Por último, se clasifica como una investigación cuantitativa, ya que se fundamenta en el estudio de datos eléctricos, estimaciones de potencia, simulaciones de desempeño y valoración económica del sistema. Además, adopta un enfoque descriptivo y explicativo, dado que detalla los elementos del sistema, su disposición y operación, y detalla cómo las variables técnicas afectan su rendimiento.

3.3 Técnicas usadas para la recolección de datos

En el estudio, se aplicó métodos para control de recoger datos importantes, acerca del consumo de energía, es estado de la instalación y las ventajas del sistema fotovoltaico híbrido.

- **Método directo**

Se realizó una visita a la fundación para observar de las condiciones físicas del lugar de instalación, que incluye datos sobre la potencia solar, sombras, espacio y ubicación de los equipos.

- **Dato técnico**

Se uso equipos como multímetro y amperímetro para anotar datos como voltaje, corriente, poder solar, consumo de energía y estado de las baterías. Este dato es útil para confirmar el diseño y modificar la configuración del sistema.

- **Revisión documental**

Se consultaron manuales técnicos de los equipos (paneles, inversor, baterías), normativas de interconexión de CNEC, y literatura especializada en sistemas híbridos y energías renovables.

- **Simulación computacional**

Se emplearon herramientas de software para modelar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios de carga, generación solar y cortes de energía, permitiendo prever el rendimiento y optimizar el diseño.

3.4 Fases del Diseño y Herramientas Clave

El diseño del sistema fotovoltaico híbrido se desarrolló siguiendo una metodología estructurada, dividida en varias fases que permitieron garantizar la viabilidad técnica y operativa del proyecto. A continuación, se detallan las principales fases y las herramientas utilizadas en cada una:

3.4.1 Diagnóstico energético

Durante esta fase se realizó una nueva visita a la Fundación AEI, en la cual se llevó a cabo un levantamiento detallado de información en compañía del encargado de mantenimiento. En dicha visita se registraron los niveles de consumo energético por área y se recopiló las especificaciones eléctricas de los equipos instalados en cada espacio. Esta información fue fundamental para dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico y definir las cargas críticas que deben mantenerse operativas durante cortes de energía

3.4.2 Dimensionamiento del sistema

Con base en los datos recopilados de las áreas que requerían respaldo energético, se procedió con el diseño de un sistema fotovoltaico optimizado para abastecer de manera eficiente todas las zonas identificadas. Con este objetivo, se determinaron la cantidad de paneles solares requeridos, la capacidad para almacenar baterías y las características del inversor, con el objetivo de satisfacer la demanda energética total y asegurar la independencia durante las interrupciones del abastecimiento eléctrico. Se desarrolló el diseño del sistema empleando el software especializado PVsyst, que permitió la simulación de diversos escenarios de producción y consumo, mejorando de esta manera el desempeño y la factibilidad técnica del proyecto.

3.4.3 Diseño eléctrico

Se realizó el diseño de un plano eléctrico de la Fundación AEI utilizando el software AutoCAD. En dicho plano se detalla la infraestructura eléctrica de las áreas que serán abastecidas con energía de respaldo proveniente del sistema fotovoltaico híbrido. El diseño incluye la conexión de los paneles solares, las baterías, el inversor, así como la ubicación precisa de todos los equipos involucrados. Además, se incorporan los cálculos eléctricos necesarios y se especifican las protecciones correspondientes, tales como interruptores termomagnéticos, fusibles, dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD), entre otros. Todo el diseño se desarrolló conforme a las normativas eléctricas vigentes, garantizando la seguridad, eficiencia y funcionalidad del sistema, también interfieren las siguientes normativas:

3.4.4 RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)

El RETIE es una normativa técnica y legal colombiana expedida por el Ministerio de Minas y Energía, que regula las condiciones de seguridad en las instalaciones eléctricas en todo el territorio nacional. Su objetivo principal es proteger la vida humana, animal y vegetal, así como el medio ambiente, minimizando los riesgos eléctricos. Aplica a todas las etapas del sistema eléctrico: generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía. También establece requisitos para los productos eléctricos y las personas que intervienen en las instalaciones (Colombia, 2024).

3.4.5 NEC (National Electrical Code)

El NEC, también conocido como NFPA 70, es un código estadounidense desarrollado por la National Fire Protection Association (NFPA) que establece los estándares mínimos para la instalación segura de sistemas eléctricos. Aunque no es una ley federal, es adoptado por la mayoría de los estados de EE. UU. y también por otros países como referencia técnica. Su propósito es garantizar la seguridad de personas y propiedades frente a los riesgos eléctricos, y se actualiza cada tres años para incorporar avances tecnológicos y mejores prácticas ((NFPA), 2023).

3.4.6 Regulación ARCERNNR 001/2021

Emitida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), esta normativa permite a personas naturales o jurídicas instalar sistemas fotovoltaicos para autoconsumo. Establece el procedimiento de legalización ante la empresa distribuidora, el uso de medidores bidireccionales y el sistema de balance neto, que permite acumular excedentes de energía hasta por 24 meses ((ARCERNNR), 2021)

3.4.7 Lineamientos del Ministerio de Salud Pública (MSP)

A través de la Dirección Nacional de Infraestructura Sanitaria, el MSP regula los estándares técnicos para diseño, construcción, adecuación y mantenimiento de hospitales. (Sanitaria, 2021) Esto incluye:

- Requisitos de infraestructura eléctrica segura y redundante.
- Cumplimiento de normas de calidad ambiental y sostenibilidad.
- Protocolos para mantenimiento preventivo y respaldo energético (como baterías o generadores).
- Evaluación de impacto ambiental para nuevas instalaciones o repotenciaci

3.5 Integración con la red eléctrica

En esta etapa se busca garantizar que el sistema fotovoltaico opere de manera segura y eficiente en paralelo con la red pública, permitiendo la exportación de excedentes de energía. Para eso, se coloca un medidor bidireccional acorde a las normas de CNEL, se configura el inversor híbrido para permitir la inyección de energía y se administra la petición formal de interconexión frente a la distribuidora. Esta etapa se respalda en instrumentos fundamentales como el manual de interconexión de CNEL, el sensor Huawei DDSU666-H para medida exacta, y el programa FusionSolar para seguimiento en tiempo real del flujo de energía.

3.6 Simulación y validación por medio del Software FusionSolar y Pvsyst

En esta etapa se lleva a cabo la evaluación integral de la eficiencia del sistema fotovoltaico bajo diferentes condiciones operativas, considerando la generación durante el día, el consumo nocturno, las interrupciones de la red y los escenarios de carga máxima. Para ello, se realizan simulaciones de producción y demanda energética, pruebas de respaldo con las baterías del sistema y verificaciones de la correcta exportación de excedentes a la red. El proceso se apoya en el uso de software especializado de simulación, como PVsyst y FusionSolar, complementado con dispositivos de medición eléctrica que permiten contrastar el comportamiento real del sistema con los resultados obtenidos en las simulaciones, garantizando así una validación técnica precisa de su rendimiento.

Figura 25. Software Pvsyst.



Nota: PVsyst es un software especializado en el diseño, simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos Fuente: pvsyst.com

Figura 26. Software FusionSolar.



Nota: FusionSolar es un software especializado en el diseño, simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

3.7 Metodología de desarrollo

El desarrollo del sistema fotovoltaico se estructuró en fases secuenciales que permitieron una implementación ordenada, segura y conforme a la normativa vigente. Se inició con el diseño técnico del sistema, considerando la capacidad instalada, orientación de los paneles y compatibilidad con el inversor híbrido Huawei. Luego, con la instalación física de los elementos, que incluyen los 27 paneles Longi Solar y las baterías Huawei LUNA2000, dando la adecuada conexión en serie-paralelo y la ayuda del RETIE.

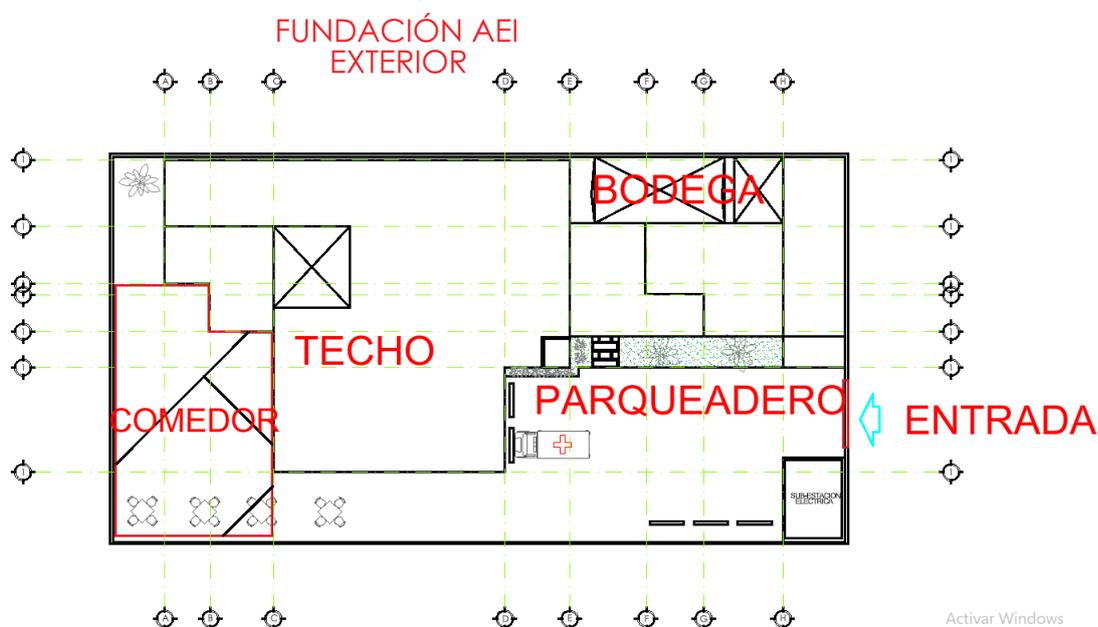
Durante la etapa de integración con la red eléctrica, se llevó a cabo la instalación del medidor bidireccional, el ajuste del inversor para la exportación de excedentes y la petición de interconexión con CNEL, empleando instrumentos como el sensor DDSU666-H y el programa FusionSolar. Finalmente, se realizó la simulación y validación del sistema mediante pruebas de generación, respaldo con baterías y verificación de exportación, empleando software especializado y equipos de medición eléctrica para garantizar el rendimiento y la seguridad operativa del sistema.

CAPITULO 4: DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

4.1 Características geográficas.

Por medio del programa AutoCAD se muestra un plano general de la fundación cuyas medidas son 31.44 metros de ancho y 59.08 metros de largo con un total de 187.57 m², la finalidad de la realización de este plano es mostrar cuales son las áreas que no están en funcionamiento para no ser tomadas en cuenta en la toma de datos.

Figura 27. Datos arquitectónicos de la Fundación AEI.



Nota: Se usó el programa AutoCAD para el diseño del plano. Fuente: Autor

4.2 Cálculo de la potencia instalada.

En el reconocimiento que se realizó en las áreas se tomaron datos de todos los equipos en funcionamiento cada punto de luz cada carga se hizo un recorrido completo de todo el establecimiento y con estos datos realice una tabla de las partes del hospital que necesitan una fuente constante de energía eléctrica, como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Potencia total usada en las áreas con mayor flujo de energía eléctrica.

Descripción	Número de puntos	Carga Instalada (w)
Sala 1	6	900
Sala 2	6	900
Sala 3	6	900
Sala 4	6	900
Hospitalización	2	100
Hospitalización 2	6	900
Iglesia	3	225
Curaciones	1	25
Oficinas administrativas	3	225
Total	39	5075 w

Nota: esta tabla es una referencia para la potencia requerida para el sistema Fuente: Autor 2025

4.3 Equipos críticos que requieren respaldo.

En la fundación AEI se requiere el uso constante de 3 equipos los cuales son los sofás eléctricos, camas de hospital eléctrica y las bombas de infusión estos equipos son fundamentales para la fundación ya que estos proporcionan comodidad tanto como para el paciente y los enfermeros, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Equipos médicos.

Equipos médicos	Voltaje de operación	Cantidad	Potencia
Sofá eléctrico reclinable	110 V	30	100 W
Cama eléctrica hospitalaria	110 V	10	200 W
Bomba de infusión médica	110 V	60	30 W

Nota: estos son los equipos médicos que requieren suministro constante de energía eléctrica Fuente: Autor 2025

4.3.1 Horarios de operación y demanda pico.

Los equipos médicos usados en estas áreas no representan un consumo notable, pero se toma en cuenta que dichos equipos son los que más se usan aparte de la iluminación, como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Tiempo de uso de los equipos médicos.

Equipos médicos	Potencia	Horas de uso	Consumo
Sofá eléctrico reclinable	100 W	1	100 Wh
Cama eléctrica hospitalaria	200 W	3	600 Wh
Luces	20 W	24	480 Wh
Bomba de infusión médica	30 W	8	240 Wh

Nota: En esta tabla se detalla el consumo energético de los equipos con mayor uso en la fundación Fuente: Autor 2025

4.3.2 Sobredimensionamiento del sistema

El sobredimensionamiento en un sistema solar se realiza para asegurar que la instalación genere suficiente energía incluso en condiciones no ideales, como días nublados, acumulación de polvo en los paneles, altas temperaturas o pérdidas por conversión y cableado; además, permite compensar la degradación natural de los paneles con el tiempo, cubrir aumentos futuros en el consumo eléctrico (como la incorporación de nuevos equipos en un hospital) y garantizar que las baterías, si las hay, se carguen completamente para ofrecer respaldo confiable durante cortes de energía

para este sistema se incrementará en un 30% la potencia ya que es un centro médico en expansión, como se muestra en la ecuación 1:

$$\text{Sobredimensionamiento} = \text{Potencia requerida} * 30\% \quad (1)$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = 5075w * 1.3\% = 6,5975 \text{ kW}$$

4.4 Cálculo de la demanda energética diaria.

En la fundación se realizó un cálculo para determinar carga instalada en todas las a las que se le suministrara el respaldo energético y por medio de esta se obtuvo la demanda energética de dichas áreas, como se muestra en la ecuación 2:

$$\text{Consumo Energetico} \quad (2)$$

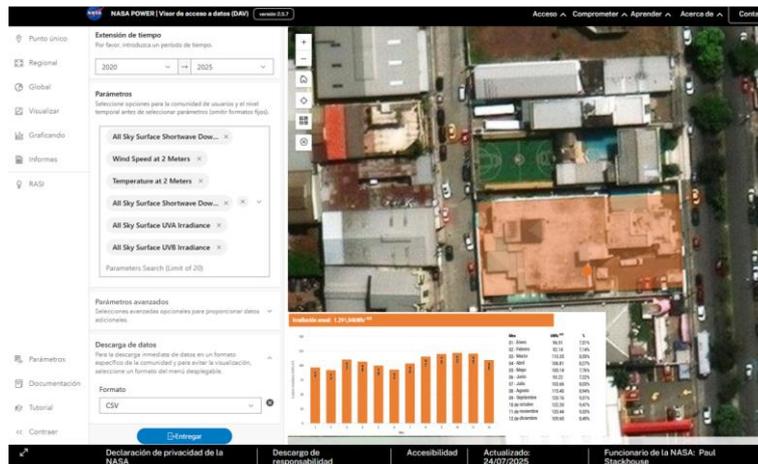
$$= \text{Potencia total} * \text{horas de trabajo}$$

$$C. E = 6,5975 \text{ kW} * 8h$$

$$C. E = 52,78 \text{ kWh}$$

Por medio de esta fórmula determinamos el consumo energético diario de la fundación AEI, el mismo es de 52,78 KWh, con este dato procedemos con los parámetros para la aplicación de paneles.

Figura 28, Estudio de la radiación solar.



Nota: Datos sobre la radiación solar captada en la fundación AEI Fuente: Nasa Power 2025

Figura 29. Irradiación solar anual.



Nota: en esta grafica se aprecia la cantidad de radiación sola se logra captar

Fuente: Nasa Power

Con estos datos determinamos que tenemos una hora pico de sol promedio de 4 horas diarias, con este dato deducimos que si se pueden implementar un sistema de paneles solares para la fundación AEI

4.5 Selección del panel solar y la cantidad.

Después de un estudio del mercado sobre todos los paneles solares del mercado considero que la marca Long Solar es la mejor marca de paneles solares en relación de precio y beneficios, ya que cuenta con las siguientes ventajas:

- ❖ Alta eficiencia (23%): ideal para espacios reducidos.
- ❖ Tecnología HPBC: mejora la captación solar y reduce pérdidas.
- ❖ Diseño elegante: ideal para techos visibles.
- ❖ Excelente rendimiento en climas cálidos: gracias a su bajo coeficiente térmico.
- ❖ Durabilidad y garantía líder: 25 años de respaldo.

4.5.1 Especificaciones técnicas de panel

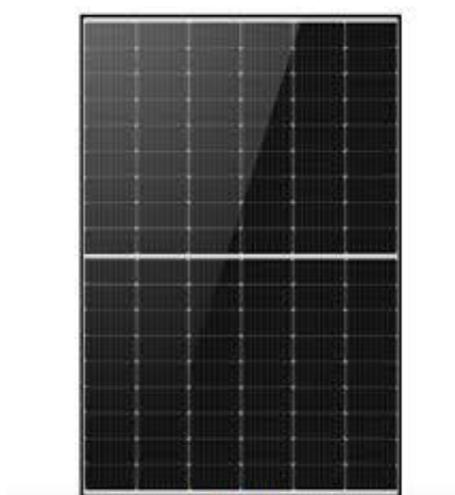
Para mi diseño del sistema fotovoltaico escogí esta marca y modelo de panel solar Longi Solar LRS-66HIH-500M G2, sus especificaciones se muestran en la siguiente tabla 4:

Tabla 4. Datos técnicos del panel solar Longi Solar LRS-66HIH-500M G2

Característica	Valor
Nombre	LONGi LR5/LRS-66HIH-500M G2
Potencia nominal (Pmax)	500 W
Tipo de célula	Monocristalina HPBC tipo p
Número de células	120 (60 células de medio corte)
Eficiencia del módulo	23.0%
Dimensiones	199.0 x 113.4 x 3.0 cm
Peso	24.8 kg
Corriente de cortocircuito (Isc)	14.86 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	39.35 V
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0.28%/°C
Conectores	MC4-EVO2
Longitud de cable	1200 mm
Garantía del producto	25 años
Garantía de rendimiento	89.4% a los 25 años

Nota: La tabla fue extraída de la página oficial Fuente: Longi Solar 2024

Figura 30. Panel Solar Longi Solar LRS-66HH-500M G2



Nota: La figura es del panel seleccionado Fuente: Longi Solar 2024

4.5.2 Criterios de orientación e inclinación de los paneles.

Mediante esta orientación se puede Maximizar la captación solar durante todo el año. La orientación óptima generalmente es hacia el sur geográfico en el hemisferio norte y hacia el norte geográfico en el hemisferio sur, el ángulo de inclinación debe ajustarse de acuerdo con la latitud del lugar, permitiendo un mejor aprovechamiento de la radiación solar anual., como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Orientación de los paneles

Parámetro	Valor
Inclinación	12°
Azimut	0° (mirando al norte)
Tipo de montaje	Fijo o ajustable manualmente

Nota: Con esta información se colocarán los paneles solares para una mayor eficiencia Fuente Longi Solar

4.5.3 Cantidad de paneles solares

Para este paso necesitamos saber el consumo energético diario de la fundación AEI, el mismo es de 40,60Kwh gracias a este dato procedemos al cálculo de la potencia máxima requerida por el sistema de paneles solares durante su hora pico, como se muestra en la ecuación 3:

$$P.F \text{ maxima Req} = \frac{\text{consumo energetico diario}}{\text{hora de sol pico}} \quad (3)$$

$$\text{Potencia fotovoltaica maxima Req} = \frac{52780wh}{4h}$$

$$\text{Potencia fotovoltaica maxima Req} = 13,195 \text{ kW}$$

Ahora que ya conocemos la Potencia fotovoltaica máxima requerida procedemos a hacer el cálculo para saber la cantidad de paneles solares que necesitamos, como se muestra en la ecuación 4:

$$\text{Numero de Paneles} = \frac{\text{Potencia conjunta fotovoltaica}}{\text{Potencia por unidad}} \quad (4)$$

$$\text{Numero de Paneles} = \frac{13195w}{500} = 26.39 \approx 27 \text{ Paneles}$$

4.5.4 Protección para el inversor

Para nuestro sistema fotovoltaico se necesita un inversor, pero antes de hablar de sus especificaciones primero haremos el cálculo de la corriente que pasaran por el sistema de paneles que están conectados en serie, pero divididos en 2 secciones de 13 paneles y uno de 14 conectados los 2 sistemas en paralelo con estos datos procedemos con el cálculo como se muestra en la fórmula 5 y en la figura 31 se muestra el breaker solar para el inversor:

$$\text{corriente de cada circuito en serie} = 14,86 \text{ A} \quad (5)$$

$$C. \text{ de los circuitos en paralelo} = 14.86 \text{ A} * 2 = 29.72 \text{ A}$$

Según la norma NEC (National Electrical Code), se recomienda dimensionar el breaker con un 25% de margen sobre la corriente máxima, como se muestra en la ecuación 6:

$$\text{Capacidad del breker} : 14.86 \times 1.25 = 18.57 \text{ A} \quad (6)$$

Figura 31. Breaker Solar DC 2X20A 550V, para la corriente Dc.



Nota: el breaker es la protección contra sobrecarga de los paneles solares o posibles fallos.
Fuente: AutoSolar 2025

Ahora teniendo este dato se utilizará un disyuntor de 20 Amp Dc de 2 polos para proteger a inversor de posibles sobrecargas y al personal que necesite manipularlo.

4.6 Inversor para el diseño fotovoltaico

El Huawei SUN2000-15KTL-MB0 es un inversor híbrido trifásico de 15 kW, para grupos solares conectados a red y modo de respaldo. Ofrece alta defensa, velocidad segura y cuenta con dos MPPTs para mejorar el poder solar. Es compatible con baterías Huawei LUNA2000 y se monitorea mediante la plataforma FusionSolar. Su diseño lo hace bueno para exteriores fuertes, especificaciones tabla 6 y en la figura 32 se muestra el inversor.

Tabla 6. Especificación del Inversor

Característica	Especificación
Inversor	Huawei SUN2000-15KTL-MB0
Tipo	híbrido trifásico
Potencia nominal (AC)	15,000 W
Potencia aparente máxima	16,500 VA
Eficiencia máxima	97.9%
Voltaje de entrada DC máximo	1,100 V
Rango MPPT	200 V – 1,000 V
Número de MPPTs	2 independientes
Compatibilidad con baterías	Huawei LUNA2000
Voltaje de salida AC	220/380 V, 50/60 Hz
Protección ambiental	IP66 (uso exterior)
Monitoreo	Plataforma Huawei FusionSolar
Dimensiones	54.6 × 46.0 × 22.8 cm
Peso	21 kg

Nota: por medio de esta tabla se detalla la información del inversor Fuente: Huawei 2025

Figura 32. Inversor Híbrido para el diseño que se usara.



Nota: El inversor híbrido convierte la energía solar en electricidad utilizable y gestiona tanto el uso directo como el almacenamiento en baterías. Fuente: Huawei.com 2025

4.6.1 Protección para la Corriente Alterna

Para proteger la salida del inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2, el interruptor termomagnético trifásico de 40 A, es contra cortos esperados en el sistema. Esto es para el inversor, el voltaje de salida 380 VAC y la corriente que puede entregar, que ronda los 23 A por fase. El interruptor ayuda contra sobrecargas y cortos, evitando daños al inversor y a los equipos conectados. Además, cumple con las normas locales y permite una desconexión segura en emergencias, en la figura 33 se muestra el Interruptor termomagnético:

Figura 33. Interruptor trifásico de 40 A para la corriente alterna.



Nota: el interruptor ayuda a proteger al inversor ante corrientes elevadas o fallas eléctricas. Fuente: Schneider.com 2025

4.6.2 Baterías para el sistema backup: calculo y selección

Estas baterías son de Huawei LUNA2000-10kWh son una excelente opción para sistemas solares híbridos por su diseño, eficiencia y necesidad para inversores Huawei SUN2000. da 10 kWh de capacidad, idea para respaldar el consumo diario en hogares o negocios. Su tecnología de litio-ferro fosfato garantiza seguridad y larga vida útil. Además, permiten el control inteligente y expansión futura hasta 30 kWh, como se muestra en sus especificaciones en la tabla 7:

Tabla 7. Características de las baterías usadas para el sistema backup.

Característica	Especificación
Modelo	Huawei LUNA2000-10kWh
Capacidad útil	10 kWh (2 módulos de 5 kWh)
Tipo de batería	Litio-ferro fosfato
Voltaje nominal	360 V – 400 V
Voltaje de operación	600 V – 980 V
Compatibilidad	Inversores Huawei SUN2000
Expansión máxima	Hasta 30 kWh (6 módulos)
Protección ambiental	IP66
Ciclos de vida	>6,000 ciclos
Monitoreo	Huawei FusionSolar App

Nota: ficha técnica de las baterías para el sistema backup. Fuente: Huawei 2025

Figura 34. Banco de Baterías para el sistema backup.



Nota: Las baterías de un inversor híbrido almacenan la energía solar sobrante para garantizar electricidad disponible durante la noche o en cortes de red. Fuente: Huawei.com 2025

4.6.3 Cálculo para el número de baterías necesarias para el sistema

El cálculo del número de baterías necesarias para el sistema se basa en el consumo energético de la fundación dividido en horas de uso total y después se multiplica para las horas que necesito el respaldo, como se muestra en la ecuación 7:

$$\text{Numero de Baterias} = \frac{\text{Potencia del consumo al dia}}{24 H} \quad (7)$$

$$\text{Numero de Baterias} = \frac{52,780 Wh}{24h} = 2199 W * 4 =$$

$$\text{Numero de Baterias} = 2199 W * 4horas = 8,796 kWh$$

El sistema necesita las baterías Huawei LUNA2000-10kWh porque tu consumo promedio diario es de 52,78 kWh y deseas respaldo por 6 horas en caso de corte de red, lo que equivale a unos 11.5 kWh de energía necesaria; con dos módulos, obtienes hasta 18 kWh útiles, lo que cubre tu necesidad con margen de seguridad. Además, las baterías son compatibles con el inversor de 15 kW, ofrece eficiencia, seguridad y la suma más paneles, lo que la convierte en la solución para el diseño del sistema.

4.6.4 Protección para las baterías.

La protección ABB se usa para proteger las baterías. El breaker soporta hasta 600 VDC y 63 A, lo que lo hace bueno para la corriente y voltaje del sistema. La curva C ayuda con una respuesta segura ante sobrecargas sin disparos, protegiendo tanto el inversor como las baterías en caso de fallos eléctricos, como se muestra en la figura 35:

Figura 35. Disyuntor magnetotérmico ABB 2CCS862001R0634.



Nota: tiene la función esencial de proteger instalaciones eléctricas frente a sobrecargas y cortocircuitos, interrumpiendo automáticamente el circuito cuando se detectan condiciones peligrosas
Fuente: Electgo.com 2025

4.6.5 Integración del Smart Power Sensor

El Smart Power Sensor es necesario porque permite que el sistema solar sepa cuánta energía se está consumiendo y cuánta se está produciendo. Gracias a eso, el inversor puede ajustar la generación para evitar que se inyecte energía a la red si no está permitido, o para priorizar el uso de energía solar en lugar de la red. También ayuda a controlar el uso de las baterías, asegurando que se carguen y descarguen de forma eficiente. Sin este sensor, el sistema no tendría forma de medir ni gestionar correctamente el flujo de energía, como se muestra en la figura 36:

Figura 36. Smart Power Sensor



Nota: monitorea el flujo de energía exactamente en el punto de conexión a la red eléctrica. Fuente: Huawei.com 2025

4.6.6 Simulación de generación solar con el Programa PVSyst

Por medio del programa PVSyst se realiza una simulación del diseño propuesto y se demuestra por el mismo que se cumple con la demanda energética.

Figura 37. Simulación del Sistema fotovoltaico

Seleccione la orientación
Orientación: **Fijo, Incl. 12.0°, Azim. 0.0°**

Ayuda de pre-dimensionamiento
 Sin dimensionamiento Potencia planeada: kWp
 Redimens. o área disponible: m²

Seleccione el módulo FV
 Disponible ahora: Filtro: Todos los módulos F Núm. máximo de módulos: **143**
 Longi Solar 500 Wp 32V Si-mono LR5-66HPH-500M G2 Desde 2022 Manufacturer: 2022
 Usar optimizador
 Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) **33.1 V**
 Voc (-10°C) **50.0 V**

Seleccione el inversor
 Disponible ahora: Voltaje de salida 380 V Tri 50Hz 50 Hz
 Huawei Technologies 15 kW 160 - 950 V TL 50/60 Hz SUN2000-15KTL-M2-380V Desde 2022
 Núm. de entradas MPPT: Voltaje de funcionamiento: **160-950 V** Potencia del inversor utilizada **15.0 kWca**
 Reparto de PNom en el inversor Voltaje máximo de entrada: **1080 V** **inversor con 2 MPPT**
 Entradas MPPT independientes **No hay reparto de potencia entre MPPTs**

Diseñe el conjunto
Núm. de módulos y cadenas
 Mód. en serie: entre 5 y 21
 Núm. cadenas: entre 2 y 3
 Perdida sobrecarga: **0.0 %**
 Proporción Pnom: **0.93**
Núm. de módulos 28 **Área 66 m²**

Condiciones de operación
 Vmpp (60°C) 464 V
 Vmpp (20°C) 539 V
 Voc (-10°C) 700 V

La potencia del inversor está ligeramente sobredimensionada.
 Máx. en datos STC
 Irradia. plano **1000 W/m²**
 Imp (STC) 26.1 A Potencia de funcionamiento máx. **12.8 kW**
 Isc (STC) 27.8 A (en 1000 W/m² y 50°C)
 Isc (en STC) 27.8 A **Potencia nom. conjunto (STC) 14.0 kWp**

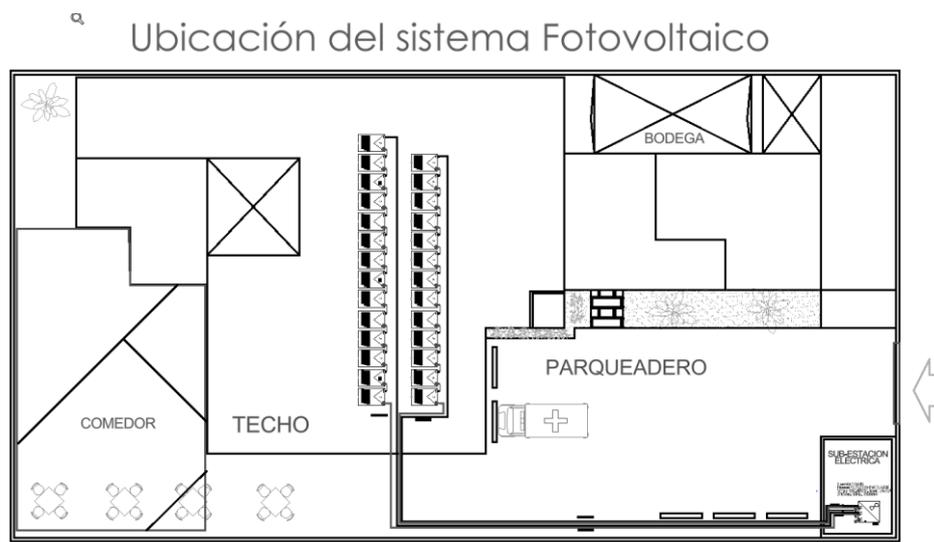
Nota: El dimensionamiento muestra un sistema fotovoltaico de 27 módulos de 500 W conectados a un inversor Huawei de 15 kW, con ligera sobredimensión de potencia. Fuente: PVSyst8, 2025

La figura 37 presenta el diseño de un sistema fotovoltaico realizado en PVsyst. Los paneles se instalaron con una inclinación de 6° y un azimut de 0° , es decir, mirando directamente hacia el norte. Se eligieron módulos Longi Solar de 500 W (modelo LRS-66HPH-500M G2) de tipo monocristalino, indicando sus principales valores eléctricos como el voltaje de operación (V_{mpp}) y el voltaje en circuito abierto (V_{oc}) en diferentes temperaturas. El inversor seleccionado es un Huawei de 15 kW (SUN2000-15KTL-M2), con salida trifásica de 380 V y dos entradas MPPT que ayudan a mejorar el rendimiento en distintas condiciones. El sistema está conformado por 28 módulos distribuidos en dos cadenas de 14, ocupando un área total de 66 m^2 . También se muestran los valores eléctricos del conjunto según el clima, y se señala que la potencia nominal instalada es de 14 kW.

4.7 Disposición y conexión de los paneles solares.

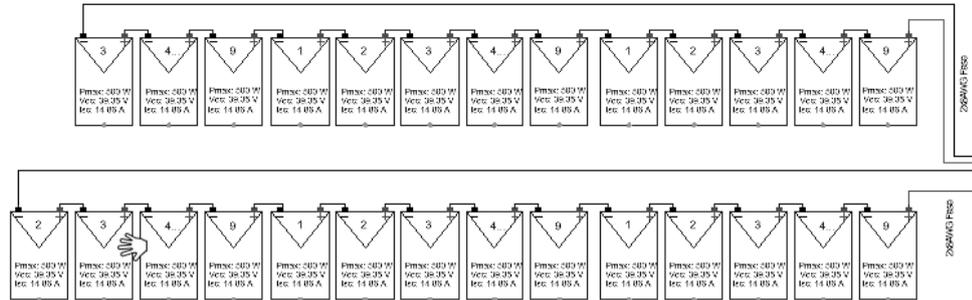
Para el diseño del sistema fotovoltaico está ubicado en el techo de la fundación AEI, se decidió utilizar la conexión de serie – paralelo para una mejor optimización del voltaje y la corriente ya que esta conexión tiene mayor flexibilidad con el diseño y hay un menor índice de pérdidas por sombras.

Figura 38. Ubicación de los paneles solares.



Nota: Los paneles solares se encuentran ubicados en el techo de la fundación Fuente: Autor

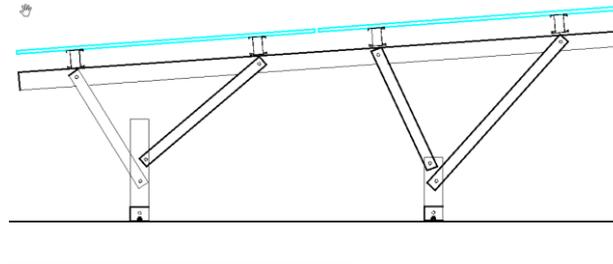
Figura 39. Conexión de los paneles solares



Nota: Los paneles solares conectados en serie y paralelo. Fuente: Autor 2025

Para la instalación de los paneles se usarán perfiles para paneles solares de fijación directa y la inclinación escogida es de 6 grados dirección norte como se muestra en la siguiente figura.

Figura 40. Inclinación y orientación de los paneles.

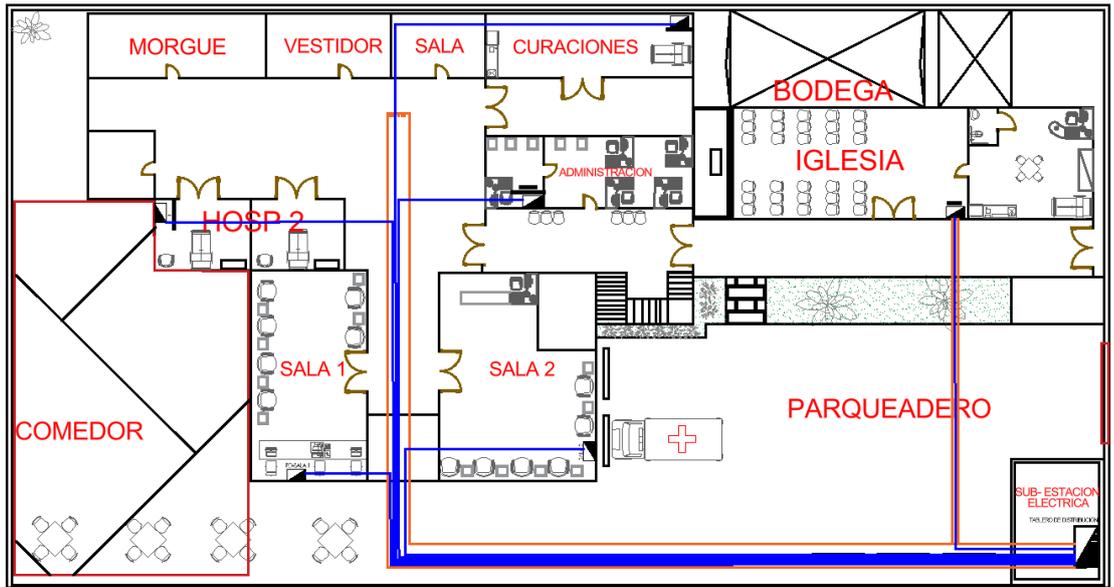


Fuente: Autor

4.8 Ubicación de los tableros de cada área.

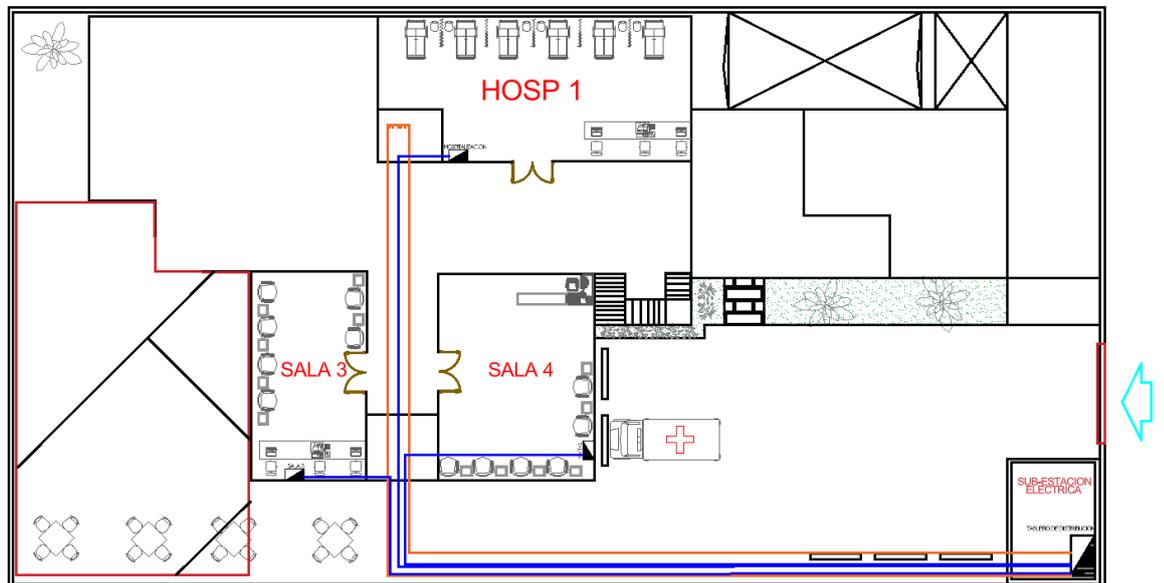
En la fundación AEI se cuenta con un total de 17 áreas que dependen de suministro eléctrico, pero entre estas áreas se encuentra 9 que requieren un suministro energético constante, en las siguientes figuras se detalla la ubicación de los paneles de distribución de cada área.

Figura 41. Fundación AEI Planta Baja.



Nota: ubicación de los paneles de distribución en la planta baja de la fundación AEI. Fuente: Autor 2025

Figura 42. Fundación AEI Planta alta

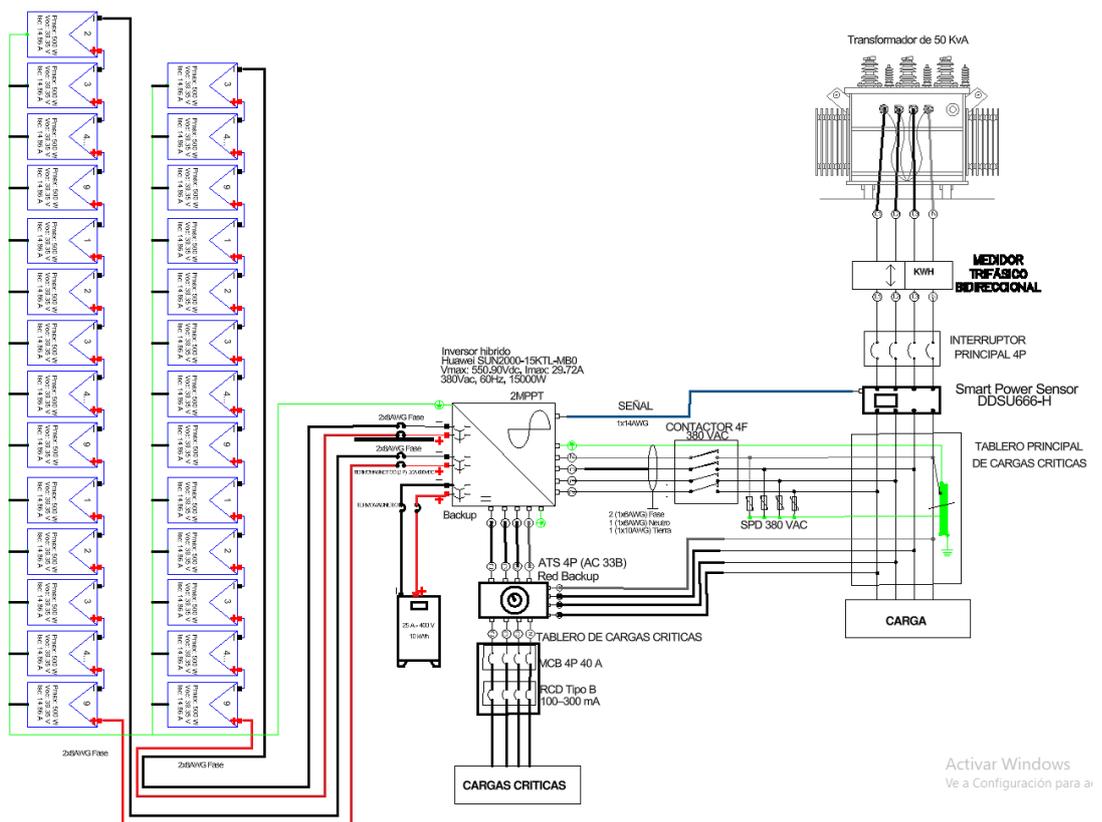


Nota: ubicación de los paneles en la planta alta de la fundación Fuente: Autor

4.9 Diseño propuesto del sistema fotovoltaico.

El diseño del sistema fotovoltaico está compuesto por 27 paneles solares Longi de 500 W, organizados en dos cadenas independientes: una de 14 paneles y otra de 13 paneles, ambas conectadas en serie. Estas dos cadenas se conectan en paralelo al llegar al inversor híbrido Huawei de doble MPPT, lo que permite optimizar tanto el voltaje como la corriente de entrada. Esta configuración asegura una entrega de energía eléctrica estable y eficiente, maximizando el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones de irradiación solar.

Figura 43. Diseño del sistema fotovoltaico en AutoCAD



Nota: El diagrama muestra un sistema fotovoltaico con inversor híbrido Huawei SUN2000-15KTL, respaldado con baterías, un Smart Power Sensor DDSU666-H y protecciones, que permite alimentar cargas críticas y conectar excedentes a la red mediante medidor bidireccional. Fuente: Autor

4.11 Sistema backup del inversor fotovoltaico

El sistema backup del inversor fotovoltaico funciona como una salida especial que alimenta únicamente a las cargas críticas. Cuando la red eléctrica pública se interrumpe, el inversor detecta la falla y conmuta en cuestión de segundos hacia su salida de respaldo, tomando energía de las baterías y, en caso de estar disponibles, de los módulos fotovoltaicos. Esta salida puede ser monofásica o trifásica dependiendo del modelo del inversor, y es la encargada de mantener en operación los equipos esenciales durante un apagón, como se aprecia en la figura 42.

4.12 Adición de un ATS al sistema de respaldo

En cuanto al ATS (Automatic Transfer Switch), este es un equipo cuya función es conmutar automáticamente la fuente de alimentación de un tablero de cargas entre dos orígenes distintos, por ejemplo, entre la red pública y un generador o un inversor. En los sistemas fotovoltaicos con inversores híbridos modernos, el ATS puede usarse para permitir que las cargas críticas se alimenten indistintamente de la red o de la salida de respaldo del inversor. Sin embargo, muchos equipos actuales ya incluyen un sistema interno de detección y conmutación rápida, por lo que en gran parte de las instalaciones el uso de un ATS adicional no resulta necesario, salvo en aplicaciones donde se desea tener una redundancia extra o cumplir con normativas muy específicas, por ese motivo se optó por un ATS 4P (AC 33B) ya que es el que encaja con el sistema backup que se está diseñando, como se muestra en la figura 45:

Figura 45. ATS Para el tablero de cargas críticas



Nota: conmutador automático de transferencia que permite cambiar de manera segura y automática la fuente de alimentación de una carga crítica, pasando de la red principal a una fuente de respaldo

Fuente: ASIKAI.COM

4.13 Protecciones para el tablero de cargas críticas

Para garantizar la seguridad y confiabilidad de la instalación, el tablero de cargas críticas debe contar con protecciones específicas que se ubican en la entrada de este. En primer lugar, se instala un dispositivo de protección contra sobretensiones tipo 2 (SPD), que protege al sistema frente a transitorios eléctricos ocasionados por descargas atmosféricas indirectas o maniobras en la red. Después del SPD se coloca un interruptor automático termomagnético general (MCB), que protege contra sobrecargas y cortocircuitos. Posteriormente, se instala un interruptor diferencial tipo B con sensibilidad de 30 mA, el cual es capaz de detectar corrientes residuales tanto de corriente alterna como de corriente continua, ofreciendo una protección avanzada frente a fugas que pueden provocar incendios eléctricos. Finalmente, la distribución hacia los distintos circuitos del tablero crítico puede realizarse mediante interruptores termomagnéticos individuales, y en los casos necesarios complementarse con diferenciales de 30 mA para protección directa de personas como se muestra en las figuras 46 y 47.

Figura 46.MCB 4P 40 A



Fuente: ATO.COM

Figura 47.Derecha: RCD Tipo B 4P.

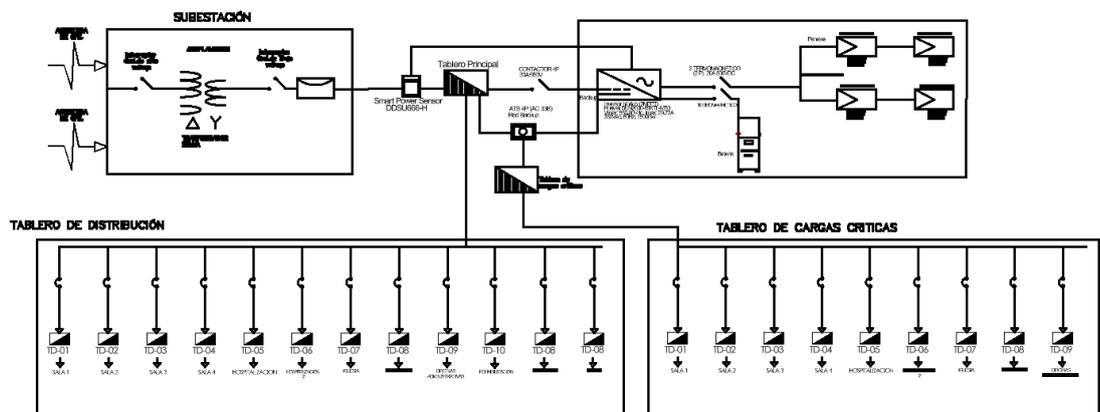


Fuente: Tongou.com

4.14 Diagrama Unifilar.

El diagrama unifilar representa la arquitectura eléctrica de un sistema que parte desde un transformador de 50 kVA, el cual alimenta un interruptor general de baja tensión y un acoplamiento. La energía pasa por un sensor inteligente de potencia DDSU666-H, que permite el monitoreo del consumo, y llega al tablero del transformador. Desde allí, mediante un contactor LF 250/330A, se dirige hacia el inversor, que está conectado tanto a los paneles solares como a las baterías de respaldo, permitiendo la conversión y gestión de energía en caso de corte de red. Finalmente, la energía se distribuye a través del tablero de distribución hacia distintas áreas críticas del sistema, como se muestra en la figura 48:

Figura 48.Diagrama Unifilar.

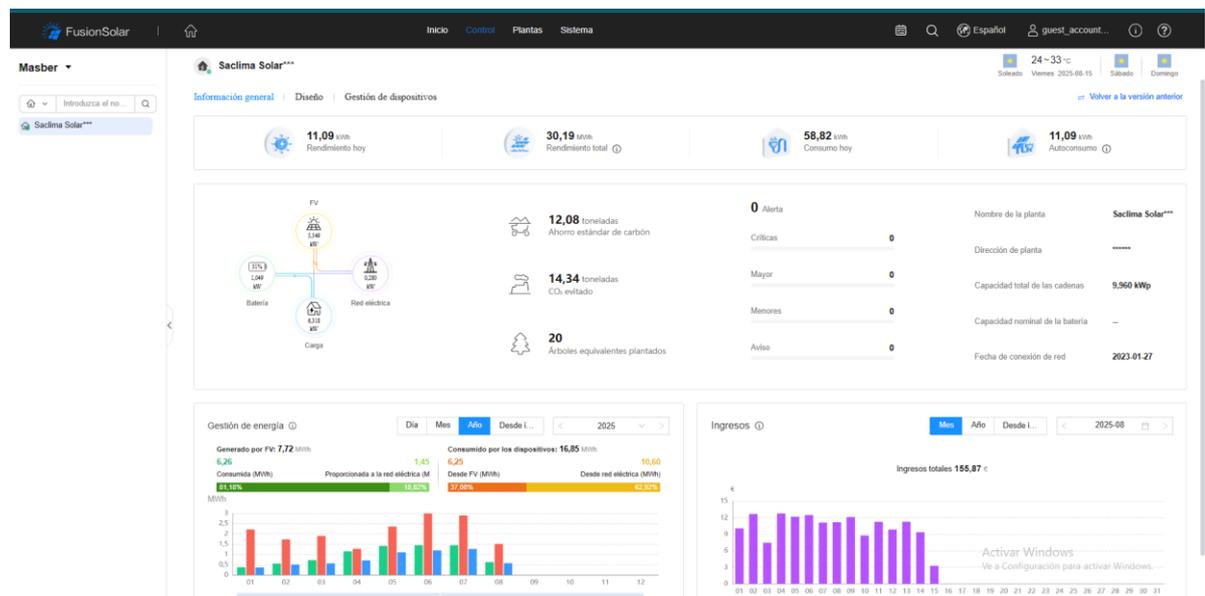


Fuente: Autor

4.15 Demostración de los resultados por medio de simulación en el software FusionSolar.

Ahora que el diseño del sistema fotovoltaico está terminado se procede con la demostración de los resultado demostrando así que se cumple con los objetivos específicos del proyecto, por medio de los datos recolectados durante la fase de recolección de datos se hizo el cálculo del consumo diario de las áreas que requieren constante suministro eléctrico ya que en estas áreas se compromete el bienestar del paciente , el consumo eléctrico diario de la Fundación AEI es de 52,78 kWh, ahora por medio del software FusionSolar se observa cual es la producción en las horas totales de trabajo del sistema fotovoltaico como se puede apreciar en la figura 49:

Figura 49. Software FusionSolar.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com 2025

4.16 Control por medio de la aplicación Fusionsolar.

Por medio del software fusionfolar se visualizas que al medio día el sistema fotovoltaico está produciendo 11,3kwh ya que se las condiciones climatológicas no son muy optimas ese día , por otro lado también muestra el consumo de la Fundación AEI, el programa registra la potencia activa del tablero la cual en ese momento es de 9,8kwh lo que significa que todos los equipos médicos están siendo utilizados y por ultimo está el rendimiento total el cual es

la energía total producida del sistema desde que se incorporó en la instalación, como se muestra en la figura 50:

Figura 50. Parametros generales.

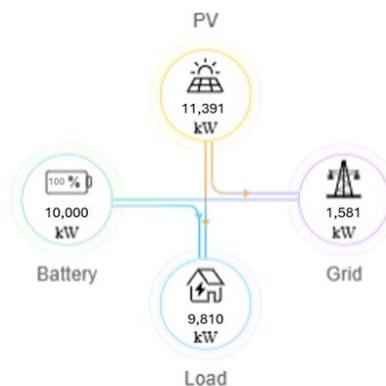


Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

4.17 Esquema simple del sistema fotovoltaico híbrido de la fundación AEI

En el software se puede apreciar un esquema del flujo energético del sistema que está siendo monitoreado por un Smart Power sensor el cual le envía los datos a la nube cabe recalcar que ese es el consumo que simula desde las 7:45 am hasta las 11:00 am, que se comienza a hacer uso de los equipos médicos, el software refleja en la aplicación la hora del día cuando el sistema fotovoltaico está cerca de su máxima potencia y se puede apreciar que está produciendo 11.3 kWh el cual se distribuye en 3 partes de las cuales solo 2 están siendo abastecidas, la cual es el grid (red eléctrica publica) y el panel de distribución principal del sistema fotovoltaico el cual distribuye el suministro a todas las cargas y también se encuentran las baterías, estas no necesitan de ningún tipo de suministro y quedan para uso en caso de corte, como se muestra en la siguiente figura 51.

Figura 51. diagrama simple del sistema.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

4.18 Control del sistema por medio del software FusionSolar.

En el día, desde 7:40 AM, el sistema ha dado un total de 22,09 kWh de energía. De ese total, 16,01 kWh es por los aparatos domésticos, lo que muestra buen control, se dieron 3,83 kWh a la red pública como sobrante, lo que podría suponer un ahorro extra si el sistema se encuentra vinculado a un sistema de compensación, se usaron 16,87 kWh del sistema, mientras que 0,12 kWh se usaron de la red eléctrica. Esto hace que el sistema opera de forma eficaz y satisface casi todo el consumo diario, que ascendió a 18,26 kWh. A partir de esto, se evidencia que el sistema satisface los criterios para ser un sistema de backup energético para la fundación AEI, tal como se ilustra en la figura 52 y 53:

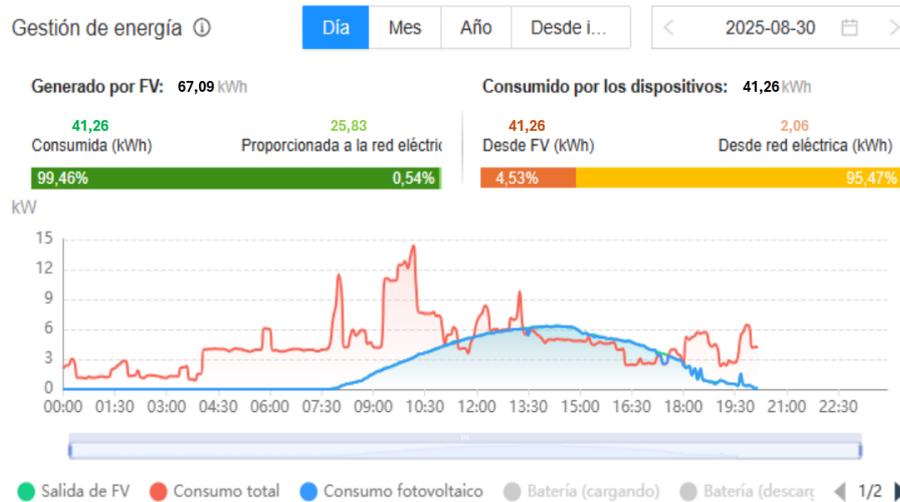
Figura 52. Gestión energética del sistema fotovoltaico al inicio del día.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com 2025

Ese día fue un registro el sistema generó 22,09 kWh, de los que $\approx 18,26$ kWh se usaron en sitio y 3,83 kWh se enviaron a la red; la importación desde la red fue mínima (0,12 kWh), por lo que el FV cubrió prácticamente todo el consumo medido en esa ventana. El valor de 22 kWh luce bajo frente al potencial de tu campo (13,5 kWp) porque corresponde a un tramo del día y a condiciones no óptimas; en un día completo y despejado deberías rondar $\sim 50\text{--}65$ kWh

Figura 53. Gestión energética del sistema fotovoltaico de todo el día.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com 2025

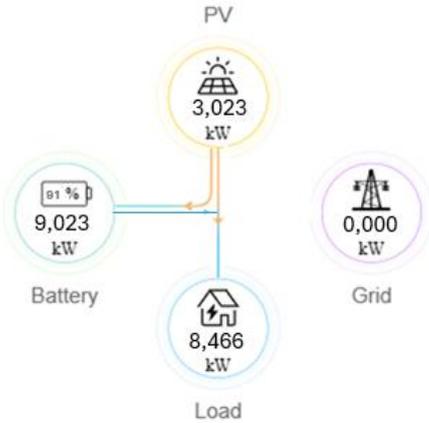
En la figura 53 se muestra que el sistema generó 67,09 kWh; de ellos, 41,26 kWh se usaron directamente en la Fundación y 25,83 kWh se inyectaron a la red (autoconsumo \approx 61,5%). El consumo total del sitio fue \approx 43,32 kWh, de los cuales solo 2,06 kWh vinieron de la red, así que la autosuficiencia fue de \sim 95% y el balance neto del día terminó en exportador (\sim 23,77 kWh más enviados que recibidos). La curva muestra que la fotovoltaica (azul) alcanzó alrededor de 7–8 kW al mediodía y cubrió casi todo el consumo, mientras que la demanda (rojo) tuvo picos de 10–13 kW en mañana/tarde.

4.19 Funcionamiento del sistema fotovoltaico en cortes.

El sistema fotovoltaico híbrido sugerido incluye almacenamiento de energía a través de baterías. En caso de un corte en el abastecimiento de la red pública, el Smart Power Sensor identifica la disminución de la tensión y transmite de inmediato la señal dada al inversor híbrido. Cuando el inversor recibe esa señal, automáticamente cambia al modo isla (off-grid), asegurando así la continuidad del suministro de energía. En este escenario, el sistema de almacenamiento se pone en marcha y las baterías se encargan de proporcionar energía a las cargas esenciales, mientras que los módulos

fotovoltaicos siguen dando energía disponible para maximizar el aprovechamiento de la producción solar, como se muestra en la figura 54:

Figura 54. Esquema simple del sistema modo off grid.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

4.20 Sistema de alarmas

El software detecta fallos en el sistema fotovoltaico y envía alarmas a la plataforma estas alarmas se pueden visualizar en la pantalla principal del sistema y también puedes solicitar un informe más detallado este sistema también monitorea cada panel solar constantemente, como se muestra en la figura 54 y 55:

Figura 55. Cuadro de alertas

0 Alerta	
Criticas	0
Mayor	0
Menores	0
Aviso	0

Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

Figura 56. Control de los paneles.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

4.21 Control y registro energético mensual y anual de la Fundación AEI

En agosto de 2025, el sistema solar generó 620.72 kWh. De esa cantidad, el 91.95% (570.77 kWh) se utilizó y el 8.05% (49.95 kWh) se entregó a la red pública.

El consumo de los equipos fue de 1.51 MWh, de los cuales el 37.78% (569.42 kWh) se cubrió con energía solar y el 62.22% (937.59 kWh) con electricidad de la red. Esto muestra que, el sistema tiene un buen nivel de autoconsumo, pero depende en gran medida del suministro externo para cubrir toda la demanda, como se muestra en la figura 57:

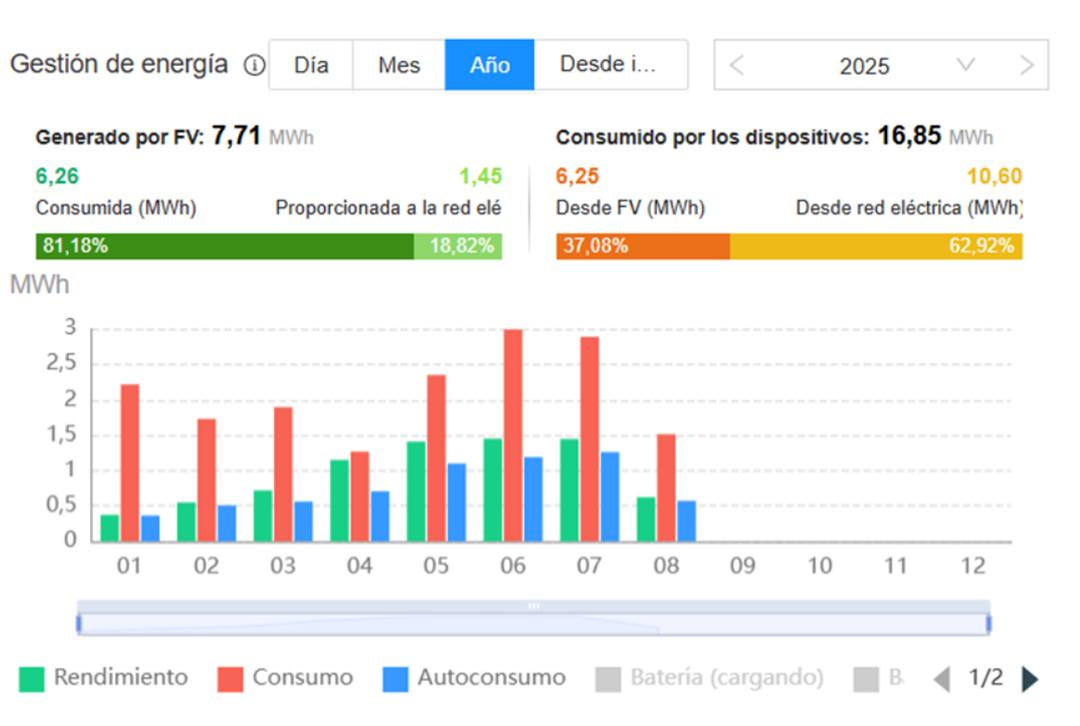
Figura 57. Gestión Energética mensual.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

Como se muestra en la figura 57 durante el periodo mostrado en la imagen, el sistema fotovoltaico generó un total de 7.71 MWh, de los cuales 6.26 MWh fueron consumidos directamente en el sitio, representando el 81.18% del total generado, mientras que 1.45 MWh fueron inyectados a la red eléctrica como excedente, equivalente al 18.82%. El consumo total de energía por los dispositivos fue de 16.85 MWh, de los cuales 6.25 MWh provinieron de la energía solar (37.08%) y 10.60 MWh fueron tomados de la red eléctrica (62.92%), lo que indica una dependencia significativa de la red para cubrir la demanda energética total. Como se muestra en la figura 58:

Figura 58. Gestión anual.



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com 2025

4.22 Medición del Factor de Potencia en el Sistema

El factor de potencia se determina comparando la potencia activa (P) con la potencia aparente (S), siguiendo la relación:

$$\text{Factor de Potencia} : \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} = \cos(\varphi) \quad (8)$$

Donde (φ) corresponde al ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

En el sistema fotovoltaico creado para la Fundación AEI, el inversor Huawei SUN2000 registra todos los días la potencia activa, la potencia reactiva y el coeficiente de potencia, datos que se pueden observar a través de la plataforma FusionSolar. Además, se puede medir utilizando herramientas hechas, como analizadores de redes trifásicos, que registran las formas de onda de corriente y voltaje para determinar la diferencia entre ambas magnitudes.

Con las mediciones de potencia activa (P) y reactiva (Q) dadas por el inversor, se da la potencia aparente (S) y, a partir de esta, el coeficiente de potencia. En esta situación, los resultados presentan un valor próximo a la unidad, lo que sugiere que la energía producida como energía útil, sin un flujo fuerte de potencia reactiva dentro del hospital

4.23 Datos del sistema en tiempo real

El gráfico enseña un resumen anual energética del sistema fotovoltaico para 2025. Se señala que la producción total de energía solar alcanzó los 7.71 MWh, de los cuales 6.26 MWh se utilizaron directamente en el lugar (81.18%) y 1.45 MWh se suma a la red eléctrica (18.82%). Los dispositivos suman un total de 16.85 MWh de energía, de los cuales 6.25 MWh se originaron de la energía solar (37.08%) y 10.60 MWh se extrajeron de la red eléctrica (62.92%). El gráfico mensual de barras presenta en diferentes colores el rendimiento, el consumo, el autoconsumo y la carga de batería, lo que permite observar el comportamiento del sistema mes a mes, como se muestra en la figura 59:

Figura 59. Datos del dispositivo en tiempo real



Fuente: eu5.fusionsolar.huawei.com

4.24 El factor de potencia del sistema fotovoltaico

El factor de potencia es un indicador que mide la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica, representando la relación entre la potencia activa (la que realmente realiza un trabajo útil, como mover un motor o encender una lámpara) y la potencia aparente (la combinación de la potencia activa y la reactiva). Su valor varía entre 0 y 1, siendo 1 el estado ideal, en el que toda la energía suministrada se aprovecha en forma de trabajo útil sin generar pérdidas por corrientes reactivas. Cuando el factor de potencia es bajo, significa que hay una mayor proporción de potencia reactiva circulando en el sistema, lo que provoca ineficiencias y sobrecargas en la red eléctrica. En el caso de los inversores fotovoltaicos, un factor de potencia cercano a 1 indica que prácticamente toda la energía generada por los paneles solares está siendo convertida y entregada a la red como energía activa, maximizando así el aprovechamiento del sistema, todo se expresa con la siguiente fórmula.

Datos:

Potencia activa (PA): 5,267kw

Potencia reactiva (Q): 0,006 Kvar

Potencia aparente (S): ¿?

Para hallar la potencia aparente requerimos de la siguiente formula

$$Potencia\ aparente = \sqrt{PA^2 + Q^2} \quad (9)$$

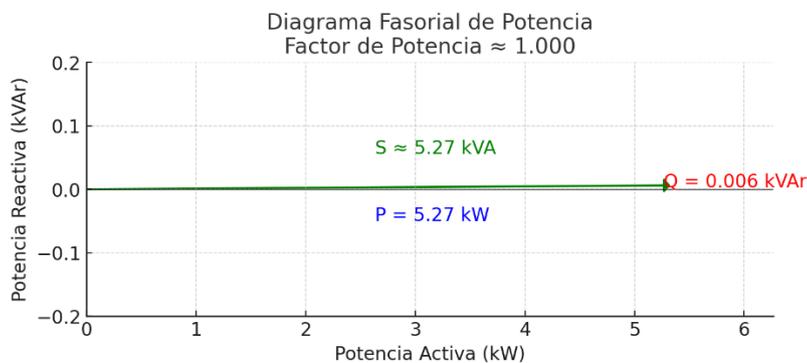
$$Potencia\ aparente = \sqrt{(12,210)^2 + (0,006)^2}$$

$$Potencia\ aparente = 12,210\ kVA$$

Ahora que tenemos todos los datos procedemos a calcular el factor de potencia con el siguiente calculo 10:

$$Factor\ de\ Potencia = \frac{12,210kw}{12,210\ kVA} \approx 1,000 \quad (10)$$

Figura 60. Diagrama Fasorial del factor de potencia del sistema fotovoltaico.



Fuente: Autor 2025

La figura 60 muestra un diagrama fasorial de potencia en el que la potencia activa (P = 5.27 kW) y la potencia aparente (S ≈ 5.27 kVA) prácticamente coinciden, mientras que la potencia reactiva (Q = 0.006 kVAr) es casi nula; esto refleja un factor de potencia cercano a 1, es decir, un sistema muy eficiente sin desfase significativo entre tensión y corriente.

4.25 Análisis de Costos Directos e Indirectos del Sistema FV

Tabla 8. Costos directos e indirectos del sistema fotovoltaico propuesto.

Modelo / Especificación	Cantidad	Precio de unidad	Costo total
LONGi LR5/LRS-66HIH-500M G2	27	180\$	4,860\$
Huawei SUN2000-15KTL-MB0	1	3100\$	3100\$
Huawei LUNA2000-10kWh (2x5kWh + BMS)	1	6062.16\$	6062.16\$
Huawei DDSU666-H (1P 100A)	1	149.22\$	149.22\$
Tipo DIN Rail 2x20A 800Vdc	1	46.54\$	46.54\$
ABB 2CCS862001R0634 S802S-C63	1	110.56\$	110.56\$
Square D / Schneider QO/QOB 40A 3P	1	156.65\$	156.65\$
ATS (AC-33B)	1	129.00\$	129.00\$
Cable #6	40 m	2,90\$	116\$
Cable #8	400 m	1,70\$	640\$
Pares M/F IP67	10	3.20\$	32\$
Estructura metálica por panel	27	106\$	2862\$
Costos indirectos	1	200\$	200\$
Mano de obra	1	7700\$	7700\$
Total	//	//	23,101\$

Nota: esta tabla se hizo con el objetivo de dar una guía sobre los costos totales del sistema fotovoltaico propuesto. Fuente: Autor

4.25.1 Período de Recuperación de la Inversión (Payback)

El payback es el tiempo para recuperar la inversión con los ahorros en la factura eléctrica, se obtiene dividiendo la inversión total entre el ahorro anual neto que resulta del autoconsumo.

El sistema produce en las horas de sol pico que son 5 horas se produce un total de 67,5 kWh tomando en cuenta que el sol está en su máxima producción sin intervenciones como cambios climáticos o sombras, ya que sabemos que el sol esta 12 horas activo tenemos otras 7 horas de producción las cuales se ven reflejadas en la siguiente ecuación:

$$\text{Horas de baja radiacion} = 13,5 \text{ kWh} * 0.3 * 7 \text{ h} = \quad (11)$$

$$\text{Horas de baja radiacion} = 28.35 \text{ kWh}$$

Por medios matemáticos se puede calcular la producción total del sistema fotovoltaico propuesto como se aprecia en la ecuación 11, pero esto es solo una estimación ya que el resultado es de 95.85 kWh al día y por medio del software FusionSolar se demostró que un día promedio se logra producir 67,09 kWh al día como se muestra en la figura 53.

Ahora con estos datos podemos calcular el período de Recuperación de la Inversión el cual se demuestra en la siguiente tabla:

- **Datos iniciales**

Costo total del sistema: \$23,101

Consumo diario: 47 kWh

Excedente diario: 20 kWh

Tarifa eléctrica: \$0.12 por kWh

Días por mes: 30

- **Cálculo del ahorro mensual por autoconsumo**

Este ahorro representa lo que no pagas a la empresa eléctrica porque usas tu propia energía.

$$\text{Ahorro mensual} = \text{Consumo diario} * \text{Dias por mes} * \text{tarifa} = \quad (12)$$

$$\text{Ahorro mensual} = 46kWh * 30 * 0.12 = \$165.60$$

- **Cálculo del ingreso mensual por excedentes**

Este ingreso representa lo que ganas al vender energía sobrante a la red.

$$\text{Ingreso mensual} = \text{Excedente diario} * \text{Dias por mes} * \text{tarifa} = \quad (13)$$

$$\text{Ingreso mensual} = 20kWh \times 30 \times 0.12 = \$72.00$$

- **Tiempo de recuperación de inversión**

Con todos los datos ya obtenidos se procede con la siguiente ecuación.

$$T. \text{ de recuperacion} = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Ingreso mensual} + \text{Ahorro mensual}} \quad (14)$$

$$\text{Tiempo de recuperacin} = \frac{\$23,101}{\$237.60} = 88.4 \text{ meses}$$

$$\text{Año} = \frac{88.4 \text{ meses}}{12 \text{ meses}} = 7.4 \text{ años}$$

Se calcula que con un promedio de 237\$ mensuales se puede llegar a recuperar la inversión del proyecto en 7 años con 4 meses.

Conclusión

Se determinó con precisión la demanda energética crítica de la Fundación AEI de SOLCA durante situaciones de emergencia, identificando los equipos médicos y servicios esenciales que requieren respaldo inmediato. Este análisis permitió establecer la potencia máxima y la energía diaria necesarias para dimensionar el sistema de forma adecuada.

El diseño del sistema híbrido brinda el suministro continuo a las cargas críticas mediante los paneles, banco de baterías, inversor y un interruptor automático. Esto reduce la dependencia de la red y del generador, optimizando el uso de energías renovables y asegurando la autonomía requerida.

El sistema asegura el funcionamiento de los equipos médicos críticos, dando la energía dentro de los parámetros hospitalarios. De este modo, se alcanzaron los objetivos planteados, dando solución total a la institución.

Un sistema híbrido para la Fundación AEI de SOLCA da una alternativa técnica y viable, que fortalece la atención hospitalaria, ayuda al servicio en emergencias y ayuda a la red energética de la institución.

La implementación de un sistema fotovoltaico en la fundación permitirá no solo reducir de manera significativa los costos de energía mediante el aprovechamiento de una fuente renovable, sino también disminuir el impacto ambiental derivado del uso de combustibles fósiles. Además, garantizará un suministro eléctrico confiable y continuo, lo que se traduce en una mejora en la calidad y eficiencia de la atención médica, asegurando el funcionamiento ininterrumpido de los equipos esenciales

Recomendación

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el banco de baterías, inversor, campo fotovoltaico y protecciones eléctricas, de modo que se garantice su correcta operación y se prolongue la vida útil de los equipos. Dicho plan debe incluir inspecciones periódicas, pruebas de capacidad de baterías y limpieza de los módulos solares.

Es aconsejable capacitar al personal técnico y de mantenimiento de la institución en la operación y gestión del sistema híbrido, especialmente en la respuesta ante emergencias y en el uso adecuado del interruptor de transferencia automática. La capacitación del personal es para asegurar la eficacia del sistema y disminuir los errores.

Se recomienda un sistema de seguimiento en tiempo real para el monitoreo de la producción de energía solar, el estado de las baterías, el uso de las cargas esenciales y el estado del inversor. Esta herramienta ayuda a la toma de decisiones, la prevención de errores y las acciones usando la información anotada.

Igualmente, es aconsejable evaluar de manera regular la demanda energética crítica, dado que los servicios de salud suelen adquirir nuevos aparatos con el transcurso del tiempo. Esto facilitará la organización de la expansión del sistema solar y del banco de baterías para atender un incremento en la carga crítica sin poner en riesgo la continuidad del abastecimiento.

Finalmente, se aconseja seguir promoviendo la utilización de energías renovables en la institución, debido a las ventajas medioambientales y a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles. Este tipo de iniciativas contribuyen a la sostenibilidad energética y fortalecen la imagen institucional como referente en la implementación de soluciones innovadoras y responsables con el medio ambiente.

Referencias

- ARCERNNR, A. d. 2021. *Regulación No. ARCERNNR-001/2021: Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica*. Quito, Ecuador: ARCERNNR.
- IRENA, I. R. 2022. *Scenarios for the Energy Transition: Experience and Good Practices in Latin America and the Caribbean*. Abu Dhabi: IRENA, Abu Dhabi.
- NFPA, N. F. 2023. *NEC (National Electrical Code)*. EE. UU: NFPA.org.
- OLADE, O. L. 2022. *Revista Enerlac – Energía Renovable en América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: OLADE.
- Cammisa, M. (2019). *Energía Geotérmica*. Buenos Aires, Argentina: FODECO.
- Colombia, M. d. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía de Colombia.
- D’Addario, M. (2019). *Manual de Energías Renovables: Fundamentos, tipos, usos, infografías y ejercicios*. Independently Published.
- Díaz Velilla, J. P. (2024). *Sistemas de energías renovables segunda edición*. . Ediciones Paraninfo, SA.
- Figueira, B. (2020). *Procesos de refinación de petróleo y análisis de sus derivados*. México: autoeditado.
- Gaete, A. (2016). *Importancia del Factor de Potencia*. Mexico: EVOLUX Lighting.
- Kuyper, J. C. (2020). *Fuentes de energía*. Mexico: Marcombo.
- Lamigueiro, O. P. (2025). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España: Publicación independiente bajo licencia Creative Commons.
- Lara, M. Á. (2020). *Energía de la Biomasa y Biocombustibles*. Granada, España: Editorial Universidad de Granada.

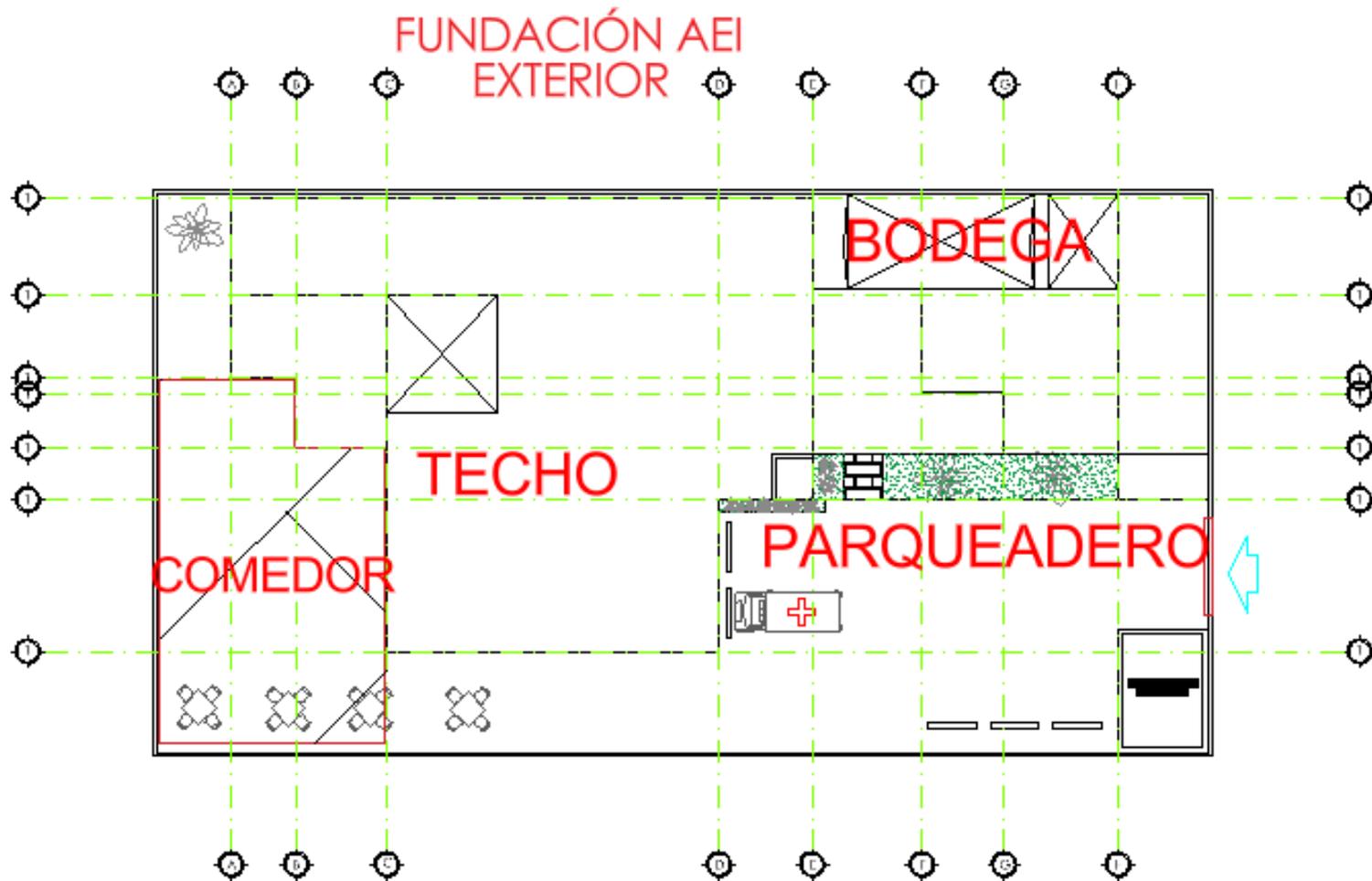
- López-Cózar, J. M. (2023). *Energía solar térmica*. Bogotá: Marcombo.
- Mendoza, J. C. (2023). *Energías renovables: Implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Bioparque La Reserva de Cota*. Bogotá: UNIMINUTO.
- Muñiz, a. M. (2020). *Energía solar fotovoltaica. 7ª edición*. Bureau Veritas Formación.
- Nuclear, Agencia de Energía. (2020). *La energía nuclear desde la perspectiva del desarrollo sostenible*. París, Francia: Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA).
- Osorio, J. F. (2016). *Energía hidroeléctrica: Serie Energías Renovables*. Zaragoza, España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Palacio, M. M. (2022). *Ingeniería de Gas Natural*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pareja, M. P. (2025). *fundamentos de un generador fotovoltaico*. MiPanelSolar.
- Pérez, D. (2023). *Energía Eólica: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones*. Barcelona: Marcombo.
- Pérez, D. (2024). *Energía solar térmica: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Bogotá: Marcombo.
- Perpiñán, L. O. (2024). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: InfoLibros.
- Pons, A. (2021). *Energías renovables y eficiencia energética: Ahorro y eficiencia energética en el hogar*. Independently Published.
- Rice, W. B. (2017). *La historia de los combustibles fósiles*. California, Estados Unidos: Teacher Created Materials.
- Sanitaria, M. d.–D. (2021). *Lineamientos técnicos para infraestructura sanitaria del MSP*. Quito, Ecuador: Ministerio de Salud Pública.

- Santana, M. M. (2021). *Ciencia del carbón: Geología, química, petrografía, geoquímica, aplicaciones*. Madrid, España: IGME (Instituto Geológico y Minero de España).
- Santos Aza, C. J. (2021). *Revisión teórica del panorama energético de las fuentes no convencionales de energía renovables en el Departamento de Santander, con énfasis en aprovechamiento de la biomasa en función de la matriz de generación eléctrica de Colombia*. Colombia: Unidades T. S.
- Vega de Kuyper, J. C. (2020). *Fuentes de energía*. Barcelona, España: Marcombo.
- Vega., L. Y. (3 de 11 de 2020). Ojeando la agenda. *Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*, pág. 45.
- Vicente, A. M. (2019). *Fusión y fisión nuclear*. casa del libro.

ANEXOS

Tablero de Distribución para Sistema de Respaldo con Energía Fotovoltaica

TABLE RO / CIRCUI T.	DESCRIPCION TABLERRO DE DITRIBUCIÓN	FAS ES	TENSI ON (VOLT .)	No. PUNT OS	CARGA (VATIO S) W	CARGA INSTAL (VATIOS) W	FACT OR COIN C.	CARGA DIVER (KW)	CORRI NTE (AMPER IOS)	CALIBRE CONDUC. AWG	LONG. MAX. (M)	CAID.T ENS. (%)	PROTE CC. (A)
TP													
1	TOMACORRIENTES SALA 1	F1	220	6	150,00	900	1,00	0,90	2,57	12	100	0,12	1X20
2	TOMACORRIENTES SALA 2	F2	220	6	150,00	900	1,00	0,90	2,57	12	120	0,15	1X20
3	TOMACORRIENTES SALA 3	F1	220	6	150,00	900	1,00	0,90	2,57	12	200	0,25	1X20
4	TOMACORRIENTES SALA 4	F2	220	6	150,00	900	1,00	0,90	2,57	12	30	0,09	1X20
5	TOMACORRIENTES OFICINAS ADMINISTRATIVAS	F2	220	2	50,00	100	1,00	0,10	0,29	12	150	0,01	1X20
6	TOMACORRIENTES HOSPITAIZACION	F1	220	6	150,00	900	1,00	0,90	2,57	12	40	0,20	1X20
8	TOMACORRIENTES HOSPITAIZACION 2	F2	220	3	75,00	225	1,00	0,23	0,64	12	20	0,02	1X20
10	TOMACORRIENTE IGLESIA	F1	220	1	25,00	25	1,00	0,03	0,07	12	20	0,00	1X20
11	TOMACORRIENTE CURACIONES	F1	220	3	75,00	225	1,00	0,23	0,64	12	100	0,08	1X20
	CARGA INSTALADA	F1- F2	220			5.075,00		5,08	14,48	2X8+(10)	40	0,12	2X40
		F1	127			1.691,67							
		F2	127			1.691,67							



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Proyecto: Análisis y diseño de un sistema
de respaldo con energía fotovoltaica para
la fundación AEI de SOLCA.

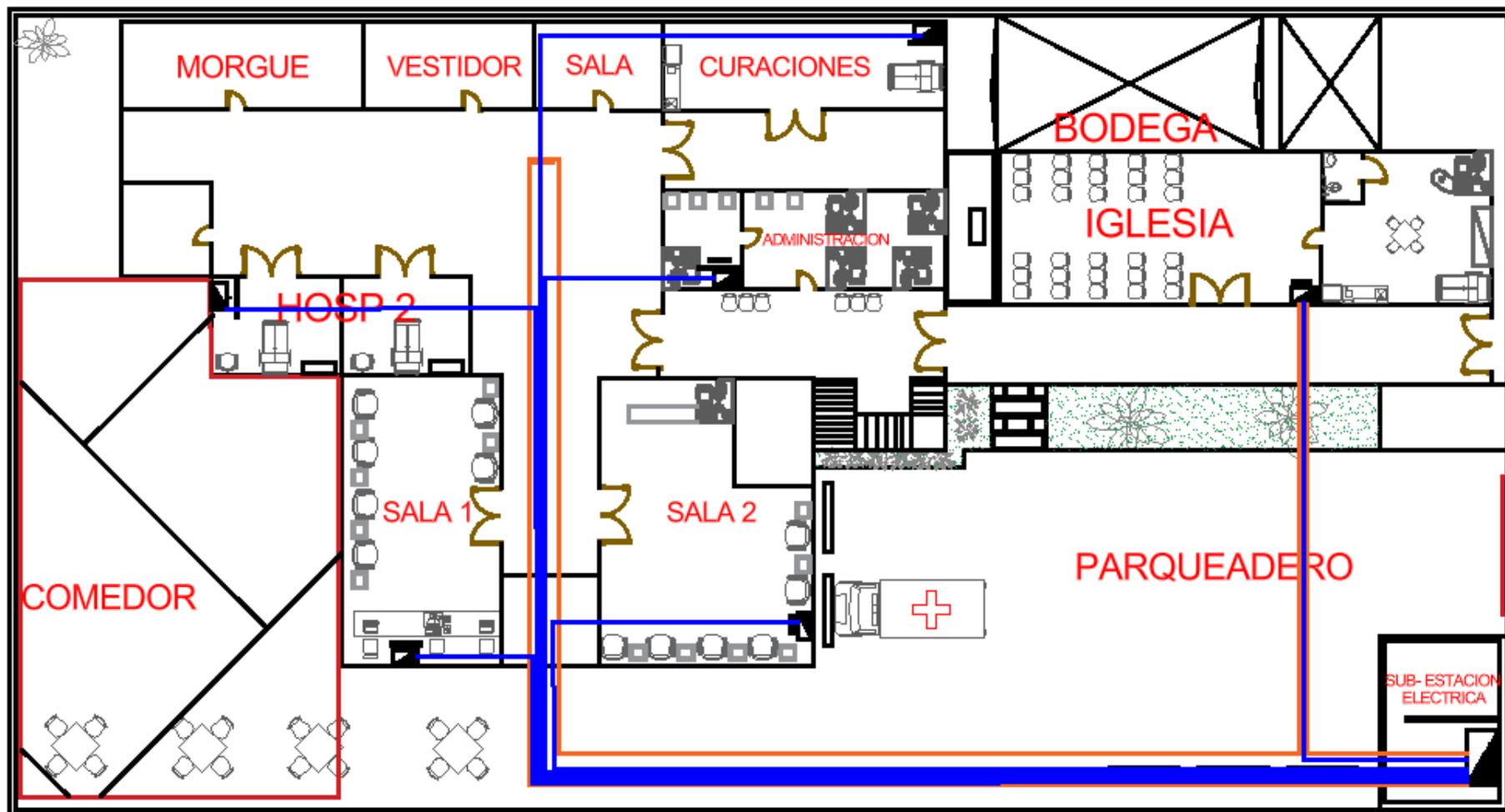
Nombre del Plano:
Fundación AEI exterior

Tutor: Ing. Luis Ezequiel Palau De La Rosa

Alumno: Marcos Salguero

Semestre: 8vo ciclo

FUNDACIÓN AEI PLANTA BAJA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

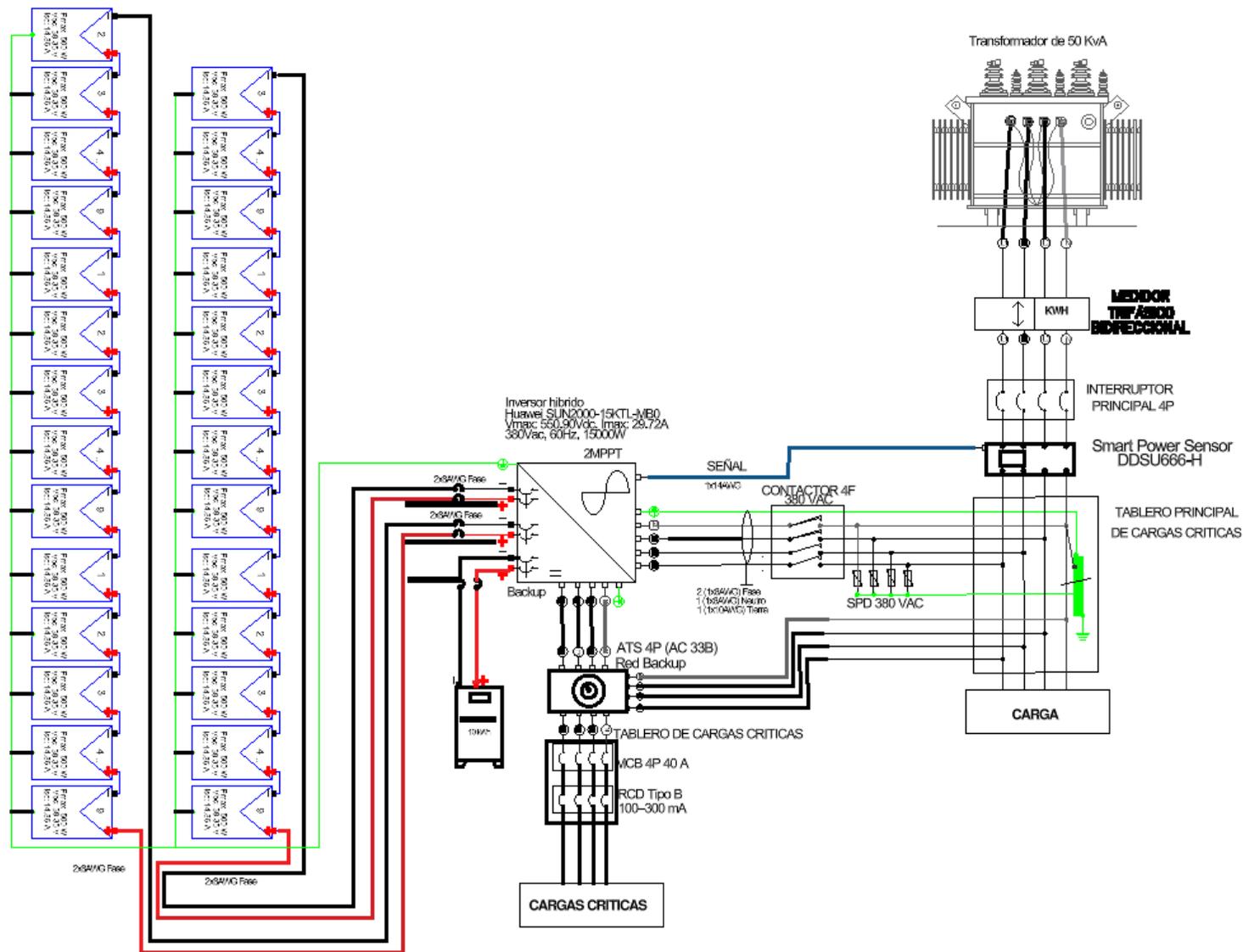
Proyecto: Análisis y diseño de un sistema
de respaldo con energía fotovoltaica para
la fundación AEI de SOLCA.

Nombre del Plano:
Fundacion AEI PB

Tutor: Ing. Luis Ezequiel Palau De La Rosa

Alumno: Marcos Salguero

Semestre: 8vo ciclo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

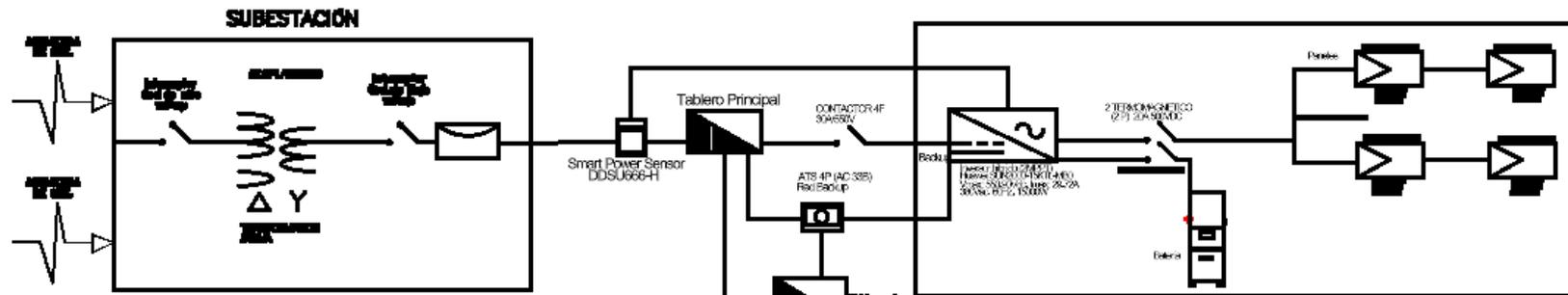
Proyecto: Análisis y diseño de un sistema
de respaldo con energía fotovoltaica para
la fundación AEI de SOLCA.

Nombre del Plano:
Fundación AEI PB

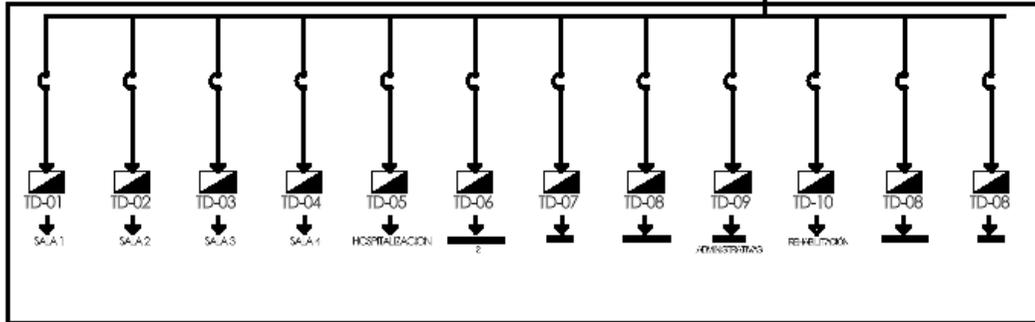
Tutor: Ing. Luis Ezequiel Palau De La Rosa

Alumno: Marcos Salguero

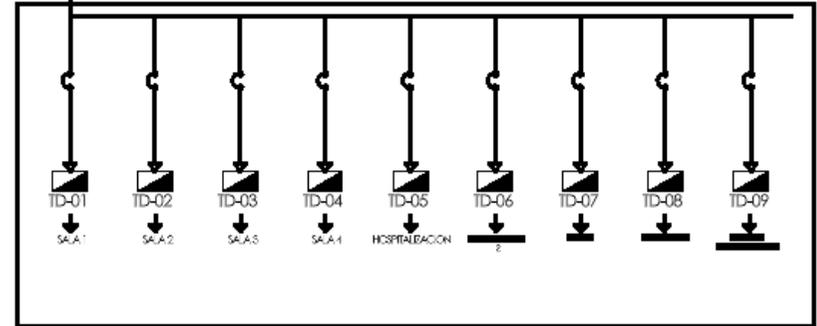
Semestre: 8vo ciclo



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN



TABLERO DE CARGAS CRITICAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Proyecto: Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica para la fundación AEI de SOLCA.

Nombre del Plano:
Diagrama Unifilar

Tutor: Ing. Luis Ezequiel Palau De La Rosa

Alumno: Marcos Salguero

Semestre: 8vo ciclo

Datos del inversor en tiempo real

Detalles | Información histórica



Datos del dispositivo en tiempo real

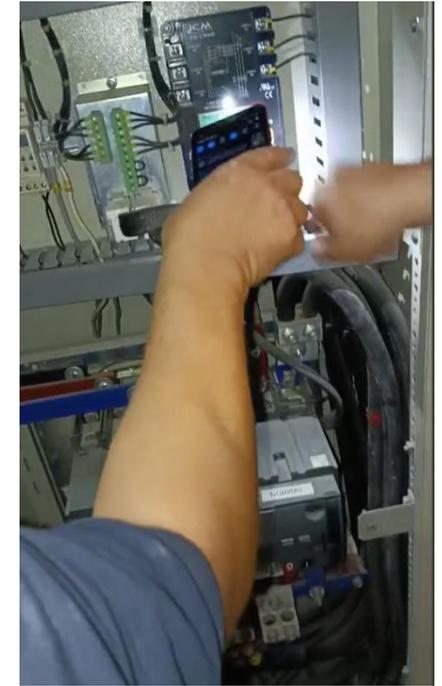
Planta PV	PV1	PV2
Tensión de entrada (V)	0	0
Corriente de entrada (A)	0	0

● Estado del inversor	En la red	● Energía diaria	66,150 kWh	● Rendimiento total	60,109 kWh
● Potencia activa	12,210 kW	● Potencia reactiva de salida	0.006 kvar	● Potencia nominal del inversor	15,000 kW
● Factor de potencia	1,000	● Frecuencia de la red eléctrica	49,97 Hz	● Modo de salida	Sistema trifásico de cuatro hilos
● Corriente de fase A de la red	9.249 A	● Corriente B de fase de la red	9.160 A	● Corriente C de fase de la red	9.189 A
● Tensión de fase A	230,6 V	● Tensión de fase B	237,1 V	● Tensión de fase C	236,1 V
● Fecha y hora de inicio del inversor	31/07/25 13:19	● Fecha y hora de apagado del inversor	N/A	● Temperatura interna	49,2°C
● Resistencia de aislamiento	3,000 MΩ	● Estado de ajuste de potencia activa	P=100.0% (Porcentaje de disminuc...	● Estado de ajuste de potencia reactiva	PF=1.000(Factor de potencia)

Información básica

● Nombre del dispositivo	*****_15KTL-MBO	● Tipo de dispositivo	Inversor	● Número de serie	*****242675
● Registro de reemplazo de dispositivos	--	● Modelo		● Versión de software	V100R001C00SPC159
● Nombre del paquete	--				

Visita a la fundación AEI para la recolección de datos con supervisión del equipo de mantenimiento de Solca.





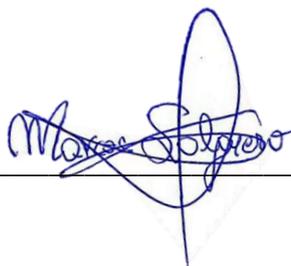
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Salguero Torres, Marcos Roberto**, con C.C: # **095273910-0** autor del trabajo de titulación: **Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica para la fundación AEI de SOLCA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero 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, 03 de septiembre del 2025

f. 

Nombre: **Salguero Torres, Marcos Roberto**

C.C: **095273910-0**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Análisis y diseño de un sistema de respaldo con energía fotovoltaica para la fundación AEI de SOLCA		
AUTOR(ES)	Salguero Torres, Marcos Roberto		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Palau De La Rosa, Luis Ezequiel. M.Sc		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	03 de septiembre de 2025	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Instalación fotovoltaica, Protecciones fotovoltaicos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía solar fotovoltaica, Consumo de energía, Sistema fotovoltaico, Costos de electricidad, Consumo energético, Sistemas FusionSolar, Emisiones de CO ₂ , PVsyst.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El trabajo se centra en el diseño de un sistema de respaldo basado en energía solar fotovoltaica para la Fundación AEI (Asociación de Enfermos Incurables) de SOLCA. El objetivo principal es garantizar la seguridad de los pacientes, reducir el consumo de energía, proteger los equipos médicos y de ventilación, y contar con un sistema de respaldo automático, para el diseño fue necesario realizar un análisis de cargas, calcular la cantidad y capacidad de los paneles, evaluar el rendimiento, estudiar las posibles sombras y seleccionar los componentes adecuados, como inversores y sistemas de almacenamiento. Además, se consideró el aspecto económico relacionado con el costo de los materiales, también se usaron softwares como PVsyst y FusionSolar para simular y evaluar el sistema. Los resultados mostraron que no solo contribuiría a reducir el valor de la factura eléctrica, sino también a disminuir las emisiones de CO₂, dando un beneficio económico y ambiental. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema cumple de manera satisfactoria con los objetivos planteados.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593- 980835449	E-mail: marcos.salguero@cu.ucsg.edu.ec robertorre88@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ricardo Xavier Ubilla González, PhD		
	Teléfono: +593-4- 3804600 ext. 2018		
	E-mail: ricardo.ubilla@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):			