



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**GESTIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA EL  
HOSPITAL BÁSICO SANTA MARIANITA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: EDWIN SEBASTIÁN BORJA CUJI  
JESSICA ARACÉLY ROCANO TANDAZO

TUTOR: ING. JORGE LUIS ROJAS ESPINOZA, MGS

Cuenca - Ecuador

2026

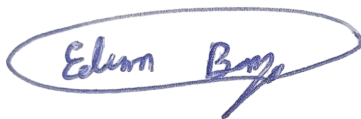
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edwin Sebastián Borja Cuji con documento de identificación N° 0106463144 y Jessica Aracely Rocano Tandazo con documento de identificación N° 0302499058 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

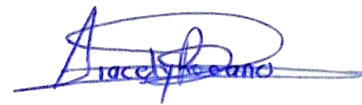
Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,



---

Edwin Sebastián Borja Cuji  
0106463144



---

Jessica Aracely Rocano Tandazo  
0302499058


**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Nosotros, Edwin Sebastián Borja Cuji con documento de identificación N° 0106463144 y Jessica Aracely Rocano Tandazo con documento de identificación N° 0302499058, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Gestión energética sostenible para el hospital básico Santa Marianita”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

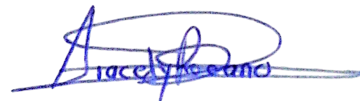
Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,



---

Edwin Sebastián Borja Cuji  
0106463144



---

Jessica Aracely Rocano Tandazo  
0302499058

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Luis Rojas Espinoza con documento de identificación N° 0301575866, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: GESTIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA EL HOSPITAL BÁSICO SANTA MARIANITA, realizado por Edwin Sebastián Borja Cuji con documento de identificación N° 0106463144 y por Jessica Aracely Rocano Tandazo con documento de identificación N° 0302499058, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,

---

Jorge Luis Rojas Espinoza  
0301575866

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una auditoría energética y el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para el Hospital Básico Santa Marianita de Azogues, con el objetivo de mejorar el desempeño energético, reducir el consumo eléctrico de la red pública y disminuir el impacto ambiental de la institución. El estudio se fundamenta en los lineamientos de la norma NTE INEN-ISO 50001:2018, aplicando un enfoque sistemático de análisis, evaluación y mejora continua.

A partir del análisis de las planillas eléctricas correspondientes a los años 2023 y 2024, se determinó un consumo promedio mensual de energía y se identificaron los principales usos significativos de energía, destacándose los sistemas de iluminación y equipos médicos. Como medida de mejora, se diseñó un sistema fotovoltaico *On-Grid* utilizando módulos fotovoltaicos monocristalinos, considerando la disponibilidad de área en cubierta y las condiciones climáticas de la ciudad de Azogues.

El sistema propuesto cuenta con una potencia instalada de 15,40 kWp, conformada por 28 módulos fotovoltaicos monocristalinos de 550 Wp cada uno, operando bajo un esquema de conexión On-Grid. El dimensionamiento y la simulación energética se realizaron mediante el software PVsyst, considerando las condiciones climáticas locales, una inclinación de 10° y la orientación óptima del arreglo.

El desempeño del sistema fue evaluado mediante simulación en el software PVsyst, obteniéndose una producción anual estimada de 22,83 MWh, un Performance Ratio (PR) superior al 86,17 % y un Costo Nivelado de la Energía (LCOE) de 0,05 USD/kWh. El análisis económico del proyecto arrojó un Valor Actual Neto (VAN) positivo, una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al costo de oportunidad y un período de recuperación de la inversión de aproximadamente 5,3 años, lo que confirma la viabilidad financiera del sistema.

Finalmente, se concluye que la implementación del sistema fotovoltaico propuesto contribuye a la reducción de aproximadamente 7,28 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, fortaleciendo la sostenibilidad energética del hospital y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente con el ODS 7 y el ODS 13. El estudio establece las bases técnicas para la futura implementación de un Sistema de Gestión de la Energía conforme a la norma ISO 50001.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>AUDITORIA ENERGÉTICA EN EL HOSPITAL BÁSICO SANTA MARIANITA DE AZOGUES</b>	<b>5</b>
1.1	Planteamiento del Problema . . . . .	5
1.2	Objetivos . . . . .	5
1.3	Justificación . . . . .	6
1.4	Alcance . . . . .	7
1.5	Metodología . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1	Auditoría Energética . . . . .	9
2.2	Norma ISO 50001:2018 . . . . .	10
2.2.1	Componentes principales . . . . .	10
2.2.2	Ciclo de mejora continua (PDCA) . . . . .	11
2.2.3	Aplicación en hospitales . . . . .	11
2.2.3.1	Beneficios principales . . . . .	11
2.3	Energía Solar Fotovoltaica . . . . .	12
2.3.1	Inversores On-Grid . . . . .	12
2.4	Clasificación de Sistemas Fotovoltaicos . . . . .	14
2.5	Componentes de un Sistema Fotovoltaico On-Grid . . . . .	14
2.5.1	Módulos solares . . . . .	14
2.5.2	Inversores . . . . .	14
2.5.3	Protecciones eléctricas . . . . .	15
2.5.4	Cableado y canalización . . . . .	15
2.5.5	Sistema de puesta a tierra . . . . .	15
2.5.6	Ventajas y desventajas comparativas . . . . .	15
2.5.7	Características de un sistema fotovoltaico On-Grid . . . . .	16
2.5.8	Sistema de Puesta a Tierra en Instalaciones Fotovoltaicas . . . . .	17
2.6	Normativa aplicable a sistemas fotovoltaicos On-Grid en Ecuador . . . . .	18
2.6.1	Regulación ARCONEL-005/24 (CODIFICADA) . . . . .	18
2.6.2	Regulación ARCONEL-003/18 . . . . .	18

2.6.3	Conexión y calidad de servicio . . . . .	18
2.6.4	Marco legal general . . . . .	19
2.6.5	Estándares internacionales . . . . .	19
2.6.6	Norma IEC 60364 y sistemas de protección eléctrica . . . . .	19
2.6.7	Requisitos para el diseño e instalación . . . . .	19
2.7	Indicadores Técnico-Económicos . . . . .	20
2.8	Aplicaciones en el Sector Hospitalario . . . . .	21
2.8.1	Principales beneficios . . . . .	21
2.8.2	Eficiencia energética en hospitales . . . . .	22
2.9	Metodología de la Auditoría Eléctrica en el Hospital . . . . .	22
2.9.1	Etapas Previas a la Auditoría . . . . .	22
2.10	Magnitudes Luminotécnicas . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Auditoría Energética del Hospital Básico Santa Marianita de Azogues</b>	<b>25</b>
3.1	Descripción General de la Infraestructura Hospitalaria . . . . .	25
3.2	Análisis del comportamiento del consumo eléctrico en 2023 y 2024 . . . . .	26
3.3	Metodología y Alcance del Diagnóstico . . . . .	33
3.3.1	Señalética de Seguridad Eléctrica . . . . .	33
3.3.2	Inspección de acometida del Hospital . . . . .	34
3.3.3	Tableros de distribución (Edificación antigua y nueva) . . . . .	36
3.3.4	Distribución eléctrica de las instalaciones del Hospital . . . . .	37
3.3.5	Tipos de luminarias utilizadas en el Hospital . . . . .	40
3.3.6	Inventario técnico de luminarias . . . . .	40
3.4	Análisis de niveles de iluminancia en las instalaciones del hospital . . . . .	42
3.4.1	Análisis sobre el nivel de iluminancia . . . . .	45
3.5	Verificación de Instalación Eléctrica Hospitalaria . . . . .	46
3.6	Levantamiento de Cargas Eléctricas Especiales . . . . .	49
3.6.1	Inspección del generador . . . . .	50
3.7	Generador auxiliar existente . . . . .	51
3.8	Análisis de Resultados de la Medición con el medidor de calidad de energía	52
3.8.1	Comportamiento de los Voltajes . . . . .	52
3.8.2	Comportamiento de las Corrientes . . . . .	53
3.8.3	Estabilidad de la Frecuencia . . . . .	53
3.9	Entrevista al personal de mantenimiento . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Diseño fotovoltaico</b>	<b>57</b>
4.1	Descripción general del sistema . . . . .	57
4.2	Procesamiento de datos de consumo eléctrico . . . . .	57

4.3	Estimación preliminar del área requerida . . . . .	59
4.4	Perfil de carga por franjas horarias . . . . .	60
4.5	Área disponible . . . . .	61
4.6	Cálculo del potencial solar del sitio . . . . .	62
4.7	Selección de componentes tecnológicos . . . . .	64
4.7.1	Criterio principal de decisión: relación DC/AC . . . . .	64
4.7.2	Otros componentes asociados . . . . .	66
4.7.2.1	Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico . . . . .	66
4.7.2.2	Módulos fotovoltaicos . . . . .	67
4.7.2.3	Protecciones en corriente continua (CC) . . . . .	67
4.7.2.4	Protección contra sobretensiones en corriente continua (SPD DC) . . . . .	68
4.7.2.5	Protecciones en corriente alterna (CA) . . . . .	70
4.7.2.6	Estructura . . . . .	70
4.7.2.7	Cableado . . . . .	71
4.7.2.7.1	Dimensionamiento en corriente continua (CC) . . . . .	71
4.7.2.7.2	Dimensionamiento en corriente alterna (CA) . . . . .	72
4.7.2.8	Monitoreo . . . . .	73
4.7.2.9	Puesta a tierra . . . . .	73
4.8	Análisis de sensibilidad . . . . .	74
4.9	Elementos necesarios para la implementación del sistema . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Simulación del sistema fotovoltaico</b>	<b>77</b>
5.1	Introducción . . . . .	77
5.2	Resultados de la simulación . . . . .	78
5.3	Producción Anual y balance energético . . . . .	79
5.4	Análisis de incertidumbre (P50/P90) . . . . .	80
5.5	Evaluación económica . . . . .	82
5.6	Impacto ambiental . . . . .	82
5.7	Limitaciones del modelo . . . . .	83
5.8	Síntesis de resultados . . . . .	84
5.9	Síntesis del diseño fotovoltaico y mejora del desempeño energético . . . . .	84
<b>6</b>	<b>Propuesta de mejoras a las deficiencias y análisis económico</b>	<b>86</b>
6.1	Introducción . . . . .	86
6.2	Diagnóstico resumido . . . . .	86
6.2.1	Automatización de pasillos mediante sensores de movimiento – Plan- ta baja . . . . .	86

6.2.2	Automatización de pasillos – Primera planta . . . . .	87
6.2.3	Automatización de pasillos mediante sensores – Segunda planta . . . . .	88
6.2.4	Automatización de zona de lavandería y planchado . . . . .	89
6.3	Análisis económico de las mejoras de automatización . . . . .	90
6.3.1	Ahorro energético consolidado . . . . .	90
6.3.2	Conversión a ahorro económico . . . . .	91
6.3.3	Evaluación económica . . . . .	91
6.3.4	Resultados de indicadores . . . . .	92
6.3.5	Evaluación económica del sistema fotovoltaico . . . . .	93
	6.3.5.0.1 Ahorro neto anual . . . . .	94
	6.3.5.0.2 Payback simple . . . . .	95
	6.3.5.0.3 Valor Actual Neto (VAN) . . . . .	95
	6.3.5.0.4 Tasa Interna de Retorno (TIR) . . . . .	95
	6.3.5.0.5 Costo Nivelado de Energía (LCOE) . . . . .	95
	6.3.5.0.6 Reducción del consumo energético . . . . .	95
6.4	Resumen comparativo de medidas de eficiencia y generación fotovoltaica . . . . .	97
6.5	Análisis de sensibilidad . . . . .	98
	6.5.1 Sistema fotovoltaico . . . . .	98
	6.5.2 Automatización . . . . .	98
	6.5.3 Discusión . . . . .	99
6.6	Discusión: Aplicación de la Norma ISO 50001 en la Gestión Energética del Hospital . . . . .	100
<b>7</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>102</b>
	7.1 Conclusiones . . . . .	102
	7.2 Recomendaciones . . . . .	103
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>105</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Auditoria Energética . . . . .	10
2.2	Paneles Solares . . . . .	12
2.3	Inversores . . . . .	13
2.4	Estructuras . . . . .	13
3.1	Consumo mensual de energía eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita (2023–2024) . . . . .	29
3.2	Consumo mensual de energía eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024) . . . . .	30
3.3	Costo total mensual del servicio eléctrico en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024) . . . . .	30
3.4	Demanda máxima mensual registrada en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024) . . . . .	31
3.5	Transformador trifásico de 75 kVA marca ECUATRAN. . . . .	35
3.6	Detalle de los cortacircuitos tipo fusible en media tensión. . . . .	36
3.7	Variación de los voltajes L-N durante la medición . . . . .	54
3.8	Variación de las corrientes por fase durante la medición . . . . .	54
3.9	Variación de la frecuencia durante la medición . . . . .	54
4.1	Patrones de consumo horario del Hospital Santa Marianita según franjas A, B y C. . . . .	61
4.2	Sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico . . . . .	73
5.1	Datos de Simulación . . . . .	79
5.2	Distribución de probabilidad de la producción anual del sistema fotovoltaico (P50, P90, P95). . . . .	81

# Índice de tablas

2.1	Comparación de tipos de sistemas fotovoltaicos . . . . .	16
2.2	Niveles de iluminancia recomendados en hospitales según ISO 8995/EN 12464-1 . . . . .	24
3.1	Consumo energético mensual del Hospital Básico Santa Marianita en 2023-2024 . . . . .	27
3.2	Verificación de señalética eléctrica en el hospital . . . . .	34
3.3	Ficha técnica del transformador de distribución . . . . .	36
3.4	Resumen de demanda efectiva de tableros eléctricos del Hospital . . . . .	38
3.5	Inventario y consumo diario de luminarias por área . . . . .	42
3.6	Iluminancia en Planta Baja (corregida con normativa ISO 8995 / EN 12464-1)	43
3.7	Iluminancia en Primera Planta . . . . .	43
3.8	Iluminancia en Segunda Planta . . . . .	44
3.9	Iluminancia en Tercera Planta . . . . .	44
3.10	Lista de verificación de instalación eléctrica hospitalaria . . . . .	48
3.11	Listado de cargas eléctricas especiales del hospital . . . . .	50
3.12	Especificaciones técnicas del generador modelo PCI5000-B3 . . . . .	52
3.13	Preguntas guía y respuestas del entrevistado . . . . .	56
4.1	Consumo energético mensual y demanda diaria promedio del Hospital Básico Santa Marianita (2023–2024). . . . .	58
4.2	Distribución de consumo anual por franja horaria (enero 2023–diciembre 2024). . . . .	60
4.3	Síntesis de área y módulos instalados en cubierta . . . . .	62
4.4	Insolación media mensual en superficie horizontal (HSP) y temperatura ambiental para Azogues (NASA POWER). . . . .	63
4.5	Resumen de parámetros del inversor utilizado en el sistema . . . . .	65
4.6	Especificaciones Técnicas - Panel Solar ATLAS . . . . .	67
4.7	Lista de equipos y materiales para el sistema fotovoltaico de 15,40 kWp. . . . .	76
5.1	Resultados principales de la simulación en PVsyst . . . . .	78

6.1	Comparación de consumo energético en planta baja . . . . .	87
6.2	Comparación de consumo energético en primera planta . . . . .	88
6.3	Comparación de consumo energético en segunda planta . . . . .	89
6.4	Comparación de consumo energético en lavandería y planchado . . . . .	90
6.5	Ahorro energético consolidado por medidas de automatización . . . . .	90
6.6	Indicadores económicos del sistema evaluado . . . . .	92
6.7	Costos del sistema fotovoltaico . . . . .	93
6.8	Indicadores técnicos y económicos del sistema fotovoltaico . . . . .	96
6.9	Resumen consolidado del impacto energético y económico . . . . .	97
6.10	Sensibilidad del sistema fotovoltaico . . . . .	98
6.11	Sensibilidad de la automatización de luminarias . . . . .	99
6.12	Relación entre la Norma ISO 50001 y las acciones desarrolladas en la tesis .	101
1	Áreas del Trabajo de Grado . . . . .	149

# Lista de Anexos

Anexo 1	ANEXO 7 TD1.pdf . . . . .	112
Anexo 2	ANEXO 8 TD2.pdf . . . . .	113
Anexo 3	ANEXO 9 TD3.pdf . . . . .	114
Anexo 4	ANEXO 10 TD4.pdf . . . . .	115
Anexo 5	ANEXO 11 TD5.pdf . . . . .	116
Anexo 6	ANEXO 12 TD6.pdf . . . . .	117
Anexo 7	ANEXO 13 TD7.pdf . . . . .	118
Anexo 8	ANEXO 14 TD8.pdf . . . . .	119
Anexo 9	ANEXO 15 TD9.pdf . . . . .	120
Anexo 10	ANEXO 16 TD10.pdf . . . . .	121
Anexo 11	ANEXO 17 TD11.pdf . . . . .	122
Anexo 12	ANEXO 18 RESUMEN EN EL TABLERO DE MEDICIÓN .pdf . . . .	123
Anexo 13	ANEXO 19 RESULTADO DE LA SIMULACION EN PV SYST.pdf . .	124
Anexo 14	ANEXO 20 DATASHEET DE INVERSOR .pdf . . . . .	143
Anexo 15	ANEXO 21 DATASHEET DEL PANEL SOLAR .pdf . . . . .	145

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida académica. A mi familia, especialmente a mis padres, hermanos y abuelitos, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, quienes han sido el pilar fundamental durante todo este proceso. Este logro también está dedicado a todas las personas que confiaron en mí y me impulsaron a seguir adelante.

**Aracely Rocano**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser el pilar fundamental de mi formación personal y académica. Gracias por cada sacrificio, consejo y apoyo brindado a lo largo de este camino, incluso en los momentos más difíciles. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos, por su compañía, apoyo y ánimo permanente. Su confianza en mí y su presencia han sido una fuente de motivación para seguir adelante y no rendirme ante los obstáculos.

Finalmente, a mis abuelitos, por su sabiduría, sus enseñanzas y su cariño infinito. Su ejemplo de vida y sus palabras de aliento han dejado una huella profunda en mi corazón y han sido una inspiración constante para alcanzar mis metas.

**Edwin Borja**

## Agradecimientos

Agradezco a Dios por la fortaleza, constancia y sabiduría que me permitieron culminar este trabajo de titulación.

A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, por su apoyo permanente, comprensión y motivación incondicional, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de mi formación académica.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, por su guía académica, acompañamiento y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, agradezco a las autoridades y al personal del Hospital Básico Santa Marianita de Azogues, por la apertura y colaboración brindadas para la obtención de información técnica necesaria para la realización de esta investigación.

Finalmente, agradezco a mis docentes y compañeros especialmente a mi mejor amiga quien estuvo conmigo siempre en cada paso de mi vida, y a quienes de una u otra manera contribuyeron en mi crecimiento académico y profesional.

**Aracely Rocano**

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso, y por guiar cada uno de mis pasos para culminar con éxito esta etapa tan importante de mi vida académica.

Mi sincero agradecimiento a mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por inculcarme valores que han sido fundamentales para mi formación personal y profesional. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada desafío.

A mis hermanos, por su compañía, comprensión y palabras de aliento, que fueron un apoyo invaluable durante el desarrollo de este trabajo.

A mis abuelitos, por su cariño, consejos y ejemplo de vida, que han sido una fuente de inspiración permanente.

De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor, el **Ing. Jorge Rojas**, por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos aportados durante el desarrollo de este trabajo de titulación, los cuales fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

Asimismo, agradezco al **Hospital Básico Santa Marianica**, por permitirnos desarrollar el presente trabajo en sus instalaciones, brindándonos las facilidades necesarias y el apoyo requerido para la correcta ejecución del proyecto.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este proyecto académico.

**Edwin Borja**

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se ha consolidado como una prioridad a nivel mundial, especialmente en sectores con alta demanda eléctrica como el hospitalario. El funcionamiento permanente de equipos médicos, iluminación convierte a los hospitales en infraestructuras críticas, donde el suministro eléctrico debe ser confiable, sostenible y económicamente viable.

Las auditorías energéticas son herramientas fundamentales para evaluar el rendimiento de una instalación, identificar ineficiencias y proponer medidas para promover una gestión responsable. En Ecuador, todavía hay poco esfuerzo en establecer auditorías energéticas en hospitales, a pesar de la urgente necesidad de reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental causado por el consumo de electricidad.

El Hospital Básico Santa Marianita, situado en la ciudad de Azogues, es una clara ilustración de esto: con su operación continua y el uso intensivo de tecnología médica, enfrenta altos niveles de consumo. Esto debe abordarse junto con garantizar la eficiencia energética, la conservación ambiental y la sostenibilidad económica. Se lleva a cabo una investigación en un estudio detallado y riguroso para desarrollar un esquema combinado entre la auditoría energética del hospital y un sistema solar fotovoltaico diseñado para el hospital. El estudio se basa en la norma *NTE – INEN – ISO 50001 : 2018* para proporcionar un enfoque metodológico sobre la gestión energética.

Adicionalmente, se incluye una evaluación económica mediante indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (Payback). De esta manera, el estudio busca demostrar la factibilidad técnica y financiera del proyecto, asegurando ahorros energéticos y contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (acción por el clima), mediante la incorporación de tecnologías limpias en el sector salud.

## **CAPÍTULO 1**

# **AUDITORIA ENERGÉTICA EN EL HOSPITAL BÁSICO SANTA MARIANITA DE AZOGUES**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

El Hospital Básico Santa Marianita, ubicado en Azogues, brinda atención médica continua a través de equipos especializados, sistemas de refrigeración e iluminación. Esta operación permanente genera una elevada demanda de electricidad, lo que repercute directamente en los costos operativos, la dependencia de la red pública y la vulnerabilidad frente a interrupciones en el suministro.

Actualmente, no existe un estudio sistemático que establezca una línea base de energía para el hospital, identifique ineficiencias y proponga medidas de mejora con apoyo técnico y económico. Dada esta situación, es vital adoptar un enfoque de gestión energética que optimice el consumo de electricidad, fortalezca la seguridad de las instalaciones y reduzca el impacto ambiental aprovechando las energías renovables, particularmente la energía solar fotovoltaica.

### **1.2. Objetivos**

#### **Objetivo General**

Desarrollar un estudio integral para la implementación de acciones de eficiencia energética en el Hospital Básico Santa Marianita, aplicando la norma NTE-INEN-ISO 50001,

con el propósito de identificar oportunidades de ahorro y garantizar condiciones óptimas de confort y operación hospitalaria mediante el uso de energía solar fotovoltaica.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar la distribución del consumo energético en las diferentes áreas del hospital, identificando las instalaciones que más contribuyen al consumo total.
- Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica adaptado a las necesidades del hospital, considerando su infraestructura y potencial solar disponible.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto, analizando los costos de inversión, operación, mantenimiento y los beneficios obtenidos.

### **1.3. Justificación**

El presente trabajo tiene como finalidad contribuir a la mejora de la eficiencia energética del Hospital Básico Santa Marianita de Azogues, el cual enfrenta elevados costos operativos debido al uso intensivo de energía eléctrica para la operación continua de equipos médicos, sistemas de climatización, iluminación y soporte vital. A través de la implementación de una auditoría energética integral y el diseño de un sistema solar fotovoltaico, se busca optimizar el consumo energético, reducir los gastos asociados al suministro eléctrico y fortalecer la sostenibilidad institucional.

Esta propuesta responde a los desafíos actuales en materia de sostenibilidad energética dentro del sector salud y se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En particular, se destaca su aporte al objetivo número siete, orientado a garantizar el acceso a una energía asequible y limpia, así como al objetivo número trece, enfocado en la acción frente al cambio climático, mediante el fomento del uso de fuentes renovables y tecnologías limpias. Además, el proyecto incluye un análisis técnico y económico que permite determinar la viabilidad financiera del sistema fotovoltaico propuesto, lo cual refuerza su aplicabilidad en contextos con recursos limitados.

De esta forma, la propuesta no solo plantea una solución energética sostenible, sino que también fortalece la resiliencia operativa del hospital al garantizar la continuidad del servicio ante posibles interrupciones en el suministro eléctrico. Con ello, se optimiza el

uso de los recursos disponibles y se mejora la calidad de la atención en salud, aportando al proceso de modernización de las instituciones hospitalarias bajo criterios de eficiencia, sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

#### **1.4. Alcance**

Este estudio se centra en el desarrollo de una estrategia integral de gestión energética para el Hospital Básico Santa Marianita, estructurada bajo los lineamientos de la norma NTE INEN-ISO 50001:2018. El trabajo comienza con una auditoría energética detallada para identificar aquellos puntos donde el consumo de energía es más crítico, priorizando las áreas que tienen un mayor impacto en la operatividad diaria de la institución.

El diagnóstico contempla la infraestructura eléctrica en su totalidad, incluyendo los sistemas de iluminación, el equipamiento médico y la red de distribución. Este proceso se basa en mediciones reales tomadas directamente en el sitio y en el levantamiento de datos operativos, lo que permite que el diseño del sistema fotovoltaico propuesto sea una solución técnica ajustada a las necesidades reales y a la capacidad económica del hospital.

Es importante aclarar que el trabajo se enfoca en las fases de diagnóstico, modelado y simulación de viabilidad. Por lo tanto, el alcance no incluye la instalación física de equipos ni la ejecución de obras civiles. No obstante, el resultado final proporciona a la institución una hoja de ruta técnica y validada, dejando sentadas las bases necesarias para una futura implementación del sistema de gestión bajo estándares internacionales.

#### **1.5. Metodología**

La metodología se estructura en cuatro fases:

##### **Fase 1: Diagnóstico energético**

En esta etapa se recopiló y analizó información referente al comportamiento eléctrico del hospital, tomando como base la facturación mensual y realizando mediciones en áreas

representativas. Adicionalmente, se efectuaron entrevistas con el personal técnico y se verificó el estado de tableros, protecciones y cableado, con el fin de caracterizar el consumo y reconocer los principales puntos de ineficiencia.

## **Fase 2: Auditoría bajo ISO 50001**

La segunda fase se orientó al cumplimiento de los lineamientos de la norma ISO 50001, lo cual implicó identificar los usos significativos de la energía, establecer la línea base, definir indicadores de desempeño y elaborar acciones de mejora adoptando el enfoque de mejora continua propuesto por el ciclo PHVA.

## **Fase 3: Diseño fotovoltaico**

Se evaluó la factibilidad de incorporar generación fotovoltaica, considerando tanto la disponibilidad de superficie en cubierta como las condiciones climáticas locales. Se seleccionaron preliminarmente los equipos y se simuló la producción mediante el software PVsyst, determinando la potencia instalada óptima y la contribución energética esperada al consumo del hospital.

## **Fase 4: Evaluación técnico-económica**

Finalmente, se realizó el análisis financiero del sistema propuesto mediante indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación. Se incorporó además la estimación de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y un análisis de sensibilidad frente a variaciones en la inversión, la tarifa eléctrica y la producción energética, con el objetivo de establecer recomendaciones de implementación y mantenimiento.

## CAPÍTULO 2

### Marco Teórico

#### 2.1. Auditoría Energética

La auditoría energética constituye una herramienta de diagnóstico que permite conocer el comportamiento del consumo eléctrico de una instalación y valorar las posibilidades de mejora asociadas a su operación. A través de este proceso se busca optimizar el uso de la energía, disminuir los gastos asociados y evitar afectaciones al desempeño funcional o a la calidad del servicio.[1].

De acuerdo con su alcance, las auditorías se pueden clasificar en dos niveles:

- **Auditoría Preliminar:** Se orienta a una revisión inicial del comportamiento energético mediante el análisis de información histórica, observaciones en campo e inspecciones visuales. Su alcance es mayormente cualitativo y permite identificar de forma rápida las áreas con mayor potencial de mejora.
- **Auditoría Detallada:** Se incorpora mediciones instrumentadas, análisis de cargas y modelaciones energéticas, complementadas con una evaluación económica. Este enfoque cuantitativo posibilita estructurar un plan de acción con medidas específicas y resultados verificables.

En instalaciones hospitalarias, este tipo de estudios adquiere relevancia debido a la operación continua de sistemas eléctricos críticos, el uso de equipos médicos de alta demanda y la necesidad de garantizar un suministro confiable. Bajo estas condiciones, la auditoría energética contribuye a establecer medidas de eficiencia que aseguren un funcionamiento sostenible y económicamente viable.



**Figura 2.1:** Auditoria Energética

## 2.2. Norma ISO 50001:2018

La ISO 50001:2018 constituye el marco internacional de referencia para el diseño e implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGE), orientados a mejorar el desempeño energético mediante criterios de eficiencia, sostenibilidad y mejora continua [2]. Esta normativa se estructura bajo el enfoque de gestión por procesos, basado en el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PDCA), lo que facilita su compatibilidad con otras normas como ISO 9001 e ISO 14001, permitiendo eficiencia y coherencia en los procesos.

### 2.2.1. Componentes principales

Entre los componentes más importantes de la norma ISO 50001 se incluyen:

- Analizar el contexto organizacional y las partes interesadas.
- Comprometer a la alta dirección y formular una política energética.
- Identificar los usos significativos de energía y establecer líneas base.
- Definir objetivos energéticos medibles y planes de acción asociados.

- Controlar el desempeño y realizar auditorías internas.
- Implementar acciones de mejora y revisar resultados.

Su aplicación en hospitales permite reducir el impacto ambiental, garantizar la continuidad del servicio y reducir el uso de recursos energéticos.

### **2.2.2. Ciclo de mejora continua (PDCA)**

El ciclo *Planificar – Hacer – Verificar – Actuar* permite:

El ciclo PDCA constituye la metodología operativa de la norma. En la fase de planificación se establecen objetivos energéticos e indicadores asociados, mientras que en la etapa de ejecución se aplican los planes de acción definidos. Posteriormente, la fase de verificación contempla el seguimiento, medición y análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, la etapa de actuación incorpora ajustes correctivos y acciones de mejora, cerrando el proceso y habilitando su continuidad.

### **2.2.3. Aplicación en hospitales**

La implementación de ISO 50001 en hospitales permite optimizar el consumo de energía, reducir costos, minimizar el impacto ambiental y garantizar la continuidad de los servicios críticos. Además, facilita la planificación de mejoras energéticas en iluminación, climatización, equipos médicos y sistemas eléctricos, contribuyendo a una operación sostenible y segura [3].

#### **2.2.3.1. Beneficios principales**

- Reducción de costos energéticos y operativos.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejor control y monitoreo de consumos energéticos.
- Integración con otros sistemas de gestión de calidad y ambiental.

## 2.3. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente renovable que convierte la radiación solar en electricidad utilizando el efecto fotovoltaico. Este fenómeno fue descubierto en 1839 por Alexandre Edmond Becquerel [4], y alcanzó su desarrollo práctico en 1954 con la creación de la primera celda solar de silicio por los Laboratorios Bell [5].

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto por los siguientes elementos:

- **Paneles solares:** Son los elementos encargados de captar la radiación solar y convertirla en electricidad en forma de corriente continua. Están formados por células fotovoltaicas interconectadas.



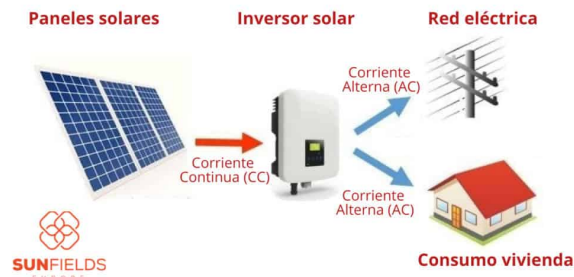
**Figura 2.2:** Paneles Solares

- **Inversores:** Transforman la corriente continua en corriente alterna utilizable, compatible con la mayoría de equipos eléctricos y con la red pública.

### 2.3.1. Inversores On-Grid

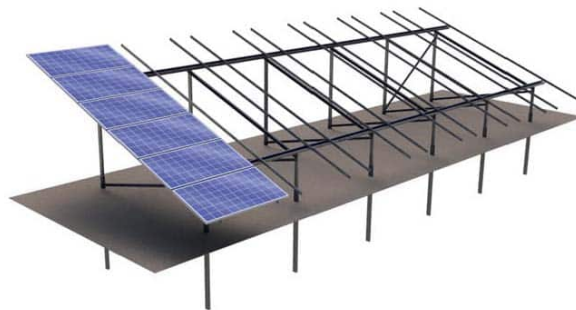
El inversor es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua (DC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC) sincronizada con la red eléctrica [6]. En los sistemas On-Grid, además de la conversión de energía, el inversor realiza funciones como:

- Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Detección de isla (anti-islanding).
- Monitoreo de parámetros eléctricos y de generación.



**Figura 2.3:** Inversores

- **Estructuras:** Soportan y orientan los módulos solares, permiten orientar e inclinar los módulos según la latitud geográfica para optimizar la captación solar. Las estructuras pueden ser fijas o móviles.



**Figura 2.4:** Estructuras

Los sistemas solares se caracterizan por su modularidad, fácil mantenimiento y bajo impacto ambiental. Actualmente, los módulos comerciales alcanzan eficiencias entre el 15 % y 22 %, y su implementación en hospitales permite cubrir hasta un 60 % de la demanda energética diaria [7].

## 2.4. Clasificación de Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican según su conexión y forma de operación [8]:

1. **Sistemas conectados a red (On-Grid):** Inyectan la energía generada directamente a la red eléctrica pública, permitiendo la compensación mediante medición neta.
2. **Sistemas aislados (Off-Grid):** Operan de manera independiente, utilizando baterías para almacenar energía y garantizar suministro en ausencia de radiación solar.
3. **Sistemas híbridos:** Combinan conexión a red y almacenamiento, ofreciendo respaldo en cortes de energía y mayor flexibilidad operativa.

## 2.5. Componentes de un Sistema Fotovoltaico On-Grid

Un sistema FV On-Grid está compuesto por los siguientes elementos clave:

### 2.5.1. Módulos solares

Formados por celdas fotovoltaicas, generalmente de silicio monocristalino o policristalino, que determinan la eficiencia y capacidad de generación. La norma IEC 61215 establece los requisitos de diseño y pruebas para garantizar su durabilidad [9].

### 2.5.2. Inversores

Transforman la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA) sincronizada con la red. En sistemas On-Grid, además incorporan funciones de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), protección anti-isla y monitoreo [6].

### **2.5.3. Protecciones eléctricas**

Incluyen fusibles, seccionadores, interruptores diferenciales y dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD), conforme a las normas IEC 61730 e IEC 62109.

### **2.5.4. Cableado y canalización**

El cableado fotovoltaico debe cumplir con IEC 62930, garantizando resistencia a rayos UV, humedad y temperaturas extremas. La canalización se diseña para proteger mecánicamente los conductores.

### **2.5.5. Sistema de puesta a tierra**

Garantiza la seguridad eléctrica y la protección contra descargas atmosféricas, siguiendo recomendaciones de IEC 60364-5-54.

### **2.5.6. Ventajas y desventajas comparativas**

En la Tabla 2.1 se presentan las ventajas y desventajas más relevantes de cada tipo de sistema fotovoltaico.

**Tabla 2.1:** Comparación de tipos de sistemas fotovoltaicos

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Ventajas principales</b>	<b>Desventajas principales</b>
<b>On-Grid</b>	Menor costo inicial (sin baterías), diseño simple, mantenimiento reducido, permite medición neta	No funciona durante cortes de red, dependencia total de la red pública
<b>Off-Grid</b>	Independencia total de la red, útil en zonas sin conexión eléctrica, autosuficiencia energética	Mayor costo, requiere baterías y generadores, mantenimiento más intensivo
<b>Híbrido</b>	Respaldo en cortes de red, aprovecha excedentes, flexible en operación	Alto costo de instalación, mayor complejidad técnica, mantenimiento elevado

### 2.5.7. Características de un sistema fotovoltaico On-Grid

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (*On-Grid*) se caracterizan por operar en sincronía con el sistema eléctrico de distribución, sin requerir almacenamiento en baterías. Entre sus principales características se encuentran:

- **Interconexión directa:** La energía generada se inyecta directamente en la red eléctrica a través de un inversor sincronizado en frecuencia y tensión con el suministro público.
- **Medición bidireccional:** Se utilizan medidores capaces de registrar tanto la energía consumida desde la red como la inyectada a la misma [10].
- **Optimización del autoconsumo:** La prioridad es cubrir la demanda interna, reduciendo la compra de energía de la red.
- **Ausencia de almacenamiento:** Al no incluir baterías, se reducen costos de inversión y mantenimiento, aunque se depende del suministro de la red para disponer de energía en ausencia de radiación solar.
- **Mayor eficiencia:** Al evitar pérdidas por carga y descarga de baterías, la eficiencia global del sistema es superior a la de un sistema híbrido o aislado.

### 2.5.8. Sistema de Puesta a Tierra en Instalaciones Fotovoltaicas

La puesta a tierra constituye un elemento fundamental en la **seguridad eléctrica de los sistemas fotovoltaicos**, ya que permite derivar las corrientes de falla, evitar tensiones peligrosas y garantizar la integridad de los equipos y del personal técnico.

De acuerdo con las buenas prácticas establecidas por el **Código Eléctrico Nacional (NEC Ecuador)** y la norma internacional **IEC 60364-5-54**, todo sistema fotovoltaico debe mantener una conexión equipotencial mediante una **Barra de Tierra Principal (BTP)**. A esta barra se conectan los conductores de protección provenientes de los distintos elementos del sistema, tanto del lado de corriente continua (DC) como del lado de corriente alterna (AC).

En términos generales, la red de puesta a tierra en una instalación fotovoltaica se estructura de la siguiente manera:

- El punto de suministro proveniente de la empresa distribuidora mantiene el neutro separado de la tierra del usuario hasta el tablero de medición, donde se realiza la unión Neutro–Tierra (MBJ).
- En el tablero principal de distribución (AC), las protecciones eléctricas y los dispositivos de sobretensión (SPD AC) deben estar conectados a la BTP para asegurar la correcta derivación de las corrientes de falla.
- El inversor fotovoltaico debe tener su carcasa metálica y terminal de protección (PE) conectados a la BTP. En los inversores sin transformador (transformerless), se aterriza únicamente la carcasa y no los polos del circuito DC.
- Los módulos fotovoltaicos deben contar con marcos metálicos interconectados a través de clips o bornes certificados, garantizando continuidad eléctrica hasta la BTP.
- La caja de conexiones DC, que contiene fusibles, seccionadores y dispositivos SPD DC, debe tener una referencia directa a la barra principal de tierra.
- Finalmente, la **malla o electrodo de tierra**, construida con varillas o anillos de cobre de 5/8", debe presentar una resistencia inferior a **10  $\Omega$** , de acuerdo con los requisitos del NEC y las empresas distribuidoras nacionales.

En resumen, todos los elementos del sistema —módulos, inversor, tableros y dispositivos de protección— deben estar **equipotencialmente unidos en la Barra de Tierra Principal (BTP)**, la cual se conecta al **electrodo de tierra** y al **neutro en el tablero de medición**, asegurando así un funcionamiento confiable y seguro del sistema fotovoltaico.

## **2.6. Normativa aplicable a sistemas fotovoltaicos On-Grid en Ecuador**

### **2.6.1. Regulación ARCONEL-005/24 (CODIFICADA)**

La ARCONEL-005/24 [10] establece el marco regulatorio vigente para los Sistemas de Generación Distribuida destinados al autoabastecimiento (SGDA). El documento define los procedimientos de autorización, conexión, operación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red, además de regular el uso de medidores bidireccionales y los mecanismos de liquidación de energía excedentaria.

### **2.6.2. Regulación ARCONEL-003/18**

La regulación ARCONEL-003/18 [11], aunque actualmente sustituida por disposiciones más recientes, fue ampliamente utilizada en el ámbito académico y en proyectos piloto para definir requisitos técnicos, criterios de diseño y procedimientos de conexión para sistemas de generación distribuida.

### **2.6.3. Conexión y calidad de servicio**

En lo referente a la conexión y calidad del servicio eléctrico, la Resolución ARCONEL-009/2024 [12] establece disposiciones regulatorias aplicables a los usuarios y a las empresas distribuidoras, definiendo lineamientos relacionados con las condiciones de conexión, operación y responsabilidades sobre la infraestructura eléctrica. Esta normativa contribuye a garantizar un servicio eléctrico seguro y confiable, en concordancia con los estándares de calidad exigidos por el sistema eléctrico nacional.

#### **2.6.4. Marco legal general**

La LOSPEE y su reglamento [13] definen el concepto de generación distribuida, los derechos y obligaciones de los generadores, y el rol del operador del sistema nacional de electricidad.

#### **2.6.5. Estándares internacionales**

Como referencia técnica complementaria, el estándar IEEE 1547 [14] establece los requisitos para la interconexión de generación distribuida con sistemas eléctricos, priorizando la fiabilidad, la seguridad y la calidad de la energía.

#### **2.6.6. Norma IEC 60364 y sistemas de protección eléctrica**

La norma IEC 60364 establece los principios fundamentales para el diseño, ejecución y verificación de instalaciones eléctricas de baja tensión, con el objetivo de garantizar la seguridad de las personas, la protección de los equipos y la continuidad del suministro eléctrico. En particular, esta norma define los criterios para la selección y coordinación de dispositivos de protección frente a sobrecorrientes, cortocircuitos, fallas a tierra y sobretensiones, así como los requisitos de puesta a tierra y desconexión automática del suministro. La correcta aplicación de la IEC 60364 permite reducir riesgos eléctricos, prevenir daños en la infraestructura y asegurar un funcionamiento confiable de las instalaciones, siendo especialmente relevante en entornos críticos como hospitales y sistemas fotovoltaicos conectados a la red [15].

#### **2.6.7. Requisitos para el diseño e instalación**

De acuerdo con la Regulación ARCONEL-005/24 y estándares internacionales como IEEE 1547, un sistema On-Grid debe cumplir con los siguientes requisitos técnicos:

1. **Compatibilidad eléctrica:** La tensión y frecuencia de salida del inversor deben coincidir con las características de la red local (120/240 V o 220/380 V a 60 Hz en Ecuador).

2. **Protecciones eléctricas:** Incorporar protecciones contra sobrecorriente, sobrecarga, sobretensión y fallas a tierra.
3. **Desconexión automática:** El inversor debe desconectarse inmediatamente en caso de corte del suministro para evitar el *islanding* no intencionado.
4. **Certificaciones:** Los equipos deben contar con certificaciones internacionales (UL, IEC o equivalentes) y cumplir con las especificaciones del distribuidor eléctrico.
5. **Documentación técnica:** Presentar planos eléctricos, memorias de cálculo y manuales de instalación aprobados por la empresa distribuidora antes de la conexión.

## 2.7. Indicadores Técnico-Económicos

La evaluación económica constituye un elemento clave en la formulación y selección de proyectos energéticos, especialmente cuando se involucran tecnologías renovables como los sistemas fotovoltaicos. Su propósito es determinar la factibilidad financiera de la inversión, estimar el retorno esperado y valorar la sostenibilidad del proyecto durante su vida útil [16]. Para ello se emplean diversos indicadores cuantitativos que permiten comparar alternativas y apoyar la toma de decisiones.

- **Valor Actual Neto (VAN):** Es uno de los indicadores financieros más utilizados en la evaluación de proyectos, ya que permite determinar la rentabilidad económica de una inversión. Este indicador representa el valor presente de todos los flujos de caja generados por el proyecto a lo largo de su vida útil, descontados a una tasa previamente definida, menos el monto correspondiente a la inversión inicial.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Corresponde a la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja con la inversión realizada. Representa el rendimiento anual esperado del proyecto y se utiliza para contrastarlo con el costo de oportunidad o con la tasa mínima de retorno aceptada.
- **Período de Recuperación (Payback):** Determina el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial a partir de los beneficios netos generados. Este indicador ofrece una perspectiva temporal de riesgo y liquidez, siendo especialmente útil para evaluar proyectos con restricciones presupuestarias.

- **Costo Nivelado de la Energía (LCOE):** El LCOE [17] cuantifica el costo promedio por unidad de energía generada durante la vida útil del sistema, considerando inversión, operación y mantenimiento. Este indicador facilita la comparación entre tecnologías y escalas de generación, al normalizar los costos por kilovatio-hora producido.

Estos indicadores permiten comparar alternativas y tomar decisiones informadas sobre la ejecución del proyecto.

## 2.8. Aplicaciones en el Sector Hospitalario

La integración de sistemas solares fotovoltaicos en hospitales mejora la eficiencia energética, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y garantiza la continuidad del suministro eléctrico [18]. Este tipo de instalaciones permite a las instituciones de salud no solo generar su propia energía eléctrica, sino también disminuir su dependencia de fuentes externas, lo que se traduce en ventajas técnicas, económicas y ambientales.

### 2.8.1. Principales beneficios

- **Reducción de costos energéticos:** La generación de energía solar disminuye la dependencia de la red eléctrica, permitiendo ahorrar en el consumo mensual y redirigir recursos hacia mejoras hospitalarias.
- **Sostenibilidad ambiental:** Al utilizar una fuente limpia y renovable, contribuye a la reducción de emisiones contaminantes, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente con la energía limpia y el cambio climático.
- **Resiliencia energética:** La implementación de un sistema fotovoltaico permite contar con una fuente de energía alternativa y autónoma durante fallas en el suministro eléctrico. Esta característica es crítica en el entorno hospitalario, donde la disponibilidad de energía es vital para garantizar el funcionamiento continuo de equipos médicos, sistemas de soporte vital e instalaciones quirúrgicas.

### **2.8.2. Eficiencia energética en hospitales**

La gestión eficiente de la energía en hospitales es esencial para garantizar la continuidad del servicio, reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental [3]. Las principales estrategias incluyen:

- Sustitución de luminarias por tecnología LED de alta eficiencia.
- Optimización del uso de climatización y ventilación mecánica.
- Instalación de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo.
- Monitoreo y control de cargas críticas.

## **2.9. Metodología de la Auditoría Eléctrica en el Hospital**

### **2.9.1. Etapas Previas a la Auditoría**

La fase de planificación constituye una parte esencial dentro del proceso de auditoría energética, ya que permite definir estrategias claras y procedimientos específicos para alcanzar los objetivos planteados. En el caso del Hospital Básico Santa Marianita, las actividades previas a la ejecución de la auditoría comprenden las siguientes acciones:

- Gestionar las autorizaciones institucionales necesarias para ejecutar la auditoría dentro del hospital, respetando los protocolos internos.
- Informar al personal médico, técnico y administrativo sobre el desarrollo de la auditoría con el propósito de facilitar el acceso a las instalaciones, equipos e información.
- Diseñar plantillas y formularios para la recolección de datos relacionados con el consumo eléctrico y el levantamiento de cargas.
- Preparar encuestas dirigidas al personal técnico encargado de la operación y mantenimiento de los equipos médicos, con el objetivo de obtener información adicional sobre su uso y condiciones.

- Realizar un recorrido técnico por las instalaciones del hospital para identificar la distribución física de los servicios, puntos de consumo relevantes y condiciones generales del sistema eléctrico.

## 2.10. Magnitudes Luminotécnicas

La luminotecnia estudia los principios y parámetros que permiten evaluar la calidad y eficiencia de los sistemas de iluminación artificial. En espacios hospitalarios, donde las condiciones visuales influyen directamente en la atención médica y el bienestar de los pacientes, el análisis de estas magnitudes resulta fundamental para una gestión energética eficiente.

A continuación, se describen las principales magnitudes utilizadas en el campo de la luminotecnia:

- **Flujo luminoso (lm):** Representa la cantidad total de luz visible que emite una fuente en todas las direcciones por unidad de tiempo. Se mide en lúmenes (lm) y permite cuantificar la potencia luminosa emitida.
- **Iluminancia (lx):** Indica la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su unidad es el lux (lx), que equivale a un lumen por metro cuadrado. Es una magnitud clave para garantizar una visibilidad adecuada según el tipo de actividad que se realice.
- **Intensidad luminosa (cd):** Corresponde al flujo luminoso emitido en una dirección específica. Se expresa en candelas (cd) y es relevante en aplicaciones que requieren direccionamiento preciso de la luz.
- **Temperatura de color (K):** Clasifica la tonalidad de la luz emitida por una fuente, expresada en grados Kelvin. Las fuentes cálidas (2700–3500 K) producen una luz amarillenta, mientras que las fuentes frías (superiores a 5000 K) generan una luz más blanca o azulada. En instalaciones médicas, se suele optar por tonalidades neutras o frías para favorecer la concentración y la percepción visual.
- **Índice de reproducción cromática (IRC):** Mide la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores de forma fiel, en comparación con una fuente de

referencia. Su valor varía entre 0 y 100, siendo deseables valores superiores a 80 en ambientes clínicos y quirúrgicos.

La comprensión y correcta aplicación de estas magnitudes permite seleccionar tecnologías de iluminación adecuadas a cada espacio del hospital, contribuyendo no solo a la eficiencia energética, sino también al confort visual y a la seguridad operativa.

Según la norma ISO 8995/EN 12464-1, los valores recomendados en hospitales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2:** Niveles de iluminancia recomendados en hospitales según ISO 8995/EN 12464-1

<b>Área hospitalaria</b>	<b>Iluminancia recomendada (lx)</b>
Consultorios médicos	500 – 1000
Salas de examen y tratamiento	1000
Quirófanos	1000 – 2000
Salas de hospitalización	300 – 500
Laboratorios clínicos	500 – 1000
Pasillos y circulación general	100 – 200
Áreas de espera	200 – 300
Áreas administrativas	300 – 500
Farmacia y dispensarios	500
Salas de rayos X (iluminación general)	50 – 100

## CAPÍTULO 3

### Auditoría Energética del Hospital Básico Santa Marianita de Azogues

#### 3.1. Descripción General de la Infraestructura Hospitalaria

El Hospital Básico Santa Marianita de Azogues se compone de dos edificaciones principales con características constructivas y eléctricas diferenciadas. La primera corresponde a la infraestructura antigua, donde se concentran servicios tradicionales y áreas con sistemas eléctricos convencionales. Este bloque presenta instalaciones con menor grado de modernización, lo que condiciona la eficiencia en el uso de la energía.

Por otra parte, la infraestructura más reciente incorpora mejoras relevantes en términos eléctricos y operativos. Este edificio dispone de luminarias LED tipo panel, tablero de distribución con protecciones diferenciales, tomacorrientes normalizados y un sistema de puesta a tierra independiente. Asimismo, utiliza canalizaciones en tubería PVC tipo *conduit*, lo que favorece la organización del sistema, reduce pérdidas térmicas en conductores y mejora la seguridad operativa.

El contraste entre ambos bloques reveló diferencias significativas en la calidad de iluminación, el consumo de energía y la eficiencia de los equipos instalados. Dichas variaciones permiten identificar oportunidades de optimización y constituyen el punto de partida para el proceso de auditoría energética, el cual integra mediciones, diagnóstico técnico y la formulación de medidas de mejora para el hospital.

### 3.2. Análisis del comportamiento del consumo eléctrico en 2023 y 2024

Para caracterizar el desempeño energético del hospital se evaluaron los registros de facturación correspondientes a los años 2023 y 2024. El análisis permitió identificar variaciones mensuales, patrones estacionales y periodos de mayor demanda, así como su correlación con los costos asociados al suministro eléctrico. Esta información constituye un insumo fundamental para el diseño de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia, garantizar la continuidad operativa y fortalecer la sostenibilidad del sistema eléctrico hospitalario. A partir de las facturas de electricidad se elaboró una comparación del consumo mensual entre ambos periodos, lo que permitió determinar tendencias y diferencias significativas en el comportamiento de la carga.

En 2023 el hospital registró un promedio de **3.326,39 kWh/mes**, mientras que en 2024 el consumo promedio descendió a **2.806,49 kWh/mes**, lo que representa una reducción del **15,6 %**. Esta disminución responde principalmente a dos factores:

- Sustitución progresiva de luminarias convencionales por tecnología LED.
- Cortes programados de energía ocurridos en 2024 debido a la crisis energética del sector eléctrico Ecuatoriano. El estiaje en 2024 se originó por una disminución significativa de precipitaciones, lo que redujo el caudal de los ríos destinados a la generación hidroeléctrica, limitando así la capacidad de producción eléctrica nacional. Como consecuencia, se aplicaron racionamientos de energía que impactaron directamente en el consumo del hospital, reflejándose en valores especialmente bajos durante noviembre y diciembre de 2024.

En cuanto a los extremos registrados:

- El **máximo consumo** ocurrió en agosto de 2023, con **3.793,38 kWh**, coincidiendo con un periodo de alta demanda hospitalaria y temperaturas elevadas.
- El **mínimo consumo** se dio en diciembre de 2024, con apenas **1.292,34 kWh**, debido a la fuerte restricción energética a nivel nacional.

Durante la crisis energética del sector eléctrico ecuatoriano, el hospital implementó las siguientes medidas:

- Reducción del uso de ciertos equipos en horarios específicos.
- Puesta en marcha del generador de respaldo para cubrir únicamente cargas críticas.
- Disminución de la demanda máxima registrada en el medidor oficial, reflejo del funcionamiento parcial de las instalaciones.

**Tabla 3.1:** Consumo energético mensual del Hospital Básico Santa Marianita en 2023-2024

Mes	Consumo Total (kWh)	Demanda Máxima (kW)	Costo Total (USD)
Enero 2023	3077,34	9,15	352,16
Febrero 2023	3106,92	9,83	363,58
Marzo 2023	2876,40	8,43	332,17
Abril 2023	3078,36	8,51	349,27
Mayo 2023	3237,48	10,11	370,69
Junio 2023	3497,58	13,18	397,69
Julio 2023	3628,14	16,09	421,89
Agosto 2023	3793,38	13,91	436,32
Septiembre 2023	3663,84	15,23	421,19
Octubre 2023	3547,56	11,67	402,42
Noviembre 2023	3300,72	9,65	384,67
Diciembre 2023	3109,00	10,33	370,52
Enero 2024	3192.60	11.76	363.05
Febrero 2024	3128.34	10.29	353.78
Marzo 2024	2996.76	9.65	342.55
Abril 2024	3255.84	9.65	379.99
Mayo 2024	3255.40	9.65	328.00
Junio 2024	3045.72	13.55	353.53
Julio 2024	2781.54	9.14	315.92
Agosto 2024	3204.84	9.18	363.77
Septiembre 2024	3149.76	11.20	380.24
Octubre 2024	2710.14	10.03	316.95
Noviembre 2024	1664.64	8.13	211.26
Diciembre 2024	1292.34	8.13	159.30

---

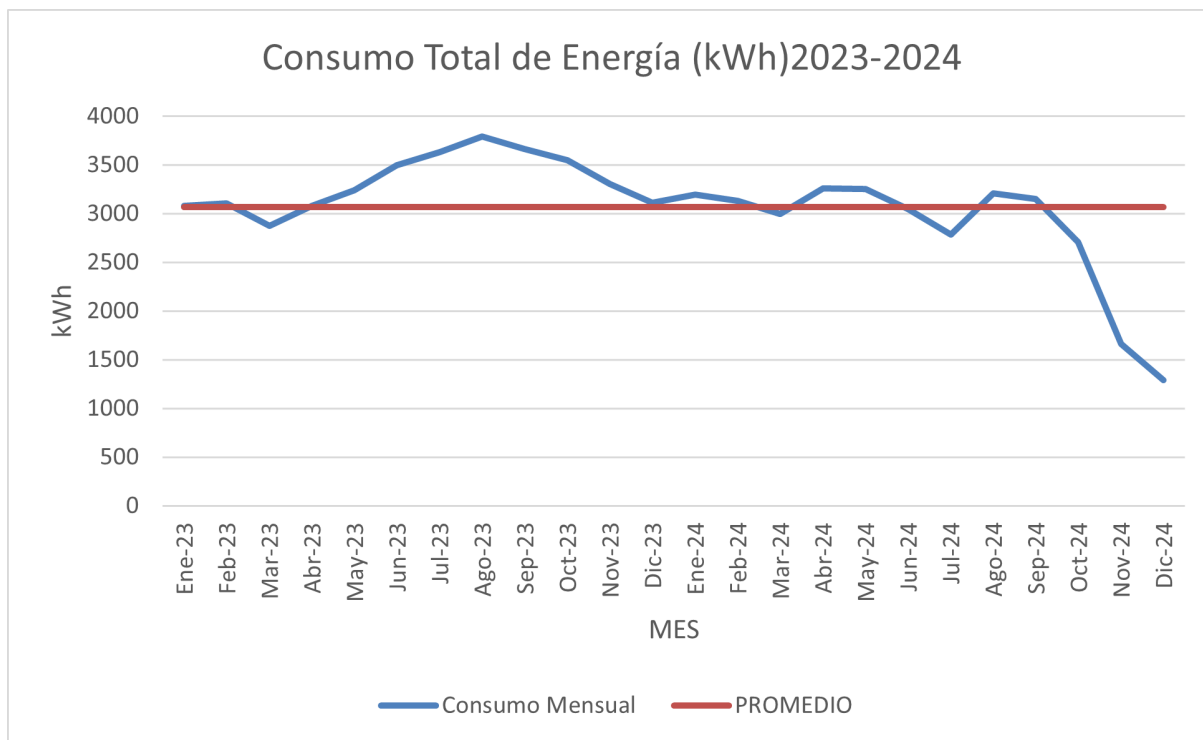
El valor total facturado en la planilla de energía eléctrica no depende únicamente del consumo mensual expresado en kWh, sino que resulta de la sumatoria de diversos componentes tarifarios establecidos por la Empresa Eléctrica de Azogues, conforme a la normativa vigente del sector eléctrico ecuatoriano.

- **Consumo de energía (kWh):** Corresponde a la energía efectivamente utilizada durante el periodo de facturación, calculada como el producto entre el consumo registrado por el medidor y la tarifa vigente por kilovatio-hora.
- **Cargo fijo y/o demanda máxima (kW):** Representa el costo asociado a la potencia máxima demandada por el hospital, independientemente del consumo total, y está relacionado con la capacidad requerida de la red eléctrica para abastecer la instalación.
- **Impuestos y contribuciones:** Incluyen cargos establecidos por la normativa tributaria nacional y sectorial.
- **Aporte para alumbrado público:** Corresponde a un cargo adicional aplicado por la empresa distribuidora, calculado como un porcentaje sobre el valor del consumo de energía eléctrica, aplicado a los usuarios del sistema eléctrico.

$$V_f = (E \cdot T) + C_d + I + A_{ap} \quad (3.1)$$

donde  $V_f$  es el valor total facturado,  $E$  el consumo de energía (kWh),  $T$  la tarifa eléctrica,  $C_d$  el cargo por demanda,  $I$  los impuestos y  $A_{ap}$  el aporte por alumbrado público.

En el caso del Hospital Básico Santa Marianita, el componente con mayor incidencia en el costo mensual es el consumo energético, debido a la operación continua de equipos médicos, sistemas de iluminación, climatización y servicios críticos, lo que justifica la necesidad de implementar estrategias de eficiencia energética y generación fotovoltaica para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional.

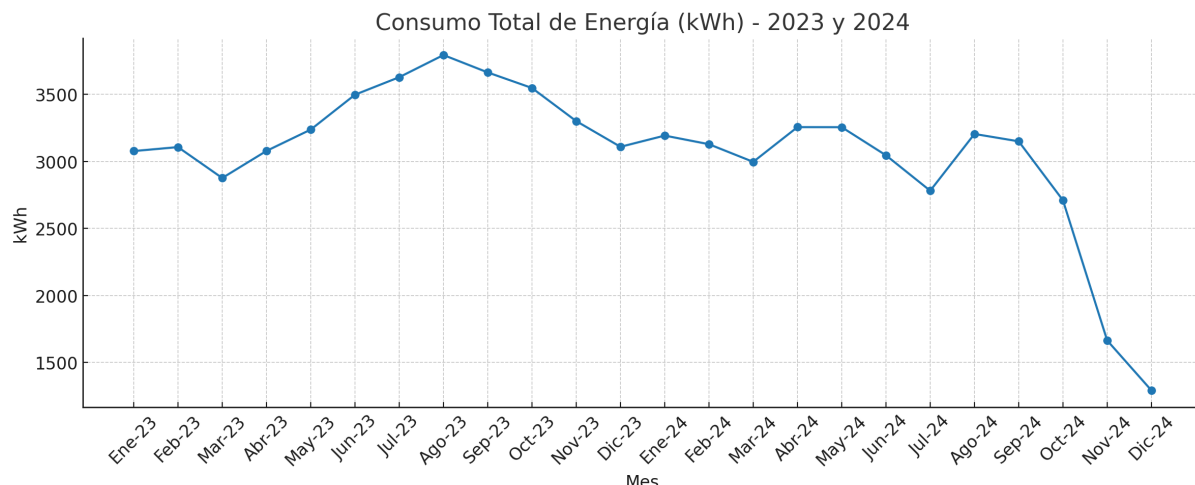


**Figura 3.1:** Consumo mensual de energía eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita (2023–2024)

La Figura 3.1 y 3.2 muestra la evolución del consumo mensual de energía eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita durante el período 2023-2024. El perfil evidencia un comportamiento variable influenciado por la dinámica operativa del hospital, la demanda asistencial, el uso continuo de equipos médicos y factores externos asociados al sistema eléctrico nacional.

Durante el año 2023, el consumo se mantuvo inicialmente en valores cercanos a los **3,000 kWh**, presentando un incremento progresivo entre mayo y agosto. El valor máximo se registró en agosto de 2023 con un consumo aproximado de **3,793 kWh**, comportamiento atribuido al funcionamiento intensivo de equipos clínicos y sistemas de climatización. Hacia el último trimestre del año, el consumo mostró una leve reducción, estabilizándose cerca del promedio anual registrado.

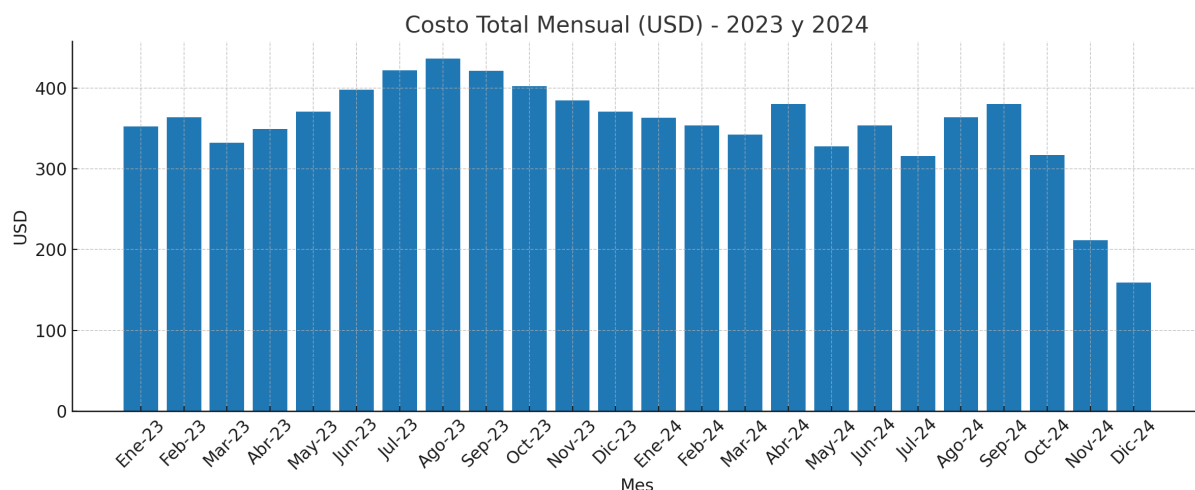
En el año 2024, el consumo presentó una tendencia general ligeramente inferior y más irregular. Entre enero y septiembre, los valores oscilaron entre **2,800 y 3,300 kWh**, lo cual se relaciona con la implementación progresiva de medidas de eficiencia, como la sustitución de luminarias por tecnología LED. No obstante, a partir de octubre se evidenció una disminución marcada, alcanzando valores mínimos cercanos a los **1,300 kWh** en noviembre y diciembre. Esta reducción abrupta se vincula directamente con los racionamientos eléctricos aplicados a nivel nacional debido a la crisis energética y el estiaje prolongado



**Figura 3.2:** Consumo mensual de energía eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024)

que afectó la generación hidroeléctrica del país.

El análisis gráfico identifica la vulnerabilidad del suministro energético del hospital ante eventos externos y limitaciones estructurales del sistema eléctrico nacional. Este escenario refuerza la importancia de fortalecer la resiliencia energética de la institución mediante la diversificación de sus fuentes de suministro y la mejora continua en la gestión de la demanda eléctrica.



**Figura 3.3:** Costo total mensual del servicio eléctrico en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024)

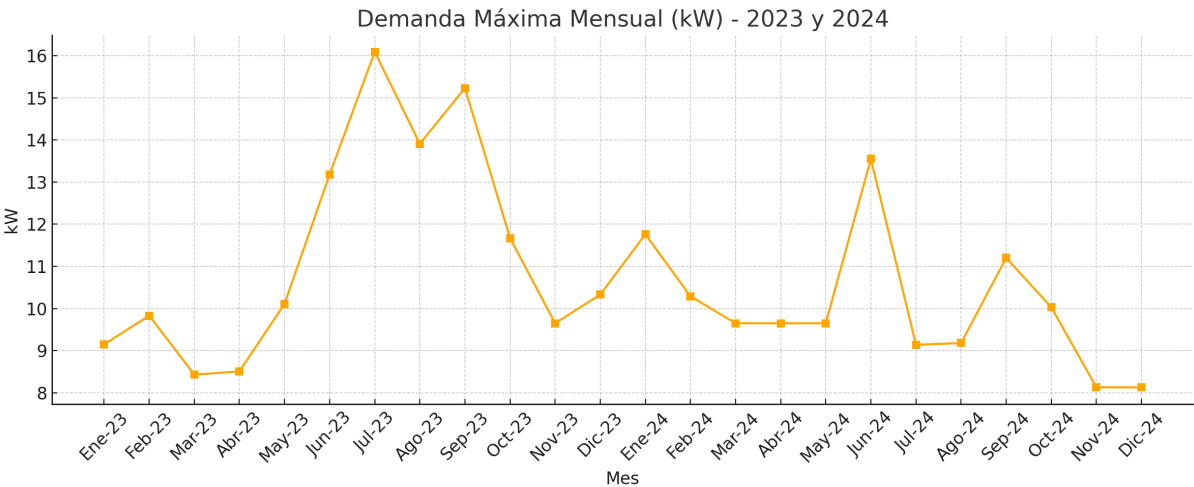
La Figura 3.3 presenta la evolución del costo total mensual de la energía eléctrica del Hospital Básico Santa Marianita durante los años 2023 y 2024. El comportamiento del costo refleja de manera directa la variación del consumo energético, así como la estructura tarifaria aplicada por la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Durante el año 2023 se observa un incremento progresivo del costo mensual entre los meses de mayo y agosto, alcanzando su valor máximo en agosto de 2023, con un monto aproximado de USD 436. Este aumento se encuentra asociado al mayor consumo eléctrico registrado en dicho período, producto de la operación continua de equipos médicos, sistemas de iluminación y climatización, así como a una mayor demanda hospitalaria.

En los meses posteriores del año 2023, el costo mensual presenta una ligera disminución, manteniéndose cercano al promedio anual, lo que evidencia una relación proporcional entre el consumo energético y el valor facturado en la planilla eléctrica.

Para el año 2024, el comportamiento del costo mensual muestra una tendencia general a la reducción, con valores relativamente estables entre enero y septiembre. Sin embargo, a partir de octubre de 2024 se registra una disminución significativa del costo, alcanzando mínimos en los meses de noviembre y diciembre, con valores aproximados de USD 211 y USD 159, respectivamente. Esta reducción está directamente relacionada con la disminución del consumo eléctrico ocasionada por los racionamientos energéticos aplicados a nivel nacional debido a la crisis energética y al estiaje prolongado que afectó la generación hidroeléctrica del país.

El análisis del comportamiento del costo mensual permite evidenciar que el gasto energético del hospital es altamente sensible tanto a la variación del consumo eléctrico como a las condiciones del sistema eléctrico nacional. En este contexto, la implementación de medidas de eficiencia energética y de un sistema de generación distribuida mediante energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa viable para reducir el costo operativo, mitigar el impacto de los racionamientos y mejorar la sostenibilidad.



**Figura 3.4:** Demanda máxima mensual registrada en el Hospital Básico Santa Marianita (2023-2024)

La Figura 3.4 muestra la evolución de la demanda máxima mensual registrada en el Hospital Básico Santa Marianita durante los años 2023 y 2024. Este indicador representa el valor más alto de potencia eléctrica demandada en un intervalo determinado y constituye un parámetro relevante dentro de la facturación eléctrica y del análisis del desempeño energético de la instalación.

Durante el año 2023 se observa un incremento progresivo de la demanda máxima entre los meses de mayo y agosto, alcanzando su valor más alto en julio de 2023, con aproximadamente 16,1 kW. Este comportamiento se asocia al uso simultáneo de equipos médicos, sistemas de climatización, iluminación y otros servicios hospitalarios que operan de forma continua, especialmente en periodos de mayor actividad asistencial.

Posteriormente, a partir de septiembre de 2023, la demanda máxima presenta una tendencia descendente, estabilizándose en valores cercanos a 10 kW hacia el final del año, lo que indica una reducción en los picos de potencia demandada, pese a que el hospital mantiene su operación permanente.

En el año 2024, la demanda máxima mensual muestra un comportamiento más irregular. Entre enero y mayo los valores se mantienen relativamente constantes, cercanos a los 10 kW. Sin embargo, en junio de 2024 se registra un incremento puntual, alcanzando aproximadamente 13,5 kW, asociado a un aumento temporal de la carga eléctrica conectada.

A partir de julio de 2024 se evidencia una disminución sostenida de la demanda máxima, alcanzando valores mínimos cercanos a 8 kW en los meses de noviembre y diciembre. Esta reducción está directamente relacionada con los racionamientos eléctricos implementados a nivel nacional durante la crisis energética, así como con el uso controlado del generador de respaldo y la restricción del funcionamiento de cargas no críticas.

El análisis de la demanda máxima evidencia la importancia de gestionar adecuadamente los picos de potencia, ya que estos influyen de manera directa en el costo de la planilla eléctrica. En este contexto, la implementación de medidas de eficiencia energética y de un sistema fotovoltaico con capacidad de reducción de demanda en horas pico contribuiría a optimizar el desempeño energético del hospital y a disminuir los costos asociados a la demanda máxima registrada.

### **3.3. Metodología y Alcance del Diagnóstico**

El diagnóstico de seguridad eléctrica se estructuró en torno a las siguientes áreas de inspección:

1. Señalética de Seguridad Eléctrica
2. Inspección de acometida del Hospital
3. Tableros de distribución (Edificación antigua y nueva)
4. Distribución eléctrica de las instalaciones del Hospital
5. Tipos de luminarias utilizadas en el Hospital
6. Inventario técnico de luminarias
7. Análisis de niveles de iluminancia en las instalaciones del hospital
8. Análisis sobre el nivel de iluminancia
9. Verificación de Instalación Eléctrica Hospitalaria
10. Levantamiento de Cargas Eléctricas Especiales
11. Inspección del generador
12. Generador auxiliar existente
13. Análisis de Resultados de la Medición con el medidor de calidad de energía
14. Entrevista al personal de mantenimiento

#### **3.3.1. Señalética de Seguridad Eléctrica**

El hospital cuenta con un sistema de transformación que dispone de delimitación física; sin embargo, se constató la ausencia de señalización visible que advierta sobre el riesgo eléctrico en la zona. Esta condición representa un peligro potencial para el personal y usuarios que circulan cerca del transformador.

En la edificación antigua, varios tableros de distribución también carecen de rótulos de advertencia, lo cual constituye un riesgo de manipulación indebida o exposición accidental. La falta de señalética contraviene las recomendaciones básicas de seguridad aplicables a instalaciones de uso público.

Durante la auditoría se observó lo siguiente:

- Tableros principales y cuartos técnicos sin señalización adecuada.
- Señales en mal estado o inexistentes en pasillos administrativos.
- Únicamente el área quirúrgica cumplía con la normativa de rotulación.

Se recomienda la instalación de señalética normalizada conforme a la normativa ecuatoriana **NTE INEN 439**, el **RETIE** y las normas internacionales **ISO 7010** e **ISO 3864**.

**Tabla 3.2:** Verificación de señalética eléctrica en el hospital

Nº	Ubicación	¿Existe señalética?	Observaciones
1	Tablero principal (PB)	✗	Sin rótulo de “Alto Voltaje”
2	Cuarto técnico	✗	
3	Área quirúrgica	✓	Señal en buen estado
4	Pasillos administrativos	✗	No posee señales de advertencia

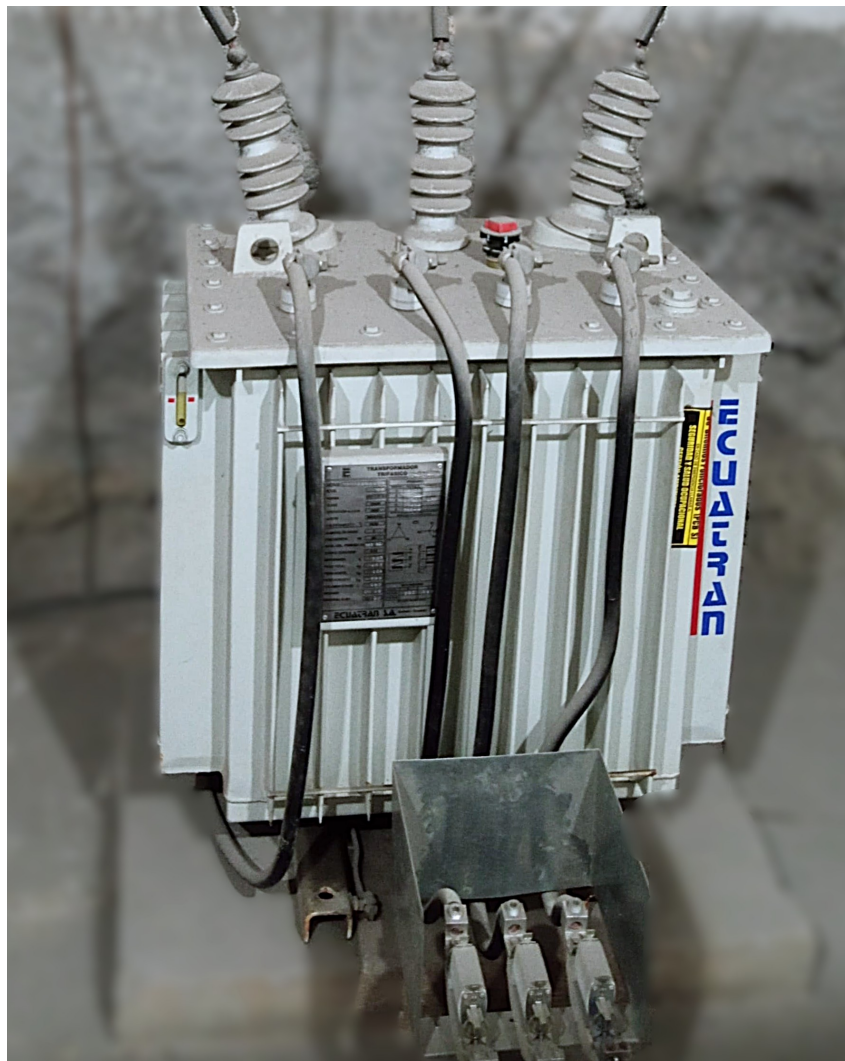
### 3.3.2. Inspección de acometida del Hospital

La inspección técnica incluyó el levantamiento de información sobre la acometida de media tensión, el transformador de distribución y el sistema de protección.

El hospital dispone de un transformador de distribución trifásico de 75 kVA, marca ECUATRAN, con conexión trifásica Dyn5 y tensión de 22/0,22 kV. Esta se conecta al alimentador A0124, con una cargabilidad de apenas 5,47 %, según datos de la Empresa Eléctrica Azogues (EEA).

Las principales características observadas fueron:

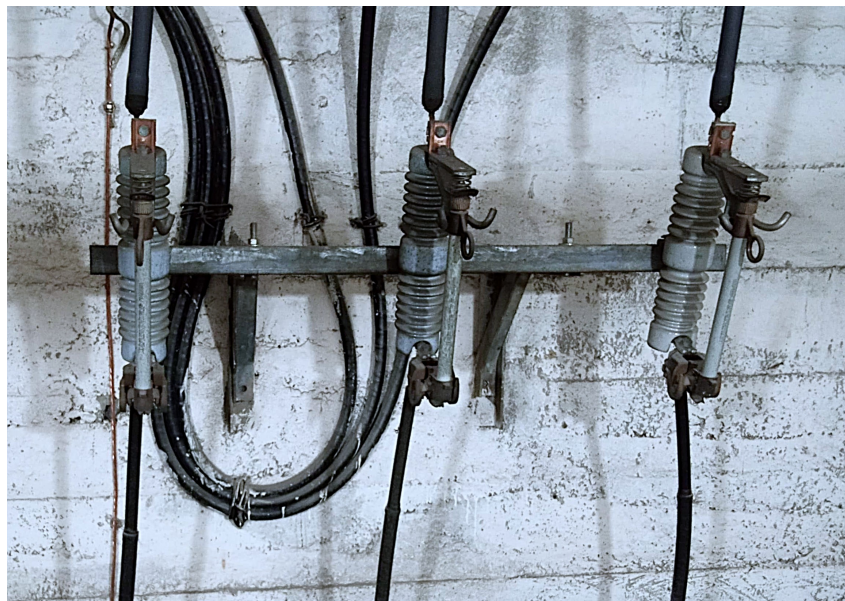
- Acumulación de polvo en los aisladores del transformador.
- Ausencia de fugas de aceite o deformaciones estructurales.
- Protección primaria conformada por un seccionador fusible trifásico con capacidad de interrupción de 12 kA.
- Acometida subterránea en media tensión con conductores Cu 2 AWG, longitud de 0,74 km.
- Bajante en baja tensión con conductores THHN Cu 1/0 AWG y longitud de 15 m.



**Figura 3.5:** Transformador trifásico de 75 kVA marca ECUATRAN.

**Tabla 3.3:** Ficha técnica del transformador de distribución

Parámetro	Valor
Tipo de transformador	<i>(Trifásico)</i>
Marca / Modelo	ECUATRAN
Capacidad nominal	75 kVA
Tensión primaria / secundaria	22 kV / 0,22 kV
Frecuencia nominal	60 Hz
Año de fabricación	—
Voltaje nominal	22/0.22 kV
Corriente nominal	—
Conexión	Dyn5



**Figura 3.6:** Detalle de los cortacircuitos tipo fusible en media tensión.

### 3.3.3. Tableros de distribución (Edificación antigua y nueva)

El levantamiento realizado en las instalaciones del hospital permitió identificar la presencia de varios tableros eléctricos distribuidos entre la edificación antigua y la nueva.

En la infraestructura antigua, los tableros se encuentran en zonas de libre acceso, lo que

incrementa el riesgo de contacto accidental con componentes energizados. Además, carecen de señalización y rotulación adecuada que indique su función o el nivel de riesgo.

En contraste, los tableros de la edificación nueva presentan una mejor organización en cuanto a la distribución de circuitos, aunque todavía requieren mejoras en la rotulación y en la implementación de protecciones secundarias.

Una gestión adecuada de los tableros debe contemplar:

- Identificación visible de cada tablero y su área de influencia.
- Inclusión de protecciones diferenciales y dispositivos contra sobretensión.
- Mantenimiento periódico para asegurar continuidad del servicio.

#### **3.3.4. Distribución eléctrica de las instalaciones del Hospital**

La red eléctrica del Hospital Básico Santa Marianita se organiza en once tableros de distribución (TD1–TD11), cada uno asignado a un área funcional del edificio, se observa el diagrama unifilar general de la instalación, donde se identifican estos tableros y su relación con el transformador principal.

En la Tabla 3.4 se presentan las demandas efectivas de cada tablero. Se destaca que el TD5 (quirófano) concentra la mayor carga con 7,86 kVA, seguido del TD9 (lavandería) con 5,67 kVA y el TD11 (ascensor) con 3,03 kVA. Estos valores se explican por el tipo de equipos que alimentan: cargas críticas en el quirófano, motores de secadoras en la lavandería y la potencia requerida por el sistema de elevación.

En contraste, tableros como el TD1, TD3, TD6, TD8 y TD10 presentan demandas inferiores a 1,5 kVA, correspondientes principalmente a iluminación y fuerza de baja potencia. Esta información permite establecer prioridades en el diseño de medidas de eficiencia energética y en la planificación de refuerzos de infraestructura, las cuales se retoman en el Capítulo 6 de este trabajo.

**Tabla 3.4:** Resumen de demanda efectiva de tableros eléctricos del Hospital

<b>Tablero</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Demanda [kVA]</b>
TD1	Pasillo planta baja	1,40
TD2	Sala de Rayos X	3,15
TD3	Ducto edificio nuevo planta baja	1,15
TD4	Pasillo primera planta	2,90
TD5	Quirófano	7,86
TD6	Ducto primera planta (nueva edificación)	1,07
TD7	Pasillo segunda planta	3,03
TD8	Ducto segunda planta (nueva edificación)	1,17
TD9	Lavandería tercera planta	5,67
TD10	Ducto tercera planta	0,50
TD11	Ascensor	3,03

El tablero con mayor carga corresponde al TD5 (quirófano), alcanzando 7,86 kVA, seguido por el TD9 (lavandería) con 5,67 kVA. En conjunto, estos dos tableros representan aproximadamente el 40% de la demanda total del hospital. En contraste, tableros como TD3, TD6, TD8 y TD10 registran demandas menores a 1,5 kVA, destinadas principalmente a iluminación y tomacorrientes de baja potencia.

Los valores de demanda por tablero fueron obtenidos a partir del levantamiento de cargas eléctricas realizado en cada área del hospital, considerando la potencia nominal de los equipos conectados, su régimen de operación y la simultaneidad de uso. Para cada tablero se determinó inicialmente la potencia instalada total, expresada en kW, a partir de la suma de las potencias de los equipos médicos, luminarias y tomacorrientes asociados.

Posteriormente, se aplicó un factor de simultaneidad acorde al tipo de carga y al uso del área, con el fin de reflejar condiciones reales de operación y evitar la sobreestimación de la demanda. En áreas críticas como quirófano y lavandería, donde los equipos operan de manera continua o con alta probabilidad de coincidencia, se utilizó un factor de simultaneidad elevado, mientras que en áreas administrativas y de iluminación general se aplicaron factores menores.

La demanda resultante en kW fue convertida a kVA considerando un factor de poten-

cia típico de 0,96, valor recomendado para instalaciones hospitalarias con predominio de equipos electrónicos y sistemas de iluminación eficiente. De esta manera, se obtuvo la demanda aparente real por tablero, utilizada para el análisis comparativo del sistema eléctrico interno.

Bajo este criterio, el tablero TD5 (quirófano) presenta la mayor demanda, alcanzando 7,86 kVA, debido a la presencia de equipos médicos especializados, sistemas de iluminación quirúrgica y operación continua. De forma similar, el tablero TD9 (lavandería) registra una demanda de 5,67 kVA, asociada al uso de motores eléctricos y equipos térmicos de alta potencia.

En contraste, tableros como TD3, TD6, TD8 y TD10 muestran demandas inferiores a 1,5 kVA, correspondientes principalmente a iluminación y tomacorrientes de uso general, donde la simultaneidad de carga es reducida. Este análisis permite identificar los usos significativos de energía y constituye la base técnica para la propuesta de mejora energética y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

En concordancia con los lineamientos de la norma **NTE INEN ISO 50001:2018**, los resultados obtenidos permiten establecer una base técnica sólida para la toma de decisiones, priorizando las áreas de mayor impacto energético y contribuyendo a la mejora continua del desempeño energético del hospital.

### **Recomendaciones:**

- Reequilibrar las fases en tableros de mayor carga para reducir pérdidas y mejorar la estabilidad interna.
- Incorporar dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) en TD5, TD9 y TD11.
- Implementar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en los tableros de mayor demanda.

Este análisis evidencia que gran parte de la carga eléctrica se concentra en áreas críticas del hospital, lo cual resalta la importancia de aplicar medidas de eficiencia energética y de reforzar la seguridad eléctrica en los tableros más sensibles.

### 3.3.5. Tipos de luminarias utilizadas en el Hospital

El sistema de iluminación del Hospital Básico Santa Marianita está compuesto por diversos tipos de luminarias LED, seleccionadas según la función del espacio, el tipo de edificación y los niveles de iluminancia requeridos. La distribución se detalla a continuación:

- **Edificación antigua:** Se utilizan luminarias LED sobrepuestas de forma redonda con potencias de **12 W**, **18 W**, **24 W**, **36 W** y **48 W**, todas con luz blanca de temperatura de color de **6000 K**. Estas luminarias están distribuidas en pasillos, oficinas administrativas, consultorios y áreas comunes. En las habitaciones de esta edificación también se utilizan luminarias de **24 W**, las cuales proporcionan una iluminación más intensa. Adicionalmente, en zonas críticas como quirófanos y salas de procedimientos se han instalado luminarias de **100 W**, garantizando altos niveles de iluminación.
- **Nueva edificación:** En esta zona se emplean principalmente **paneles LED de 60 cm × 60 cm y 40 W**, instalados en techos modulares, ideales para consultorios, oficinas y espacios de circulación. Las habitaciones están equipadas con una combinación de luminarias redondas de **6 W** y **40 W**, según la disposición y tamaño del espacio. Los baños, por su parte, cuentan con luminarias redondas de **18 W**, todas con una temperatura de color de **6500 K**, proporcionando una luz blanca uniforme adecuada para tareas visuales de corta duración.

Esta diversidad de luminarias permite al hospital adaptar los niveles de iluminación a las necesidades funcionales de cada área, optimizando el consumo energético y garantizando confort visual. Se recomienda mantener una política de revisión periódica de niveles de iluminancia, así como avanzar hacia la estandarización de modelos para facilitar el mantenimiento y reposición de luminarias.

### 3.3.6. Inventario técnico de luminarias

Durante la inspección realizada en las instalaciones del Hospital Básico Santa Marianita, se identificaron las luminarias actualmente instaladas en las diferentes áreas del

establecimiento. Se registraron sus características técnicas, cantidad, potencia unitaria, horas promedio de uso diario y el consumo energético estimado.

Se observó una predominancia de tecnología LED, reconocida por su eficiencia energética y bajo consumo, lo que evidencia una tendencia favorable hacia la optimización del uso de la energía eléctrica en el hospital. Las potencias de las luminarias varían desde **18 W** en espacios de menor demanda lumínica, como los baños, hasta **100 W** en zonas críticas como el quirófano, donde se requiere iluminación adecuada para procedimientos médicos.

Las horas de uso diario fueron estimadas según la actividad operativa de cada área. Por ejemplo, en el área de emergencia se registró un funcionamiento continuo de 24 horas, debido a su carácter crítico.

El consumo energético total estimado para la iluminación del hospital asciende a **36.96 kWh/día**, valor obtenido a partir del relevamiento de luminarias en servicio. Esta cifra representa una proporción importante del consumo energético general y permite identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia y gestión de la demanda.

La Tabla 3.5 presenta el inventario técnico de luminarias agrupadas por área, incluyendo potencia unitaria, cantidad, uso horario y consumo diario estimado.

**Tabla 3.5:** Inventario y consumo diario de luminarias por área

N°	Área	Tipo de luminaria actual	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Uso (h/día)	Consumo diario (kWh)
1	Pasillos	LED	40	24	12 h	11.52
2	Consultorios	LED	36	24	8:00 a.m. a 1:00 p.m. y 8:00 a.m. a 4:00 p.m.	3.456
3	Emergencia	LED	8	24	24 h	4.608
4	Sala de espera	LED	30	24	12 h	8.64
5	Sala de parto 1	LED	2	24	2 h	0.096
6	Sala de parto 2	LED	4	24	2 h	0.192
7	Quirófano	LED	4	100	6 h	2.4
8	Habitaciones	LED	36	24	Uso solo cuando están ocupadas	3.456
9	Baños	LED	36	18	Uso al ingreso	2.592
<b>Consumo total diario estimado</b>						<b>36.96</b>

### 3.4. Análisis de niveles de iluminancia en las instalaciones del hospital

La calidad de la iluminación artificial en entornos hospitalarios es un factor crítico para garantizar seguridad, eficiencia operativa y confort visual tanto para el personal médico como para los pacientes. En cumplimiento con los estándares y siguiendo los lineamientos de iluminación recomendados para hospitales, se realizaron mediciones de iluminancia (lux) en diferentes áreas del Hospital Básico Santa Marianita, mediante el uso de un luxómetro calibrado que garantizó la precisión de los datos obtenidos.

La evaluación se llevó a cabo comparando los valores medidos con los niveles mínimos recomendados por normativas técnicas internacionales, que sugieren valores típicos de:

- **100 lx** para pasillos y zonas de circulación.
- **200 lx** para áreas de espera, recepción y baños.
- **300–500 lx** para áreas críticas como laboratorios, quirófanos o salas de procedimientos (no incluidas en esta tabla).

A continuación se presenta la comparación por planta:

**Tabla 3.6:** Iluminancia en Planta Baja (corregida con normativa ISO 8995 / EN 12464-1)

Zona	Lux medido	Recomendado	Cumple
Recepción	205	200–300	✓
Pasillos - Emergencia	120	100–200	✓
Baños	150	200	✗
Pasillos	105	100–200	✓
Pasillo que conecta al ascensor	108	100–200	✓
Pasillo largo	115	100–200	✓
Pasillo pequeño conecta grada	109	100–200	✓
Emergencia	194	300–500	✗
Observación	196	300–500	✗

**Tabla 3.7:** Iluminancia en Primera Planta

Zona	Lux medido	Recomendado	Cumple
Pasillo que conecta a la grada	105	100–200	✓
Baño	97	200	✗
Grada	100	100–200	✓
Pasillo - ascensor	106	100–200	✓
Recepción	225	200–300	✓
Baños H-M	150	200	✗
Pasillos de salida	115	100–200	✓
Recepción de entrada	141	200–300	✗

**Tabla 3.8:** Iluminancia en Segunda Planta

Zona	Lux medido	Recomendado	Cumple
Habitaciones	196	150–300	✓
Baño	135	200	✗
Pasillo	264	100–200	✗
Baños	198	200	✗
Habitación 204	259	150–300	✓
Baño 2	189	200	✗
Sala de recepción	128	200–300	✗
Pasillo pequeño	130	100–200	✓
Pasillo Nuevo	275	100–200	✗
Pasillo - habitaciones	125	100–200	✓
Grada	120	100–200	✓

**Tabla 3.9:** Iluminancia en Tercera Planta

Zona	Lux medido	Recomendado	Cumple
Lavandería	196	300	✗
Baño	107	200	✗
Lencería	206	300	✗
Cuarto Planchado	198	300	✗
Cocina	259	300	✗
Despensa	179	200	✗
Pasillo	118	100–200	✓
Sala de reuniones	130	200–300	✗
Pasillo Nuevo	275	100–200	✗
Sala de espera	225	200–300	✓
Grada	110	100–200	✓

A partir de las mediciones realizadas en las diferentes áreas del Hospital Básico Santa Marianita se evidenció que los niveles de iluminación no son uniformes en todo el establecimiento. En términos generales, los pasillos y zonas de circulación cumplen con los

valores recomendados por la norma ISO 8995-1 / EN 12464-1 (100–200 lux), garantizando condiciones adecuadas para el tránsito de personal y pacientes.

Por otro lado, se observó que los baños, tanto de planta baja como de los pisos superiores, presentan niveles de iluminancia por debajo de los 200 lux mínimos requeridos, lo que puede generar dificultades de visibilidad y aumentar el riesgo de accidentes. Esta situación evidencia la necesidad de mejorar la iluminación en estas áreas mediante el incremento del flujo luminoso o el reemplazo de luminarias por modelos más eficientes.

Respecto a las habitaciones de hospitalización, los valores registrados se encuentran dentro del rango recomendado (150–300 lux), por lo que la iluminación es adecuada para el descanso de los pacientes y las tareas básicas del personal de salud.

Sin embargo, las áreas operativas como lavandería, cocina y lencería presentan niveles inferiores a los 300 lux establecidos para tareas que requieren precisión. Esto puede provocar fatiga visual, disminución de la precisión en las labores y reducción del rendimiento del personal. Por lo tanto, se recomienda incrementar la potencia o cantidad de luminarias en dichos espacios.

Finalmente, se identificaron algunos casos de sobreiluminación en ciertos pasillos, donde los valores superan el rango recomendado. Esto no solo implica un consumo energético innecesario, sino que puede generar deslumbramiento y afectar el confort visual.

En conclusión, la iluminación del hospital cumple adecuadamente en las zonas de circulación y habitaciones, pero requiere mejoras en baños y áreas de trabajo operativo, así como la optimización del nivel de iluminancia en los pasillos donde se detectó sobreiluminación, con el fin de garantizar seguridad, confort visual y eficiencia energética.

#### **3.4.1. Análisis sobre el nivel de iluminancia**

A partir de las mediciones realizadas se identificó que varias áreas del hospital presentan niveles de iluminancia superiores a los valores recomendados por la normativa. Este fenómeno se repite principalmente en los pasillos, donde los registros oscilaron entre **105 lx y 275 lx**, frente al valor de referencia de **100 lx**. Los casos más críticos se observaron en el pasillo de la segunda planta (**264 lx**) y en los pasillos nuevos de la segunda y tercera planta (superiores a **270 lx**). Asimismo, se evidenció exceso de iluminancia en

zonas como la cocina (**259 lx**), la sala de espera de la tercera planta (**225 lx**), la lencería (**206 lx**) y la habitación 204 (**259 lx**), todas ellas por encima de los valores normativos de 200 lx.

Este exceso no obedece a un error de medición, sino a deficiencias en el diseño e instalación del sistema de iluminación, atribuibles a los siguientes factores:

- **Sobreiluminación por exceso de luminarias:** en pasillos y zonas comunes se instalaron más equipos de los necesarios o luminarias con potencia superior a la requerida.
- **Ausencia de cálculo luminotécnico:** la disposición de luminarias se realizó de manera empírica, sin aplicar lo establecido en la norma ISO 8995/EN 12464-1.
- **Ópticas y difusores inadecuados:** se utilizaron luminarias con difusores transparentes que concentran el flujo luminoso en lugar de dispersarlo de manera uniforme.
- **Efecto de reflexión:** la presencia de paredes y techos pintados en tonos claros incrementa la iluminancia efectiva debido a la alta reflectancia.

**Implicaciones:** el exceso de iluminancia incrementa el consumo energético de manera innecesaria y puede generar deslumbramiento y fatiga visual en el personal y los pacientes, comprometiendo el confort visual en áreas críticas.

**Medida correctiva:** Sustituir las luminarias de alto flujo por modelos de menor potencia o con difusores opalinos, lo que permitirá adecuar los niveles de iluminancia a los valores normativos y garantizar una distribución uniforme de la luz.

### **3.5. Verificación de Instalación Eléctrica Hospitalaria**

Se llevó a cabo una verificación en sitio de los principales componentes de la instalación eléctrica del Hospital Básico Santa Marianita, considerando criterios técnicos de seguridad, operatividad y mantenimiento. La inspección incluyó la evaluación visual y funcional de elementos clave del sistema eléctrico, así como la recolección de información mediante entrevistas con el personal técnico a cargo.

La Tabla 3.10 resume los resultados obtenidos, indicando el cumplimiento o incumplimiento de cada ítem, junto con observaciones relevantes detectadas durante el recorrido.

Se confirmó la existencia del tablero principal, así como el buen estado físico de los tableros de distribución. Las canalizaciones eléctricas están correctamente instaladas, utilizando mangueras protegidas y bandejas tipo escalerilla en la nueva edificación, lo que permite una conducción segura y ordenada. Las luminarias se encuentran en funcionamiento, y el sistema de puesta a tierra está presente y operativo.

Se verificó también la existencia del transformador, aunque se evidenció la falta de mantenimiento adecuado, lo cual podría comprometer su desempeño futuro. En cuanto al respaldo energético, se constató la presencia del grupo electrógeno modelo **PCI5000-B3**, actualmente en funcionamiento y destinado a alimentar zonas críticas en caso de interrupciones de suministro.

En el aspecto documental y preventivo, se identificaron dos aspectos pendientes: la ausencia de planos eléctricos actualizados y la falta de señalética de seguridad eléctrica. Ambos elementos son esenciales para garantizar intervenciones técnicas seguras y cumplir con normativas vigentes.

Finalmente, se confirmó que el personal responsable posee conocimiento del sistema eléctrico, lo cual es indispensable para su correcta operación y gestión técnica.

Este diagnóstico permite establecer un panorama claro del estado actual de la instalación eléctrica hospitalaria, sirviendo como base para futuras acciones de mantenimiento preventivo, actualización normativa y mejora en la seguridad operativa del sistema.

A continuación se presenta el resumen de la verificación realizada para evaluar las condiciones y el estado de la instalación eléctrica en el Hospital Básico Santa Marianita.

**Tabla 3.10:** Lista de verificación de instalación eléctrica hospitalaria

Ítem	Elemento Verificado	¿Cumple? (SI/NO)	Observaciones
1	Existencia de tablero principal	SI	El tablero que se considera principal en la edificación es el tablero de medición.
2	Estado físico de tableros de distribución	SI	Requieren mantenimiento como ajuste de torque limpieza y señalización.
3	Canalización eléctrica en buen estado	SI	Los ductos están colocados con manguera y cuentan con bandeja tipo escalerilla para la nueva edificación
4	Existencia de puesta a tierra	SI	Solo para el transformador
5	Luminarias en funcionamiento	SI	
6	Existencia de transformador	SI	No existe el mantenimiento adecuado
7	Presencia de grupo electrógeno	SI	Modelo PCI5000-B3; se encuentra operativo
8	Cargas críticas identificadas	SI	
9	Medidor principal accesible y funcional	SI	
10	Documentación técnica (planos eléctricos)	NO	
11	Señalética de seguridad eléctrica	NO	
12	Personal responsable con conocimiento del sistema	SI	

### 3.6. Levantamiento de Cargas Eléctricas Especiales

Durante la inspección técnica realizada en el Hospital Básico Santa Marianita, y en base a la información proporcionada por el personal responsable de las instalaciones, se identificaron diversas cargas eléctricas especiales distribuidas en las diferentes áreas funcionales del establecimiento.

Estas cargas corresponden a equipos médicos, electrodomésticos industriales, luminarias técnicas y otros dispositivos de uso específico que presentan un consumo relevante dentro del sistema eléctrico del hospital. En la Tabla 3.11 se presenta el inventario de estos equipos, con el detalle de su cantidad, potencia nominal, tiempo promedio de uso diario y la energía diaria estimada, expresada en Wh/día.

Se destacan cargas críticas como los monitores de signos vitales en el área de emergencia y los equipos utilizados en quirófano, los cuales operan de forma intermitente o con picos elevados de potencia. También se registraron equipos de alta demanda y uso frecuente, como las lavadoras industriales ubicadas en la lavandería.

Esta información resulta fundamental para el análisis energético actual del hospital y permite identificar los puntos de mayor consumo dentro de su operación regular.

**Tabla 3.11:** Listado de cargas eléctricas especiales del hospital

N°	Área	Equipo eléctrico	Cantidad	Potencia (W)	Horas uso/día	Energía diaria (Wh/día)	Observaciones
1	Emergencia	Monitor signos vitales	2	100	24	4800	Carga crítica
2	Lavandería	Lavadora industrial	3	2000	4	24000	Carga pesada uso diario
3	Quirófano	Lámpara quirúrgica LED	2	50	4	400	Iluminación técnica
4	Quirófano	Camilla quirúrgica	1	500	1	500	
5	Quirófano	Máquina de anestesia	1	1000	1	1000	
6	Quirófano	Bombas de infusión	1	25	0.3	7.5	
7	Sala de Parto	Termocuna	2	1400	0.2	560	
8	Quirófano	Autoclave	1	4600	0.1	460	
9	Quirófano	Electrocauterio	1	300	2	600	Uso durante operaciones
10	Cocina	Nevera	2	2000	6	24000	Uso normal de neveras

### 3.6.1. Inspección del generador

Durante la inspección del área destinada al generador de emergencia, se constató la ausencia de una instalación eléctrica adecuada que garantice su operación segura y confiable. El generador se encuentra físicamente instalado, pero no dispone de canalizaciones, table-

ros de transferencia, protecciones ni sistemas de distribución que permitan su integración al sistema eléctrico del hospital.

Este hallazgo constituye una observación relevante de la auditoría, ya que limita la capacidad de respaldo energético ante fallas o racionamientos en la red pública, comprometiendo la continuidad del servicio hospitalario.

Se recomienda implementar la instalación eléctrica correspondiente, que incluya un tablero de transferencia automática, sistemas de protección ajustados a la normativa y canalizaciones certificadas, asegurando el cumplimiento de estándares de seguridad y confiabilidad para instalaciones críticas de salud.

### 3.7. Generador auxiliar existente

A partir de la inspección técnica realizada en sitio, complementada con información proporcionada por el personal operativo del hospital, se identificó la existencia de un sistema de generación auxiliar instalado de manera sobrepuesta durante los cortes programados de energía que afectaron al país en los últimos meses del año 2024, como consecuencia del estiaje. Este generador fue implementado de forma reactiva, con el fin de mantener operativas únicamente las zonas críticas del Hospital Básico Santa Marianita.

El equipo corresponde a un generador modelo **PCI5000-B3**, el cual opera con combustible a gasolina y presenta una configuración monofásica. Su potencia nominal continua es de **6 500 W**, alcanzando una potencia pico de hasta **15 000 W**, lo que permite soportar arranques de equipos con motores eléctricos. La salida eléctrica es de **120/240 V** a una frecuencia de **60 Hz**, con una corriente nominal de **42,2 A** y un factor de potencia de **0,9**.

El motor incorporado es de **1 cilindro y 4 tiempos**, con régimen de funcionamiento de **3600 rpm**, aislamiento de clase **F** y grado de protección **IP23**. Su eficiencia se estima en un **73 %**, siendo apto para operar en condiciones ambientales de hasta **40 °C**. Debido a su carácter provisional y su capacidad limitada, este generador no garantiza el suministro eléctrico a todo el hospital, restringiendo su cobertura únicamente a áreas médicas esenciales. Sus principales especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12:** Especificaciones técnicas del generador modelo PCI5000-B3

Datos	Detalle
Modelo	PCI5000-B3
Tipo	Generador a gasolina
Potencia nominal (continua)	6,500 W
Potencia pico (surge)	15,000 W
Voltaje de salida	120/240 V ~
Corriente nominal	42.2 A
Frecuencia	60 Hz
Factor de potencia	0,9
Velocidad del motor	3600 rpm
Fases	Monofásico
Tipo de combustible	Gasolina
Ciclo del motor	1 cilindro, 4 tiempos
Nivel de aislamiento	Clase F
Clase de protección	IP23
Temperatura ambiente máx.	40 °C
Eficiencia del generador	73 %
Fabricado en	China

### 3.8. Análisis de Resultados de la Medición con el medidor de calidad de energía

#### 3.8.1. Comportamiento de los Voltajes

En la Figura 5.1 se observa la variación de los voltajes L1-N, L2-N y L3-N durante los siete días de medición continua. Los valores registrados se mantienen dentro del rango permitido de  $\pm 3\%$  respecto al valor nominal del transformador trifásico 127 V, lo que equivale a un intervalo aproximado de 123.2 V a 130.8 V. Este comportamiento es característico de un sistema eléctrico bien regulado, sin oscilaciones bruscas que pudieran

comprometer el funcionamiento de equipos médicos sensibles.

La estabilidad observada en la tensión sugiere que la red de alimentación está correctamente dimensionada y que el transformador operando en el hospital responde adecuadamente a las variaciones de carga, manteniendo el voltaje dentro de los límites establecidos por la normativa técnica vigente. Esta condición es esencial para preservar la vida útil de los aparatos electromédicos y garantizar la seguridad de los procedimientos hospitalarios.

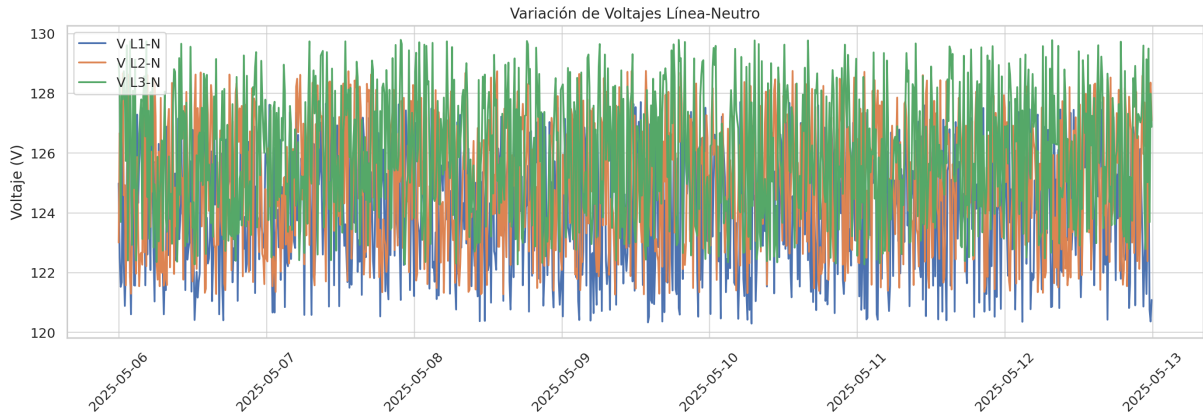
### **3.8.2. Comportamiento de las Corrientes**

La Figura 3.8 muestra la evolución de la corriente en cada una de las fases a lo largo del período de medición de siete días. Se observan patrones característicos en la demanda eléctrica, destacando franjas horarias de mayor actividad energética que coinciden con los horarios operativos más intensos del hospital, especialmente entre las 08h00 y 13h00, así como entre las 17h00 y 20h00.

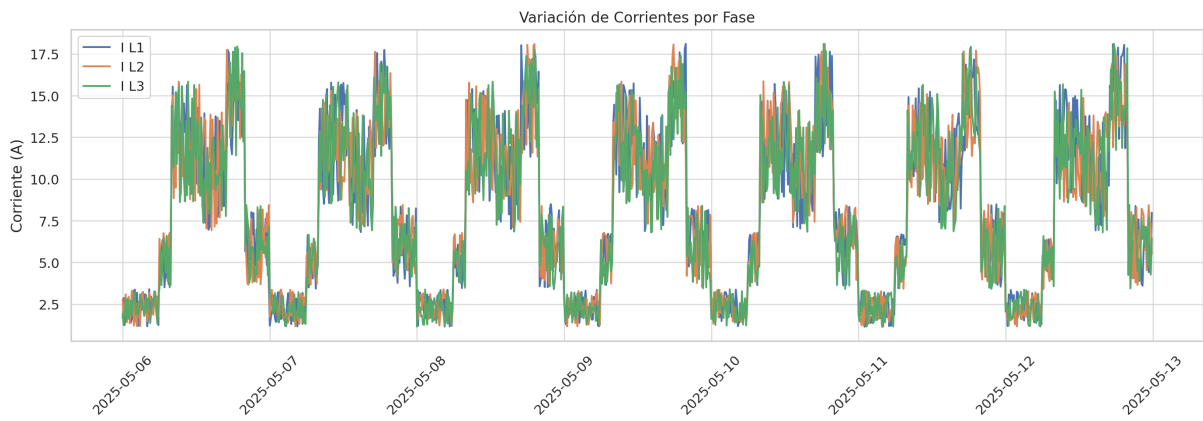
Durante estos intervalos, se registra un aumento significativo en la corriente, lo cual se asocia al funcionamiento simultáneo de equipos médicos, sistemas de climatización, iluminación, computadoras y otros dispositivos esenciales. Este comportamiento es coherente con la naturaleza del servicio hospitalario, donde el uso de equipos críticos varía de acuerdo con los turnos de atención médica.

### **3.8.3. Estabilidad de la Frecuencia**

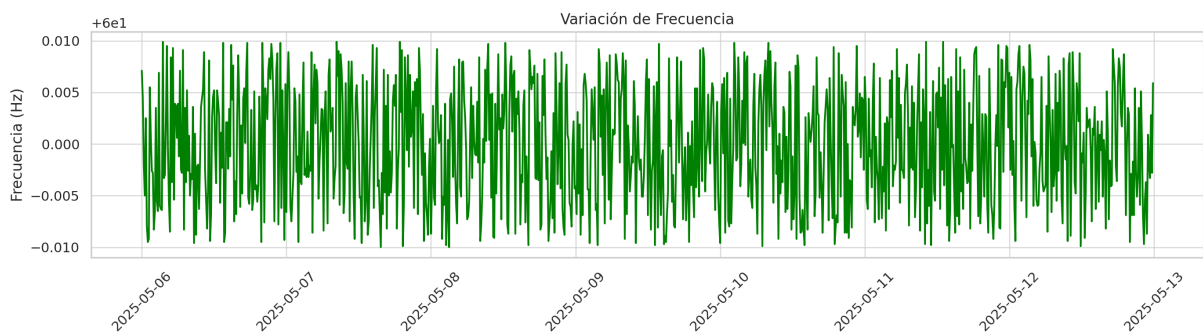
En la Figura 3.9 se presenta la variación de la frecuencia del sistema. Los valores permanecen dentro del intervalo normativo de 59.99 Hz a 60.01 Hz, lo cual evidencia una operación estable en términos de generación y distribución de energía.



**Figura 3.7:** Variación de los voltajes L-N durante la medición



**Figura 3.8:** Variación de las corrientes por fase durante la medición



**Figura 3.9:** Variación de la frecuencia durante la medición

### **3.9. Entrevista al personal de mantenimiento**

Finalmente, se realizó una entrevista al personal encargado de mantenimiento eléctrico del hospital. La entrevista técnica se realizó el día 21 de julio de 2025 al Sr. Víctor Rojas, quien se desempeña como guardia en el área de Mantenimiento del Hospital Básico Santa Marianita. Esta entrevista fue conducida por la Srta. Aracely Rocano, como parte del levantamiento de información en campo para el diagnóstico del sistema eléctrico del establecimiento. El objetivo fue complementar la información técnica con la experiencia práctica del equipo responsable de la operación diaria.

El personal destacó la falta de recursos para ejecutar un plan de mantenimiento preventivo y la necesidad de capacitación en nuevas tecnologías de eficiencia energética. Además, señalaron que la mayor parte de las intervenciones se realizan de manera correctiva, lo que incrementa los riesgos de interrupción del servicio.

La información recogida en la entrevista refuerza la necesidad de implementar un sistema de gestión energética estructurado, con recursos destinados a mantenimiento programado y capacitación técnica del personal.

**Tabla 3.13:** Preguntas guía y respuestas del entrevistado

Pregunta	Respuesta
1. ¿Cómo afecta el suministro eléctrico al funcionamiento de los equipos médicos?	No existen problemas de funcionamiento en los equipos médicos.
2. ¿Tiene conocimiento sobre el sistema de respaldo (grupo eléctrico o UPS)? ¿Está operativo?	Sí, el generador entra en funcionamiento solo durante cortes de energía.
3. ¿Se ha realizado mantenimiento reciente al sistema eléctrico?	No, porque todo está en perfecto estado.
4. ¿Ha notado fallos o problemas frecuentes con la iluminación u otros equipos?	No, toda la edificación ha sido remodelada y se encuentra en buen estado.
5. ¿Cree que la implementación de paneles solares beneficiaría al hospital? ¿Por qué?	Sí, porque permite ahorrar energía de forma limpia.
6. ¿Qué cambios o mejoras le gustaría ver en el sistema eléctrico actual?	La implementación de paneles solares.
7. ¿Hay personal capacitado para operar o supervisar instalaciones solares?	Actualmente no, pero habría personal adecuado si se implementan.
8. ¿Podría indicar el horario aproximado de encendido de luminarias en los distintos turnos?	Pasillos: 06h00–22h00. Entrada principal: 19h00–06h00.

## CAPÍTULO 4

### Diseño fotovoltaico

#### 4.1. Descripción general del sistema

El diseño propuesto corresponde a un sistema solar fotovoltaico conectado a la red (On-Grid), dimensionado específicamente para cubrir parte de la demanda energética del Hospital Básico Santa Marianita. El objetivo principal es aprovechar el recurso solar disponible en la zona para reducir la dependencia de la red pública, disminuir los costos operativos y contribuir a la sostenibilidad ambiental de la institución.

El sistema está conformado por paneles solares, inversores, estructuras de soporte, protecciones eléctricas y el sistema de interconexión a la red hospitalaria. La selección de estos componentes se realizó en función de la normativa vigente, las condiciones del sitio y los requerimientos técnicos del hospital.

#### 4.2. Procesamiento de datos de consumo eléctrico

Para el dimensionamiento del sistema se analizaron los registros de facturación eléctrica de los años 2023 y 2024. Con esta información se elaboró el perfil de consumo mensual y se identificaron las cargas más representativas del hospital.

El consumo promedio mensual se estableció en aproximadamente 2.800 kWh durante 2024, con variaciones estacionales asociadas al uso de climatización y equipos médicos. Estos datos permitieron definir la demanda objetivo a ser cubierta por el sistema fotovoltaico.

**Tabla 4.1:** Consumo energético mensual y demanda diaria promedio del Hospital Básico Santa Marianita (2023–2024).

Mes	Días	kWh/mes	kWh/día
Ene-23	31	3077,34	99,97
Feb-23	28	3106,92	100,22
Mar-23	31	2876,40	102,73
Abr-23	30	3078,56	102,62
May-23	31	3237,48	104,44
Jun-23	30	3087,92	102,93
Jul-23	31	3628,14	120,94
Ago-23	31	3793,38	122,37
Sept-23	30	3663,84	118,19
Oct-23	31	3547,52	118,25
Nov-23	30	3196,72	106,47
Dic-23	31	3020,06	97,42
Ene-24	31	3218,92	103,84
Feb-24	29	3198,40	110,29
Mar-24	31	3221,84	103,93
Abr-24	30	3086,73	102,89
May-24	31	3114,72	100,47
Jun-24	30	2845,74	94,18
Jul-24	31	3055,25	98,55
Ago-24	31	3084,04	101,13
Sept-24	30	3240,50	108,02
Oct-24	31	3149,76	101,61
Nov-24	30	2710,14	90,34
Dic-24	31	1292,34	43,08
<b>Total (24 meses)</b>	<b>731</b>	<b>73 164,60</b>	<b>100,09 (prom)</b>

En total, la energía consumida en el hospital durante los dos años evaluados fue de

73 164,60 kWh. Estos resultados constituyen la línea base de referencia para el análisis y el diseño del sistema solar fotovoltaico.

### 4.3. Estimación preliminar del área requerida

Para determinar el área requerida para la instalación del sistema fotovoltaico del *Hospital Básico Santa Marianita*, se emplearon los parámetros técnicos obtenidos de la hoja de datos (*datasheet*) del panel solar. El sistema está integrado por un total de 28 módulos monofaciales de 550 Wp, lo que proporciona una potencia instalada de 15,40 kWp bajo condiciones estándar de medida (STC).

El área requerida para la instalación se determinó a partir de las dimensiones físicas especificadas en el *datasheet* del panel solar. Cada módulo cuenta con una superficie de 2,58 m<sup>2</sup>, parámetro base para el cálculo del espacio total necesario en la cubierta del *Hospital Básico Santa Marianita*.

Con esta información, el área neta requerida para alojar los 28 módulos es:

$$A_{\text{neto}} = 28 \times 2,58 = 72,24 \text{ m}^2$$

No obstante, para garantizar accesibilidad, ventilación adecuada y seguridad durante las labores de mantenimiento, se incorpora un factor adicional del 20 % que considera pasillos de servicio, distancias mínimas entre módulos y separación respecto a los bordes de cubierta.

$$A_{\text{total}} = 72,24 \times 1,20 = 86,7 \text{ m}^2$$

El valor obtenido confirma que el sistema fotovoltaico puede ser instalado sin restricciones dentro de la cubierta disponible del hospital, cumpliendo con las recomendaciones de diseño, seguridad y mantenimiento establecidas por el fabricante y la normativa aplicable.

#### 4.4. Perfil de carga por franjas horarias

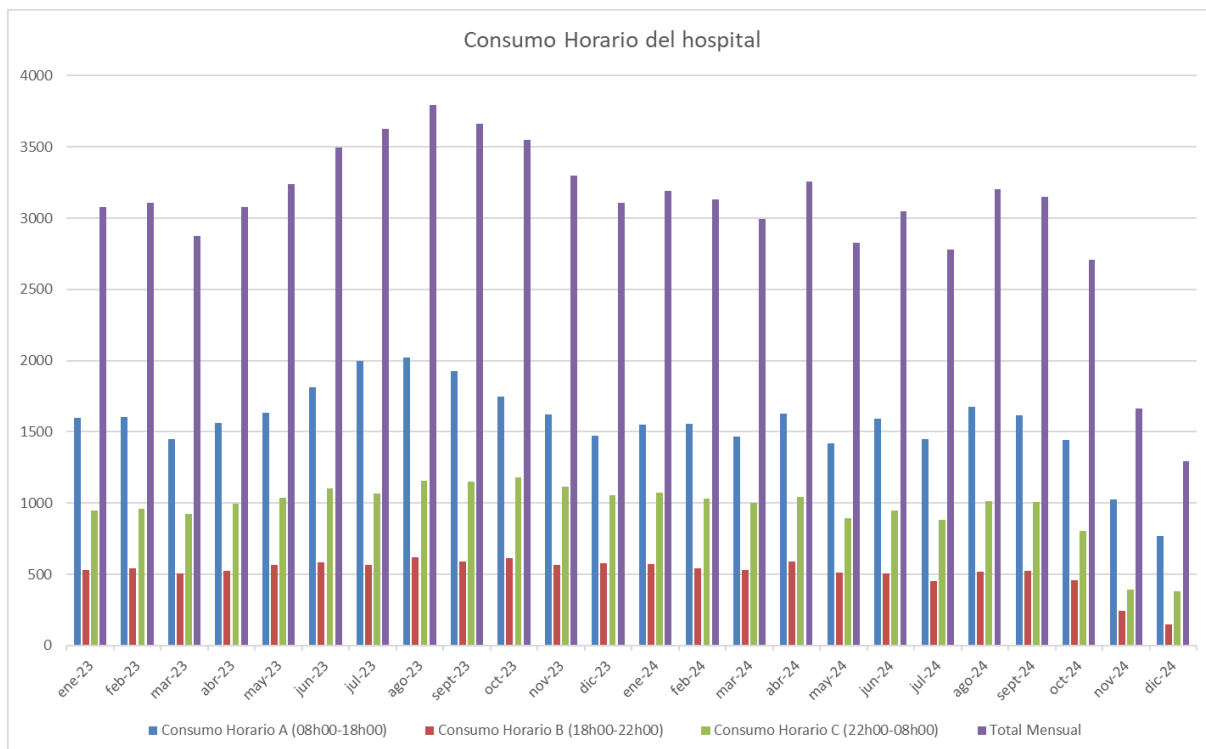
Con la información consolidada de consumo horario, se analizó la distribución de la energía en tres franjas operativas: A (08h00–18h00), B (18h00–22h00) y C (22h00–08h00). Para el período ene-2023 a dic-2024, la energía total registrada fue de 73 164,60 kWh. La Tabla 4.2 resume los resultados agregados por franja.

**Tabla 4.2:** Distribución de consumo anual por franja horaria (enero 2023–diciembre 2024).

Franja	Energía total (kWh)	Promedio diario (kWh/día)	Participación (%)
A (08h–18h)	37 634,94	51,48	51,44
B (18h–22h)	12 377,70	16,93	16,92
C (22h–08h)	23 151,96	31,67	31,64
<b>Total</b>	<b>73 164,60</b>	<b>100,09</b>	<b>100,00</b>

Con base en los patrones de consumo registrados en las facturas eléctricas, se determinó la distribución porcentual de la demanda en el hospital. En términos de participación, el 51,44% del consumo se concentra en la franja diurna A (08h00–18h00), coincidente con la ventana solar, mientras que el 48,56% restante corresponde a las franjas B y C (18h00–22h00 y 22h00–08h00), asociadas al consumo vespertino y nocturno.

Asimismo, se evidenció variabilidad mensual en la contribución diurna y nocturna. Por ejemplo, en noviembre de 2024 la franja A alcanzó su mayor participación con un 61,8%, mientras que en diciembre de 2023 la suma de las franjas B y C fue la más alta con un 52,6%.



**Figura 4.1:** Patrones de consumo horario del Hospital Santa Marianita según franjas A, B y C.

El análisis del perfil horario muestra que, durante el periodo estudiado (enero 2023 – diciembre 2024; 731 días), la franja diurna A (08:00–18:00) concentra el 51,44 % del consumo total (37 634,94 kWh), equivalente a un promedio diario de 51,48 kWh/día. Las franjas B (18:00–22:00) y C (22:00–08:00) representan el 16,92 % y el 31,64 % respectivamente, lo que denota una porción significativa del consumo en horarios vespertinos y nocturnos. Esta distribución es relevante para la integración del sistema fotovoltaico: dado que la ventana solar coincide con la franja A, se espera una buena correspondencia entre generación y demanda durante las horas centrales del día, favoreciendo el autoconsumo y reduciendo la energía suministrada por la red. No obstante, la existencia de un 48,56 % del consumo fuera de la ventana solar sugiere la necesidad de medidas complementarias (gestión de demanda, almacenamiento o estrategias de desplazamiento de cargas) para maximizar la autogeneración aprovechable y mejorar la rentabilidad del sistema.

#### 4.5. Área disponible

El Hospital Básico Santa Marianita cuenta con una superficie útil en cubierta de aproximadamente 99 m<sup>2</sup>, valor obtenido tras excluir zonas no aprovechables como equipos

instalados, pendientes de cubierta, pasillos de servicio y elementos arquitectónicos que limitan la instalación. Esta superficie constituye el punto de partida para analizar la viabilidad espacial del sistema fotovoltaico.

El diseño del sistema considera el uso de módulos monocristalinos de 550 Wp, cuyas dimensiones aproximadas son  $2,279 \text{ m} \times 1,134 \text{ m}$ , equivalentes a un área unitaria de  $2,58 \text{ m}^2$ . De acuerdo con la distribución propuesta, los módulos se organizan en dos bloques independientes, incorporando un margen adicional del 20 % necesario para pasillos de mantenimiento, separación entre filas y distancias de seguridad en los bordes de la cubierta.

**Tabla 4.3:** Síntesis de área y módulos instalados en cubierta

Bloque	Módulos	Potencia (kWp)	Área neta ( $\text{m}^2$ )	Área +20 % ( $\text{m}^2$ )
Bloque 1	12	6.60	30.96	37.15
Bloque 2	16	8.80	41.28	49.54
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>15.40</b>	<b>72.24</b>	<b>86.7</b>

En conjunto, los 28 módulos requieren un área neta de  $72.24 \text{ m}^2$ , alcanzando  $86.7 \text{ m}^2$  al incluir el margen operativo del 20 %. Dado que este valor se encuentra por debajo de los  $99 \text{ m}^2$  disponibles, se confirma la factibilidad espacial de la instalación fotovoltaica dentro de la cubierta del hospital, sin comprometer accesibilidad ni condiciones de seguridad.

## 4.6. Cálculo del potencial solar del sitio

Se utilizaron datos climatológicos de la plataforma NASA POWER para la ciudad de Azogues (latitud  $-2,76^\circ$ , longitud  $-78,84^\circ$ , altitud  $2481,65 \text{ m s. n. m.}$ ). La Tabla 4.4 presenta la insolación media mensual incidente en superficie horizontal, expresada como horas sol pico (HSP) en  $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ .

Para estimar la producción por unidad de potencia instalada (rendimiento específico), se aplicó un rendimiento global del sistema  $PR = 0,81$ , que integra pérdidas por temperatura, suciedad, desajuste, cableado, MPPT e inversor. El rendimiento específico diario y anual por kWp se calcula como:

$$Y_d = \text{HSP} \cdot PR \quad (4.1)$$

**Tabla 4.4:** Insolación media mensual en superficie horizontal (HSP) y temperatura ambiental para Azogues (NASA POWER).

Mes	HSP (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Temperatura (°C)
Enero	5,09	16,00
Febrero	4,99	16,27
Marzo	4,29	15,75
Abril	4,29	15,55
Mayo	4,22	15,49
Junio	3,91	14,28
Julio	3,85	14,24
Agosto	4,16	14,20
Septiembre	4,68	14,81
Octubre	4,74	15,14
Noviembre	5,45	15,54
Diciembre	5,04	15,70
<b>Promedio anual</b>	<b>4,56</b>	<b>15,25</b>

$$Y_a = 365 \cdot \text{HSP} \cdot PR \quad (4.2)$$

Con el promedio NASA HSP = 4,56 h/día:

$$Y_d = 4,56 \times 0,81 = 3,69 \text{ kWh/kWp/día} \quad (4.3)$$

$$Y_a = 1\,348 \text{ kWh/kWp/año} \quad (4.4)$$

A partir de lo anterior, se obtiene el factor de planta:

$$FP = \frac{Y_a}{8\,760} = 0,154 \quad (4.5)$$

*Nota de diseño.* En el diagnóstico previo se adoptó un valor de HSP = 4,39 h/día, correspondiente al escenario de menor recurso solar. Con dicho valor se tiene:

$$Y_d = 4,39 \times 0,81 = 3,56 \text{ kWh/kWp/día} \quad (4.6)$$

$$Y_a = 1\,298 \text{ kWh/kWp/año} \quad (4.7)$$

Esta comparación muestra que el valor de diseño es ligeramente más exigente que el promedio climático de la base NASA, lo cual resulta adecuado para garantizar un margen de seguridad en las etapas iniciales del proyecto.

## 4.7. Selección de componentes tecnológicos

A partir del área disponible en cubierta, se determinó la instalación de un conjunto fotovoltaico compuesto por 28 módulos de 550 Wp, que proporcionan una potencia pico total de 15,40 kWp en condiciones STC. Esta configuración fue seleccionada por su compatibilidad con la superficie útil del hospital y por su adecuada relación entre densidad de potencia y eficiencia.

Para la conversión de energía se evaluaron inversores trifásicos de la familia MAC serie KTL3-XL, seleccionándose finalmente el modelo GROWATT MAC 15KTL3-XL debido a su óptima relación entre la potencia DC del generador y la potencia AC entregada a la red.

### 4.7.1. Criterio principal de decisión: relación DC/AC

La selección del inversor se basó principalmente en la evaluación de la relación entre la potencia instalada en corriente continua del generador fotovoltaico y la potencia nominal en corriente alterna del inversor. Este criterio es fundamental para garantizar un equilibrio adecuado entre el aprovechamiento energético y la minimización de pérdidas por recorte de potencia (*clipping*).

$$\text{Relación DC/AC} = \frac{P_{\text{FV,inst}}}{P_{\text{AC,inv}}} \quad (4.8)$$

Dado que el generador fotovoltaico instalado tiene una potencia de  $P_{\text{FV,inst}} = 15,40 \text{ kWp}$

y el inversor seleccionado posee una potencia nominal de 15 kW, la relación queda definida como:

$$DC/AC = \frac{15,40}{15} = 1,03 \quad (4.9)$$

Este valor se ubica dentro del rango recomendado por la literatura técnica (entre 1,0 y 1,5), lo cual asegura que el inversor opere en condiciones óptimas, evitando recortes significativos durante las horas de mayor irradiancia y mejorando la eficiencia energética global del sistema. Por esta razón, el inversor modelo MAC 15KTL3-XL resulta plenamente adecuado para el diseño propuesto.

**Tabla 4.5:** Resumen de parámetros del inversor utilizado en el sistema

<b>Parámetro</b>	<b>MAC 15KTL3-XL</b>
Potencia nominal AC	15,0 kW
Corriente Maxima AC	29.2A
Número de MPPT	4
Strings por MPPT	2
Rango de operación MPPT	200–850 V
Tensión máxima de entrada	1100 V
Eficiencia máxima	98,5 %
Grado de protección	IP65
Relación DC/AC máxima admisible	1,5
<b>Potencia DC máxima admisible (DC MAX)</b>	<b>22.5 kWp</b>
<b>Conclusión técnica</b>	<b>Apto y seleccionado</b>

La relación entre la potencia del generador fotovoltaico en corriente continua (DC) y la potencia nominal del inversor en corriente alterna (AC) constituye un criterio clave en el diseño del sistema. En este proyecto, la relación DC/AC se mantiene dentro del rango recomendado de 1,0 a 1,5 para sistemas fotovoltaicos conectados a red, lo que permite maximizar la producción anual de energía sin comprometer la operación segura

del inversor.

El sobredimensionamiento moderado del campo fotovoltaico respecto al inversor contribuye a mejorar el aprovechamiento del equipo, especialmente en condiciones de baja irradiancia, incrementando la eficiencia global del sistema y reduciendo las pérdidas energéticas durante gran parte del año.

#### **4.7.2. Otros componentes asociados**

##### **4.7.2.1. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico**

Los módulos fotovoltaicos seleccionados para el sistema propuesto corresponden a tecnología de silicio monocristalino, la cual se caracteriza por su alta eficiencia energética, mayor densidad de potencia y mejor comportamiento frente a condiciones de baja irradiancia, en comparación con otras tecnologías comerciales. Esta selección resulta adecuada para aplicaciones hospitalarias, donde se requiere un suministro energético confiable y un aprovechamiento óptimo del área disponible en cubierta.

La potencia nominal unitaria del panel fue definida en función del balance entre eficiencia, disponibilidad comercial y compatibilidad con el inversor seleccionado. Este parámetro permite alcanzar la potencia total instalada requerida, minimizando el número de módulos y optimizando la disposición del campo fotovoltaico.

#### 4.7.2.2. Módulos fotovoltaicos

**Tabla 4.6:** Especificaciones Técnicas - Panel Solar ATLAS

Parámetro	Símbolo	Valor (ECOGREEN ENERGY ATLAS 550W)
Potencia Máxima	$P_{max}$	550 W
Tolerancia de Potencia	-	0 ~ +5 %
Eficiencia del Módulo	$\eta$	21.28 %
Voltaje de Máxima Potencia	$V_{mp}$	40.98 V
Corriente de Máxima Potencia	$I_{mp}$	13.42 A
Voltaje de Circuito Abierto	$V_{oc}$	49.68 V
Corriente de Cortocircuito	$I_{sc}$	14.01 A

Estado de Selección	APTO Y SELECCIONADO
---------------------	---------------------

El Sistema está constituido por 28 módulos monocristalinos bifaciales de 550 Wp. Cada módulo presenta una tensión en MPP de 37–38 V y una corriente en MPP aproximada de 14.01 A. La configuración adoptada para el sistema es:

- 4 cadenas (strings) en paralelo
- 7 módulos conectados en serie por cada string
- Tensión total en MPP del string: 347.76 V
- Corriente total del arreglo: 28.02 A

El área total ocupada por los módulos es de 86,7 m<sup>2</sup>, lo cual se ajusta a la disponibilidad de la cubierta.

#### 4.7.2.3. Protecciones en corriente continua (CC)

El sistema cuenta con 4 strings en paralelo, cada uno compuesto por 7 módulos en serie. La corriente de operación de un string se determina a partir de la corriente en el punto de máxima potencia de cada módulo ( $I_{mpp}$ ):

$$I_{\text{string}} = I_{\text{sc}} = 14,01 \text{ A} \quad (4.10)$$

La corriente total en el arreglo fotovoltaico ( $I_{\text{total}}$ ) resulta de la suma de las corrientes de los 2 strings en paralelo:

$$I_{\text{total-mppt}} = N_{\text{strings}} \times I_{\text{string}} = 2 \times 14,01 = 28,02 \text{ A} \quad (4.11)$$

Dado que el sistema tiene más de 3 strings en paralelo, se requieren fusibles de protección por cada cadena. El dimensionamiento de estos se realiza aplicando el factor de seguridad del 125 % establecido por la normativa:

$$I_{\text{fusible}} \geq 1,25 \times I_{\text{string}} = 1,25 \times 14,01 = 17,51 \text{ A} \quad (4.12)$$

Por lo tanto, se seleccionan fusibles de 20 A, 1000 VDC para cada string.

La caja de combinadores (string box) integra los cuatro fusibles individuales, además de un seccionador general dimensionado a la corriente total del arreglo:

$$I_{\text{seccionador}} \geq 1,25 \times I_{\text{total-mppt}} = 1,25 \times 28,02 = 35,02 \text{ A} \quad (4.13)$$

Con ello, se especifica dos seccionadores general de 40A, 1000 VDC, acompañado de supresores de sobretensión (SPD) tipo II en corriente continua, que garantizan la protección frente a sobrecorrientes y transitorios de origen atmosférico o de maniobra.

#### **4.7.2.4. Protección contra sobretensiones en corriente continua (SPD DC)**

Además de las protecciones por sobrecorriente, el sistema fotovoltaico incorpora dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) en corriente continua, destinados a proteger el arreglo fotovoltaico, el inversor y el cableado frente a sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas indirectas y maniobras eléctricas.

La selección del SPD en corriente continua se realiza en función de la tensión máxima en circuito abierto del arreglo fotovoltaico ( $V_{OC,max}$ ). Para el sistema analizado, la tensión máxima del arreglo fotovoltaico es:

$$V_{OC,max} = 347,76 \text{ VDC} \quad (4.14)$$

De acuerdo con la normativa IEC 61643-31 y los criterios de diseño para sistemas fotovoltaicos conectados a red, la tensión continua admisible del SPD ( $U_{cpv}$ ) debe cumplir la siguiente condición:

$$U_{cpv} \geq 1,2 \times V_{OC,max} \quad (4.15)$$

Sustituyendo los valores correspondientes al sistema:

$$U_{cpv} \geq 1,2 \times 347,76 = 417,31 \text{ VDC} \quad (4.16)$$

En consecuencia, se selecciona un dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD) Tipo II específico para corriente continua, con una tensión nominal  $U_{cpv} = 417,31 \text{ VDC}$ , adecuado para aplicaciones fotovoltaicas.

Adicionalmente, el SPD seleccionado presenta una corriente nominal de descarga  $I_n = 20 \text{ kA}$ , con forma de onda  $8/20 \mu\text{s}$ , valor recomendado para instalaciones fotovoltaicas en cubiertas que no disponen de un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas.

El SPD en corriente continua se instala en la caja de combinadores (string box), aguas arriba del inversor, y se conecta al sistema de puesta a tierra del hospital, minimizando la longitud de los conductores de conexión, con el objetivo de asegurar una adecuada disipación de las sobretensiones y mejorar la efectividad de la protección del sistema.

#### 4.7.2.5. Protecciones en corriente alterna (CA)

El inversor seleccionado tiene una potencia nominal de  $P_{\text{inv}} = 15 \text{ kW}$ , con salida trifásica a  $V_{\text{LL}} = 220 \text{ V}$  y factor de potencia unitario ( $\text{FP} = 1$ ). La corriente nominal de salida del inversor se determina como:

$$I_{\text{inv}} = \frac{P_{\text{inv}}}{\sqrt{3} V_{\text{LL}} \text{FP}} \quad (4.17)$$

$$I_{\text{inv}} = \frac{15\,000}{\sqrt{3} \times 220 \times 1} = 39,4 \text{ A} \quad (4.18)$$

Aplicando un factor de seguridad del 125 % para el dimensionamiento de la protección:

$$I_{\text{interruptor}} \geq 1,25 \times I_{\text{inv}} = 1,25 \times 39,4 \approx 49,2 \text{ A} \quad (4.19)$$

Por lo tanto, se selecciona un interruptor automático tripolar de 50 A, curva C, con capacidad de corte acorde a la red de baja tensión.

Adicionalmente, se incorporan supresores de sobretensión (SPD) tipo II en corriente alterna, con tensión nominal de  $U_c = 275 \text{ V}$  (fase-neutro) adecuados para redes trifásicas a 220 V, que protegen al sistema frente a transitorios eléctricos.

El inversor integra un relé de protección de falla a tierra, cumpliendo con los requisitos de seguridad establecidos por la normativa nacional e internacional para sistemas fotovoltaicos conectados a red.

#### 4.7.2.6. Estructura

Se empleará un sistema de montaje coplanar para cubierta metálica, utilizando perfiles de aluminio anodizado Al 6005-T5 y tornillería de acero inoxidable, garantizando ligereza, rigidez mecánica y resistencia a la corrosión a lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico.

La estructura seleccionada está diseñada para soportar velocidades de viento de hasta 60 m/s (216 km/h) y cargas de nieve de hasta 1,4 kN/m<sup>2</sup>, cumpliendo con las normativas internacionales (ASCE 7-16) para presión de viento sobre instalaciones solares. La fijación se realizará mediante anclajes a la cubierta metálica, empleando soportes tipo coplanar con inclinación de 10° y orientación acorde al diseño del sistema.

Se contemplan pasillos de mantenimiento, separación mínima entre filas y retiros perimetrales, de modo que se garantice tanto la seguridad estructural como la accesibilidad para inspecciones y mantenimiento preventivo.

#### 4.7.2.7. Cableado

Los conductores a emplear serán de cobre, con aislamiento TTU o equivalente, certificados para uso fotovoltaico según norma IEC 62930, y canalizados en bandejas o tuberías resistentes a rayos UV.

El criterio de diseño se basa en limitar la caída de tensión a un máximo de 1,5 % en corriente continua (CC) y 3 % en corriente alterna (CA), con el fin de optimizar el rendimiento del sistema.

La caída de tensión en un circuito se calcula como:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho}{S} \quad (4.20)$$

donde:

$L$  = longitud del conductor (m),

$I$  = corriente del circuito (A),

$\rho$  = resistividad del cobre (0,0225  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ),

$S$  = sección del conductor ( $\text{mm}^2$ ).

**4.7.2.7.1. Dimensionamiento en corriente continua (CC)** Cada string del sistema fotovoltaico entrega una corriente de  $I_{\text{string}} = 14,01$  A. Para una longitud aproximada de  $L = 20$  m entre los módulos fotovoltaicos y el inversor, se selecciona un conductor de cobre con sección transversal de 6 mm<sup>2</sup>, equivalente a calibre **AWG 10**.

Este tipo de conductor es comúnmente utilizado en instalaciones fotovoltaicas en corriente continua, ya que soporta adecuadamente la corriente de operación, presenta baja caída de tensión y cumple con los criterios de seguridad establecidos por la norma IEC 60364.

$$\Delta V_{CC} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 14,01 \cdot 0,0225}{6} = 2,1014 \text{ V} \quad (4.21)$$

$$\frac{\Delta V_{CC}}{V_{mpp}} = \frac{2,1014}{417,31} = 0,005 = 0,05 \% \quad (4.22)$$

El calibre de 6 mm<sup>2</sup> cumple con el límite de 1,5 %.

**4.7.2.7.2. Dimensionamiento en corriente alterna (CA)** La corriente nominal de salida del inversor es  $I_{inv} = 39,4 \text{ A}$ . Para una longitud de conductor de  $L = 50 \text{ m}$  y un sistema trifásico, se selecciona un conductor de cobre con sección transversal de 13,3 mm<sup>2</sup>, equivalente al calibre **AWG 6**.

Esta sección garantiza una caída de tensión dentro de los límites admisibles establecidos por la norma IEC 60364, además de asegurar la capacidad de conducción de corriente y la confiabilidad del sistema eléctrico del hospital.

$$\Delta V_{CA} = \frac{\sqrt{3} \cdot 50 \cdot 39,4 \cdot 0,0225}{13,3} = 5,77 \text{ V} \quad (4.23)$$

$$\frac{\Delta V_{CA}}{V_{LL}} = \frac{5,77}{220} = 0,0262 = 2,62 \% \quad (4.24)$$

El valor obtenido cumple con el límite establecido del 3 %, por lo cual se considera aceptable para el diseño. En consecuencia, se mantiene el uso de un conductor de 13,3 mm<sup>2</sup> en la salida de CA.

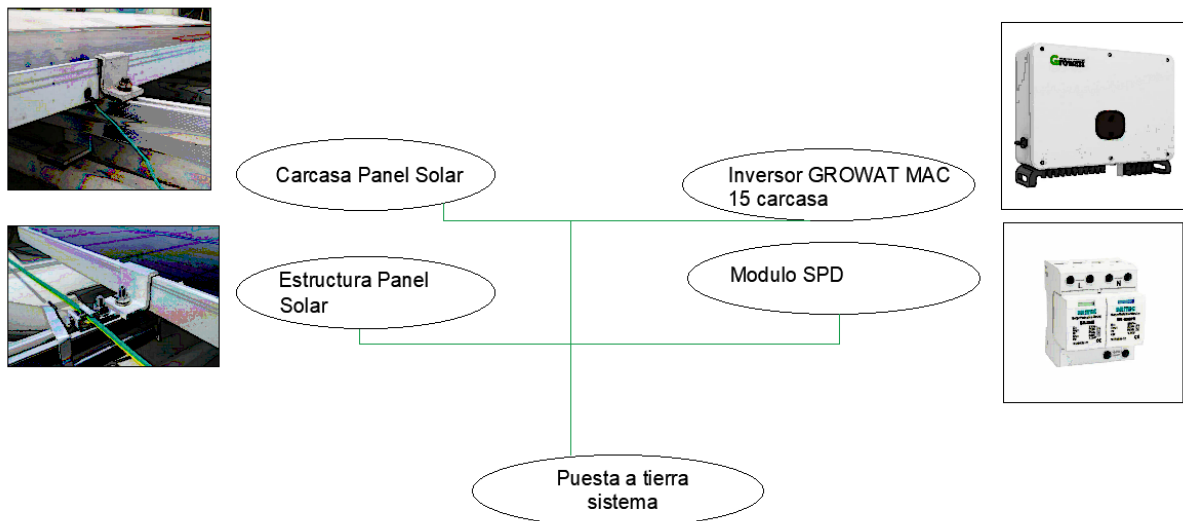
#### 4.7.2.8. Monitoreo

El inversor incluirá un sistema de comunicación RS-485 / WiFi para la supervisión en tiempo real del desempeño energético y del autoconsumo. Se prevé la conexión a una plataforma de monitoreo remoto con registro histórico de variables eléctricas.

#### 4.7.2.9. Puesta a tierra

La puesta a tierra del sistema fotovoltaico se fundamenta en la integración de sus componentes a la infraestructura de aterramiento existente en la edificación. Se establece una conexión equipotencial que conecta la estructura de soporte de los módulos, la *carcasa* del inversor y los dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) con el sistema de tierra general, siguiendo el esquema de la Figura 4.2.

Este acoplamiento garantiza la continuidad eléctrica necesaria para canalizar descargas atmosféricas y corrientes de falla hacia la red de tierra de la instalación, cumpliendo así con las exigencias de la normativa nacional y asegurando la integridad de los equipos y la seguridad operativa.



**Figura 4.2:** Sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico

## Cumplimiento normativo

El diseño del sistema fotovoltaico se encuentra en concordancia con la Regulación ARCONEL-005/24, que regula los Sistemas de Generación Distribuida para Autoabastecimiento (SGDA). Esta normativa establece que la capacidad máxima permitida para sistemas de microgeneración es de hasta 300 kW en el sector residencial y 500 kW en el sector industrial.

El sistema propuesto, con una potencia de 15.4 kWp, se ubica muy por debajo de estos límites, garantizando así su factibilidad legal y técnica para ser conectado a la red de distribución. Adicionalmente, el diseño contempla el uso de medidores bidireccionales, protecciones eléctricas y desconexión automática, cumpliendo con lo requerido por ARCONEL y con estándares internacionales como la norma IEEE 1547.

### 4.8. Análisis de sensibilidad

Con el fin de evaluar la robustez del diseño, se realizó un análisis de sensibilidad frente a variaciones en tres parámetros críticos:

- **Tarifa eléctrica:** un incremento del 10 % en la tarifa de energía reduce el período de recuperación de 7,4 a aproximadamente 6,6 años.
- **Pérdidas por suciedad en los módulos fotovoltaicos:** si las pérdidas por suciedad se duplican del 2 % , la producción anual disminuiría en un 1,9 %, lo cual apenas afecta el indicador de rentabilidad.
- **Degradación de módulos:** considerando una tasa de degradación del 0,5 % anual, la producción acumulada en 25 años sería un 10 % menor; sin embargo, el proyecto mantiene un Valor Actual Neto positivo.

Estos resultados confirman que el sistema fotovoltaico mantiene su viabilidad técnica y económica incluso bajo condiciones desfavorables.

El diseño del sistema fotovoltaico propuesto constituye una acción concreta de mejora del desempeño energético del Hospital Básico Santa Marianita, en concordancia con el

enfoque de la Norma NTE INEN-ISO 50001. La incorporación de generación distribuida a partir de energía solar contribuye a la reducción del consumo energético proveniente de la red pública, disminuye la exposición a variaciones tarifarias y fortalece la resiliencia energética de la institución.

En este contexto, el sistema fotovoltaico se integra como una medida estratégica dentro del Sistema de Gestión de la Energía, aportando beneficios técnicos, económicos y ambientales, y estableciendo una base sólida para futuras acciones de mejora continua en el hospital.

#### **4.9. Elementos necesarios para la implementación del sistema**

**Tabla 4.7:** Lista de equipos y materiales para el sistema fotovoltaico de 15,40 kWp.

<b>Categoría</b>	<b>Ítem</b>	<b>Descripción Técnica</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Generación</b>	Módulos Fotovoltaicos	Monocristalinos 550 Wp (EcoGreen Energy Atlas)	28 unid.
<b>Conversión</b>	Inversor On-Grid	Growatt MAC 15KTL3-XL (15 kW, Trifásico 220V)	1 unid.
<b>Estructura</b>	SopORTE Coplanar	Perfiles de aluminio anodizado Al 6005-T5	70 m
	Fijaciones	Grapas (End/Mid clamps) y tornillería de acero inoxidable	1 juego
<b>Protección CC</b>	String Box (IP65)	Caja de combinación para 4 strings	1 unid.
	Fusibles DC	20 A / 1000 VDC con portafusibles integrados	4 unid.
	Seccionadores DC	Interruptor de maniobra manual 40 A / 1000 VDC	2 unid.
	SPD DC	Supresor de transitorios Tipo II ( $U_{cpv} \geq 420$ VDC)	2 unid.
<b>Protección CA</b>	Breaker Principal	Interruptor automático tripolar 50 A, Curva C	1 unid.
	SPD AC	Supresor de transitorios Tipo II (275V Fase-N)	1 unid.
	Medición	Medidor bidireccional homologado (Norma ARCONEL)	1 unid.
<b>Conductores</b>	Cable Solar	6 mm <sup>2</sup> (AWG 10) con protección UV (Rojo/Negro)	200 m
	Cable de Potencia	13,3 mm <sup>2</sup> (AWG 6) tipo TTU (Fases + Neutro)	200 m
	Conectores	Pares de conectores MC4 para intemperie	8 pares
<b>Puesta a Tierra</b>	Cable de Tierra	Conductor de cobre aislado color verde	50 m
	Terminales	Terminales de presión y grapas de conexión a riel	1 juego

## CAPÍTULO 5

### Simulación del sistema fotovoltaico

#### 5.1. Introducción

Una vez establecido el dimensionamiento final del sistema fotovoltaico, se procedió a realizar la simulación energética utilizando el software **PVsyst V8.0.18**, una herramienta especializada y ampliamente reconocida para el modelado, evaluación y análisis de instalaciones solares conectadas a red. Este programa permite estimar con precisión la producción anual, identificar las pérdidas a lo largo de la cadena de conversión y analizar el desempeño técnico bajo condiciones climáticas locales.

La simulación se desarrolló considerando la ubicación del Hospital Básico Santa Marianita, situado en **Azogues, Ecuador**, cuyas coordenadas geográficas son **2,74° S** y **78,85° O**, a una altitud de **2500 m s. n. m.**. Para el modelado climático se empleó la base de datos **Meteonorm 8.2 (2016–2021)**, en modo sintético, la cual proporciona irradiancia global horizontal, irradiancia difusa, temperatura ambiente y demás parámetros necesarios para la simulación.

El sistema simulado corresponde a una instalación **fotovoltaica on-grid de 15,40 kWp**, compuesta por **28 módulos de 550 Wp** (tecnología monocristalina de media celda), dispuestos en **4 cadenas de 7 módulos en serie**, distribuidos en dos MPPT de los cuatro disponibles en el inversor seleccionado. La conversión DC/AC se realiza mediante un inversor trifásico **MAC 15KTL3-XL** de **15 kW**, con relación DC/AC igual a **1,03**, dentro del rango recomendado por la literatura técnica.

La configuración geométrica del campo solar utiliza un plano fijo con inclinación de **10°** y orientación de **60°**, seleccionada según la orientación real de la cubierta del hospital.

Asimismo, se consideró un escenario de **sombras cercanas lineales**, simuladas mediante el modo *Slow* de PVsyst, con el fin de reproducir las obstrucciones que producen bordes, muros y elementos próximos de la infraestructura.

## 5.2. Resultados de la simulación

La Tabla 5.1 resume los principales resultados obtenidos tras la simulación.

**Tabla 5.1:** Resultados principales de la simulación en PVsyst

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Producción anual estimada	22.828 kWh
Relación de desempeño (PR)	86,17 %
Fracción solar (SF)	34,69 %
Costo nivelado de energía (LCOE)	0,05 USD/kWh
Período de recuperación (Payback)	5,3 años

Estos resultados evidencian un desempeño técnico eficiente del sistema fotovoltaico. El *Performance Ratio* (PR), con un valor del 86,17 %, confirma que las pérdidas globales del sistema se encuentran dentro de rangos aceptables para instalaciones conectadas a red bajo las condiciones climáticas locales. Asimismo, la fracción solar del 34,69 % demuestra que una parte relevante del consumo eléctrico del hospital puede ser cubierta mediante la generación propia del sistema fotovoltaico.

En términos económicos, el costo nivelado de energía (LCOE) obtenido, equivalente a 0,05 USD/kWh, se sitúa por debajo del costo promedio de la energía suministrada por la red, evidenciando la competitividad del sistema. A esto se suma un período de recuperación estimado de 5,3 años, indicador que refuerza la viabilidad financiera del proyecto para el Hospital Básico Santa Marianita.

### 5.3. Producción Anual y balance energético

La producción mensual del sistema fotovoltaico presenta variaciones asociadas a los cambios estacionales de irradiancia en Azogues. De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación, los meses de mayor generación corresponden a julio, agosto y mayo, donde el sistema alcanza sus valores más altos debido a una mayor disponibilidad de radiación global sobre el plano del generador. En contraste, los meses de menor producción se registran entre enero y marzo, reflejando condiciones climatológicas menos favorables durante esta época del año.

El balance energético anual evidencia que, de los 37 634 kWh/año consumidos por el Hospital Básico Santa Marianita durante el Horario A , el sistema fotovoltaico aporta un total de 22 828 kWh/año. Esto representa una fracción solar del 60 %, mientras que los 14 806 kWh/año restantes continúan siendo suministrados por la red eléctrica, garantizando la continuidad operativa de las instalaciones.

Project summary					
<b>Geographical Site</b>		<b>Situation</b>		<b>Project settings</b>	
Azogues		Latitude	-2.74 °(S)	Albedo	0.20
Ecuador		Longitude	-78.85 °(W)		
		Altitude	2500 m		
		Time zone	UTC-5		
<b>Weather data</b>					
Azogues					
Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% - Sintético					

System summary					
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Building system</b>		<b>User's needs</b>	
<b>Orientation #1</b>		<b>Near Shadings</b>		Monthly values	
Fixed plane		Linear shadings : Slow (simul.)			
Tilt/Azimuth					
20 / 0 °					
<b>System information</b>					
<b>PV Array</b>					
Nb. of modules		28 units	<b>Inverters</b>	Nb. of units	1 unit
Pnom total		15.40 kWp	Total power		15 kWac
			Pnom ratio		1.03

Results summary					
Produced Energy	22828 kWh/year	Specific production	1482 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	86.17 %
Used Energy	39314 kWh/year			Solar Fraction SF	34.69 %

Figura 5.1: Datos de Simulación

El detalle adicional (tablas completas de producción y balances) se incluye en los Anexos C y D, respectivamente.

## 5.4. Análisis de incertidumbre (P50/P90)

El software PVsyst permite evaluar la variabilidad interanual de la producción energética mediante un análisis estadístico basado en distintos escenarios probabilísticos. Este procedimiento incorpora las incertidumbres asociadas a los datos meteorológicos, el modelado de módulos e inversores, las pérdidas por suciedad, el desajuste entre módulos y la degradación anual esperada, lo que permite estimar el comportamiento realista del sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil.

El escenario **P50** representa el valor más probable o esperado de generación anual. Para el sistema fotovoltaico del Hospital Básico Santa Marianita, PVsyst reporta una producción de

$$P50 = 22,83 \text{ MWh/año},$$

valor que coincide con la energía simulada en el punto operativo nominal.

El escenario **P90**, asociado a condiciones climatológicas menos favorables, estima una producción anual de

$$P90 = 22,22 \text{ MWh/año}.$$

Por su parte, el escenario **P95**, que considera un nivel de riesgo aún mayor, indica una generación anual de

$$P95 = 22,05 \text{ MWh/año}.$$

Estos resultados muestran que la variabilidad anual del recurso solar es reducida (2,1 %), y que, incluso bajo condiciones climáticas menos favorables la producción del sistema se mantiene dentro de rangos que aseguran la viabilidad técnica y económica del proyecto.



PVsyst V8.0.18

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**P50 - P90 evaluation**

**Weather data**

Source Meteororm 8.2 (2016-2021), Sat=100%  
Kind Monthly averages  
Sintético - Multi-year average  
Year-to-year variability(Variance) -1.0 %

**Specified Deviation**

Climate change 0.0 %

**Global variability (weather data + system)**

Variability (Quadratic sum) 2.1 %

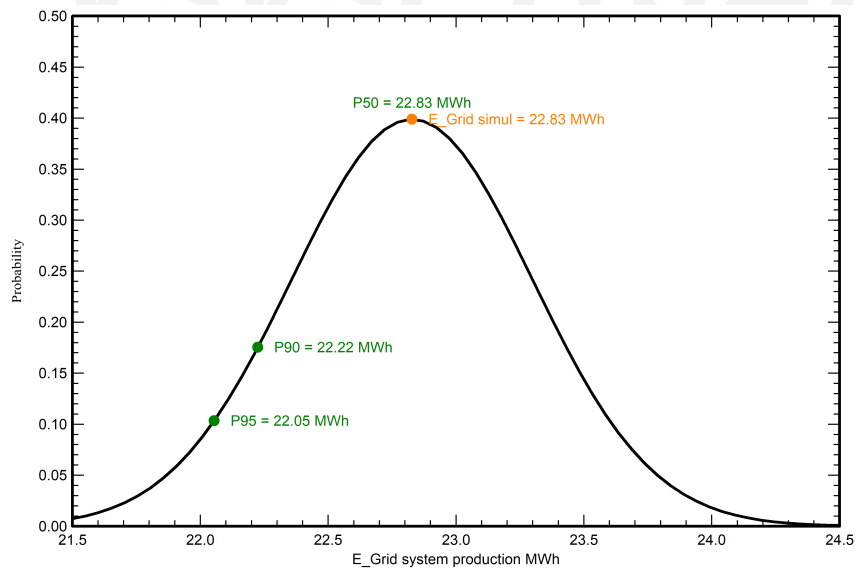
**Simulation and parameters uncertainties**

PV module modelling/parameters 1.0 %  
Inverter efficiency uncertainty 0.5 %  
Soiling and mismatch uncertainties 1.0 %  
Degradation uncertainty 1.0 %

**Annual production probability**

Variability 0.47 MWh  
P50 22.83 MWh  
P90 22.22 MWh  
P95 22.05 MWh

**Probability distribution**



**Figura 5.2:** Distribución de probabilidad de la producción anual del sistema fotovoltaico (P50, P90, P95).

## 5.5. Evaluación económica

La inversión total estimada para la implementación del sistema fotovoltaico asciende a **11.564,50 USD**, lo que representa un costo específico de **0,75 USD/Wp**, según los valores obtenidos en el reporte de PVsyst. Los costos anuales de operación y mantenimiento se estiman en **416,39 USD/año**, considerando un incremento del 2 % asociado a la inflación proyectada.

A partir de la producción anual simulada —**22,83 MWh/año**— y una vida útil del sistema de 25 años, se calcularon los principales indicadores financieros del proyecto, los cuales se resumen a continuación:

- **Valor Actual Neto (VAN):** positivo, con un valor de **36.413,34 USD**, lo cual demuestra que los beneficios acumulados durante la vida útil del sistema superan ampliamente los costos de inversión y operación.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** **19 %**, superior al costo de oportunidad, lo que confirma la conveniencia económica de la instalación.
- **Payback simple:** **5,3 años**, según el análisis económico proporcionado por PVsyst, indicando una recuperación rápida de la inversión inicial.
- **Costo nivelado de la energía (LCOE):** **0,05 USD/kWh**, un valor notablemente inferior al costo promedio de la energía suministrada por la red eléctrica, lo que evidencia la competitividad económica del sistema fotovoltaico.

Estos resultados indican que la instalación fotovoltaica es técnica, económica y ambientalmente viable. El bajo LCOE, junto con un período de recuperación reducido, confirma que el proyecto contribuye de manera efectiva a disminuir los costos operativos del hospital y mejora la resiliencia energética institucional.

## 5.6. Impacto ambiental

La incorporación del sistema fotovoltaico contribuye de manera significativa a la reducción de emisiones asociadas al consumo eléctrico del hospital. Con una generación anual

aproximada de **22,83 MWh**, el sistema evita la emisión de alrededor de **7,28 toneladas de CO<sub>2</sub> por año**, considerando el factor de emisión de **0,319 kg CO<sub>2</sub>/kWh** reportado por PVsyst para el sistema eléctrico ecuatoriano. Durante los 25 años de vida útil, el sistema alcanzaría una reducción acumulada de aproximadamente **182,1 toneladas de CO<sub>2</sub>**, lo que representa un ahorro neto ambiental de **132,3 toneladas de CO<sub>2</sub>** tras descontar las emisiones generadas por la fabricación de los componentes fotovoltaicos.

Este beneficio ambiental se alinea directamente con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, particularmente con el **ODS 7**, que promueve el acceso a energía asequible y limpia, y el **ODS 13**, orientado a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de gases de efecto invernadero. La implementación del sistema fotovoltaico en el Hospital Básico Santa Marianita refuerza el compromiso institucional con la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos energéticos.

## 5.7. Limitaciones del modelo

A pesar de los resultados favorables obtenidos, es importante reconocer ciertas limitaciones inherentes al proceso de simulación:

- Los parámetros climáticos utilizados provienen de la base de datos **Meteonorm 8.2**, la cual emplea promedios sintéticos que pueden diferir de mediciones locales in situ.
- El sistema fue modelado bajo un esquema **on-grid sin baterías**, por lo que no se evalúan beneficios asociados a respaldo energético o autonomía ante interrupciones del suministro eléctrico.
- En el modelado se asumieron condiciones de **mantenimiento adecuado y operación estable**, sin incluir pérdidas adicionales derivadas de fallas imprevistas, degradación acelerada o suciedad excesiva en módulos.
- El análisis financiero se elaboró con **precios constantes**, sin contemplar fluctuaciones en tarifas eléctricas, tasas de interés o escenarios inflacionarios alternativos.

## 5.8. Síntesis de resultados

Los resultados de la simulación realizada en PVsyst confirman que el sistema fotovoltaico propuesto para el Hospital Básico Santa Marianita es técnica y económicamente factible. La producción anual de **22,83 MWh**, junto con un **PR de 86,17 %** y un **LCOE competitivo**, evidencia un desempeño adecuado del sistema bajo las condiciones locales.

El periodo de recuperación estimado, de acuerdo con el análisis económico, demuestra la viabilidad financiera del proyecto y su contribución al ahorro operativo de la institución. Además, la reducción anual aproximada de **7,28 toneladas de CO<sub>2</sub>** refuerza el impacto positivo del proyecto en materia ambiental, alineándose con los compromisos globales de sostenibilidad establecidos en los ODS 7 y ODS 13. Los resultados ampliados, así como las gráficas generadas por el software, se presentan en los Anexos de la simulación.

## 5.9. Síntesis del diseño fotovoltaico y mejora del desempeño energético

El diseño del sistema fotovoltaico propuesto para el Hospital Básico Santa Marianita de Azogues se fundamenta en el análisis del consumo eléctrico real de la institución, la disponibilidad de área en cubierta y las condiciones climáticas locales, permitiendo definir una solución técnica coherente con las necesidades operativas del hospital. La configuración del sistema *On-Grid* garantiza una integración segura con la red eléctrica pública, priorizando el autoconsumo y reduciendo la dependencia energética externa sin comprometer la continuidad del servicio.

La selección de los componentes principales —módulos fotovoltaicos monocristalinos, inversores certificados y sistemas de protección conforme a normativa IEC— responde a criterios de eficiencia, confiabilidad y durabilidad. Estas decisiones técnicas permiten maximizar la producción energética y minimizar las pérdidas del sistema, lo cual se refleja en los resultados obtenidos mediante la simulación en el software PVsyst, donde se alcanzó una producción anual de **22,83 MWh** y un **Performance Ratio (PR) superior al 86,17 %**, valores considerados óptimos para instalaciones conectadas a red en la región.

Desde el punto de vista económico, el análisis financiero evidencia la viabilidad del proyecto, con un **Valor Actual Neto (VAN) positivo**, una **Tasa Interna de Re-**

torno (**TIR**) superior al costo de oportunidad y un período de recuperación de **5,3 años**. Asimismo, el **Costo Nivelado de la Energía (LCOE)**, estimado en **0,05 USD/kWh**, resulta inferior al costo promedio de la energía suministrada por la red eléctrica, confirmando que la implementación del sistema fotovoltaico representa una alternativa económicamente competitiva para el hospital.

En términos ambientales, la generación anual de energía solar permite evitar aproximadamente **7,28 toneladas de CO<sub>2</sub> por año**, contribuyendo de manera directa a la mitigación del impacto ambiental asociado al consumo eléctrico convencional. Este beneficio se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el **ODS 7**, enfocado en el acceso a energía limpia y asequible, y el **ODS 13**, orientado a la acción climática, fortaleciendo el compromiso institucional del hospital con la sostenibilidad.

Finalmente, el diseño fotovoltaico desarrollado se integra como una medida concreta de mejora del desempeño energético dentro del Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), en concordancia con los principios establecidos por la norma **ISO 50001**. La propuesta contribuye al ciclo de mejora continua (PDCA) mediante la reducción del consumo energético de la red, la optimización de recursos y la generación de indicadores medibles de desempeño, sentando las bases técnicas necesarias para la implementación futura de una gestión energética sostenible en el Hospital Básico Santa Marianita.

## CAPÍTULO 6

### Propuesta de mejoras a las deficiencias y análisis económico

#### 6.1. Introducción

Este capítulo presenta las propuestas de mejora identificadas a partir del diagnóstico energético realizado en el Hospital Básico Santa Marianita, así como la evaluación económica del sistema fotovoltaico diseñado. El objetivo es demostrar la viabilidad técnica y financiera de las medidas planteadas, garantizando beneficios a nivel económico, energético y ambiental para la institución.

Finalmente, se desarrolla un análisis económico que considera la inversión inicial, los ahorros proyectados y el período de retorno de la inversión (PRI), a fin de demostrar la viabilidad técnica y financiera de las mejoras.

#### 6.2. Diagnóstico resumido

##### 6.2.1. Automatización de pasillos mediante sensores de movimiento – Planta baja

En esta planta se identificó un patrón de encendido continuo de luminarias, incluso sin ocupación. Se propone instalar sensores de movimiento en zonas de tránsito intermitente, lo que ajusta la iluminación a la presencia real de usuarios.

La metodología de cálculo sigue el mismo criterio de comparación entre consumo actual y proyectado. Los resultados indican un ahorro anual considerable, sin comprometer la

seguridad.

El cálculo de consumo energético es el siguiente:

$$E_{\text{actual}} = 24 W \times 7 \times 14 h = 2,35 kWh/da \quad (6.1)$$

$$E_{\text{mejora}} = 24 W \times 7 \times 5 h = 0,84 kWh/da \quad (6.2)$$

$$Ahorro = 846,7 - 302,4 = 544,3 kWh/ao \quad (6.3)$$

**Tabla 6.1:** Comparación de consumo energético en planta baja

Condición	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
Actual (14 h/día)	2.35	70.56	846.7
Con sensores (5 h/día)	0.84	25.20	302.4
<b>Ahorro</b>	<b>1.51</b>	<b>45.36</b>	<b>544.3</b>

La distribución actual y la propuesta de mejora se presentan en el ANEXO 1

—

### 6.2.2. Automatización de pasillos – Primera planta

En la primera planta se identificó un consumo innecesario de energía debido al encendido constante de luminarias en zonas de circulación. La solución consiste en la instalación de sensores de movimiento que regulen su funcionamiento de acuerdo con la presencia de usuarios.

El cálculo de consumo energético es el siguiente:

$$E_{\text{actual}} = 18 W \times 7 \times 13 h = 1,65 kWh/da \quad (6.4)$$

$$E_{\text{mejora}} = 18 W \times 7 \times 5 h = 0,60 kWh/da \quad (6.5)$$

$$Ahorro = 604,8 - 216,0 = 388,8 kWh/ao \quad (6.6)$$

**Tabla 6.2:** Comparación de consumo energético en primera planta

Condición	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
Actual (13 h/día)	1.65	50.40	604.8
Con sensores (5 h/día)	0.60	18.00	216.0
<b>Ahorro</b>	<b>1.05</b>	<b>32.40</b>	<b>388.8</b>

La distribución actual y la propuesta de mejora se presentan en el ANEXO 2

—

### 6.2.3. Automatización de pasillos mediante sensores – Segunda planta

En la segunda planta se detectó un sobreconsumo debido al uso continuo de luminarias. Se propone la instalación de sensores de movimiento para optimizar el uso de energía sin afectar la seguridad.

$$E_{\text{actual}} = 36 W \times 7 \times 24 h = 6,05 kWh/da \quad (6.7)$$

$$E_{\text{mejora}} = 36 W \times 7 \times 9 h = 2,16 kWh/da \quad (6.8)$$

$$Ahorro = 2177,3 - 777,6 = 1399,7 \text{ kWh/ao} \quad (6.9)$$

**Tabla 6.3:** Comparación de consumo energético en segunda planta

Condición	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
Actual (24 h/día)	6.05	181.44	2177.3
Con sensores (9 h/día)	2.16	64.80	777.6
<b>Ahorro</b>	<b>3.89</b>	<b>116.64</b>	<b>1399.7</b>

La distribución actual y la propuesta de mejora se presentan en el ANEXO 3

—

#### 6.2.4. Automatización de zona de lavandería y planchado

En el área de lavandería y planchado, las luminarias permanecen encendidas durante extensas jornadas, incluso sin necesidad. Se plantea la instalación de sensores de movimiento para disminuir los tiempos de encendido y lograr mayor eficiencia.

$$E_{\text{actual}} = 30 \text{ W} \times 6 \times 20 \text{ h} = 5,95 \text{ kWh/da} \quad (6.10)$$

$$E_{\text{mejora}} = 30 \text{ W} \times 6 \times 7 \text{ h} = 2,13 \text{ kWh/da} \quad (6.11)$$

$$Ahorro = 1088,6 - 388,8 = 695,5 \text{ kWh/ao} \quad (6.12)$$

**Tabla 6.4:** Comparación de consumo energético en lavandería y planchado

Condición	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
Actual (20 h/día)	5.95	163.20	1 088.6
Con sensores (7 h/día)	2.13	59.40	388.8
<b>Ahorro</b>	<b>3.82</b>	<b>103.80</b>	<b>695.5</b>

La distribución actual y la propuesta de mejora se presentan en el ANEXO 4

### 6.3. Análisis económico de las mejoras de automatización

#### 6.3.1. Ahorro energético consolidado

A partir de los resultados obtenidos en cada área (planta baja, primera planta, segunda planta y lavandería), se integran los valores de consumo actual, consumo con la medida propuesta y el ahorro anual de energía. La Tabla 6.5 presenta la síntesis.

**Tabla 6.5:** Ahorro energético consolidado por medidas de automatización

Zona	Sensores	Consumo actual (kWh/año)	Consumo propuesto (kWh/año)	Ahorro (kWh/año)
Planta baja	2	846.7	302.4	544.3
Primera planta	2	604.8	216.0	388.8
Segunda planta	6	2,177.3	777.6	1,399.7
Lavandería y planchado	3	1,088.6	388.8	695.5
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>4,717.4</b>	<b>1,684.8</b>	<b>3,028.3</b>

El ahorro total de energía es de aproximadamente **3 028.3 kWh/año**, lo que representa una disminución cercana al 64 % del consumo en las zonas intervenidas.

### 6.3.2. Conversión a ahorro económico

Para traducir el ahorro energético a beneficios económicos, se considera la tarifa eléctrica promedio registrada en las facturas del hospital ( $\approx 0,12$  USD/kWh, ver Capítulo 3). El cálculo se realiza mediante:

$$Ahorro_{econmico} = Ahorro_{energtico} \times Tarifa$$

$$Ahorro_{econmico} = 3\,028,3 \times 0,12 = 363,4 \text{ USD/año}$$

### 6.3.3. Evaluación económica

La viabilidad económica de las mejoras se evalúa a partir de tres indicadores financieros:

- **Payback (Período de Recuperación):**

$$Payback = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{11\,564,50}{2\,183,6} = 5,30 \text{ años} \quad (6.13)$$

- **Valor Actual Neto (VAN):**

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - \text{Inversión} \quad (6.14)$$

donde  $F_t = 2\,183,6$  USD,  $i = 0,10$  y  $n = 25$  años.

$$VAN = \sum_{t=1}^{25} \frac{2\,183,6}{(1+0,10)^t} - 11\,564,50 = 36\,413,34 \text{ USD} \quad (6.15)$$

▪ **Tasa Interna de Retorno (TIR):**

$$VAN(r) = \sum_{t=1}^{25} \frac{2\,183,6}{(1+r)^t} - 11\,564,50 = 0 \quad (6.16)$$

Resolviendo, se obtiene:

$$TIR = 19\% \quad (6.17)$$

#### 6.3.4. Resultados de indicadores

**Tabla 6.6:** Indicadores económicos del sistema evaluado

Indicador	Valor
Inversión inicial (USD)	11 564.50
Ahorro energético (kWh/año)	22 828
Ahorro económico (USD/año)	2 183.6
Payback (años)	5.30
VAN (25 años, 10 %)	36 413.34 USD
TIR	19 %

Los resultados financieros confirman la factibilidad económica del sistema. El **payback** cercano a 5 años muestra que la inversión se recupera en un plazo adecuado para un proyecto fotovoltaico. Asimismo, el **VAN positivo** y la **TIR elevada** evidencian que la instalación representa una decisión económicamente rentable para la institución.

### 6.3.5. Evaluación económica del sistema fotovoltaico

**Tabla 6.7:** Costos del sistema fotovoltaico

Item	Cantidad (unidades)	Costo (USD)	Total (USD)
<b>Costos de instalación</b>			
PV modules (Mono 550 Wp bifacial)	28	165.00	4 620.00
Soportes para módulos	28	15.00	420.00
Accesorios y sujetadores	48	2.00	96.00
Cableado	150	0.69	103.50
Cajas combinadoras	2	15.00	30.00
Ingeniería	1	500.00	500.00
Permisos y honorarios administrativos	1	300.00	300.00
Instalación (módulos)	28	35.00	980.00
Instalación (inversor)	1	450.00	450.00
Transporte	1	100.00	100.00
Configuración	1	450.00	450.00
Conexión a red	1	450.00	450.00
Seguro de edificio	1	200.00	200.00
Seguro de transporte	1	50.00	50.00
Seguro de responsabilidad	1	800.00	800.00
Preparación de terreno	1	500.00	500.00
<b>Total instalación</b>			<b>11 564.50</b>
<b>Activo depreciable</b>			<b>6 636.00</b>
<b>Costos de operación (OPEX)</b>			
Mantenimiento - Salarios			200.00
Mantenimiento - Reparaciones			100.00
Mantenimiento - Limpieza			10.00
Mantenimiento - Fondo de seguridad			15.00
<b>Total OPEX</b>			<b>325.00</b>
<b>OPEX con inflación (2 %)</b>			<b>416.39</b>

El sistema fotovoltaico propuesto tiene una potencia pico de 15.40 kWp y una producción anual estimada de 22 830 kWh, según simulaciones realizadas en PVsyst. Para el análisis económico se consideran los siguientes supuestos:

- Inversión inicial estimada: 11 564.50 USD.
- Tarifa promedio de energía: 0.09495 USD/kWh (facturación del hospital).
- Costos de operación y mantenimiento (O&M): 416.39 USD/año.
- Horizonte de evaluación: 25 años (vida útil del sistema fotovoltaico).
- Tasa de descuento: 10 %.

Para la evaluación económica del sistema fotovoltaico se adoptó una tasa de descuento del **10 %**, valor que resulta coherente con las condiciones financieras y el contexto económico del Ecuador para proyectos de generación de energía renovable.

En proyectos fotovoltaicos, la tasa de descuento suele estimarse a partir del **Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC)**, el cual incorpora el costo de la deuda, el costo del capital propio y el riesgo asociado al país. Diversos estudios técnicos y referencias regionales indican que, para proyectos energéticos en Ecuador, el WACC se sitúa generalmente en un rango comprendido entre el **10 % y el 15 %**, considerando el uso del dólar estadounidense como moneda oficial, el riesgo país y el retorno esperado por los inversionistas.

En este contexto, la adopción de una tasa de descuento del 10 % representa un valor conservador y técnicamente aceptable, adecuado para proyectos de infraestructura energética de largo plazo, como los sistemas fotovoltaicos, que presentan bajos costos de operación, estabilidad en la generación y una vida útil superior a 25 años [19].

## Resultados

**6.3.5.0.1. Ahorro neto anual** El ahorro neto anual se obtiene de los ingresos brutos por energía menos los costos de operación:

$$Ahorro_{neto} = (E \times p) - C_{O\&M} \quad (6.18)$$

$$Ahorro_{neto} = (22\,830 \times 0,09495) - 416,39 = 2\,183,6 \text{ USD/año} \quad (6.19)$$

**6.3.5.0.2. Payback simple** El período de recuperación se calcula como:

$$Payback = \frac{11\,564,5}{2\,183,6} = 5,30 \text{ años} \quad (6.20)$$

**6.3.5.0.3. Valor Actual Neto (VAN)** El VAN se obtiene descontando los flujos netos futuros durante la vida útil del proyecto:

$$VAN = 2\,183,6 \times \left( \frac{1 - (1,10)^{-25}}{0,10} \right) - 11\,564,5 = 36\,413,34 \text{ USD} \quad (6.21)$$

**6.3.5.0.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)** La TIR es la tasa de descuento  $r$  que hace que el VAN sea igual a cero:

$$TIR = 19\% \quad (6.22)$$

**6.3.5.0.5. Costo Nivelado de Energía (LCOE)** El LCOE representa el costo de generar 1 kWh a lo largo de la vida útil del sistema:

$$LCOE = 0,05 \text{ USD/kWh} \quad (6.23)$$

**6.3.5.0.6. Reducción del consumo energético** La implementación del sistema solar fotovoltaico *On-Grid* con una potencia instalada de **15,40 kWp** permite una generación anual estimada de energía eléctrica de **22,83 MWh/año**, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante la simulación en el software *PVsyst*.

El consumo eléctrico anual promedio del Hospital Básico Santa Marianita, determinado a partir del análisis histórico de los años 2023 y 2024, es de aproximadamente **60,00 MWh/año**. En consecuencia, la reducción porcentual del consumo de energía proveniente de la red pública se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Reducción de consumo (\%)} = \frac{E_{\text{FV}}}{E_{\text{consumo}}} \times 100 \quad (6.24)$$

Donde:

- $E_{FV}$  es la energía anual generada por el sistema fotovoltaico [kWh/año].
- $E_{consumo}$  es el consumo anual de energía eléctrica del hospital [kWh/año].

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\text{Reducción de consumo (\%)} = \frac{22\,830}{60\,000} \times 100 = 38,05\% \quad (6.25)$$

Por lo tanto, la instalación del sistema fotovoltaico permite cubrir aproximadamente **el 38 % de la demanda eléctrica anual del hospital**, lo que se traduce en una reducción directa del consumo de energía adquirida desde la red pública. Este resultado contribuye de manera significativa a la disminución de los costos operativos y al fortalecimiento de la gestión energética sostenible de la institución, en concordancia con los lineamientos de la norma **ISO 50001:2018**.

**Tabla 6.8:** Indicadores técnicos y económicos del sistema fotovoltaico

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Inversión inicial (USD)	11 564.50
Producción anual de energía (kWh)	22 830
Costos de operación y mantenimiento (USD/año)	416.39
Horizonte de evaluación	25 años
Tasa de descuento	10 %
Ahorro neto anual (USD)	2 183.60
Periodo de recuperación (Payback)	5.30 años
Valor Actual Neto (VAN) (USD)	36 413.34
Tasa Interna de Retorno (TIR)	19 %
Costo Nivelado de Energía (LCOE) (USD/kWh)	0.05
<b>Reducción del consumo energético</b>	<b>38.05 %</b>

Los resultados confirman la viabilidad económica del sistema fotovoltaico: el **VAN positivo**, la **TIR superior a la tasa de descuento** y un **payback de 5.30 años** demuestran que la inversión es rentable y sostenible en el tiempo. Además, el sistema

contribuye a la reducción de costos energéticos y a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>, alineándose con las políticas de transición energética vigentes en el Ecuador.

## 6.4. Resumen comparativo de medidas de eficiencia y generación fotovoltaica

Con el objetivo de integrar los resultados obtenidos en el diseño del sistema fotovoltaico y en las mejoras de eficiencia energética mediante automatización, se presenta a continuación un cuadro comparativo consolidado. Este permite visualizar de forma conjunta el impacto energético y económico de ambas medidas, evaluando su aporte individual y combinado.

**Tabla 6.9:** Resumen consolidado del impacto energético y económico

Medida	Ahorro (kWh/año)	Ahorro (USD/año)	Inversión (USD)	Payback (años)
Automatización	3 028.3	363.4	749	2.06
Fotovoltaico (15.4 kWp)	22 828	2 183.6	11 564.5	5.30
<b>Total</b>	<b>25 856.3</b>	<b>2 547.0</b>	<b>12 313.5</b>	<b>4.83</b>

Los resultados muestran que la automatización de iluminación representa una alternativa de bajo costo con alta rentabilidad, alcanzando un período de recuperación de tan solo 2.06 años. Por su parte, el sistema fotovoltaico de 15.4 kWp garantiza un ahorro energético considerable en el mediano plazo, con un período de retorno de 5.30 años y beneficios sostenibles durante toda su vida útil.

Al analizar la implementación conjunta de ambas medidas, se obtiene un ahorro energético de aproximadamente **25 858 kWh/año** y un ahorro económico cercano a **2 547 USD/año**, con un **payback global de 4.83 años**. Esto confirma que la estrategia combinada ofrece un balance óptimo entre inversión, rentabilidad y sostenibilidad, reforzando la factibilidad técnica y económica del proyecto en el Hospital Básico Santa Marianita.

## 6.5. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizó considerando las dos medidas propuestas: la instalación del sistema fotovoltaico y la automatización de luminarias. El objetivo fue evaluar la variación de los indicadores económicos frente a cambios en parámetros críticos como inversión inicial, tarifa eléctrica y producción de energía.

### 6.5.1. Sistema fotovoltaico

Se evaluaron tres escenarios sobre la base de los valores actualizados (Tabla 6.10):

- **Pesimista:** incremento del 10% en la inversión, reducción del 15% en la tarifa eléctrica y disminución del 5% en la producción fotovoltaica.
- **Base:** condiciones de diseño (inversión de 11 564.50 USD, producción de 22 828 kWh/año y tarifa vigente).
- **Optimista:** reducción del 10% en la inversión, incremento del 15% en la tarifa eléctrica y aumento del 5% en la producción fotovoltaica.

**Tabla 6.10:** Sensibilidad del sistema fotovoltaico

Escenario	VAN (USD)	TIR (%)	Payback (años)
Pesimista	25 900	11.5	7.1
Base	36 413	19.0	5.3
Optimista	47 800	25.0	4.2

### 6.5.2. Automatización

Para la automatización se aplicó el mismo criterio de variación:

**Tabla 6.11:** Sensibilidad de la automatización de luminarias

Escenario	VAN (USD)	TIR (%)	Payback (años)
Pesimista	1 120	38	2.5
Base	1 484	49	2.1
Optimista	1 850	58	1.7

### 6.5.3. Discusión

Los resultados demuestran que ambas medidas son económicamente viables incluso en condiciones pesimistas. El sistema fotovoltaico mantiene un VAN positivo y una TIR superior al 10 %, asegurando rentabilidad en el largo plazo. La automatización, por su parte, presenta una alta TIR y un período de recuperación muy corto, lo que la convierte en una medida de bajo riesgo y alto impacto.

La variable de mayor sensibilidad en el sistema fotovoltaico es la tarifa eléctrica, mientras que en la automatización lo es la inversión inicial. En conjunto, las dos estrategias fortalecen la sostenibilidad y la eficiencia energética del Hospital Básico Santa Marianita.

## 6.6. Discusión: Aplicación de la Norma ISO 50001 en la Gestión Energética del Hospital

La implementación de un sistema de gestión energética basado en la norma **ISO 50001:2018** constituye un elemento fundamental para garantizar la mejora continua del desempeño energético dentro del Hospital Básico Santa Marianita. Esta norma establece un marco metodológico que permite planificar, implementar, mantener y mejorar la eficiencia energética mediante un enfoque sistemático, alineado con la política institucional y los objetivos de sostenibilidad.

En el contexto del hospital, la aplicación de la ISO 50001 se evidenció en el proceso de auditoría energética, donde se identificaron los usos significativos de la energía, los puntos de mayor demanda y las oportunidades de optimización en iluminación, climatización y alimentación eléctrica. Asimismo, la propuesta del sistema fotovoltaico responde directamente a los principios de la norma, al incorporar tecnologías limpias y promover la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Desde el enfoque del ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, el hospital podría estructurar su gestión energética de la siguiente forma:

- **Planificar (Plan):** establecer la política energética, recopilar información de consumo y definir metas de reducción.
- **Hacer (Do):** ejecutar proyectos de mejora, como la modernización de luminarias y la instalación del sistema solar fotovoltaico.
- **Verificar (Check):** realizar seguimiento mediante mediciones, auditorías internas y control de indicadores energéticos.
- **Actuar (Act):** implementar acciones correctivas y de mejora continua para mantener los logros y establecer nuevos objetivos.

La adopción de la ISO 50001 permitiría institucionalizar las buenas prácticas derivadas de este estudio, garantizando la sostenibilidad de las medidas propuestas, la reducción progresiva del consumo energético y la consolidación de una cultura de eficiencia dentro del hospital. Para fortalecer la aplicación práctica de la norma ISO 50001 en el contexto hospitalario, se estableció una correlación entre los principios normativos y las acciones

desarrolladas a lo largo de la auditoría energética y la propuesta de mejora. Esta relación evidencia que el estudio no solo cumple con la evaluación técnica, sino que adopta un enfoque de gestión energética integral, promoviendo la eficiencia, el control operativo y la mejora continua.

**Tabla 6.12:** Relación entre la Norma ISO 50001 y las acciones desarrolladas en la tesis

<b>Principio o requisito de la ISO 50001</b>	<b>Acción o evidencia desarrollada en la tesis</b>	<b>Capítulo de referencia</b>
Compromiso de la dirección y política energética	Definición de objetivos de sostenibilidad institucional y eficiencia en el uso de la energía eléctrica.	Capítulo I
Revisión energética y diagnóstico inicial	Evaluación de consumos eléctricos, análisis de planillas y determinación de cargas críticas del hospital.	Capítulo III
Identificación de usos significativos de la energía (USEs)	Análisis detallado de iluminación, equipos médicos y sistemas auxiliares con mayor demanda energética.	Capítulo III
Control operacional y mantenimiento eficiente	Propuesta de plan de mantenimiento preventivo para luminarias, tableros y equipos eléctricos.	Capítulo III
Mejora del desempeño energético	Propuesta de implementación del sistema solar fotovoltaico como medida de reducción del consumo convencional.	Capítulo IV
Seguimiento, medición y verificación	Establecimiento de indicadores energéticos y comparación de consumos antes y después de la propuesta.	Capítulo IV
Comunicación y competencia del personal	Recomendación de capacitación al personal de mantenimiento sobre uso eficiente de la energía.	Capítulo IV
Mejora continua del sistema energético	Integración del ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar) para asegurar la sostenibilidad del sistema.	Capítulo V

## CAPÍTULO 7

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 7.1. Conclusiones

1. **Análisis del consumo energético:** El estudio determinó que el Hospital Básico Santa Marianita presentó una demanda promedio de **3326,39 kWh/mes en 2023**, la cual se redujo a **2806,49 kWh/mes en 2024**, logrando un **ahorro del 15,6 %** gracias a la sustitución de luminarias por tecnología LED y a los cortes programados por estiaje. Esta reducción permitió establecer una línea base confiable para la planificación de acciones de gestión energética.
2. **Diseño del sistema fotovoltaico:** El dimensionamiento del sistema fotovoltaico de **15,40 kWp** demostró ser técnica, económica y operativamente viable. La simulación realizada en *PVsys* estimó una generación anual de **22.828 kWh**, con un **Performance Ratio (PR) de 86,17 %**, valor que cumple con los estándares internacionales para sistemas fotovoltaicos on-grid en instalaciones hospitalarias.  
Esta generación permite cubrir aproximadamente el **58 % de la demanda eléctrica anual del hospital**. Como resultado de la compensación energética por franjas horarias, el costo anual de la facturación eléctrica se reduce de **\$4.560 USD a \$1.912 USD**, lo que representa un **ahorro anual de \$2.648 USD**. Este ahorro contribuye directamente a la reducción de la dependencia de la red eléctrica convencional y mejora el flujo de caja de la institución.
3. **Evaluación económica:** El análisis financiero determinó un **Valor Actual Neto (VAN) positivo**, una **Tasa Interna de Retorno (TIR) del 19 %**, superior al costo de oportunidad del capital, un **LCOE de 0,05 USD/kWh** y un **periodo de recuperación de la inversión (Payback) de 5,3 años**, en un horizonte de evaluación de 25 años. Estos indicadores confirman que la inversión es rentable y competitiva frente a la tarifa eléctrica convencional.

4. **Eficiencia energética complementaria:** La implementación de sensores de movimiento en pasillos, áreas administrativas y lavandería permite un **ahorro adicional superior al 10 % en el consumo de iluminación**, optimizando el uso de la energía eléctrica y complementando los beneficios obtenidos con el sistema fotovoltaico.
5. **Mejoras en eficiencia energética y automatización:** La implementación de mejoras de automatización mediante sensores de movimiento permitió alcanzar un ahorro energético anual consolidado de **3.028,3 kWh/año**, según los resultados obtenidos en el Capítulo 6.3 (Tabla 6.5). Este ahorro optimiza el uso de la iluminación en áreas de ocupación intermitente, reduce consumos innecesarios y complementa de manera efectiva las medidas de eficiencia energética y la generación fotovoltaica del proyecto. Estas mejoras reducen consumos innecesarios, incrementan la vida útil de los equipos y generan un ahorro energético adicional superior al 10 % en iluminación, complementando los beneficios obtenidos con el sistema fotovoltaico.
6. **Impacto ambiental y social:** La combinación de medidas de eficiencia energética y generación solar contribuye a la reducción de emisiones de **CO<sub>2</sub>**, fortalece la resiliencia energética del hospital y mejora la continuidad del servicio eléctrico en áreas críticas. Asimismo, posiciona a la institución como un referente de sostenibilidad, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible **ODS 7** (energía asequible y no contaminante) y **ODS 13** (acción por el clima).

## 7.2. Recomendaciones

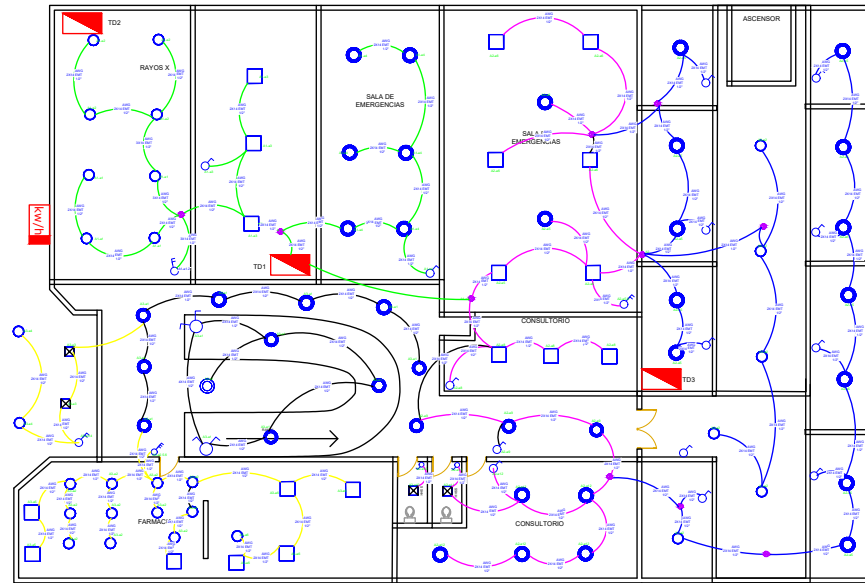
1. **Implementación progresiva del sistema FV:** Ejecutar inicialmente el sistema de **15,40 kWp** propuesto y planificar futuras ampliaciones considerando el crecimiento de la demanda hospitalaria y la disponibilidad de financiamiento.
2. **Gestión energética bajo ISO 50001:** Establecer un programa de auditorías periódicas conforme a la norma NTE-INEN-ISO 50001:2018, que permita actualizar la línea base de consumo, verificar los ahorros obtenidos y garantizar la mejora continua del desempeño energético.
3. **Seguridad eléctrica y normativa:** Reforzar la señalización y protecciones eléctricas en media y baja tensión, cumpliendo con la normativa nacional (ARCONEL, NTE INEN) e internacional (IEC, IEEE), para asegurar la operación confiable del sistema.

4. **Capacitación del personal:** Implementar programas de formación en uso eficiente de la energía, operación y mantenimiento de sistemas FV, y seguridad eléctrica para técnicos y personal hospitalario.
5. **Monitoreo de indicadores clave:** Instalar un sistema de monitoreo energético en tiempo real que permita evaluar indicadores como PR, LCOE, VAN, TIR, ahorro energético y reducción de CO<sub>2</sub>, facilitando la toma de decisiones estratégicas y la rendición de cuentas institucional.
6. **Replicabilidad del modelo:** Extender la metodología a otros hospitales y centros de salud de la región, utilizando al Hospital Básico Santa Marianita como caso de referencia en proyectos de gestión energética sostenible en el sector público.

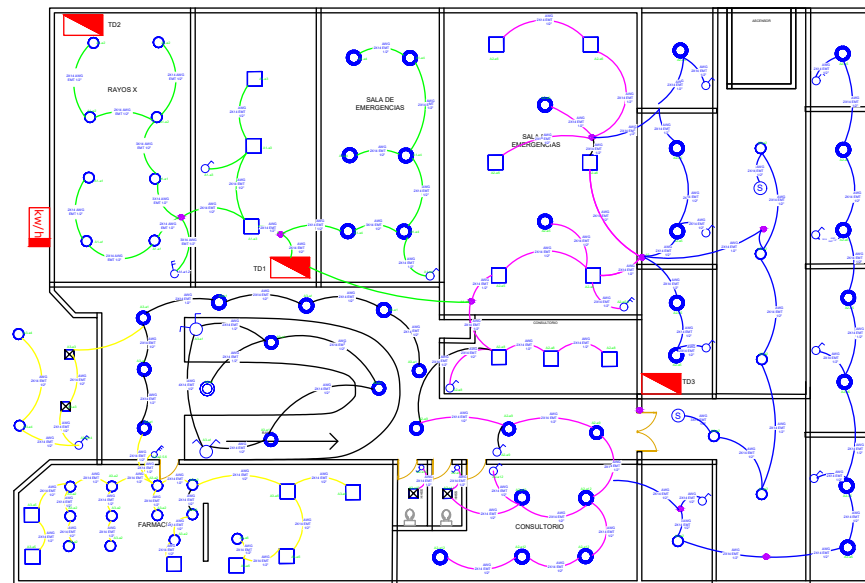
## CAPÍTULO 8

### ANEXOS






# PLANTA BAJA EXISTENTE



# PLANTA BAJA PROYECTADA















## Simbología

-  Tablero de Medición de Energía
-  Puesta a Tierra
-  Interruptor Termomagnético
-  Transformador 3F 75kVA
-  Protección NH 3x160A




### ILUMINACIÓN

	DESCRIPCIÓN
	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 38W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M


### ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALLINA H=45CM





### TABLEROS Y EQUIPOS

	TABlero DE DISTRIBUCION PRINCIPAL
	TABlero DE DISTRIBUCION SECUNDARIO
	TABlero DE MEDICION DE ENERGIA

### CAJETINES

	CAJETIN OCTAGONAL JUMBO
	CAJETIN CUADRADO 10X10CM

### VARIOS

	POZO DE REVISION TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

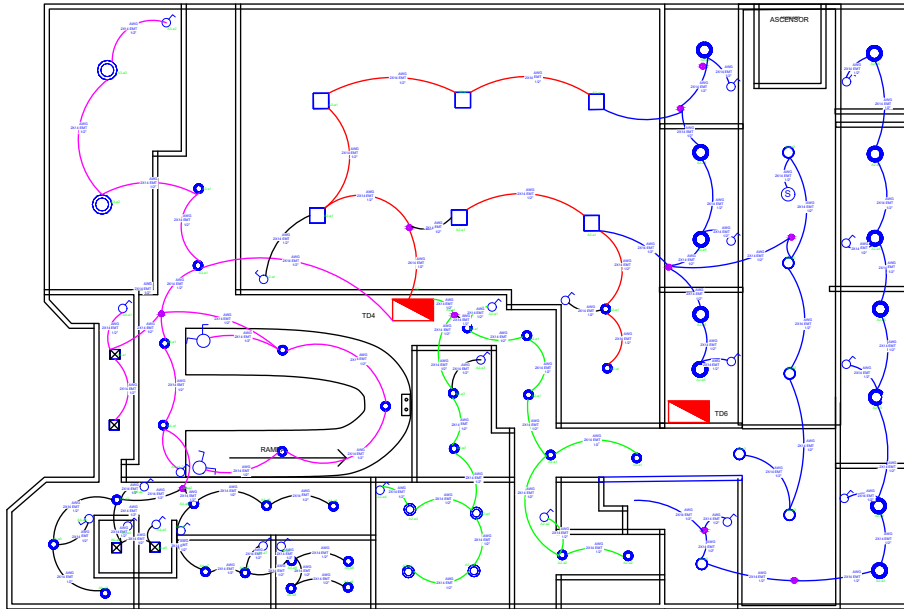
### AUDITORIA ENERGÉTICA

ESTUDIO ELÉCTRICO

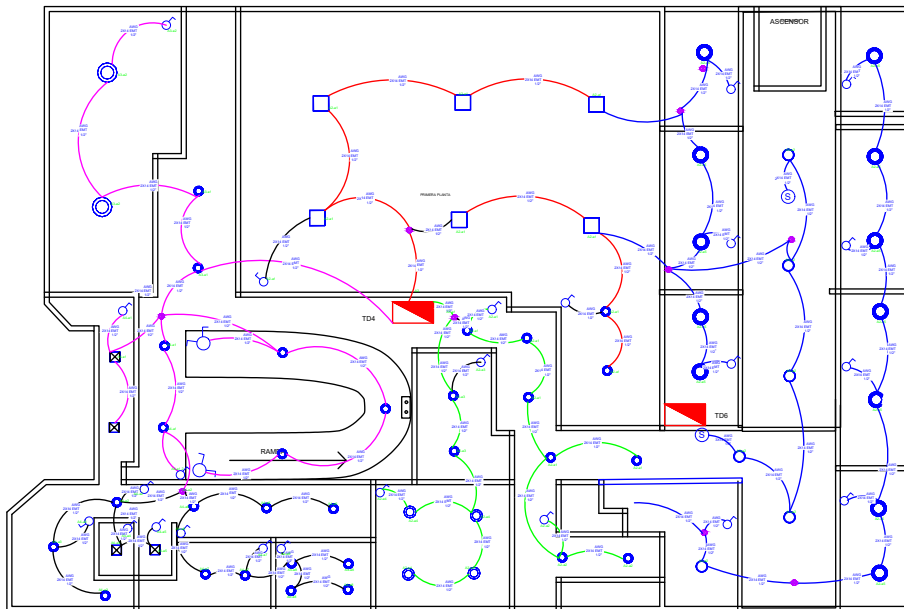
ESCALA:	INDICADAS	
OBSERVACIONES:		DISEÑO: EDWIN BOGUA, ARACELY BOCANO DIBUJO: EDWIN BOGUA, ARACELY BOCANO

CONTENIDO:	AZOGUEZ, JUNIO 2025
ANEXO 1: PLANTA BAJA	LAMINA: 1/6






# PRIMERA PLANTA ALTA EXISTENTE



# PRIMERA PLANTA ALTA PROYECTADA















## Simbología

-  Tablero de Medición de Energía
-  Puesta a Tierra
-  Interruptor Termomagnético
-  Transformador 3F 75kVA
-  Protección NH 3x160A




### ILUMINACIÓN

DESCRIPCIÓN	
	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 36W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M



### ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALLINA H=45CM





### TABLEROS Y EQUIPOS

	TABlero DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
	TABlero DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	TABlero DE MEDICIÓN DE ENERGÍA

### CAJETINES

	CAJETÍN OCTAGONAL JUMBO
	CAJETÍN CUADRADO 10X10CM

### VARIOS

	POZO DE REVISIÓN TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

## AUDITORIA ENERGÉTICA

ESTUDIO ELÉCTRICO

ESCALA:	INDICADAS	
---------	-----------	--

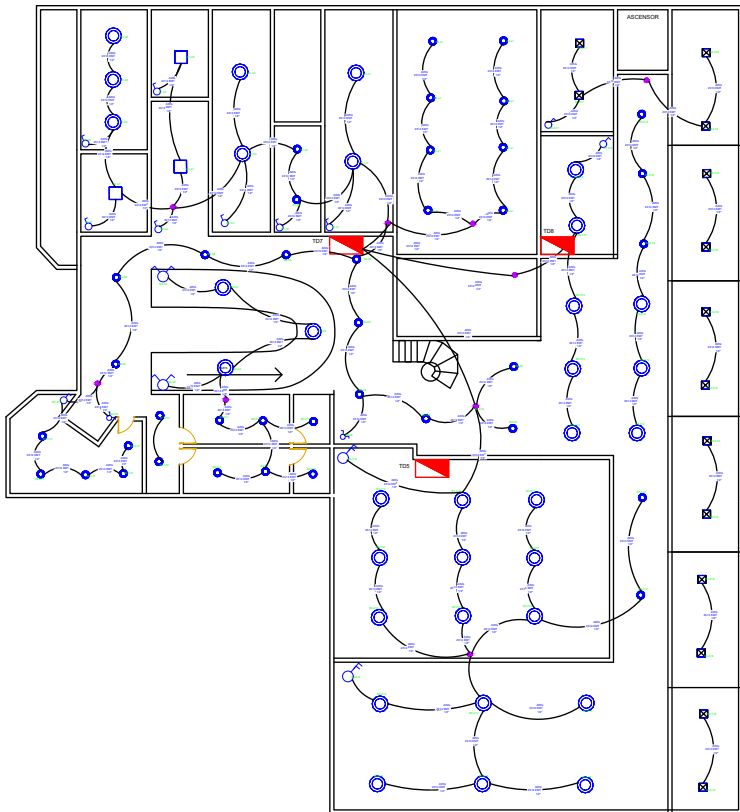
OBSERVACIONES:	ELABORADO: EDWIN BOCAL, ARACELY BOGANO
	REVISADO: EDWIN BOCAL, MARCELO ROSADO

CONTENIDO:	AZOGUEZ, JUNIO 2025
------------	---------------------

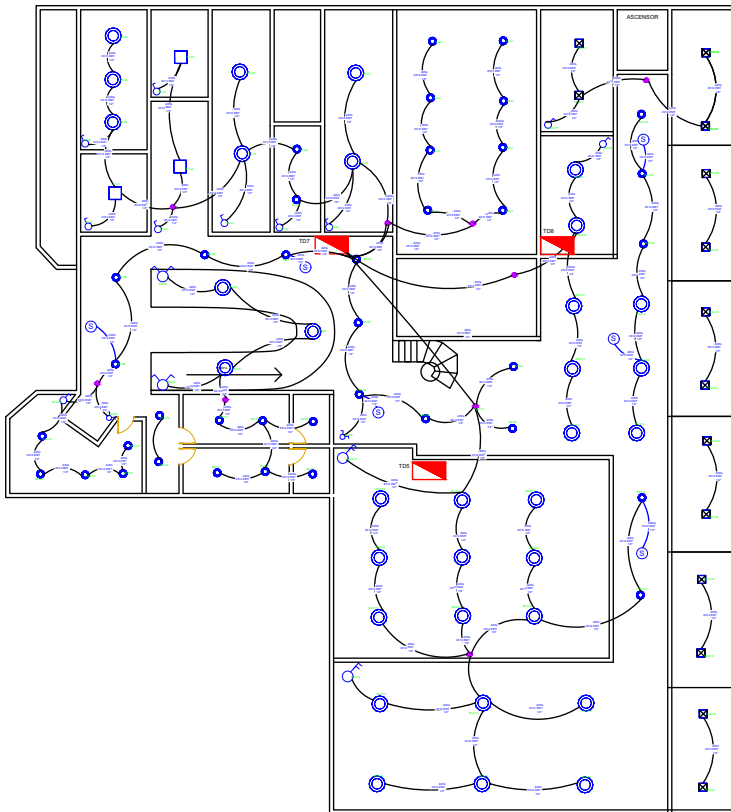
ANEXO 2: PRIMERA PLANTA

LAMINA: 2/6

## SEGUNDA PLANTA ALTA EXISTENTE



## SEGUNDA PLANTA ALTA PROYECTADA



## Simbología

	Tablero de Medición de Energía
	Puesta a Tierra
	Interruptor Termomagnético
	Transformador 3F 75kVA
	Protección NH 3x160A

### ILUMINACIÓN DESCRIPCIÓN

	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 36W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M

### ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALLINA H=45CM

### TABLEROS Y EQUIPOS

	TABlero DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
	TABlero DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	TABlero DE MEDICIÓN DE ENERGÍA

### CAJETINES

	CAJETÍN OCTAGONAL JUNBO
	CAJETÍN CUADRADO 10X10CM

### VARIOS

	POZO DE REVISION TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

### AUDITORIA ENERGÉTICA

ESTUDIO ELÉCTRICO

ESCALA: INDICADAS

OBSERVACIONES:

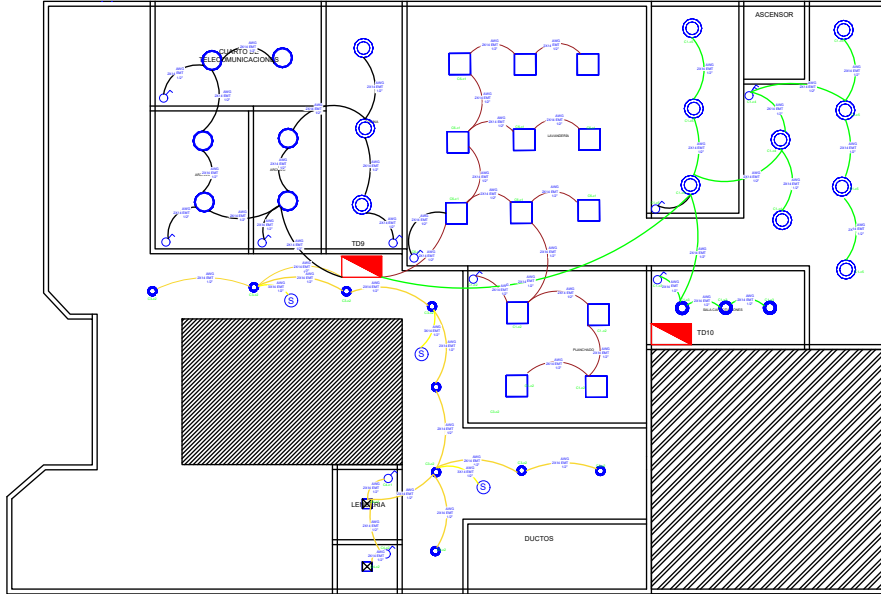
DISEÑO: EDWIN BORJA ARACELY RICOZANO  
 DIBUJO: EDWIN BORJA ARACELY RICOZANO

CONTENIDO: AZOGUEZ, JUNIO 2025

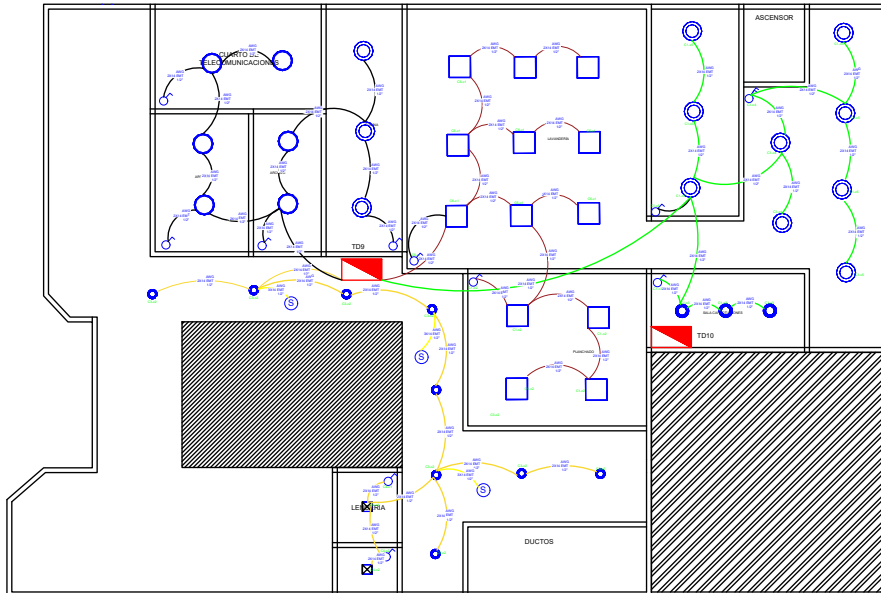
ANEXO 3: SEGUNDA PLANTA

LAMINA: 3/6

# TERCERA PLANTA ALTA EXISTENTE



# TERCERA PLANTA ALTA PROYECTADA



## Simbología

- Tablero de Medición de Energía
- Puesta a Tierra
- Interruptor Termomagnético
- Transformador 3F 75kVA
- Protección NH 3x160A

### ILUMINACIÓN

DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 36W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M

### ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALLINA H=45CM

### TABLEROS Y EQUIPOS

	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	TABLERO DE MEDICIÓN DE ENERGÍA

### CAJETINES

	CAJETIN OCTAGONAL JUMBO
	CAJETIN CUADRADO 10X10CM

### VARIOS

	POZO DE REVISIÓN TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

### AUDITORIA ENERGÉTICA

ESTUDIO ELÉCTRICO

ESCALA: INDICADAS

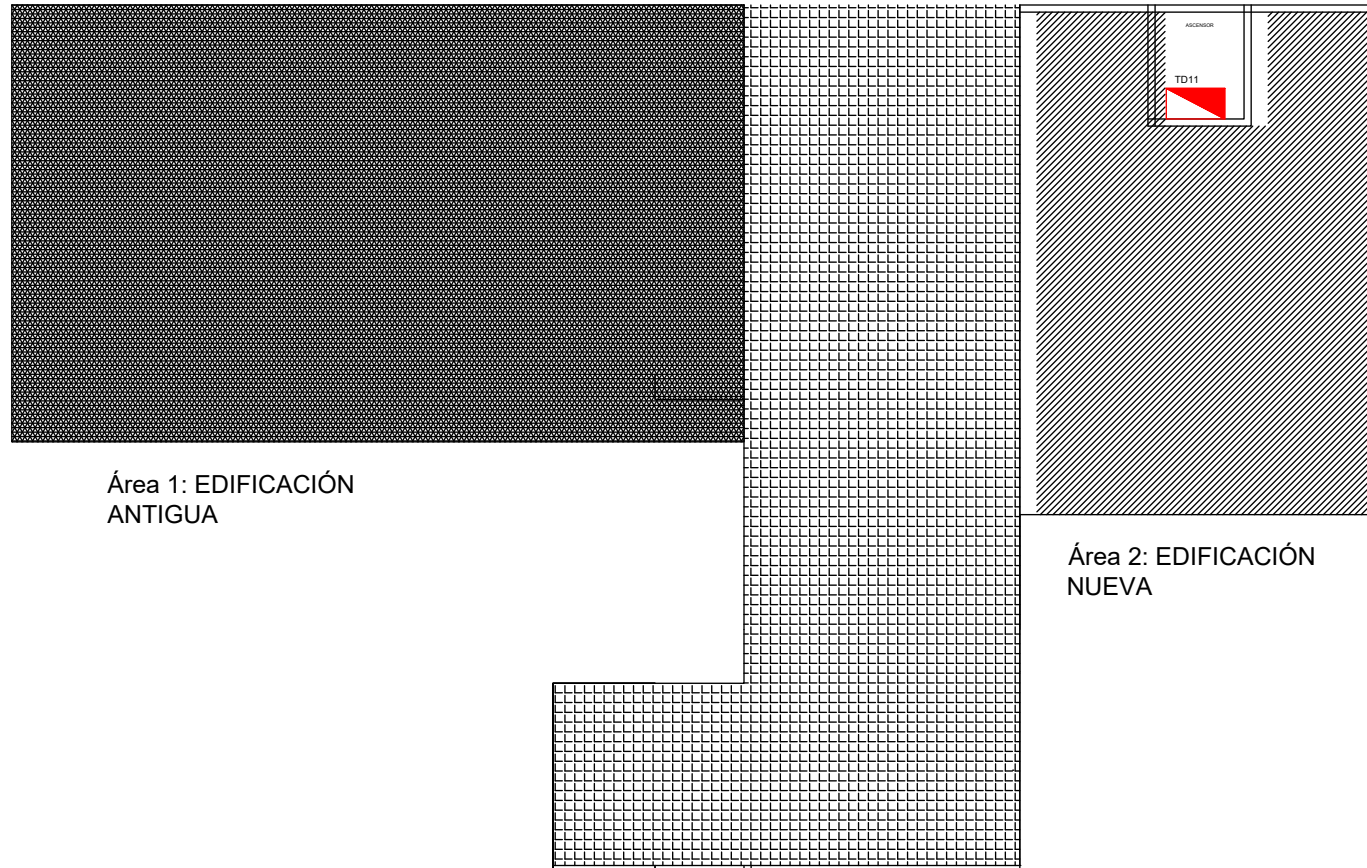
OBSERVACIONES:

CONTENIDO:

ANEXO 4: TERCERA PLANTA

AZOGUEZ, JUNIO 2025

LAMINA: 4/6



# Simbología

- Tablero de Medición de Energía
- Puesta a Tierra
- Interruptor Termomagnético
- Transformador 3F 75kVA
- Protección NH 3x160A

## ILUMINACIÓN

DESCRIPCIÓN	
	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 36W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M

## ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALLINA H=45CM

## TABLEROS Y EQUIPOS

	TABlero DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
	TABlero DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	TABlero DE MEDICIÓN DE ENERGÍA

## CAJETINES

	CAJETÍN OCTAGONAL JUMBO
	CAJETÍN CUADRADO 10X10CM

## VARIOS






	POZO DE REVISION TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

## AUDITORIA ENERGÉTICA

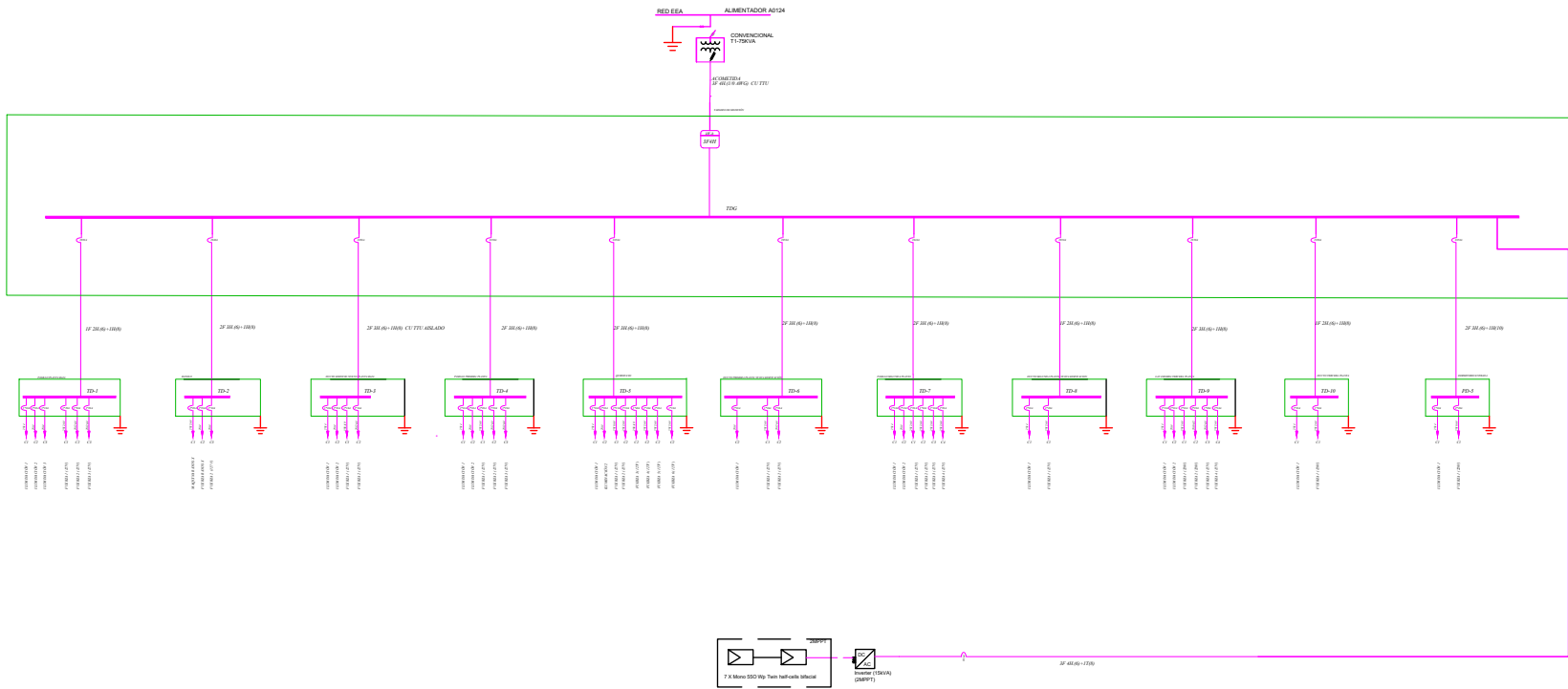
ESTUDIO ELÉCTRICO

ESCALA:	INDICADAS	
OBSERVACIONES:		DISEÑO: EDWIN BOLAÑA, ANGELEY BOCANO
		DIBUJO: EDWIN BOLAÑA, ANGELEY BOCANO
CONTENIDO:	ANEXO 5: TECHOS	AZOGUEZ, JUNIO 2025
		LAMINA: 5/6

# Simbología

-  Tablero de Medición de Energía
-  Puesta a Tierra
-  Interruptor Termomagnético
-  Transformador 3F 75kVA
-  Protección NH 3x160A

## DIAGRAMA UNIFILAR






### ILUMINACIÓN

DESCRIPCIÓN	
	PANEL LED CUADRADO 50W
	PANEL LED REDONDO 36W
	PANEL LED REDONDO 24W
	PANEL LED REDONDO 18W
	PANEL LED CUADRADO 12 W
	LAMPARA EMPOTRADO DE EMERGENCIA 9W
	CINTA LED 12W/M



### ELEMENTOS

	INTERRUPTOR SIMPLE H=110CM
	INTERRUPTOR DOBLE H=110CM
	INTERRUPTOR TRIPLE H=110CM
	CONMUTADOR SIMPLE H=110CM
	CONMUTADOR DOBLE H=110CM
	CONMUTADOR TRIPLE H=110CM
	DEVIADOR SIMPLE H=110CM
	DEVIADOR DOBLE H=110CM
	DEVIADOR TRIPLE H=110CM
	SENSOR DE MOVIMIENTO
	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V 10A H=45CM
	TOMACORRIENTE NEMA 220V 30A PATA DE GALIANA H=45CM

### TABLEROS Y EQUIPOS

	TABlero DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL
	TABlero DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO
	TABlero DE MEDICIÓN DE ENERGÍA

### CAJETINES

	CAJETÍN OCTAGONAL JUMBO
	CAJETÍN CUADRADO 10X10CM

### VARIOS

	POZO DE REVISIÓN TIPO A
	ESCALERILLA
	POSTE H.A. 12M
	VARILLA DE PUESTA A TIERRA

### AUDITORIA ENERGÉTICA

ESTUDIO ELÉCTRICO	
ESCALA:	INDICADAS
OBSERVACIONES:	CREADO: EWING BORJA ASEACHELY SOCANO REVISADO: EWING BORJA ASEACHELY SOCANO
CONTENIDO:	AZOGUEZ, JUNIO 2025
ANEXO 6: DIAGRAMA UNIFILAR	LAMINA: 6/6

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### TABLERO DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD1	
UBICACIÓN DE PANEL:	PASILLO PLANTA BAJA	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	1	(MONOFÁSICO A TRES HILOS)
FACTOR DE POTENCIA :	0,98	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	PB - 1 / ILUMINACIÓN	1	480	127	1	480	R	3,86			16	14
C2	PB - 2 FARMACIA / ILUMINACIÓN	1	468	127	1	468	R	3,76			16	14
C3	PB - 2 / ILUMINACIÓN	1	300	127	1	300	R	2,41			16	14
C1	PB - 1 / FUERZA	1	200	127	0,35	70	R	0,56			20	12
C2	PB - 2 / FUERZA	1	335	127	0,35	117,25	R	0,94			20	12
C3	PB - 3 / FUERZA	1	800	127	0,35	280	R	2,25			20	12
								13,78	0,00	0,00		

CARGA INSTALADA	2,58	[ kW ]
DEMANDA DIVERSIFICADA	1,72	[ kW ]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	1,37	[ kW ]
FACTOR DE POTENCIA	0,98	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	1,40	[ kVA ]
INTENSIDAD DE LÍNEA	6,36	[ A ]
INTENSIDAD DE FASE	6,36	[ A ]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	10	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,08	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	2#6(6)+1T#8	

EQUILIBRIO DE FASES



ELABORADO:	Edwin Borja - Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja - Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

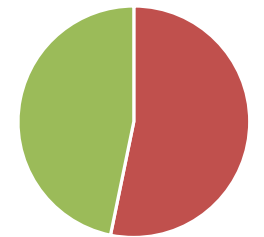
### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD2	
UBICACIÓN DE PANEL:	RAYOS X	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	MAQUINA DE RAYOS X	2	5000	220	0,7	3500	S-T		16,57	16,57	20	10
C2	FUERZA RAYOS X	1	200	127	0,7	140	S		1,15		10	10
C3	FUERZA	1	400	127	0,35	140	S		1,15		10	12
								0,00	18,87	16,57		

CARGA INSTALADA	5,60	[kW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	3,78	[kW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	3,02	[kW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	3,15	[kVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	14,32	[A]
INTENSIDAD DE FASE	14,32	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	10	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,17	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	

EQUILIBRIO DE FASES



■ FASE R ■ FASE S ■ FASE T

ELABORADO:	Edwin Borja - Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja - Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

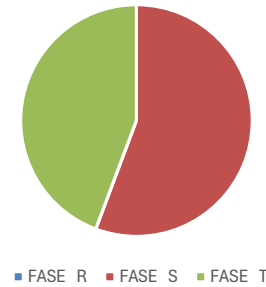
### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD3	
UBICACIÓN DE PANEL:	DUCTO EDIFICIO NUEVO PLANTA BAJA	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION	1	300	127	1	300	T			2,46	16	14
C2	ILUMINACION 2	1	312	127	1	312	T			2,56	16	14
C1	TD4 - M1 / FUERZA	1	600	127	0,7	420	S		3,44		20	12
C2	TD4 - M1 / FUERZA	1	500	127	0,7	350	S		2,87		20	12
								0,00	6,32	5,02		

CARGA INSTALADA	1,71	[kW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	1,38	[kW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	1,11	[kW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	1,15	[kVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	5,23	[A]
INTENSIDAD DE FASE	5,23	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	25	m
INGRESAR CALIBRE		13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,15	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	2#6(6)+1T#8	

EQUILIBRIO DE FASES



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

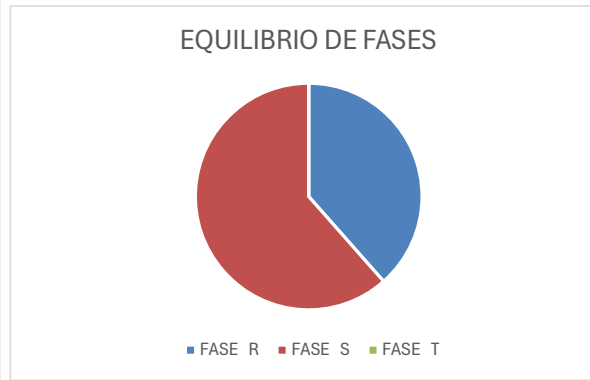
## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD4	
UBICACIÓN DE PANEL:	PASILLO PRIMERA PLANTA	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	P1 H / ILUMINACIÓN	1	918	127	1	918	R	7,53			10	14
C2	P1 / ILUMINACIÓN	1	738	127	1	738	S		6,05		10	14
C3	P1 / FUERZA	1	200	127	0,7	140	S		1,15		16	12
C4	P1 / FUERZA	1	600	127	0,7	420	R	3,44			16	12
C5	P1 / FUERZA	1	1800	127	0,7	1260	S		10,33		16	12
								10,97	17,54	0,00		

CARGA INSTALADA	4,26	[kW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	3,48	[kW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	2,78	[kW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	2,90	[kVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	13,17	[A]
INTENSIDAD DE FASE	13,17	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	18	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,28	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

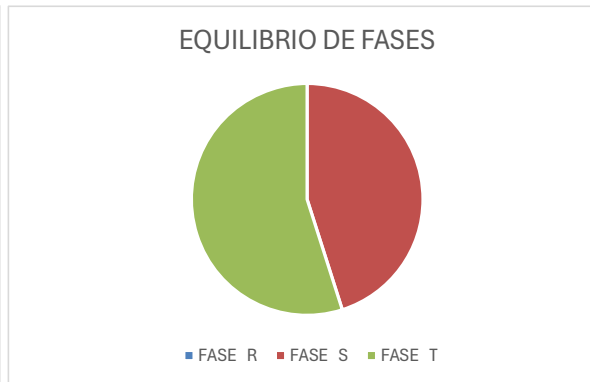
## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD5	
UBICACIÓN DE PANEL:	QUIROFANO	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	LAMPARA QUIRURGICA	1	50	127	1	50	S		0,41		10	14
C2	ILUMINACION QUIROFANO	1	200	127	1	200	S		1,64		10	14
C3	TERMOCUNA	1	2800	127	1	2800	S		22,97		25	10
C4	ELECTROCAUTERIO	1	300	127	1	300	T			2,46	10	14
C5	AUTOCLAVE	1	4600	127	1	4600	T			37,73	40	8
C6	CAMILLA QUIRURGICA	1	500	127	1	500	S		4,10		10	12
C7	MAQUINA ANESTESIA	1	1000	127	0,7	700	S		5,74		10	12
C8	FUERZA COMUN	1	400	127	0,7	280	T			2,30	10	12
								0,00	34,86	42,49		

CARGA INSTALADA	9,85	[KW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	9,43	[KW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	7,54	[KW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [KVA]	7,86	[KVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	35,72	[A]
INTENSIDAD DE FASE	35,72	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	30	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	1,27	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

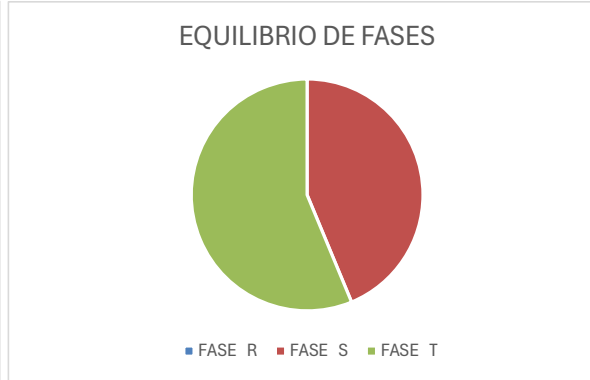
## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD6	
UBICACIÓN DE PANEL:	DUCTO PRIMERA PLANTA NUEVA EDIFICACION	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION	1	300	127	1	300	T			2,46	10	14
C2	FUERZA	1	600	127	0,7	420	T			3,44	16	12
C3	FUERZA	1	800	127	0,7	560	S		4,59		16	12
								0,00	4,59	5,91		

CARGA INSTALADA	1,70	[kW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	1,28	[kW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	1,02	[kW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	1,07	[kVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	4,85	[A]
INTENSIDAD DE FASE	4,85	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	35	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,20	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

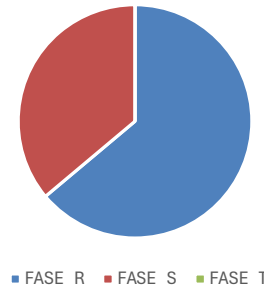
### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD7
UBICACIÓN DE PANEL:	PASILLO SEGUNDA PLANTA
TENSIÓN DE LÍNEA:	220 [V]
TENSIÓN DE FASE:	127 [V]
NUMERO DE FASES:	2 (TRIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,92 FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION P2	1	1000	127	1	1000	R	8,56			10	14
C2	ILUMINACION P2	1	600	127	1	600	R	5,14			10	12
C3	FUERZA HABITACIONES IZQUIERDA	1	400	127	0,7	280	R	2,40			20	12
C4	FUERZA HABITACIONES DERECHA	1	400	127	0,7	280	S		2,40		20	10
C5	FUERZA SERVICIOS GENERALES	1	500	127	0,7	350	R	3,00			20	10
C6	FUERZA LABORATORIO	1	1400	127	0,7	980	S		8,39		20	10
								19,09	10,78	0,00		

CARGA INSTALADA	4,30	[ kW ]
DEMANDA DIVERSIFICADA	3,49	[ kW ]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	2,79	[ kW ]
FACTOR DE POTENCIA	0,92	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	3,03	[ kVA ]
INTENSIDAD DE LÍNEA	13,79	[ A ]
INTENSIDAD DE FASE	13,79	[ A ]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	60	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,98	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	

EQUILIBRIO DE FASES



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD8	
UBICACIÓN DE PANEL:	DUCTO SEGUNDA PLANTA NUEVA EDIFICACION	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	1	(MONOFASICO A TRES HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION	1	500	127	1	500	S		4,10		10	14
C2	FUERZA	1	900	127	1	900	S		7,38		20	12
								0,00	11,48	0,00		

CARGA INSTALADA	1,40	[ kW ]
DEMANDA DIVERSIFICADA	1,40	[ kW ]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	1,12	[ kW ]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	1,17	[ kVA ]
INTENSIDAD DE LÍNEA	5,30	[ A ]
INTENSIDAD DE FASE	5,30	[ A ]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	45	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,28	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	2#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

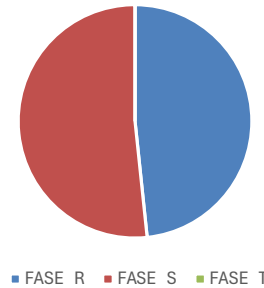
### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD9	
UBICACIÓN DE PANEL:	LAVANDERIA TERCERA PLANTA	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(TRIFÁSICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,92	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION P2	1	400	127	1	400	R	3,42			10	14
C2	ILUMINACION P2	1	200	127	1	200	R	1,71			10	12
C3	LAVANDERIA 1	2	2000	220	1	2000	R-S	9,88	9,88		10	12
C4	LAVANDERIA 2	2	4000	220	0,7	2800	R-S	13,83	13,83		20	10
C5	SECADORA	1	200	127	0,7	140	R	1,20			20	10
C6	ZONA PLANCHADO	1	1400	127	0,7	980	S		8,39		20	10
								30,05	32,10	0,00		

CARGA INSTALADA	8,20	[ kW ]
DEMANDA DIVERSIFICADA	6,52	[ kW ]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	5,22	[ kW ]
FACTOR DE POTENCIA	0,92	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	5,67	[ kVA ]
INTENSIDAD DE LÍNEA	25,77	[ A ]
INTENSIDAD DE FASE	25,77	[ A ]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	60	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	1,83	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	

EQUILIBRIO DE FASES



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

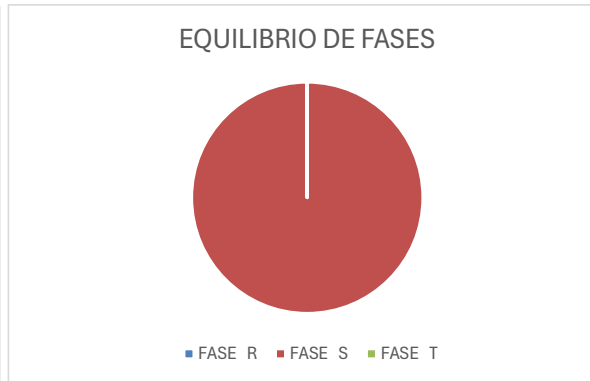
## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD10	
UBICACIÓN DE PANEL:	DUCTO TERCERA PLANTA	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	1	(MONOFASICO A TRES HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION	1	200	127	1	200	S		1,64		10	14
C2	FUERZA	1	400	127	1	400	S		3,28		10	14
								0,00	4,92	0,00		

CARGA INSTALADA	0,60	[ kW ]
DEMANDA DIVERSIFICADA	0,60	[ kW ]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	0,48	[ kW ]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [kVA]	0,50	[ kVA ]
INTENSIDAD DE LÍNEA	2,27	[ A ]
INTENSIDAD DE FASE	2,27	[ A ]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	60	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	0,16	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	2#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### PANEL DE DISTRIBUCIÓN

NOMBRE DE PANEL	TD11	
UBICACIÓN DE PANEL:	ASCENSOR	
TENSIÓN DE LÍNEA:	220	[V]
TENSIÓN DE FASE:	127	[V]
NUMERO DE FASES:	2	(BIFASICO A CUATRO HILOS)
FACTOR DE POTENCIA (EERCS):	0,96	FP

NOM. CIRC.	NOMBRE / DESCRIPCIÓN	# FASES	CARGA INSTALADA [W]	TENSIÓN [V]	FD	DEMANDA DIVERSIFICADA [W]	INGRESAR FASES	CORRIENTE EN FASES			PROTECCIÓN	CONFIGURACIÓN
								FASE R	FASE S	FASE T		
C1	ILUMINACION	1	36	127	1	36	S		0,30		10	14
C2	ASCENSOR	2	3600	220	1	3600	S		17,05		20	10
								0,00	17,34	0,00		

CARGA INSTALADA	3,64	[KW]
DEMANDA DIVERSIFICADA	3,64	[KW]
FACTOR DE COINCIDENCIA	0,8	
DEMANDA EFECTIVA DEL PANEL	2,91	[KW]
FACTOR DE POTENCIA	0,96	
DEMANDA EFECTIVA DEL TABLERO [KVA]	3,03	[KVA]
INTENSIDAD DE LÍNEA	13,77	[A]
INTENSIDAD DE FASE	13,77	[A]
LONGITUD DESDE TABLERO PRINCIPAL	65	m
INGRESAR CALIBRE	6	13,3
CAIDA DE TENSIÓN ΔV%	1,06	
CONFIGURACIÓN DE ALIMENTADOR	3#6(6)+1T#8	



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

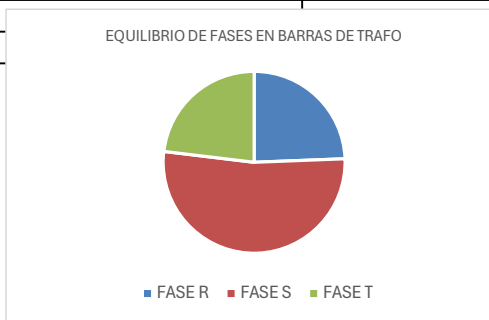
## AUDITORIA ENERGETICA HOSPITAL BASICO SANTA MARIANITA

### RESUMEN DE DEMANDA

PROVINCIA:	CAÑAR	
CANTON:	AZOGUEZ	
PARROQUIA:	AZOGUEZ	
ALIMENTADOR:	A0124	
TENSIÓN DE LÍNEA EN MT:	22000	ALIMENTADOR TRIFÁSICO
CONFIGURACIÓN DE MT:	3F4C	

NOMBRE DE PANEL	DEMANDA [ KVA ]	I INSTALADA POR FASE	I MEDIDA DE CADA TABLERO	CONFIGURACIÓN	Nro. FASES	AV%
TD1	1,40	6,36	1,05	2#6(6)+1T#8	1,00	0,08
TD2	3,15	14,32	3,45	3#6(6)+1T#8	2,00	0,17
TD3	1,15	5,23	1,23	2#6(6)+1T#8	2,00	0,15
TD4	2,90	13,17	2,63	3#6(6)+1T#8	2,00	0,28
TD5	7,86	35,72	1,05	3#6(6)+1T#8	2,00	1,27
TD6	1,07	4,85	1,05	3#6(6)+1T#8	2,00	0,20
TD7	3,03	13,79	2,50	3#6(6)+1T#8	2,00	0,98
TD8	1,17	5,30	1,05	2#6(6)+1T#8	1,00	0,28
TD9	5,67	25,77	1,03	3#6(6)+1T#8	2,00	1,83
TD10	0,50	2,27	0,50	2#6(6)+1T#8	1,00	0,16
TD11	3,03	13,77	1,35	3#6(6)+1T#8	2,00	1,06

INTENSIDAD TOTAL DE LÍNEA EN TRAF0:	140,57	[ A ]
INTENSIDAD MEDIDA EN BORNES DE MEDICION	16,89	[ A ]
DEMANDA TOTAL ACTUAL:	30,92	[ KVA ]
<b>TRANSFORMADOR INSTALADO</b>	<b>75,00</b>	<b>[ KVA ]</b>



ELABORADO:	Edwin Borja -Aracely Rocano
REVISIÓN:	Edwin Borja -Aracely Rocano
FECHA:	10/6/2025

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

---

Diseño Hospital Santa Marianita de Azoguez

Variant: Nueva variante de simulación

Building system

System power: 15.40 kWp

Azogues - Ecuador



**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Project summary**

**Geographical Site**

**Azogues**  
Ecuador

**Situation**

Latitude -2.74 °(S)  
Longitude -78.85 °(W)  
Altitude 2500 m  
Time zone UTC-5

**Project settings**

Albedo 0.20

**Weather data**

Azogues  
Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% - Sintético

**System summary**

**Grid-Connected System**

**Orientation #1**

**Fixed plane**  
Tilt/Azimuth 20 / 0 °

**Building system**

**Near Shadings**  
Linear shadings : Slow (simul.)

**User's needs**

Monthly values

**System information**

**PV Array**

Nb. of modules 28 units  
Pnom total 15.40 kWp

**Inverters**

Nb. of units 1 unit  
Total power 15 kWac  
Pnom ratio 1.03

**Results summary**

Produced Energy	22828 kWh/year	Specific production	1482 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	86.17 %
Used Energy	39314 kWh/year			Solar Fraction SF	34.69 %

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Near shading definition - Iso-shadings diagram	4
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7
P50 - P90 evaluation	13
Single-line diagram	14
Cost of the system	15
Financial analysis	16
CO <sub>2</sub> Emission Balance	19

**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**General parameters****Grid-Connected System****Orientation #1****Fixed plane**

Tilt/Azimuth 20 / 0 °

**Models used**

Transposition Perez  
Diffuse Perez, Meteorom  
Circumsolar separate

**User's needs**

Monthly values

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
3.08	3.11	2.88	3.08	3.24	3.50	3.63	3.66	3.55	3.30	3.11	3.19	39.3	MWh/mth

**Building system****Sheds configuration**

Nb. of sheds 2 units

Set of tables

**Shading limit angle**

Limit profile angle °

**Sizes**

Sheds spacing 0.00 m

Sensitive width 0.00 m

**Horizon**

Free Horizon

**Near Shadings**

Linear shadings : Slow (simul.)

**PV Array Characteristics****PV module**

Manufacturer Generic  
Model Mono 550 Wp Twin half-cells bifacial  
(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power 550 Wp  
Number of PV modules 28 units  
Nominal (STC) 15.40 kWp  
Modules 4 string x 7 In series

**At operating cond. (50°C)**

Pmpp 14.13 kWp  
U mpp 264 V  
I mpp 53 A

**Total PV power**

Nominal (STC) 15 kWp  
Total 28 modules  
Module area 72.3 m<sup>2</sup>  
Cell area 66.8 m<sup>2</sup>

**Inverter**

Manufacturer Generic  
Model MID 15KTL3-XL  
(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power 15.0 kWac  
Number of inverters 4 \* MPPT 25% 1 unit  
Total power 15.0 kWac  
Operating voltage 200-850 V  
Pnom ratio (DC:AC) 1.03

No power sharing between MPPTs

**Total inverter power**

Total power 15 kWac  
Number of inverters 1 unit  
Pnom ratio 1.03

**Array losses****Array Soiling Losses**

Loss Fraction 2.0 %

**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 29.0 W/m<sup>2</sup>K  
Uv (wind) 0.0 W/m<sup>2</sup>K/m/s

**DC wiring losses**

Global array res. 81 mΩ  
Loss Fraction 1.50 % at STC

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.38 %

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 2.00 % at MPP

**IAM loss factor**

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000

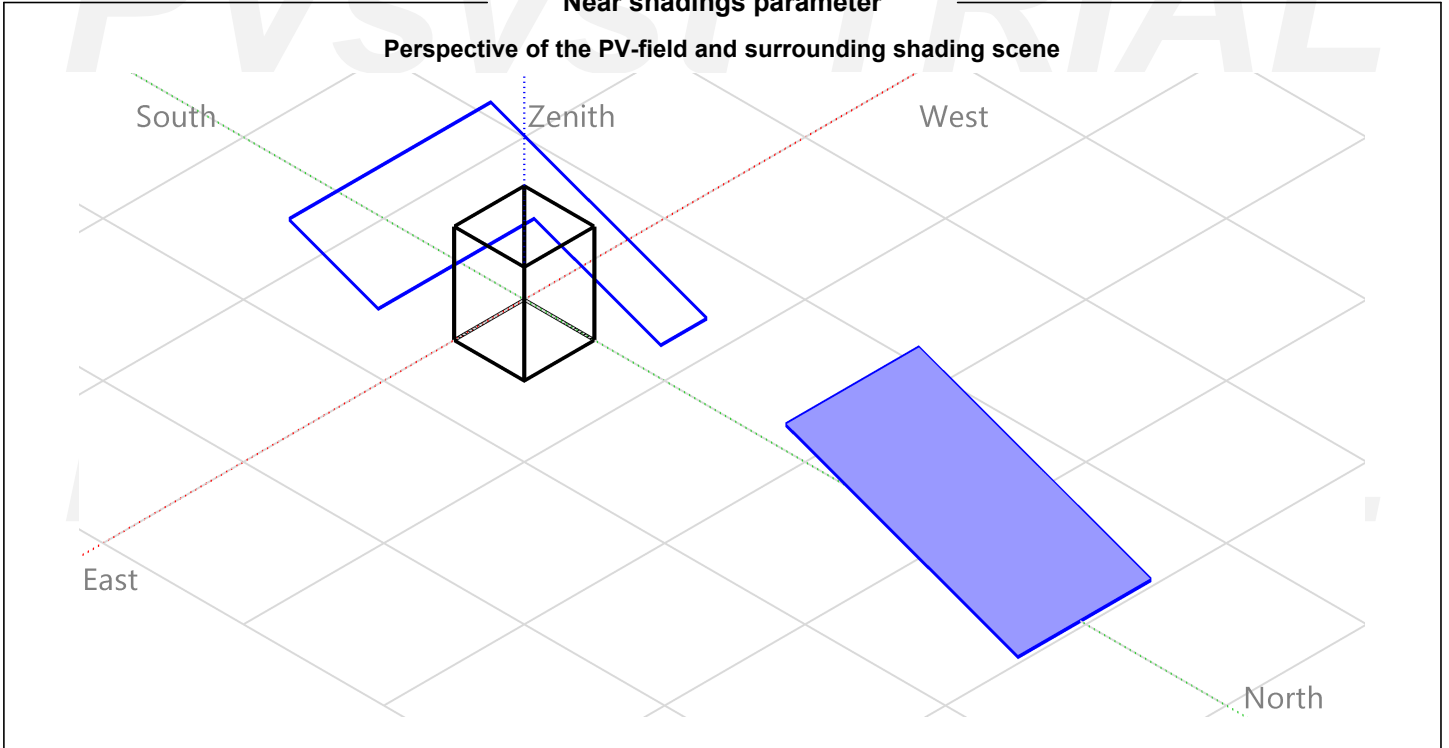


PVsyst V8.0.18

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Near shadings parameter

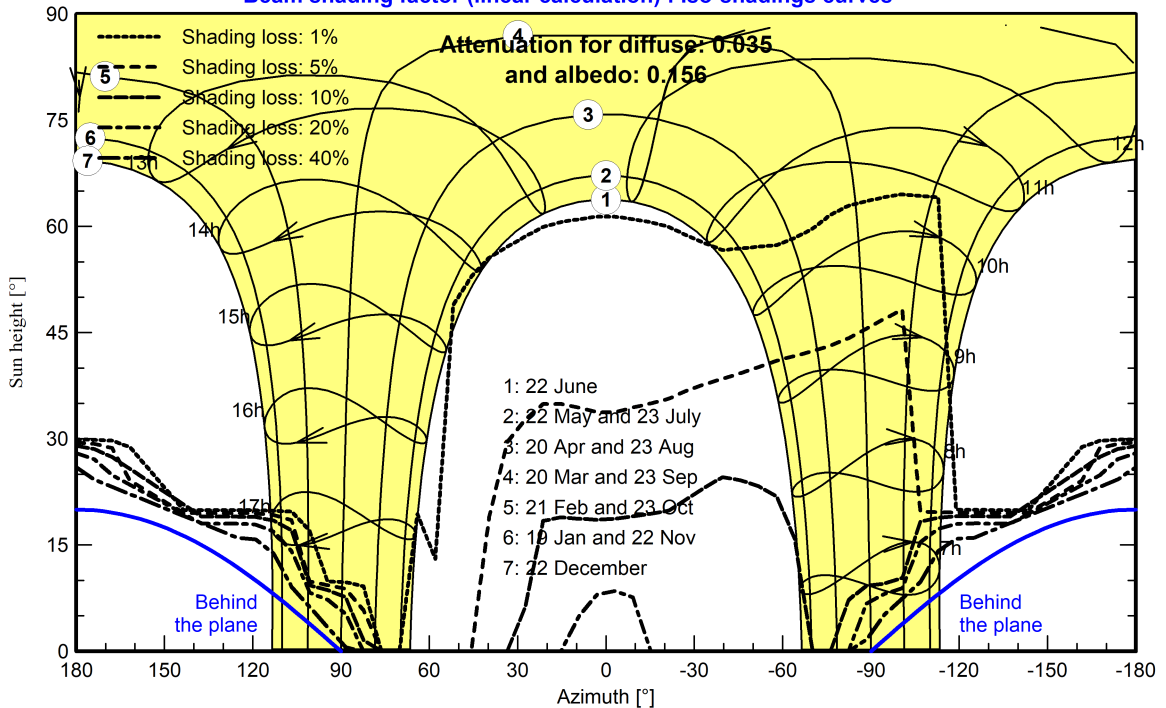
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1 - Fixed plane, Tilts/azimuths: 20°/ 0°

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves





**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Main results**

**System Production**

Produced Energy	22828 kWh/year	Specific production	1482 kWh/kWp/year
Used Energy	39314 kWh/year	Perf. Ratio PR	86.17 %
		Solar Fraction SF	34.69 %

**Economic evaluation**

**Investment**

Global	11.564.50 USD
Specific	0.75 USD/Wp

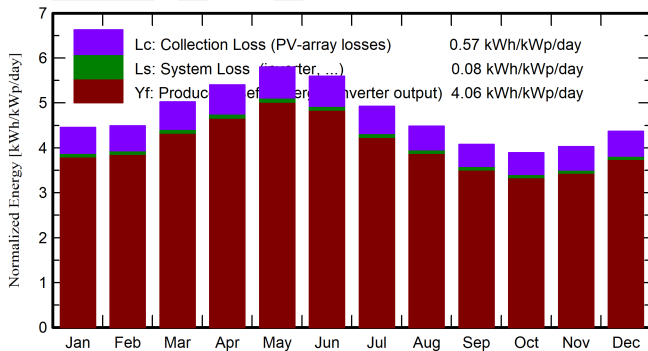
**Yearly cost**

Annuities	0.00 USD/yr
Run. costs	416.39 USD/yr
Payback period	5.3 years

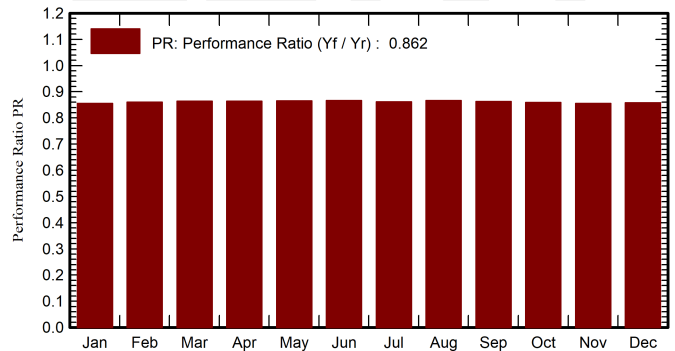
**LCOE**

Energy cost	0.05 USD/kWh
-------------	--------------

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	162.8	72.16	14.36	138.1	127.3	1855	3077	1077	742	2001
February	139.9	66.96	14.30	125.8	116.8	1699	3107	1057	609	2050
March	163.1	77.82	14.17	155.7	145.4	2110	2876	1087	984	1790
April	156.9	64.49	13.90	162.1	152.7	2201	3078	1137	1021	1941
May	163.0	66.69	14.11	179.9	169.0	2444	3237	1254	1144	1983
June	148.5	59.89	13.32	167.8	156.9	2280	3498	1309	928	2188
July	138.6	58.15	13.25	152.7	142.8	2065	3628	1220	805	2408
August	133.0	65.21	13.29	139.0	130.1	1892	3663	1200	654	2463
September	125.0	69.42	13.39	122.3	114.3	1659	3547	1093	531	2454
October	130.4	75.98	14.30	120.6	111.9	1630	3301	1071	525	2230
November	140.2	66.87	14.20	120.8	111.6	1625	3109	1008	583	2101
December	161.2	76.16	14.43	135.4	125.0	1824	3192	1125	663	2067
<b>Year</b>	<b>1762.3</b>	<b>819.80</b>	<b>13.92</b>	<b>1720.3</b>	<b>1603.8</b>	<b>23283</b>	<b>39314</b>	<b>13638</b>	<b>9190</b>	<b>25676</b>

**Legends**

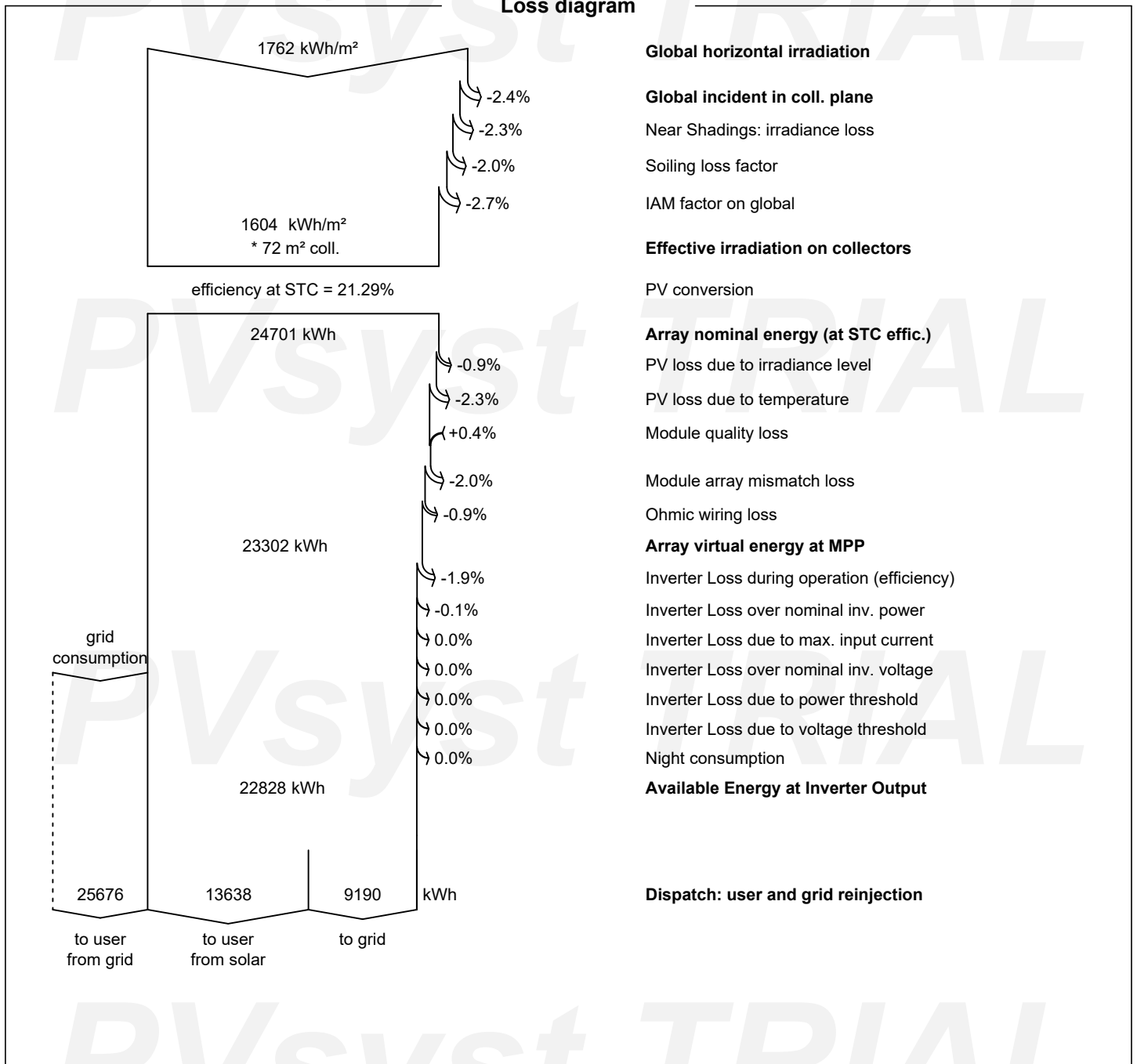
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Loss diagram**



- Global horizontal irradiation**
- Global incident in coll. plane**
- Near Shadings: irradiance loss
- Soiling loss factor
- IAM factor on global
- Effective irradiation on collectors**
- PV conversion
- Array nominal energy (at STC effic.)**
- PV loss due to irradiance level
- PV loss due to temperature
- Module quality loss
- Module array mismatch loss
- Ohmic wiring loss
- Array virtual energy at MPP**
- Inverter Loss during operation (efficiency)
- Inverter Loss over nominal inv. power
- Inverter Loss due to max. input current
- Inverter Loss over nominal inv. voltage
- Inverter Loss due to power threshold
- Inverter Loss due to voltage threshold
- Night consumption
- Available Energy at Inverter Output**
- Dispatch: user and grid reinjection**

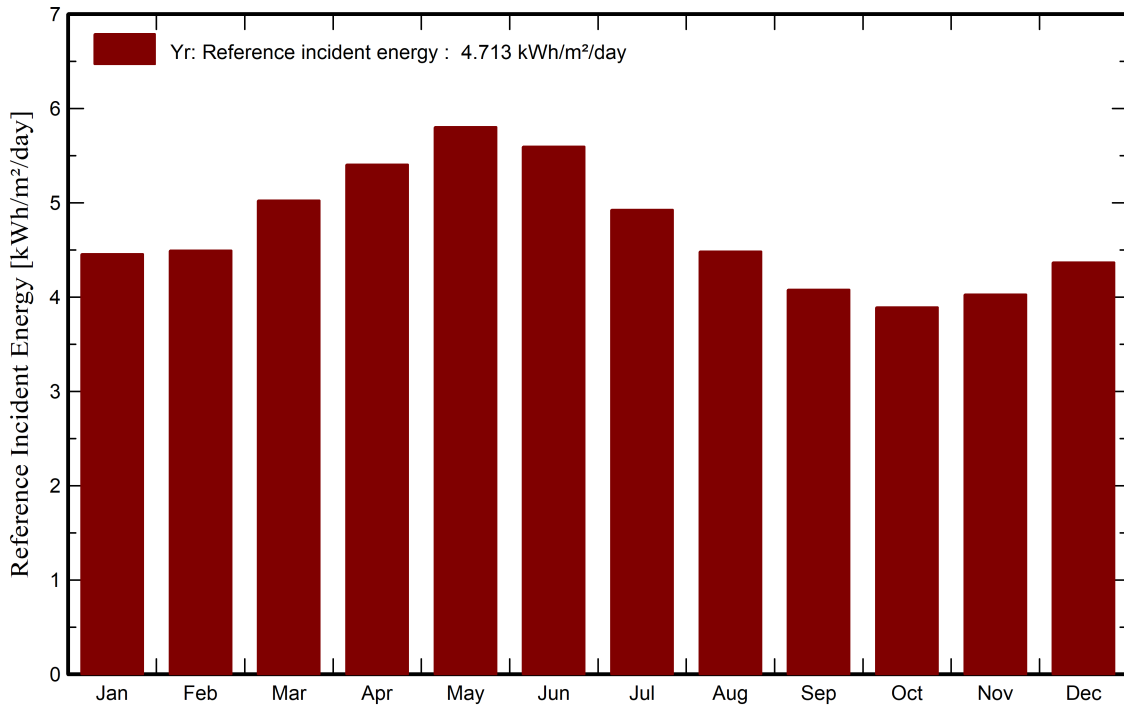


PVsyst V8.0.18

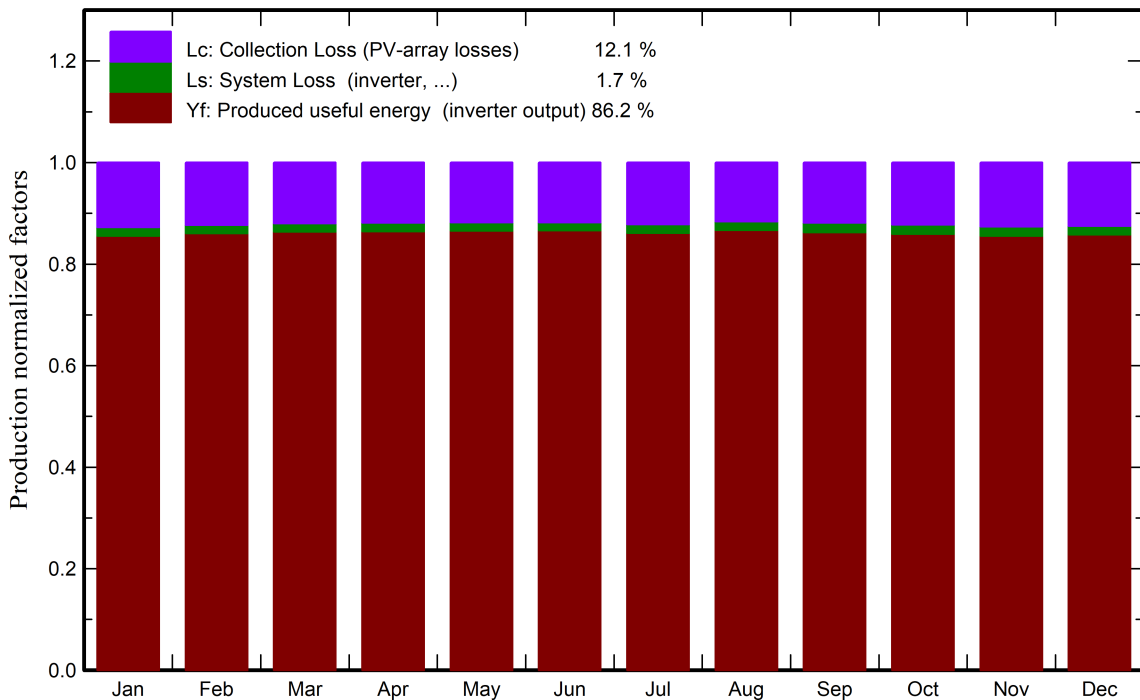
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Predef. graphs

Reference Incident Energy in Collector Plane



Normalized Production and Loss Factors



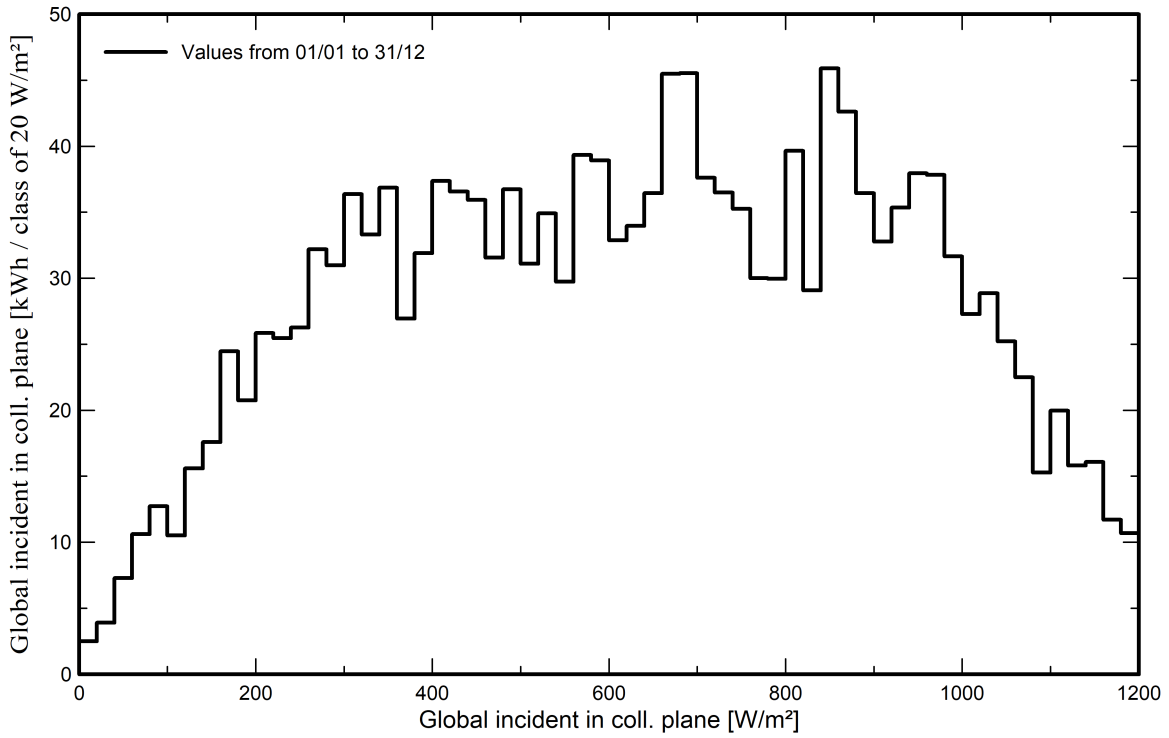


PVsyst V8.0.18

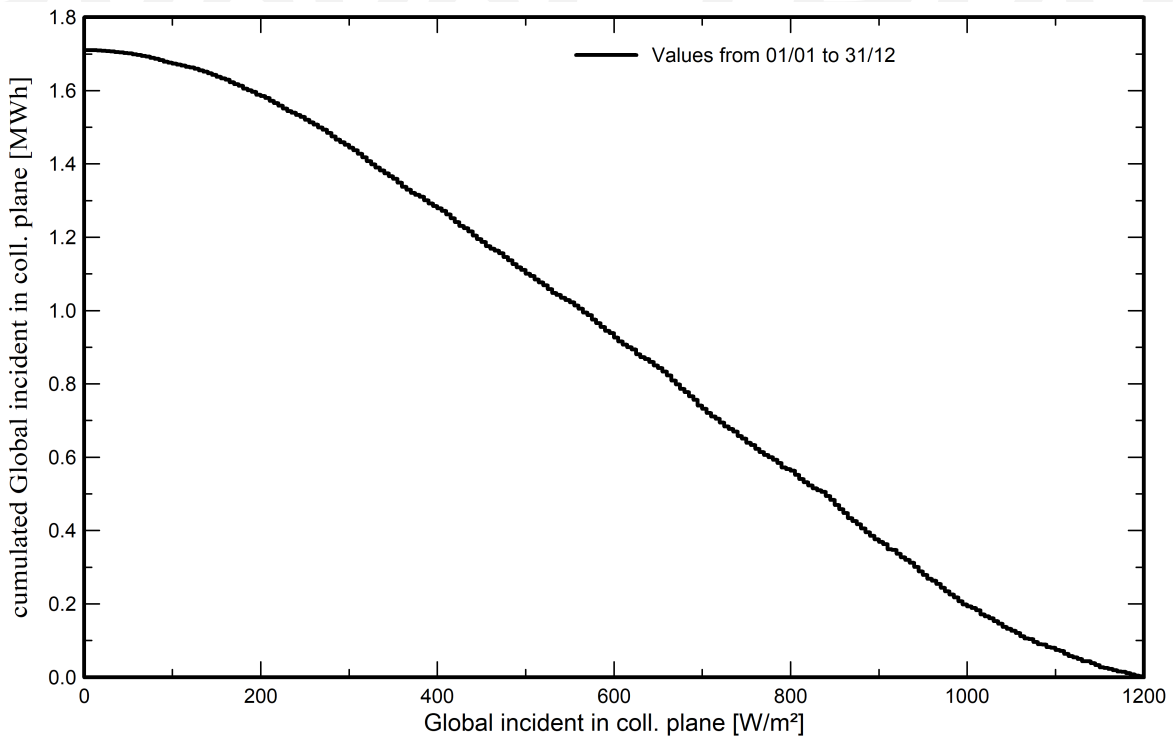
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Predef. graphs

Incident Irradiation Distribution



Incident Irradiation cumulative distribution



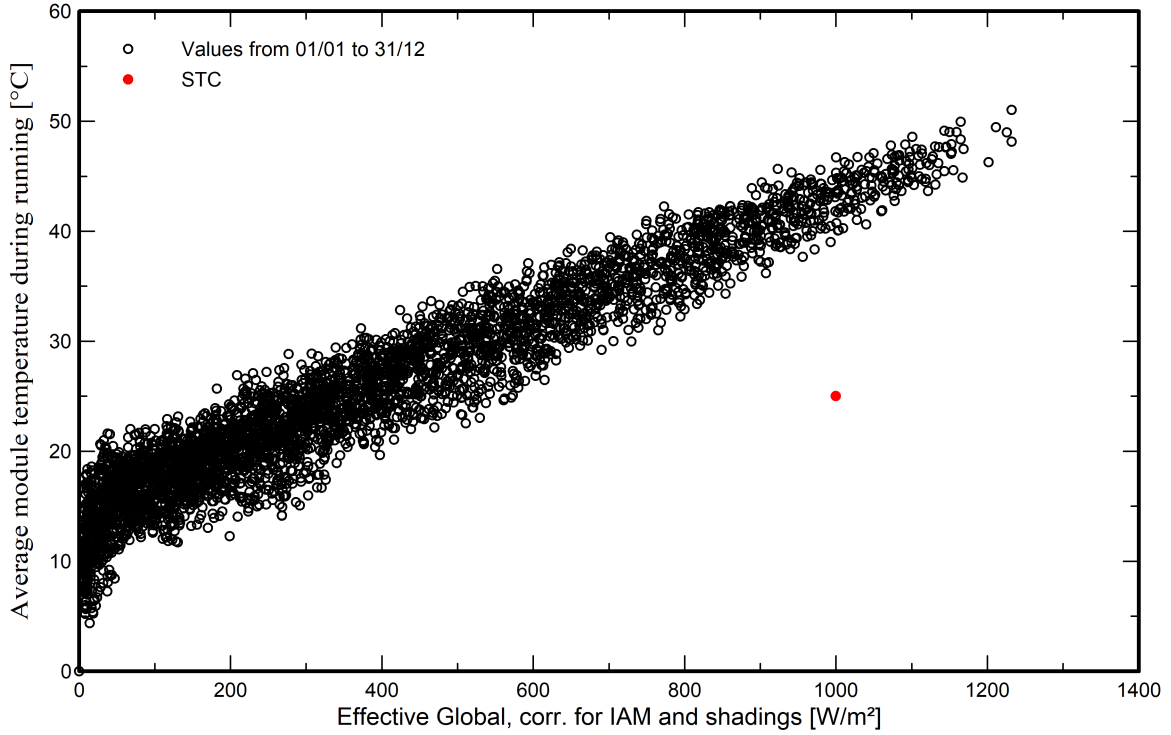


**PVsyst V8.0.18**

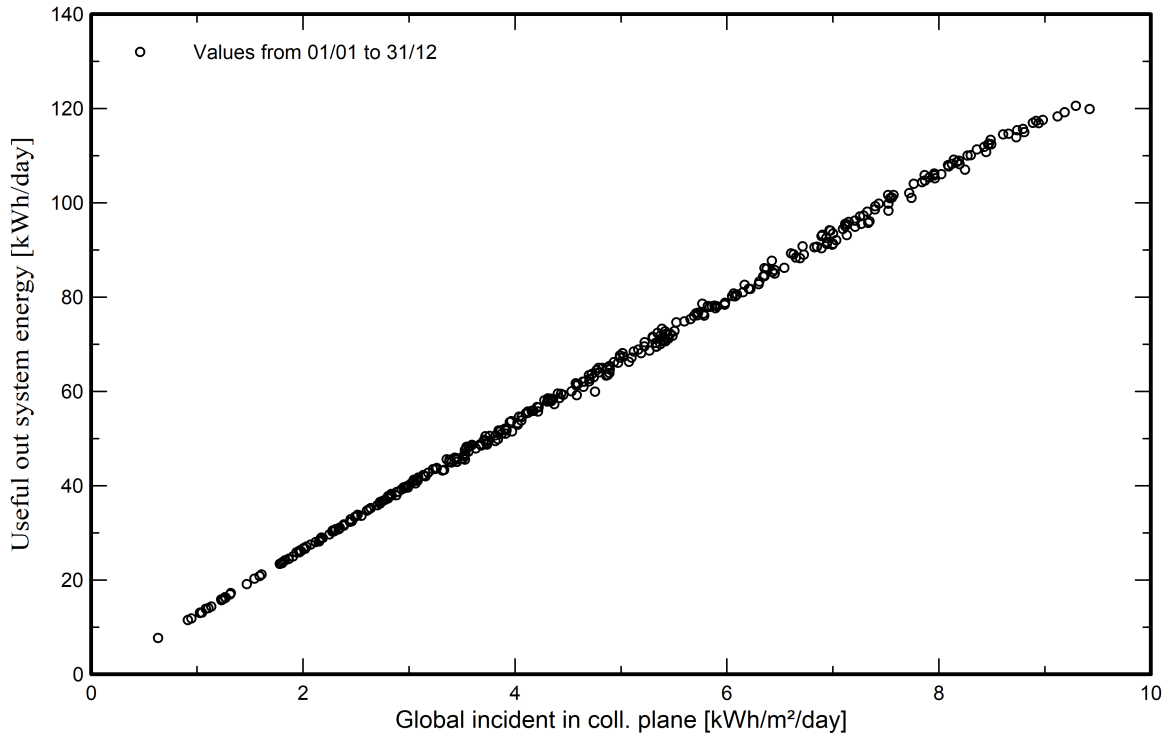
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Predef. graphs**

**Array Temperature vs. Effective Irradiance**



**Daily Input/Output diagram**



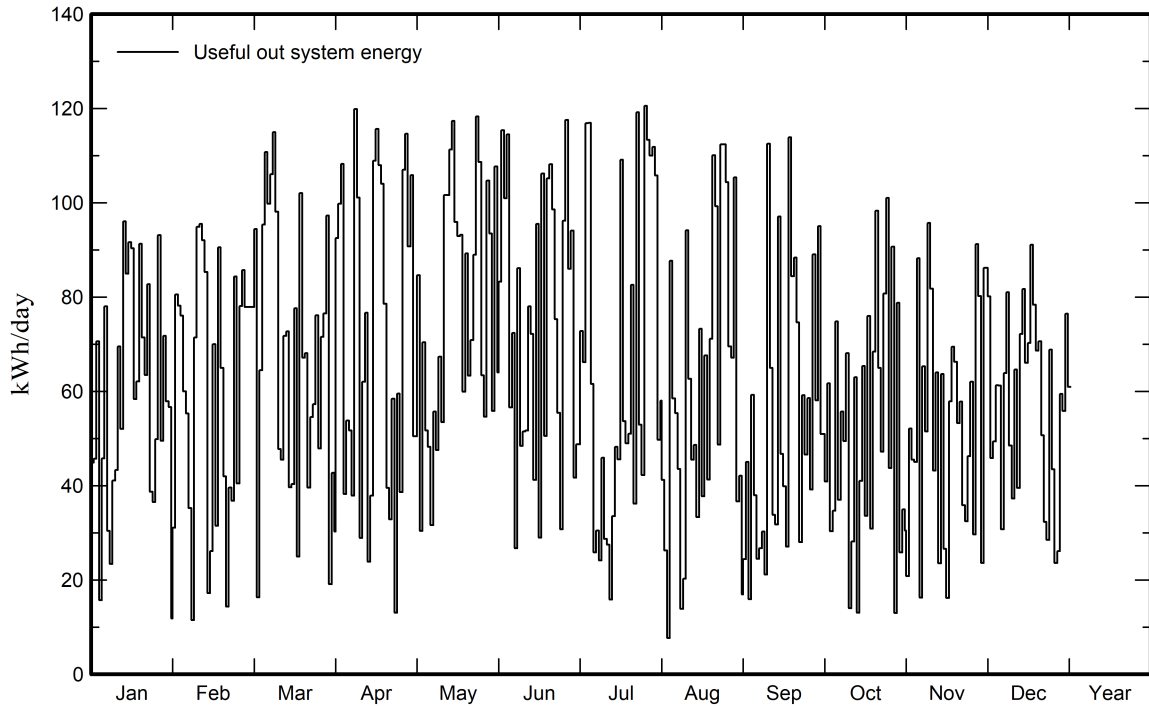


PVsyst V8.0.18

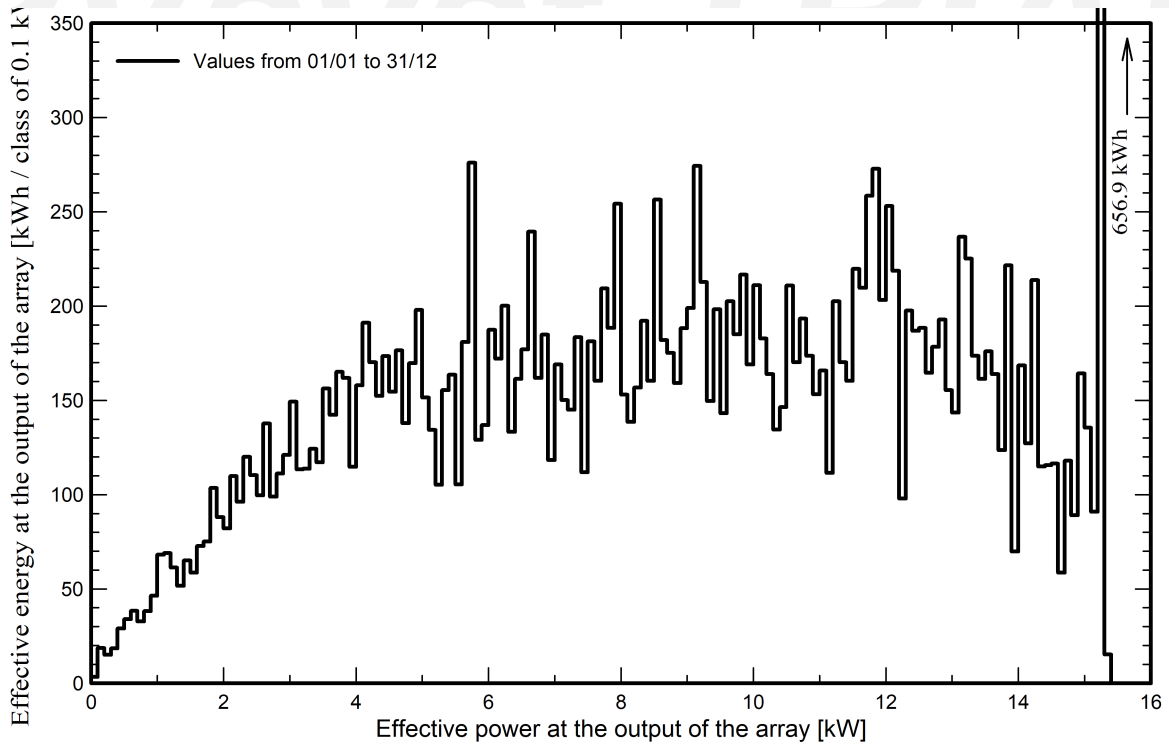
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Predef. graphs

Daily System Output Energy



Array Power Distribution



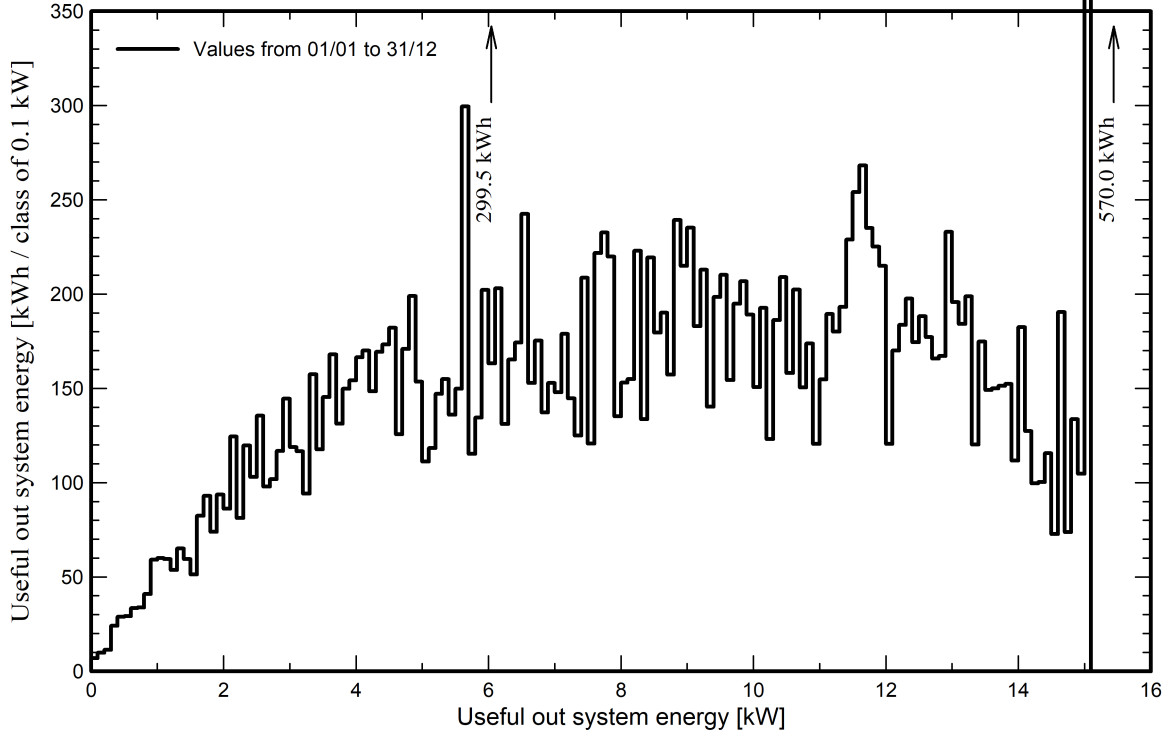


**PVsyst V8.0.18**

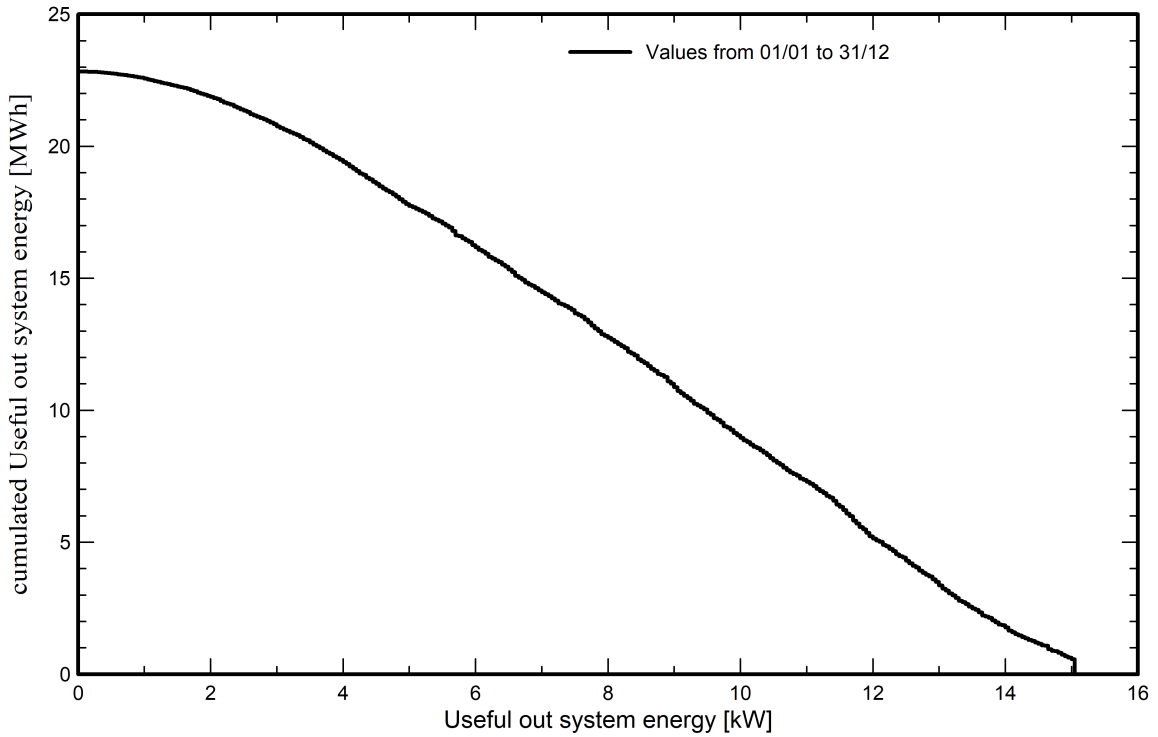
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Predef. graphs**

**System Output Power Distribution**



**System Output Power cumulative distribution**



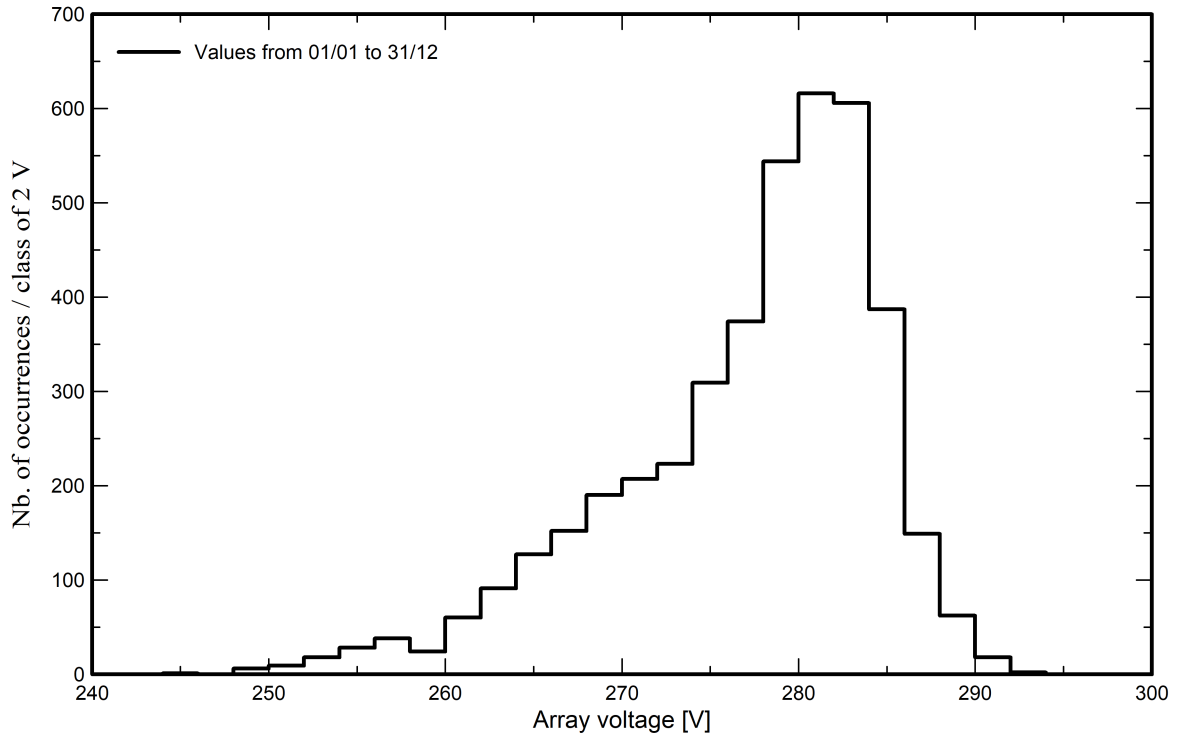


PVsyst V8.0.18

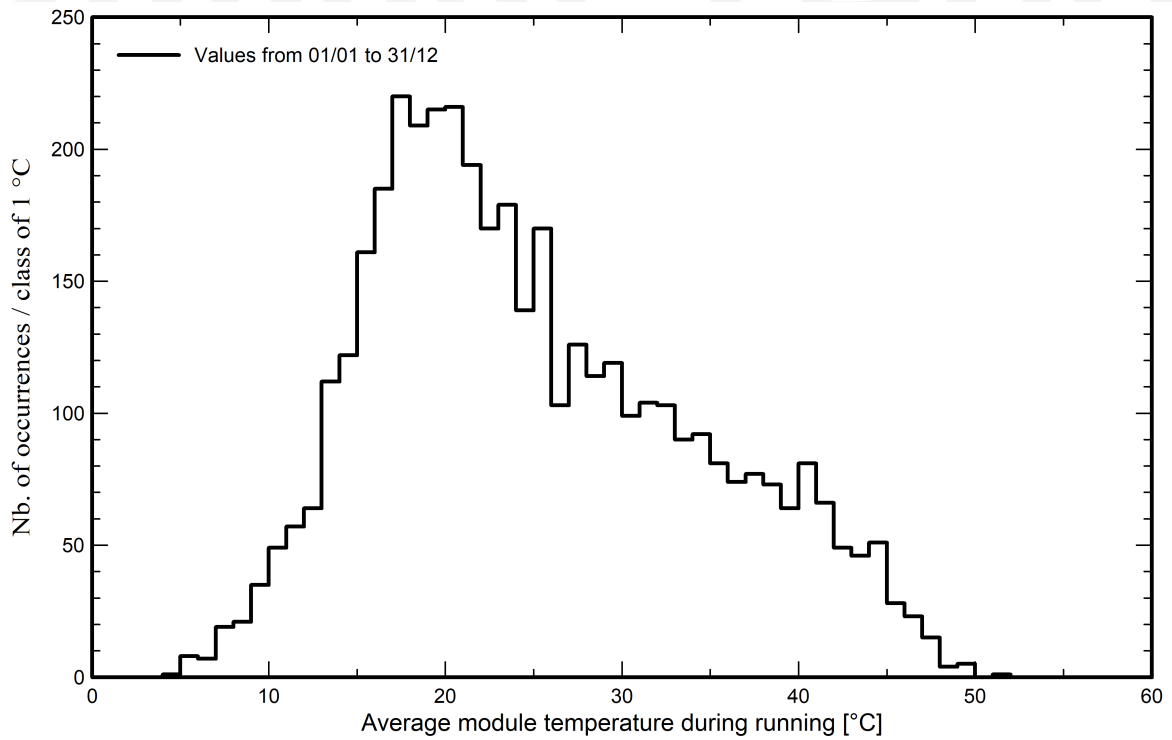
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Predef. graphs

Array Voltage Distribution



Array Temperature Distribution during running





**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**P50 - P90 evaluation**

**Weather data**

Source Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100%  
Kind Monthly averages  
Sintético - Multi-year average  
Year-to-year variability(Variance) -1.0 %

**Specified Deviation**

Climate change 0.0 %

**Global variability (weather data + system)**

Variability (Quadratic sum) 2.1 %

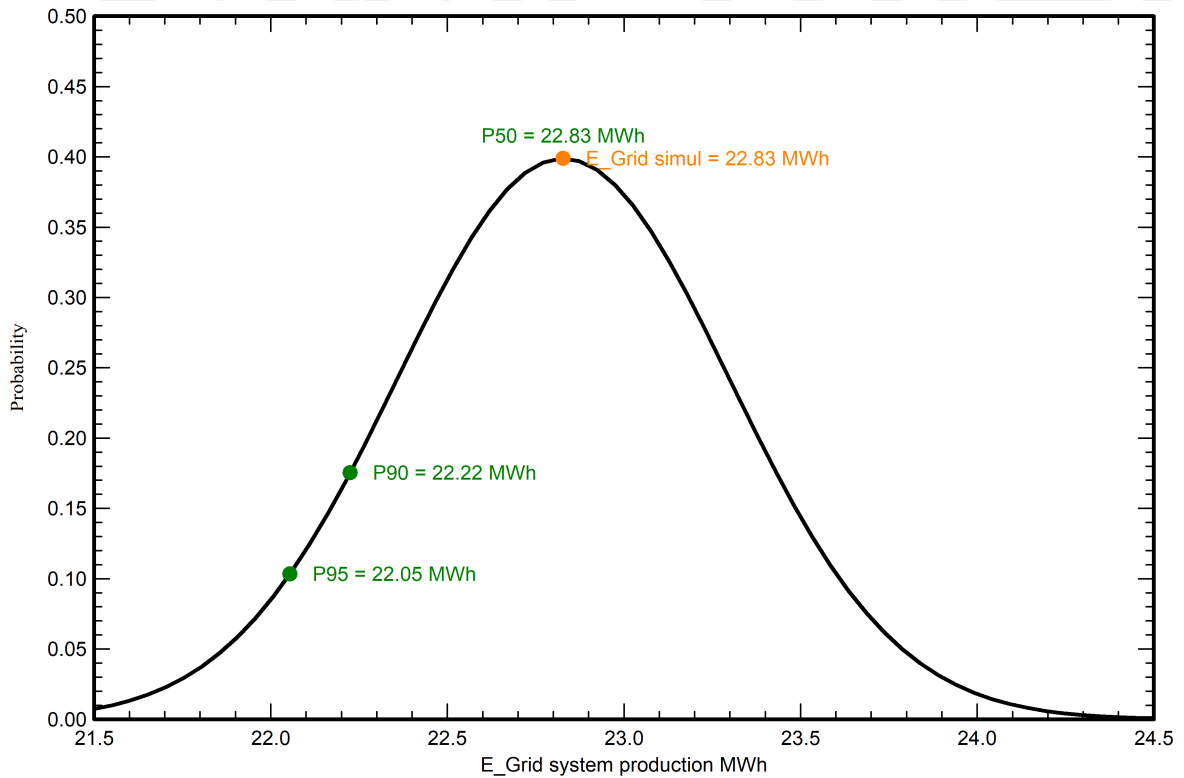
**Simulation and parameters uncertainties**

PV module modelling/parameters 1.0 %  
Inverter efficiency uncertainty 0.5 %  
Soiling and mismatch uncertainties 1.0 %  
Degradation uncertainty 1.0 %

**Annual production probability**

Variability 0.47 MWh  
P50 22.83 MWh  
P90 22.22 MWh  
P95 22.05 MWh

**Probability distribution**

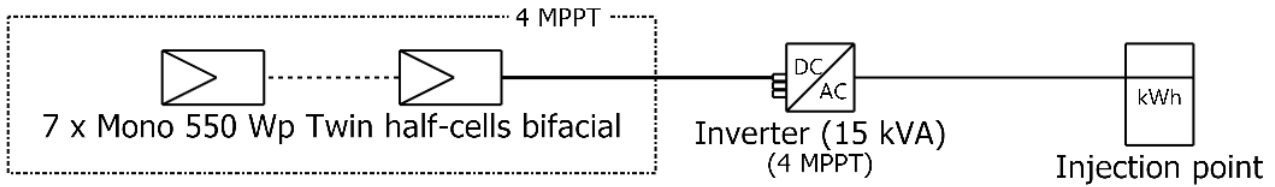




**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

# Single-line diagram



PV module	Mono 550 Wp Twin half-cells bifacial
Inverter	MID 15KTL3-XL
String	7 x Mono 550 Wp Twin half-cells bifacial

Diseño Hospital Santa Marianita  
de Azoguez

VC1 : Nueva variante de simulación

06/12/25



**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Cost of the system**

**Installation costs**

Item	Quantity units	Cost USD	Total USD
PV modules			
Mono 550 Wp Twin half-cells bifacial	28	165.00	4.620.00
Supports for modules	28	15.00	420.00
Inverters			
MID 15KTL3-XL	1	1.500.00	1.500.00
Other components			
Accessories, fasteners	48	2.00	96.00
Wiring	150	0.69	103.50
Combiner box	2	15.00	30.00
Studies and analysis			
Engineering	1	500.00	500.00
Permitting and other admin. Fees	1	300.00	300.00
IVA	1	0.00	15.00
Installation			
Global installation cost per module	28	35.00	980.00
Global installation cost per inverter	1	450.00	450.00
Transport	1	100.00	100.00
Settings	1	450.00	450.00
Grid connection	1	450.00	450.00
Insurance			
Building insurance	1	200.00	200.00
Transport insurance	1	50.00	50.00
Liability insurance	1	800.00	800.00
Land costs			
Land preparation	1	500.00	500.00
		Total	11.564.50
		Depreciable asset	6.636.00

**Operating costs**

Item	Total USD/year
Maintenance	
Salaries	200.00
Repairs	100.00
Cleaning	10.00
Security fund	15.00
Total (OPEX)	325.00
Including inflation (2.00%)	416.39

**System summary**

Total installation cost	11.564.50 USD
Operating costs (incl. inflation 2.00%/year)	416.39 USD/year
Useful energy from solar	13.6 MWh/year
Energy sold to the grid	9.2 MWh/year
Cost of produced energy (LCOE)	0.0460 USD/kWh

**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Financial analysis****Simulation period**

Project lifetime 25 years Start year 2026

**Income variation over time**

Inflation 2.00 %/year  
Module Degradation 1.00 %/year  
Discount rate 1.00 %/year

**Income dependent expenses**

Income tax rate 0.00 %/year  
Other income tax 0.00 %/year  
Dividends 0.00 %/year

**Depreciable assets**

Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (USD)	Depreciable (USD)
PV modules				
Mono 550 Wp Twin half-cells bifacial	Straight-line	25	0.00	4.620.00
Supports for modules	Straight-line	20	0.00	420.00
Inverters				
MID 15KTL3-XL	Straight-line	25	0.00	1.500.00
Accessories, fasteners	Straight-line	20	0.00	96.00
		Total	0.00	6.636.00

**Financing**

Own funds 11.564.50 USD

**Electricity sale**

Feed-in tariff Peak tariff 0.09495 USD/kWh  
Off-peak tariff 0.07702 USD/kWh 20:00-07:00  
Duration of tariff warranty 20 years  
Annual connection tax 0.00 USD/year  
Annual tariff variation 0.0 %/year  
Feed-in tariff decrease after warranty 0.00 %

**Self-consumption**

Consumption tariff Peak tariff 0.12560 USD/kWh  
Off-peak tariff 0.09702 USD/kWh 20:00-07:00  
Tariff evolution +1.5 %/year

**Return on investment**

Payback period 5.3 years  
Net present value (NPV) 36.413.34 USD  
Internal rate of return (IRR) 19.00 %  
Return on investment (ROI) 314.9 %



PVsyst V8.0.18

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**Financial analysis**

**Detailed economic results (USD)**

Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	0	11.565	0	0	0	0	0	0	-11.565	0.0%
1	873	0	325	271	277	0	548	1.712	-9.327	19.3%
2	864	0	332	271	262	0	533	1.720	-7.118	38.4%
3	856	0	338	271	247	0	518	1.729	-4.938	57.3%
4	847	0	345	271	232	0	502	1.737	-2.787	75.9%
5	839	0	352	271	216	0	487	1.745	-663	94.3%
6	830	0	359	271	201	0	471	1.754	1.433	112.4%
7	822	0	366	271	185	0	456	1.762	3.502	130.3%
8	814	0	373	271	170	0	440	1.771	5.544	147.9%
9	806	0	381	271	154	0	425	1.779	7.560	165.4%
10	798	0	388	271	139	0	409	1.788	9.549	182.6%
11	790	0	396	271	123	0	393	1.797	11.512	199.5%
12	782	0	404	271	107	0	378	1.805	13.449	216.3%
13	774	0	412	271	91	0	362	1.814	15.361	232.8%
14	766	0	420	271	75	0	346	1.823	17.248	249.1%
15	758	0	429	271	59	0	330	1.832	19.110	265.2%
16	751	0	437	271	43	0	313	1.841	20.947	281.1%
17	743	0	446	271	27	0	297	1.850	22.759	296.8%
18	736	0	455	271	10	0	281	1.859	24.548	312.3%
19	729	0	464	271	0	0	264	1.868	26.313	327.5%
20	721	0	473	271	0	0	248	1.877	28.054	342.6%
21	714	0	483	245	0	0	231	1.886	29.772	357.4%
22	707	0	493	245	0	0	214	1.895	31.466	372.1%
23	700	0	502	245	0	0	197	1.904	33.138	386.5%
24	693	0	512	245	0	0	180	1.913	34.787	400.8%
25	686	0	523	245	0	0	163	1.923	36.413	414.9%
<b>Total</b>	<b>19.397</b>	<b>11.565</b>	<b>10.410</b>	<b>6.636</b>	<b>2.617</b>	<b>0</b>	<b>8.987</b>	<b>45.383</b>	<b>36.413</b>	<b>414.9%</b>

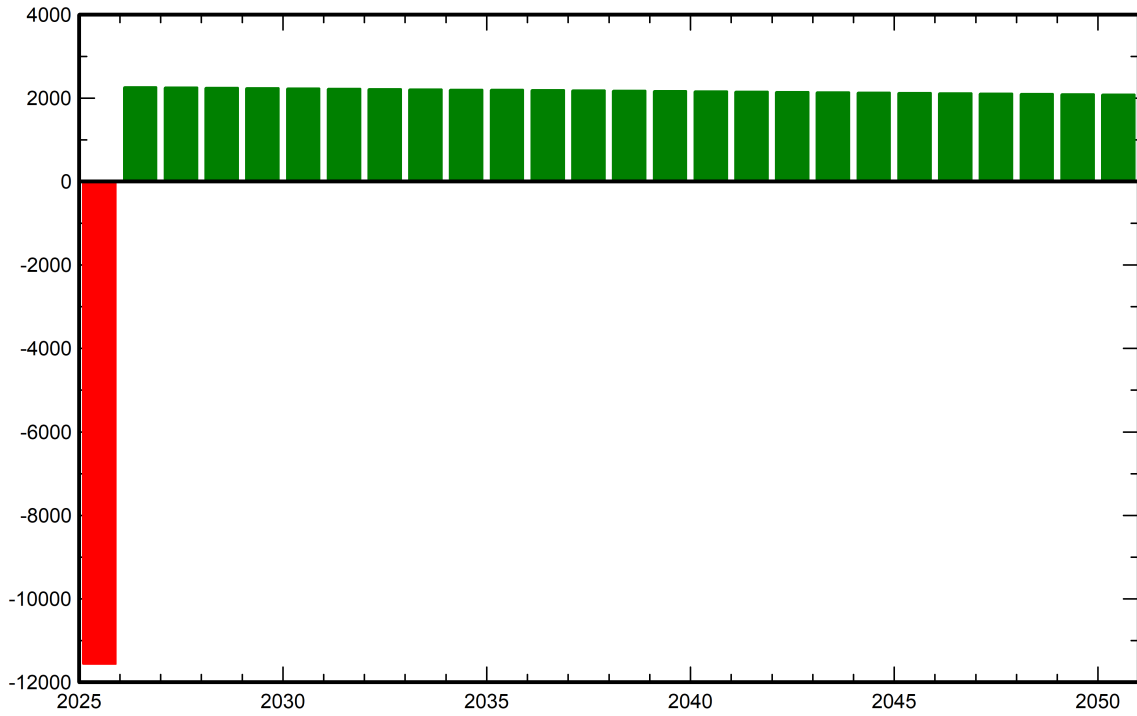


PVsyst V8.0.18

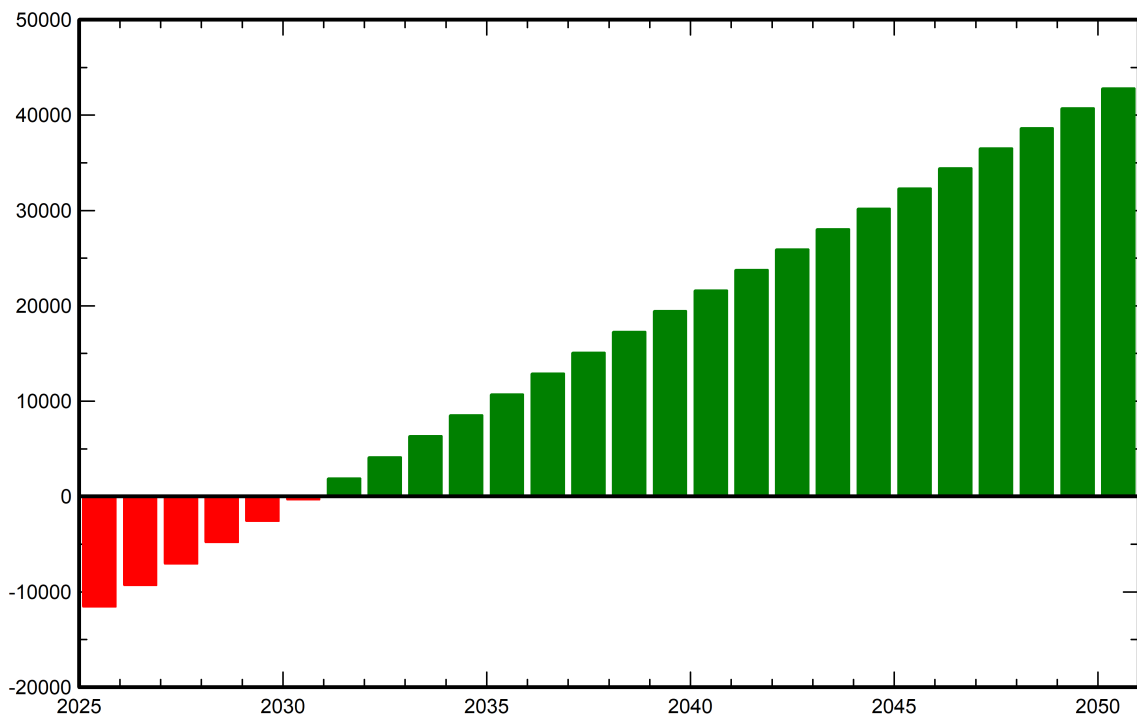
VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

Financial analysis

Yearly net profit (USD)



Cumulative cashflow (USD)





**PVsyst V8.0.18**

VC1, Simulation date:  
06/12/25 08:34  
with V8.0.18

**CO<sub>2</sub> Emission Balance**

Total: 132.3 tCO<sub>2</sub>

**Generated emissions**

Total: 29.50 tCO<sub>2</sub>

Source: Detailed calculation from table below

**Replaced Emissions**

Total: 182.1 tCO<sub>2</sub>

System production: 22.83 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 319 gCO<sub>2</sub>/kWh

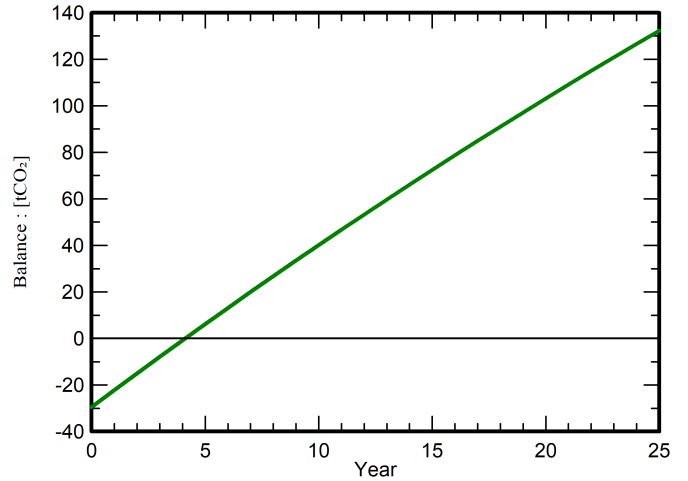
Source: IEA List

Country: Ecuador

Lifetime: 25 years

Annual degradation: 1.0 %

**Saved CO<sub>2</sub> Emission vs. Time**



**System Lifecycle Emissions Details**

Item	LCE	Quantity	Subtotal [kgCO <sub>2</sub> ]
Modules	2180 kgCO <sub>2</sub> /kWp	13.2 kWp	28774
Supports	2.13 kgCO <sub>2</sub> /kg	240 kg	511
Inverters	211 kgCO <sub>2</sub> /units	1.00 units	211

# MAC 10~20KTL3-XL

- Eficiencia máxima de hasta el 98,5%
- Función AFCI incluida
- Listo para monitorar autoconsumo
- Tecla táctil y pantalla OLED
- SPD de tipo II en el lado de DC y AC



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

**GROWATT**

[www.ginverter.com](http://www.ginverter.com)

Hoja de datos	MAC 10KTL3-XL	MAC 12KTL3-XL	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

### Datos de entrada (CD)

Máxima potencia FV recomendada (STC)	15000W	18000W	22500W	30000W
Máximo voltaje CD	1100V			
Voltaje de arranque	250V			
Voltaje nominal	360V			
Rango de voltaje de MPPT	200-850V			
Número de MPPTs	4			
Cadenas por MPPT	2/2/2/2			
Máxima corriente por MPPT	26A/26A/26A			
Corriente de corto circuito por MPPT	32A/32A/32A/32A			

### Salida (CA)

Potencia nominal CA	10000W	12000W	15000W	20000W
Potencia aparente máxima	11100VA	13300VA	16600VA	22200VA
Voltaje nominal CA (Rango*)	220V/101.6-139.7V			
Frecuencia de red CA (Rango*)	50/60 Hz, 46~54/56-64 Hz			
Corriente máxima de salida	29.2A	34.9A	43.6A	58.3A
Factor de potencia nominal / ajustable	>0.99 / +0.8 ... -0.8			
Distorsión armónica total	< 3%			
Tipo de conexión CA	3L+N+PE			

### Eficiencia

Máxima eficiencia	98.50%			
Eficiencia europea	98.00%			
Eficiencia de MPPT	99.90%			

### Dispositivos de protección

Protección de polaridad inversa CD	Sí			
Interruptor CD	Sí			
Protección contra sobretensión CA/CD	Clase II / Clase II			
Monitoreo de resistencia de aislamiento	Sí			
Protección de corto circuito CA	Sí			
Monitoreo de red	Sí			
Monitoreo de cadenas	Opcional			
Protección anti-isla	Sí			
Monitoreo de corriente residual	Sí			
AFCI	Sí			

### Datos generales

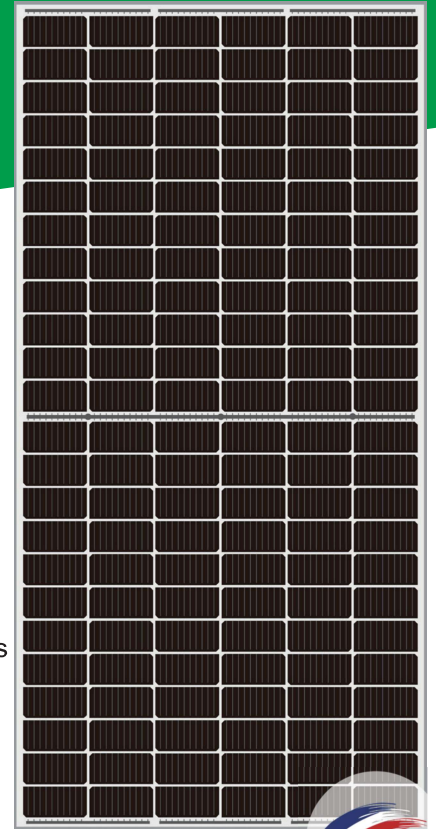
Dimensiones	580/435/230mm			
Peso	31kg			
Rango de temperatura de operación	- 25 °C ... +60 °C			
Autoconsumo (noche)	≤ 1W			
Topología	Sin transformador			
Enfriamiento	Enfriamiento Inteligente (ventiladores de velocidad variable)			
Grado de protección	IP65			
Humedad relativa	0-100%			
Altitud	4000m			
Conexión CD	H4/MC4 (Opcional)			
Conexión CA	Conector Glándula / Terminal OT			
Pantalla	OLED+LED/WIFI+APP			
Comunicación: RS485 / USB / WIFI / GPRS / RF / LAN	Sí/Sí/Opcional/Opcional/Opcional/Opcional			
Garantía: 5 años / 10 años	Sí/Opcional			

CE, IEC 62116, IEC 61727, IEC62109, INMETRO, AS4777, UL1741, IEEE1547

\* El rango de voltaje y frecuencia de CA puede variar dependiendo del estándar de la red del país. Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

# ATLAS 550W

# 5 Años de Garantía Local



M10 / Celda de 182 mm - 144 Medias Celdas

## KEY FEATURES



Tecnología Dopada con Galio



Menor LCOE y BOS



Menor Riesgo de puntos calientes por efectos de sombreado



Poteccion Anti PID/  
Bajo nivel de LID

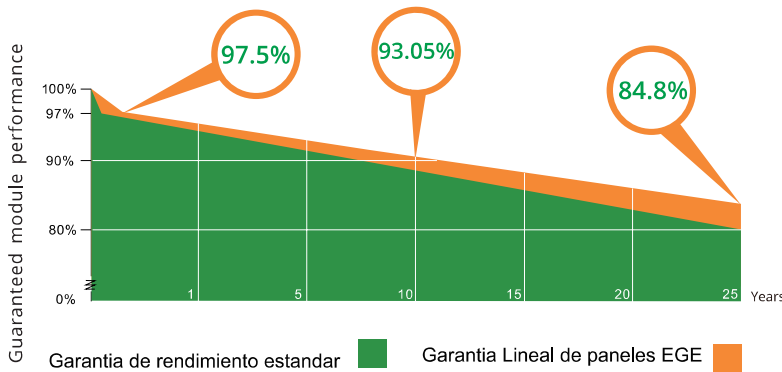


Bajo coeficiente de temperatura



## GARANTIA DE RENDIMIENTO GRADO A

12-Year Product Warranty · 25-Year Linear Power Warranty



## 144 Medias Celdas(10BB)

Modulo Monocristalino (10BB)



## 21.28%

Eficiencia Maxima



## 0~+5W

Tolerancia de Potencia Positiva



## GRADO A

Celulas Garantizadas

## CERTIFICADO INTEGRALES

IEC 61215/ IEC 61730 / IEC 61701 / IEC 62716  
ISO 9001 : Quality Management Systems



MAXFIB - QUITO - ECUADOR  
WWW.MAXFIB.COM



Find us on social media:  
Eco Green Energy



www.maxfib.com

Scan us



### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Potencia Maxima (Pmax)	550 W
Power tolerance	0~+5 W
Module efficiency	21.28 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.98 V
Maximum power current (Imp)	13.42 A
Open circuit voltage (Voc)	49.68 V
Short circuit current (Isc)	14.01 A

\*Standard Test Conditions (STC) : Irradiance : 1,000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature : 25°C • AM: 1.5

### ELECTRICAL DATA AT NOCT\*\*

Power output (Pmax)	410.10 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.42 V
Maximum power current (Imp)	10.66 A
Open circuit voltage (Voc)	46.07 V
Short circuit current (Isc)	11.39 A

\*\*Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) : Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Environment temperature : 20°C • AM : 1.5 • Wind speed : 1 m/s

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Tipo de celda	Monocrystalline (182x91 mm)
Numero de Celdas	144
Dimensiones	2,279x1,134x35mm (1.5mm Cell Gap)
Peso	29 kg
Vidrio	3.2 mm Tempered glass, High Transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Marco	Anodized aluminium alloy
Caja de Conexion	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4.0mm <sup>2</sup> ; 300mm(+) / 300mm(-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5,400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2,400 Pa

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45°C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.048%/°C

### MAXIMUM RATINGS

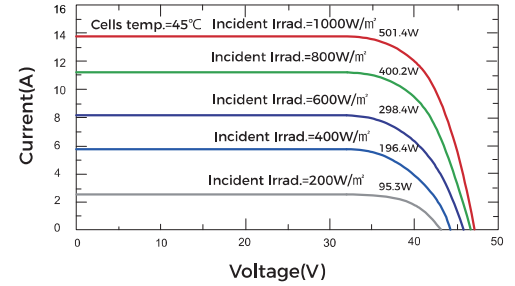
Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1,500 DC (IEC)
Max series fuse rating	25 A

### PACKAGING (2,279x1,134x35mm)

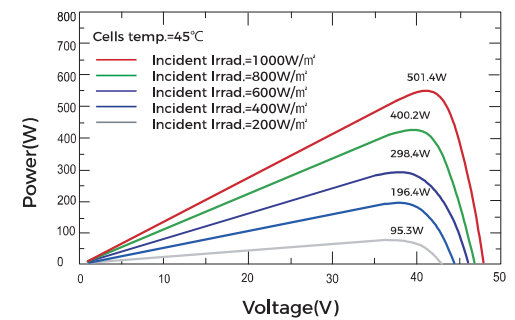
Type	Quantity	Weight
Per Pallet	31 pcs	940 kg
40ft HQ Container	620 pcs	18.80 t

## ECO GREEN ENERGY

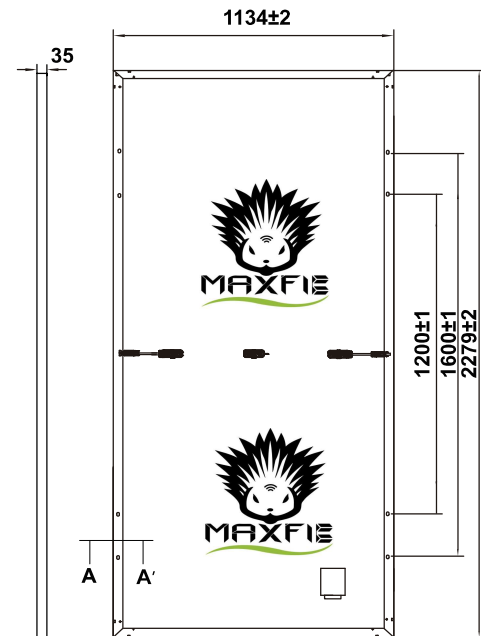
### PV MODULE : EGE-550W-144M(M10)



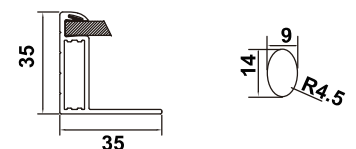
### PV MODULE : EGE-550W-144M(M10)



### Dimension of PV Module (mm)



### Frame Cross Section A-A'



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paulius Spudys, Nicholas Afxentiou, Panagiota Konatzii, Andrius Jurelionis, and Paris A. Fokaides. Employment of digital twins for the implementation of energy audits. pages 1–5, July 2022.
- [2] Frederic Marimon and Martí Casadesús. Reasons to adopt iso 50001 energy management system. *Sustainability*, 9(10), 2017.
- [3] Paulius Spudys, Nicholas Afxentiou, Panagiota Konatzii, Andrius Jurelionis, and Paris A. Fokaides. Employment of digital twins for the implementation of energy audits. pages 1–5, 2022.
- [4] Adolf Goetzberger, Joachim Luther, and Gerhard Willeke. Solar cells: past, present, future. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 74(1):1–11, 2002. PVSEC 12 Part I.
- [5] H.G. Rajath and K. Thanuja. Evolution of photovoltaic cells: A comprehensive review of material innovations, technological progress, and efficiency improvements. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2025. Cited by: 0.
- [6] SolarReviews. Solar system types compared: grid-tied, off-grid, and hybrid, 2025.
- [7] Magda Moner-Girona, Georgia Kakoulaki, Giacomo Falchetta, Daniel J. Weiss, and Nigel Taylor. Achieving universal electrification of rural healthcare facilities in sub-saharan africa with decentralized renewable energy technologies. *Joule*, 5(10):2687–2714, October 2021.
- [8] Freyr Energy. Types of solar energy systems, 2024. Explicación de sistemas On-Grid, Off-Grid y híbridos con enfoque en almacenamiento y conectividad.
- [9] International Electrotechnical Commission. Iec 61215: Terrestrial photovoltaic (pv) modules - design qualification and type approval, 2021.

- [10] ARCONEL. Regulación arconel-005/24, 2024. Disponible en: <https://www.gob.ec/regulaciones/arconel-00524-codificada-marco-normativo-generacion-distribuida-autoabastecimiento>
- [11] Universidad Técnica de Cotopaxi. Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en saquisilí, 2019. Disponible en: <https://repoadmin.utc.edu.ec/items/08481f26-254b-4bb7-b581-d84d6c91a3f0>.
- [12] ARCONEL. Resolución arconel-006/2020, 2020. Disponible en: <https://www.cna-ecuador.com/wp-content/uploads/2020/06/Reg-Sust-Reg-ARCONEL001-20-Directorio-res-006-20-firm.pdf>.
- [13] Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. Regulaciones arcernnr 001 y 002-2021, 2021. Disponible en: <https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/6.-Regulaciones-ARCERNNR-001-y-002-2021.-0.Salazar-20210721.pdf>.
- [14] IEEE. Ieee standard 1547: Standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources, 2018. Disponible en: <https://standards.ieee.org/standard/1547-2018.html>.
- [15] Iec 60364: Low-voltage electrical installations, 2018.
- [16] Roger Fouquet and Peter J.G. Pearson. Seven centuries of energy services: The price and use of light in the united kingdom (1300-2000). *Energy Journal*, 27(1):139 – 177, 2006. Cited by: 189.
- [17] Ana Isabel Peñafiel Portilla. Propuesta de mercado transaccional en microrredes aisladas considerando energías renovables no convencionales y almacenamiento de energía. B.S. thesis, Universidad Politecnica Salesiana, Sede Quito, March 2023.
- [18] Jorge Luis Carabajo Ávila and Sergio Patricio Calle Garcia. Diseño y modelamiento de un sistema de regulación de voltaje para un generador de una pico central eléctrica de 5kw. B.S. thesis, Universidad Politecnica Salesiana, Sede Cuenca, August 2023.
- [19] International Renewable Energy Agency. Renewable power generation costs in 2019, 2020.

**Tabla 1:** Áreas del Trabajo de Grado

Título del Trabajo:			
Restricciones Múltiples	Accesibilidad		Estética
	Códigos		Construtibilidad
	Costos	Cap 6	Ergonomía
	Extensibilidad		Funcionalidad
	Interoperabilidad		Consideraciones Legales
	Mantenibilidad	Cap 6	Manufacturabilidad
	Mercadeo		Política
	Regulaciones		Cronogramas
	Normativas	Cap 1	Sostenibilidad
	Usabilidad		Otros:
Normas Relevantes (dos o más)	Ley de Eficiencia energetica		
Elementos del Proceso	Identificación de Oportunidades	Cap ??	Generación de Soluciones Múltiples
	Desarrollo de Requerimientos		Evaluación de Soluciones
	Procesos Iterativos		Consideración de Riesgos
	Realizar Compromisos o Tratos		
Basado en Trabajos Anteriores	Protecciones		Iluminación
	Optimización de Sistemas		Alta Tensión
	Energías Alternativas	Cap4	Distribución
	Máquinas Eléctricas		Otros Temas
			Cap 6