

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



Evaluación de las configuraciones de instalación solar fotovoltaica para el  
alumbrado perimetral del Hospital III Essalud Chimbote 2025

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**Autor:**

**Bach.** Acosta Bustos, Alejandro Miguel

**Asesor:**

**Dr.** Herradda Villanueva, Joel

**DNI:** 17870920

**CÓDIGO ORCID:** 0000-0002-8791-8994

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

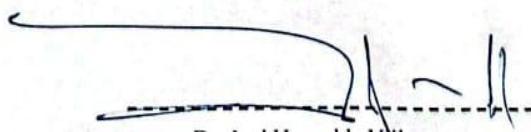
La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

**“EVALUACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DE INSTALACIÓN  
SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL ALUMBRADO PERIMETRAL  
DEL HOSPITAL III ESSALUD CHIMBOTE 2025”**

**AUTOR:**

Bachiller Alejandro Miguel Acosta Bustos



Dr. Joel Herradra Villanueva  
DNI: 17870920  
CÓD. ORCID: 0000-0002-8791-8994

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

El presente Jurado Evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado con forme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, titulado:

**“EVALUACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DE INSTALACIÓN SOLAR  
FOTOVOLTAICA PARA EL ALUMBRADO PERIMETRAL DEL HOSPITAL III  
ESSALUD CHIMBOTE 2025”**

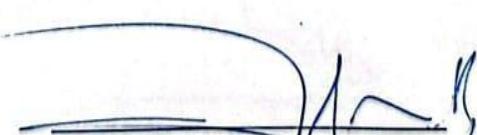
AUTOR:

Bachiller Alejandro Miguel Acosta Bustos

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

  
Dr. Gualberto Antenor Marinos Castillo  
**PRESIDENTE**  
DNI: 17890841  
CÓD. ORCID: 0000-00001-7514-9908

  
Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano  
**SECRETARIO**  
DNI: 42009676  
CÓD. ORCID: 0000-0002-6119-2072

  
Dr. Joel Herrada Villanueva  
**INTEGRANTE**  
DNI: 17870920  
CÓD. ORCID: 0000-0002-8791-8994



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:45 a.m. del día viernes 5 de diciembre del año dos mil veinticinco, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, y en cumplimiento de lo establecido en el Artículo 68º del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado mediante Resolución N.º 337-2024-CU-R-UNS de fecha 12 de abril de 2024, se dio inicio a la sesión de sustentación, instalándose el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 718-2025-UNS-CFI** de fecha 20 de noviembre de 2025, conformado por los siguientes docentes:

- |  |   |             |
|--|---|-------------|
| ➤ Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo | : | Presidente  |
| ➤ Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano     | : | Secretario  |
| ➤ Dr. Joel Herradra Villanueva           | : | Integrante  |
| ➤ M.Sc. César Luis López Aguilar         | : | Accesitario |

Y según la **Resolución Decanal N.º 886-2025-UNS-FI** de fecha 2 de diciembre de 2025, se DECLARA EXPEDITO a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de Tesis, titulada: "**EVALUACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL ALUMBRADO PERIMETRAL DEL HOSPITAL III ESSALUD CHIMBOTE 2025**", presentado por el bachiller: **ACOSTA BUSTOS ALEJANDRO MIGUEL**, con código de matrícula N.º **0201611025**, bajo la asesoría del **Dr. Joel Herradra Villanueva**, designado mediante Resolución Decanal N.º 023-2025-UNS-FI de fecha 23 de enero de 2025.

Concluida la exposición, el bachiller absolvió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y por el público asistente.

Acto seguido, el Jurado Evaluador deliberó sobre los aspectos relacionados con el contenido, desarrollo y exposición del trabajo, formulando las observaciones y recomendaciones pertinentes. En concordancia con lo establecido en el Artículo 73º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, el Jurado acuerda declarar:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
<b>ACOSTA BUSTOS ALEJANDRO MIGUEL</b>	<b>17</b>	<b>Bueno</b>

Siendo las 12:50 p.m. del mismo día, se dio por concluida la sesión, firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

**Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo**  
PRESIDENTE

**Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano**  
SECRETARIO

**Dr. Joel Herradra Villanueva**  
INTEGRANTE

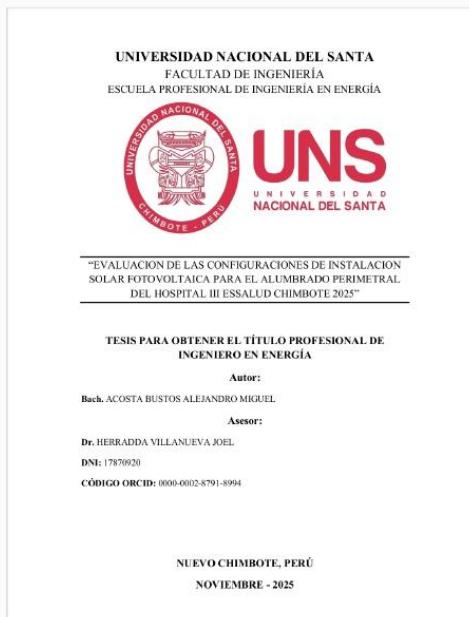


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Alejandro Miguel Acosta Bustos  
Título del ejercicio: Tesis Acosta  
Título de la entrega: ALEJANDRO ACOSTA BUSTOS-TESIS 100 %.pdf  
Nombre del archivo: ALEJANDRO\_ACOSTA\_BUSTOS-TESIS\_100\_.pdf  
Tamaño del archivo: 2.43M  
Total páginas: 92  
Total de palabras: 16,612  
Total de caracteres: 97,563  
Fecha de entrega: 04-nov-2025 11:12a.m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2787950509



# ALEJANDRO ACOSTA BUSTOS-TESIS 100 %.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**11** %

INDICE DE SIMILITUD

**9** %

FUENTES DE INTERNET

**2** %

PUBLICACIONES

**7** %

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="#">repositorio.uns.edu.pe</a>	2%
2	<a href="#">Submitted to Universidad Nacional del Santa</a>	1%
3	<a href="#">hdl.handle.net</a>	1%
4	<a href="#">Submitted to Universidad de Cantabria</a>	<1%
5	<a href="#">cotemps.free.fr</a>	<1%
6	<a href="#">repositorio.unj.edu.pe</a>	<1%
7	<a href="#">alicia.concytec.gob.pe</a>	<1%
8	<a href="#">Submitted to Universidad Internacional de la Rioja</a>	<1%
9	<a href="#">archives.plu.edu</a>	

## **DEDICATORIA**

Con profunda gratitud, dedico este trabajo: A Dios, por darme fortaleza, sabiduría y salud para culminar esta meta. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y motivación en cada etapa de mi vida. A mis amigos, quienes me acompañaron con palabras de aliento y compañía en los momentos más difíciles.

**A.M.A.B.**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de inspiración y guía, por haberme permitido llegar hasta aquí con perseverancia y fe.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor, Dr. Joel Herrada Villanueva, por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación.

A mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida, gracias a su apoyo moral y emocional, he podido culminar satisfactoriamente esta etapa académica. De igual manera, agradezco a la Universidad Nacional del Santa y a la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Finalmente, a todos aquellos que directa o indirectamente contribuyeron a la realización de este trabajo, mi más sincera gratitud.

**A.M.A.B.**

## ÍNDICE GENERAL

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR.....	ii
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS: .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA: .....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Justificación.....	7
1.4. Hipótesis.....	7
1.4.1. Hipótesis de la investigación:.....	8
1.4.2. Variables e indicadores: .....	9
1.4.3. Limitaciones del trabajo:.....	9
1.5. Objetivos .....	10
1.5.1. Objetivo General.....	10
1.5.2. Objetivos Específicos.....	10
II. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Radiación Solar y Recurso Energético:.....	11
2.1.1. Radiación Solar.....	11
2.1.2. Componentes de la radiación Solar .....	11
2.2. Efecto Fotovoltaico y conversión Energética.....	13
2.2.1. Principio Físico del efecto Fotovoltaico .....	13
2.2.2. Factores que afectan el rendimiento.....	13
2.3. Clasificación de sistemas instalados con tecnología solar fotovoltaica .....	16
2.4. Componentes del Sistema Fotovoltaico .....	22
2.4.1. Reguladores de Carga .....	23
2.4.2. Sistemas de Almacenamiento .....	23

2.4.3. Inversores:.....	24
2.4.4. Evaluación Económica de Proyectos Fotovoltaicos .....	26
2.4.5. LCOE.....	26
2.4.6. Valor Actual Neto .....	27
2.4.7. Tasa interna de Retorno .....	27
2.5. Marco Normativa Y Regulatorio.....	28
2.5.1. Marco normativo nacional .....	29
2.5.2. Estándares Internacionales .....	30
<b>III. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
3.1. Materiales: .....	35
3.1.1. Software de simulación:.....	36
3.2. Metodología .....	37
3.2.1. Método de la investigación: .....	37
3.2.2. Diseño: .....	37
3.2.3. Población y muestra.....	38
3.2.4. Técnicas, Instrumentos o fuentes para obtener los datos:.....	39
3.2.5. Procedimiento o forma de tratamiento de la información:.....	40
<b>IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1. Cálculo De La Demanda De Energía .....	41
4.2. Datos De Irradiación Solar.....	43
4.3. Equipamiento Del Sistema .....	45
4.3.1. Paneles Fotovoltaicos.....	45
4.3.2. Baterías .....	52
4.3.3. Inversor/Cargador/Regulador De Carga .....	53
4.4. Simulación Y Resultados En Pvsist: .....	55
4.4.1. Sistema Aislado ( Con Almacenamiento).....	56
4.4.2. Sistema Conectado A Red ( On Grid ) .....	61
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
5.1. Conclusiones: .....	65
5.2. Recomendaciones:.....	66
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....</b>	<b>67</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>71</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS:**

Tabla 1 Cuadro de maxima demanda por poste-iluminacion perimetral Hospital III EsSalud-Chimbote.....	42
Tabla 2 Irradiancia promedio por mes y día .....	444
Tabla 3 Características estándar del rendimiento de equipos del sistema fotovoltaico .....	46
Tabla 4 Parámetros Eléctricos.....	48
Tabla 5 Datos del sistema fotovoltaico .....	51
Tabla 6 Balance Energético simulado por PVsist configuracion: Sistema Aislado con almacenamiento .....	561
Tabla 7 Cuadro de costos de instalación .....	58
Tabla 8 Costos Operativos del sistema .....	594
Tabla 9 Estimación del Costo Nivelado Energético .....	59
Tabla 10 Toneladas de Dióxido de Carbono dejados de emitir por mes .....	60
Tabla 11 Proyección de consumo y generación del sistema fotovoltaico On Grid (20 años) .....	627
Tabla 12 Análisis económico del sistema fotovoltaico conectado a red vs tarifa convencional .....	638

## **ÍNDICE DE FIGURAS:**

Figura 1 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas .....	17
Figura 2 Instalación fotovoltaica de autoconsumo.....	19
Figura 3 Instalación fotovoltaica de autoconsumo con acumulación del excedente en baterías. ....	20
Figura 4 Instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes. ....	21
Figura 5 Batería 2V 2700 Ah OPzV SIGMA.....	53
Figura 6 Controlador Smart Solar MPPT RS 450V 200A VICTRON .....	54
Figura 7 Growatt Growatt - MID22KTL3-X Inversor 22 KW 3 Fases 2 MPPT.....	55

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Autorización para trabajo de Investigación en EsSalud.....	71
Anexo 2 Parametros generales de Sistema con Almacenamiento.....	72
Anexo 3 Resultados del Sistema con Almacenamiento .....	73
Anexo 4 Parametros Generales del Sistema on - grid.....	74
Anexo 5 Resultados de sistema on-grid:.....	75
Anexo 6 Ficha Técnica de controlador de Carga Victron.....	76
Anexo 7 Ficha Técnica Controlador de Carga.....	77
Anexo 8 : Ficha Técnica Panel Solar.....	78
Anexo 9 : Mapa de Ingreso a Essalud III.....	79
Anexo 10 : Alumbrado Perimetral Essalud III .....	80
Anexo 11 : Información adicional de Hospital Essalud III.....	81

## **RESUMEN**

El estudio consistió en la evaluación de diferentes configuraciones de sistemas solares fotovoltaicos para el alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud de Chimbote, ubicado en la provincia del Santa, Áncash – Perú, durante el año 2025. La investigación se desarrolló con el propósito de identificar la alternativa más eficiente desde el punto de vista operativo, económico y ambiental, garantizando un suministro eléctrico continuo en una institución hospitalaria de alta demanda. La metodología aplicada fue descriptiva y deductiva, con diseño no experimental, utilizando técnicas de medición, observación y análisis bibliográfico, así como simulaciones realizadas en el software PVsyst 7.4, a partir de datos climáticos obtenidos del sistema PVGIS.

El sistema de alumbrado analizado consume 75.6 kWh diarios en 30 postes equipados con 42 luminarias LED de 150 W. Se dimensionaron dos configuraciones principales: un sistema aislado con banco de baterías y un sistema conectado a red. Los resultados mostraron que el sistema aislado requiere 40 paneles bifaciales de 615 W y un banco de baterías de 48 V/2700 Ah, con una inversión inicial de USD 59,078.87, obteniendo un costo nivelado de 0.28 USD/kWh y una autonomía energética del 100%. En contraste, el sistema conectado a red presentó un VAN negativo ( $-\$ 59,191.05$ ) y una TIR del 4%, lo cual evidenció su baja rentabilidad bajo las condiciones evaluadas.

Finalmente, el análisis ambiental determinó que la implementación del sistema aislado permitiría evitar la emisión de 97.346 toneladas de CO<sub>2</sub> en 20 años, contribuyendo a la sostenibilidad de la institución. Se concluyó que la instalación fotovoltaica aislada con almacenamiento es la configuración más efectiva, al proporcionar confiabilidad operativa

total y beneficios ambientales significativos, convirtiéndose en la mejor alternativa para garantizar el alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote.

**Palabras clave:** sistemas fotovoltaicos, iluminación perimetral, hospital, autonomía energética, impacto ambiental

## ABSTRACT

This research evaluates different photovoltaic solar system configurations for perimeter lighting at Hospital III EsSalud Chimbote, determining the most efficient alternative from operational, economic and environmental aspects. A descriptive and deductive methodology with non-experimental design was employed, using measurement, observation and bibliographic analysis techniques to collect information on energy demand, climatic characteristics and technical specifications. The lighting system consumes 75.6 kWh daily, operating 12 nighttime hours with 42 luminaires of 150W on 30 poles, while solar resource characterization through PVGIS data showed an average irradiation of 6.18 kWh/m<sup>2</sup>/day and 96.21% availability, confirming favorable conditions for photovoltaic systems. Two configurations were dimensioned using PVsyst software: off-grid with batteries and grid-connected system, where the off-grid system requires 40 bifacial panels of 615W, 48V/2700Ah battery bank and MPPT controllers, with initial investment of USD 55,228.87 and levelized cost of 0.24 \$/kWh. This system guarantees 100% energy autonomy, generating 44,810 kWh annually and covering the demand of 27,594 kWh, in contrast to the grid-connected system with lower initial investment but negative economic indicators (NPV -S/-S/ 59,191.05, IRR 4%). Environmental analysis demonstrates that the photovoltaic system would avoid 97.346 tons of CO<sub>2</sub> emissions over 20 years, concluding that the off-grid system with storage is the most effective configuration, providing total operational reliability and significant environmental benefits for the hospital institution.

**Keywords:** photovoltaic systems, perimeter lighting, hospital, energy autonomy, environmental imp

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática:

Todos los elementos de nuestra vida cotidiana requieren la utilización de alguna fuente de energía. Para este fin, los combustibles de origen fósil como el petróleo, el gas natural y el carbón han sido históricamente los más empleados, pero también los que representan mayor riesgo como agentes contaminantes. En contraposición, la energía solar y otras fuentes renovables, por su naturaleza amigable con el medio ambiente, se presentan como una alternativa no convencional y sostenible. En la actualidad, los sistemas de alumbrado público constituyen un servicio esencial y permanente para la población, garantizando seguridad, transitabilidad y bienestar.

En el Perú, el crecimiento poblacional y la industrialización han conducido a un incremento sostenido de la demanda energética, lo que repercute en mayores costos operativos en las instituciones públicas y privadas. Por ello resulta prioritario implementar sistemas que promuevan el ahorro en el consumo energético destinado al alumbrado, aplicando tecnologías modernas como la iluminación LED, que ofrece eficiencia y larga vida útil, y complementándolas con sistemas de generación fotovoltaica en configuraciones que aseguren un desempeño confiable.

En este contexto, el Hospital III EsSalud de Chimbote, principal centro asistencial de la Red Áncash, atiende a más de 216 mil asegurados y brinda mensualmente alrededor de 16,000 consultas externas, además de 550 intervenciones quirúrgicas y un promedio de 7,500 emergencias. Este nivel de actividad demanda un elevado consumo energético que se refleja en una potencia instalada cercana a los 176.9 kW, con proyección de alcanzar hasta 426.4 kW en caso de ampliación de carga. Bajo estas condiciones, el consumo mensual de

electricidad supera los 50,000 kWh, representando costos superiores a S/ 35,000, de los cuales el alumbrado perimetral constituye una fracción constante e ineludible. Este servicio, indispensable para la seguridad de accesos peatonales y vehiculares, depende exclusivamente de la red convencional, lo que incrementa la vulnerabilidad frente a cortes de suministro y eleva los gastos operativos.

Frente a esta realidad, el presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de plantear una solución técnica a los altos costos derivados del consumo eléctrico en el sistema de iluminación perimetral del Hospital III EsSalud de Chimbote, evaluando diferentes configuraciones de sistemas solares fotovoltaicos (tanto con acumulación como conectados a red sin inyección) con el fin de determinar la opción más eficiente desde el punto de vista operativo, económico y ambiental.

¿Cuál es la configuración más eficiente de un sistema de generación fotovoltaica que garantice el abastecimiento continuo de energía eléctrica del sistema de alumbrado perimetral en el Hospital III EsSalud Chimbote bajo diversas condiciones operativas, económicas y ambientales?

## **1.2. Antecedentes**

De acuerdo con Perico (2020), en su investigación titulada "Diseño de iluminación solar fotovoltaica para el campo deportivo multipropósito en la UDFJC Sede FAMARENA", el objetivo principal fue desarrollar un sistema de iluminación que cumpliera con las normativas técnicas establecidas en Colombia para alumbrado público e instalaciones eléctricas. Se evaluó un espacio deportivo destinado a múltiples disciplinas en una misma área. Para el diseño, se empleó el software DIALux 4.1 en la planificación del alumbrado exterior, mientras que Google Earth permitió determinar la ubicación geográfica y NASA-POWER se

utilizó para estimar la radiación solar en el sitio. Los resultados obtenidos fueron comparados con la literatura existente. La solución más eficiente consistió en la instalación de cuatro puntos de iluminación, cada uno con una altura de 8 metros y equipado con luminarias LED de 300 Wh (DC), dispuestas en ángulos específicos para optimizar la distribución lumínica. El suministro energético proviene de un sistema solar fotovoltaico aislado con una capacidad de 3600 Wh en corriente continua.

Guamán y Sánchez (2024), en su estudio titulado "Relevancia de la energía renovable para el alumbrado público", exploran la importancia del uso de energías renovables en la iluminación urbana y examinan cómo la transición hacia fuentes sostenibles, como la energía solar y eólica, puede ofrecer soluciones innovadoras y amigables con el medio ambiente para satisfacer las necesidades de alumbrado en las ciudades. Se destacan beneficios clave, entre ellos la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), una mayor eficiencia energética y la disminución de la dependencia de recursos no renovables. Asimismo, la investigación señala que el costo y la eficiencia de estos sistemas varían en función de factores como la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Este estudio se basó en una metodología cuantitativa y en una investigación aplicada, centrándose en la gestión ambiental del alumbrado público. Se recopilaron datos tanto documentales como de campo, lo que lo categoriza como un estudio mixto. Como conclusión, se determinó que la implementación de energía renovable en el alumbrado público es altamente beneficiosa, pues contribuye tanto a la protección ambiental como a la economía nacional.

Por su parte, Pérez (2019), en su proyecto de investigación titulado "Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque central de la provincia de

Jaén – Cajamarca", plantea la viabilidad de desarrollar un sistema de iluminación pública basado en tecnología LED, alimentado mediante paneles solares en el parque central de la provincia de Jaén. El proyecto incluye un análisis teórico que aprovecha el crecimiento de las energías renovables y se apoya en referencias bibliográficas que detallan las características, aplicaciones y ventajas de la tecnología LED frente a otros sistemas de iluminación tradicionales. Además, se examina la disponibilidad del recurso solar en la zona para distintos ángulos de inclinación, utilizando información obtenida de programas de la NASA. Para lograr una mayor eficiencia, se consideró la radiación solar mínima del área, estimada en 3.71 kWh/m<sup>2</sup>. La selección del sistema de iluminación se realizó con base en una lámpara de 67 W con una tensión de 12 V, junto con el diseño y dimensionamiento de cada componente del sistema fotovoltaico autónomo, el cual incorpora un panel solar de 130 Wp. Finalmente, se llevó a cabo un análisis técnico-económico, estableciendo una inversión de S/. 43,025.13 y un periodo de recuperación de siete años y cuatro meses con una tasa de inversión del 10%, considerando una vida útil del proyecto de 20 años.

Según Guevara (2019), en su estudio titulado "Implementación de lámparas LED con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica convencional en la Municipalidad Provincial de Utcubamba, Amazonas", se plantea un sistema fotovoltaico con el objetivo de disminuir la dependencia de la energía eléctrica convencional, aprovechando al máximo la radiación solar y reduciendo el impacto ambiental. Para ello, se implementó un sistema de iluminación compuesto por lámparas LED de 12 W, operando a una tensión de 24 VDC, las cuales permiten alcanzar un voltaje de salida de 220 VAC. A partir del análisis teórico y la evaluación técnica y económica, se determinó que la adopción de esta tecnología

contribuye a una reducción significativa del consumo energético, superando el 50%, simplemente mediante la sustitución de las luminarias existentes por tecnología LED. Este cambio no solo favorece el ahorro de energía, sino que también representa una estrategia eficaz para mitigar el impacto ambiental en la Municipalidad Provincial de Utcubamba.

Por otro lado, Huamaní y Paucar (2021), en su investigación denominada "Plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la comunidad campesina de San José de Astobamba - Huancavelica – 2021", desarrollaron un modelo de administración para la iluminación pública en dicha comunidad, basado en energía solar fotovoltaica. La hipótesis planteada sugiere que la implementación de este sistema optimiza el rendimiento energético y promueve la eficiencia ambiental. La investigación siguió un enfoque cuantitativo y aplicado, recurriendo tanto a fuentes documentales como a datos de campo, lo que la categoriza como un estudio mixto. Además, se aplicó un diseño no experimental, descriptivo y transversal. Como parte del estudio proyectivo, la población de referencia estuvo conformada por los habitantes de la comunidad, estimados en 100 personas, de las cuales, tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionó una muestra no probabilística de 36 individuos. Finalmente, los hallazgos indicaron que el sistema de alumbrado propuesto requiere una expansión del 279% en su capacidad, en relación con el consumo energético inicialmente previsto, logrando, además, una reducción de aproximadamente 13,70 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

Por su parte, Bazán (2023), en su estudio titulado "Replanteo del sistema de alumbrado público con tecnologías LED convencional y fotovoltaica de la calle Uno de Almenares – Cañete", plantea una optimización del sistema de iluminación pública en dicha vía, mediante la implementación de tecnología LED convencional o LED fotovoltaico en sustitución de las

luminarias tradicionales. Durante la reformulación del diseño, se tomaron en cuenta los requisitos mínimos de iluminación establecidos por la normativa peruana de alumbrado público. Para la evaluación lumínica, se empleó el software Dialux 4.1, concluyendo que la tecnología LED representa la alternativa más eficiente en comparación con las lámparas convencionales, ya que proporciona una mejor calidad de iluminación. Según la "Norma Técnica DGE", que establece un rango de 10 a 20 lux, esta tecnología ofrece una mayor eficiencia energética de 148 lm/W, un tiempo de vida útil más prolongado y un menor consumo de energía. Asimismo, se verificó que es viable mantener niveles lumínicos cercanos a 2 cd/m<sup>2</sup> con postes ubicados a intervalos de 25 metros. Se determinó que las luminarias tradicionales de vapor de sodio generan un gasto mensual de S/ 10,954.69; sin embargo, con la implementación de tecnología LED, este costo se reduce a S/ 6,937.97, evidenciando un ahorro significativo en la facturación del servicio de alumbrado público.

Finalmente, Aliaga, Fuentes y González (2009), en su estudio sobre la "Factibilidad económica de la instalación de luminarias solares para la ciudad de Tocopilla", concluyen que la implementación de un sistema de alumbrado basado en energía solar resulta rentable en un período de 10 años, lo cual se consideró adecuado para las inversiones realizadas por la empresa responsable del proyecto. La propuesta incluye la instalación de 750 luminarias con tecnología de 16 LED y 1,500 luminarias de 12 LED, permitiendo así una distribución eficiente de la luz en sectores de baja circulación vehicular y peatonal, además de reforzar la iluminación en zonas de alto tránsito, como la vía principal de acceso a la ciudad. Al analizar los costos asumidos por el municipio, se identificó que el gasto mensual podría reducirse hasta \$31,856,236, lo que haría viable el proyecto tanto para las compañías Electroandina y Edelnor, encargadas de la inversión y recuperación de costos, como para la municipalidad de

Tocopilla, que dispondría de un excedente mensual superior a 8 millones de pesos. Dicho excedente podría ser destinado a otras necesidades públicas, mientras que las empresas participantes fortalecerían su imagen corporativa a través de su compromiso con la Responsabilidad Social Empresarial.

### **1.3. Justificación**

El escenario global, nacional y local vinculado a la iluminación de entornos, y especialmente de espacios exteriores, que abarca factores energéticos, económicos y ambientales, hizo imprescindible analizar soluciones prácticas y optar por nuevas fuentes energéticas que cubran la demanda y, a su vez, disminuyan los gastos relacionados con los sistemas de iluminación.

En este contexto, el Hospital III EsSalud de Chimbote constituye la institución de mayor nivel resolutivo de la Red Asistencial Áncash. Según un reporte publicado por Essalud en el año 2020 se obtiene que atiende a más de 30 mil usuarios adscritos y funciona como hospital de referencia para aproximadamente 216 mil asegurados en la región. Su infraestructura incluye 36 consultorios especializados, alrededor de 150 camas hospitalarias, además de áreas críticas como Emergencia, UCI y UCIN. Mensualmente brinda más de 16,000 consultas externas, realiza cerca de 550 intervenciones quirúrgicas y atiende un promedio de 7,500 emergencias. Estas cifras evidencian su gran relevancia asistencial y la alta demanda energética que requiere para operar de manera continua.

En cuanto a infraestructura eléctrica, estudios técnicos realizados por Sabino (2020) proyectaron una demanda instalada de alrededor de 176.9 kW, con una demanda máxima estimada de 426.40 kW en caso de ampliación de la carga mediante un transformador de 600 kVA, lo que confirma que el hospital se encuentra en condiciones de alto consumo

energético. Actualmente, su abastecimiento depende casi exclusivamente de la red nacional, con respaldo limitado y sin aprovechamiento de fuentes renovables.

La zona perimetral del hospital, conformada por accesos peatonales y vehiculares, así como un cercado de seguridad, requiere alumbrado permanente para garantizar condiciones adecuadas de seguridad, tránsito y atención de emergencias. Sin embargo, este servicio representa un consumo eléctrico constante y significativo, con un impacto directo en el gasto operativo.

Por lo tanto, implementar y evaluar sistemas solares fotovoltaicos para el alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud de Chimbote resulta justificado, ya que permitirá: Optimizar el consumo de energía eléctrica, Reducir los costos operativos anuales, Mejorar la confiabilidad y autonomía del servicio de iluminación en un establecimiento hospitalario crítico y Contribuir con la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

De esta manera, el estudio no solo se orientó a un ahorro económico, sino también a asegurar la continuidad del servicio eléctrico en un entorno hospitalario donde la confiabilidad energética es fundamental.

#### **1.4. Hipótesis**

##### **1.4.1. Hipótesis de la investigación:**

La configuración más efectiva, desde el punto de vista de las condiciones operativas, económicas y ambientales, es la instalación fotovoltaica conectada a red eléctrica de autoconsumo con acumulación de baterías para el abastecimiento continuo de energía eléctrica del sistema de alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote.

#### **1.4.2. Variables:**

- **Variable Independiente:** Configuración de un sistema fotovoltaico.
- **Variable Dependiente:** Alumbrado Perimetral.

#### **1.4.3. Limitaciones del trabajo:**

La presente investigación tiene algunas limitaciones importantes que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, este estudio se enfoca únicamente en el Hospital III EsSalud Chimbote, por lo que los resultados no pueden aplicarse directamente a otros hospitales o instituciones que tengan diferentes condiciones de ubicación, clima o necesidades energéticas.

El análisis realizado está basado completamente en simulaciones por computadora usando el software PVsyst, sin haber construido o probado físicamente ningún sistema solar. Esto significa que todos los números de producción de energía, ahorros económicos y rendimiento del sistema son estimaciones teóricas que podrían variar cuando se implementen en la realidad.

El estudio se limita solo al sistema de alumbrado perimetral del hospital, sin considerar otras áreas donde también se podría implementar energía solar, como el alumbrado interno, equipos médicos básicos, o sistemas de ventilación. Esta limitación significa que se podría estar perdiendo la oportunidad de hacer un proyecto más grande que podría ser más rentable.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar las diferentes configuraciones de un sistema fotovoltaico para el alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote 2025, desde el punto de vista operativo, económico y ambiental.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la demanda del sistema de alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote.
- Determinar las características de radiación solar de la zona en estudio.
- Dimensionar los componentes de las diferentes configuraciones del sistema fotovoltaico para la demanda requerida.
- Calcular y comparar los indicadores técnicos y económicos para cada configuración fotovoltaica propuesta y determinar la más efectiva.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Radiación Solar y Recurso Energético:**

#### **2.1.1. Radiación Solar**

La radiación solar es la energía electromagnética que emite el sol y que llega a la superficie terrestre. Esta energía es la fuente primaria para la generación de electricidad en sistemas fotovoltaicos. La radiación incluye una gama de longitudes de onda, incluyendo luz visible, ultravioleta e infrarroja. La cantidad y calidad de esta radiación dependen de factores como la latitud, la estación del año, la hora del día y las condiciones atmosféricas (Liu, Zhang & Sun, 2023). Su disponibilidad variable obliga a diseñar sistemas fotovoltaicos con un análisis riguroso para asegurar un aprovechamiento eficiente del recurso.

#### **2.1.2. Componentes de la radiación Solar**

La radiación solar incidente sobre la tierra puede dividirse en tres componentes principales:

- Radiación directa: irradiancia que llega en línea recta desde el sol y puede ser enfocada para máxima eficiencia en paneles orientados adecuadamente.
- Radiación difusa: la radiación que se dispersa en la atmósfera debido a partículas y gases; importante en días nublados o con alta contaminación.
- Radiación reflejada o albedo: la radiación reflejada desde el suelo u otras superficies, que contribuye adicionalmente, pero de forma residual a la energía disponible.

Estas componentes son medidas en unidades de irradiancia ( $\text{W/m}^2$ ) y varían considerablemente con el tiempo y la ubicación, lo que repercute en la generación eléctrica (Moriarty & Honnery, 2024).

### **2.1.3. Factores atmosféricos y geográficos que influyen en la radiación solar**

La latitud es fundamental para la radiación solar disponible. En regiones cercanas al ecuador, el Sol se encuentra en posiciones más perpendiculares a la superficie, permitiendo mayor incidencia de radiación a lo largo del año. En latitudes más altas, el ángulo solar varía notablemente estacionalmente, reduciendo la radiación efectiva en invierno y afectando la producción energética (EOC, 2024).

La altitud es otro factor que influye positivamente, ya que en lugares con mayor elevación la atmósfera es más delgada y menos densa, reduciendo la dispersión y absorción. Esto permite que más radiación alcance la superficie, beneficiando la generación fotovoltaica en montañas o zonas elevadas (AMB Green Power, 2025).

El albedo o reflectividad del suelo también impacta la radiación recibida. Superficies claras y reflectantes, como nieve o arena, pueden incrementar la irradiancia al reflejar luz hacia los paneles, mientras que superficies oscuras como asfalto absorben más radiación y reducen esta contribución (PV Education, s.f.).

Además, la hora del día y la estación del año determinan la duración e intensidad de la radiación solar. Las horas centrales del día alrededor del mediodía solar son las de mayor irradiancia, mientras que los meses de verano presentan días más largos y radiación acumulada superior (EOC, 2024).

Conocer estos factores permite optimizar la orientación e inclinación de los paneles solares para maximizar la captación de radiación. Por ejemplo, en zonas de altas latitudes se requiere ajustar más la inclinación para recibir mayor radiación directa en invierno. Además, la

planificación debe considerar la posibilidad de sombra causada por relieve o vegetación, que puede afectar negativamente la generación (Solar360, 2025).

## **2.2. Efecto Fotovoltaico y conversión Energética**

### **2.2.1. Principio Físico del efecto Fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es el mecanismo físico para la conversión directa de la luz solar en electricidad. Cuando un fotón de suficiente energía incide sobre un material semiconductor como el silicio dopado, excita un electrón, liberándolo y generando un par electrón-hueco. Gracias a un campo eléctrico interno generado por la unión p-n del semiconductor, estos portadores de carga se separan, lo que genera una diferencia de potencial y corriente eléctrica (Chen & Wang, 2024). Este proceso es la base para la operación de las células solares, que al agruparse en módulos forman los paneles fotovoltaicos.

### **2.2.2. Factores que afectan el rendimiento**

El desempeño eléctrico de un sistema fotovoltaico está afectado por múltiples variables:

- Intensidad y espectro de radiación solar: mayor irradiancia incrementa la generación, pero la calidad espectral también influye.
- Temperatura: el aumento de temperatura reduce la eficiencia de conversión de las células solares debido al incremento en la recombinación de portadores de carga.
- Ángulo de incidencia: un ángulo óptimo de la radiación solar sobre el panel maximiza la captación, por lo que la orientación y el seguimiento solar son fundamentales.

- Sombras y suciedad: pueden reducir considerablemente la producción energética al bloquear partes del panel o alterar la uniformidad de la irradiancia.
- Pérdidas eléctricas: resistencias internas del módulo, conexiones y cableado también disminuyen el rendimiento (Hernández, Pérez & Gómez, 2023).

Estas variables deben ser consideradas en el diseño y mantenimiento para maximizar la eficiencia y durabilidad del sistema fotovoltaico.

### **2.2.3. Tecnologías emergentes en conversión fotovoltaica**

#### **2.2.3.1. Células solares de perovskita**

Las células solares basadas en perovskita han experimentado un desarrollo revolucionario, mejorando eficiencias desde 2.8% hasta superar el 27% en laboratorio, superando a las células tradicionales de silicio cristalino (Snaith, 2025). Su estructura cristalina única permite una alta absorción de luz y eficiencia de conversión, además de ventajas como flexibilidad y fabricación a baja temperatura mediante técnicas avanzadas como impresión por chorro de tinta. Investigaciones recientes incluyen el uso de puntos cuánticos de perovskita para mejorar la estabilidad y transporte de carga, logrando celdas con eficiencia certificada del 18.3% (Wang et al., 2025).

#### **2.2.3.2. Células solares tandem**

Las células tandem superponen múltiples capas de materiales con diferentes rangos de absorción espectral para incrementar la eficiencia. Combinaciones de perovskita y silicio han logrado eficiencias récord cercanas al 34% en condiciones reales (Chen et al., 2024). Este

diseño reduce pérdidas térmicas y mejora la estabilidad a largo plazo, superando las limitaciones de las células simples.

#### 2.2.3.3. Células solares orgánicas

Basadas en compuestos orgánicos semiconductores, este tipo de células ofrece ventajas en peso y flexibilidad, siendo aptas para aplicaciones portátiles. La eficiencia ha alcanzado cerca del 20% mediante el diseño de estructuras en tandem orgánicas (Li et al., 2024). Se continúa trabajando en mejorar su durabilidad y tolerancia a la humedad para implementación comercial.

#### 2.2.3.4. Tecnologías bifaciales

Los módulos bifaciales captan la irradiación solar en ambas caras, aumentando la producción total hasta un 30% en sitios con alta reflectancia. Utilizan vidrios ultraclaros o películas ETFE en la parte posterior para maximizar la captación difusa reflejada por el suelo (Martínez et al., 2024). Esta tecnología es especialmente útil en plantas solares ubicadas en zonas con nieve o superficies claras.

#### 2.2.3.5. Innovaciones en almacenamiento energético

El almacenamiento energético se ha convertido en un factor esencial para la integración y expansión eficiente de la energía fotovoltaica, posibilitando la estabilidad y continuidad del suministro ante la intermitencia solar. Las baterías de estado sólido se perfilan como la tecnología más prometedora para 2025, destacándose por su elevada densidad energética, mayor rango de operación de temperatura y seguridad mejorada, ya que eliminan riesgos asociados a fugas térmicas comunes en baterías de iones de litio (Large Battery, 2025).

Estas baterías usan materiales sólidos, como cerámicas, polímeros o vidrios, en lugar de electrolitos líquidos o en gel, lo que incrementa su vida útil hasta superar los 6000 ciclos de carga/descarga, además de acelerar la velocidad de carga (Large Battery, 2025). Esto las hace ideales tanto para almacenamiento residencial como para grandes instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

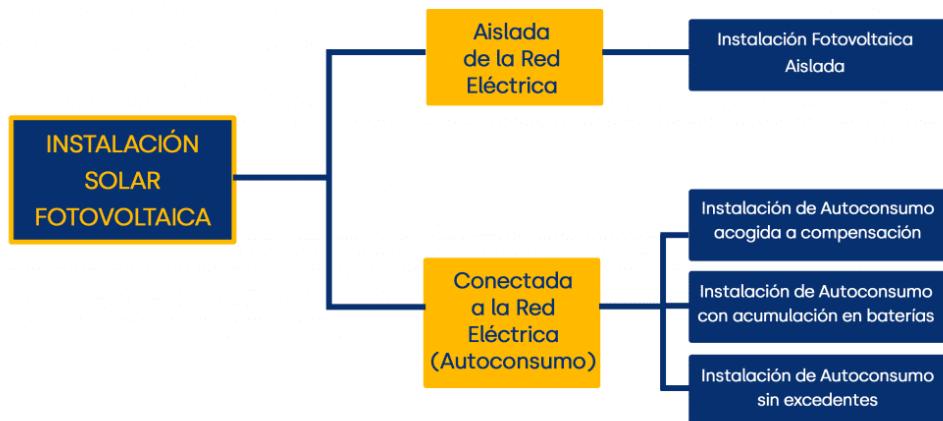
Además de las baterías de estado sólido, las baterías de flujo redox representan una opción escalable para almacenamiento a gran escala, empleando líquidos electrolíticos capaces de guardar grandes cantidades de energía y permitiendo descarga prolongada, muy útiles en sistemas fotovoltaicos de generación distribuida y red (Livolteklatam, 2024).

### **2.3. Clasificación de sistemas instalados con tecnología solar fotovoltaica**

Los sistemas instalados con tecnología solar fotovoltaica (FV), permite la transformación de la radiación solar emitida en energía eléctrica, permitiéndonos así su uso en diferentes sectores de demanda, tal es el caso como las viviendas y espacios laborales. Los paneles fotovoltaicos serán responsables de convertir la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua, la cual será posteriormente transformada en corriente alterna por el inversor para su utilización. Dentro de las instalaciones solares fotovoltaicas existen varios modelos que necesitaremos analizar para determinar cuál será el más apropiado y que se ajuste a nuestra circunstancia e intereses:

**Figura 1**

*Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas*



*Nota. Tomado de "Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas" por ENDEF Solar Solutions, s.f. <https://edef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>*

Para tomar una decisión consistente, necesito considerar diversos factores:

En este contexto, mis requerimientos reales en términos de energía eléctrica.

- La ubicación y el acondicionamiento de mi hogar/negocio.
- Meta a alcanzar durante la instalación.
- Presupuesto destinado a realizar la instalación.

#### **A. Sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (Autoconsumo):**

Como su nombre lo indica, estos sistemas permanecen enlazados a la red eléctrica y forman parte de un esquema de generación distribuida. Su funcionamiento prioriza el consumo de la energía generada por la instalación solar, pero cuando esta no es suficiente, se recurre al suministro eléctrico de la red. La principal diferencia entre estos sistemas radica en la gestión

de los excedentes de energía, es decir, el destino de la electricidad generada que no se consume en el momento.

### **a) Sistema fotovoltaico de autoconsumo con compensación**

Este modelo permite aprovechar la energía sobrante para obtener beneficios económicos.

Cuando la instalación genera más electricidad de la que se utiliza—por ejemplo, en horas en las que no hay demanda—, el excedente se transfiere a la red eléctrica a cambio de una compensación monetaria. Es una de las opciones más empleadas, especialmente en viviendas unifamiliares y comunidades de propietarios, así como en pequeñas y medianas empresas, donde el ahorro en el costo de la electricidad se traduce en un incremento de las ganancias.

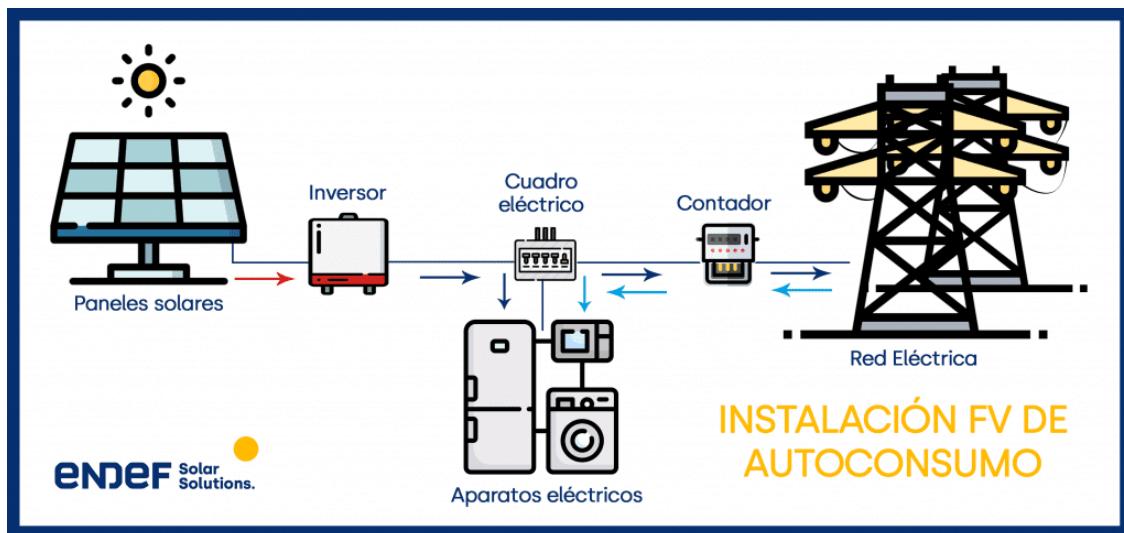
La compensación de excedentes puede variar según la normativa de cada país y puede adoptar tres formas principales:

- Balance neto: Por cada kWh inyectado a la red, el usuario tiene derecho a consumir la misma cantidad energía sin costo cuando necesite.
- Venta de energía a la red: Se recibe un pago fijo por cada kWh transferido al sistema eléctrico.
- Tarifa neta (compensación económica): La energía entregada a la red reduce proporcionalmente el importe de la factura eléctrica.

Este tipo de instalación representa una inversión rentable, ya que los costos de los materiales (paneles solares, inversor, cableado y protecciones) no son excesivos. Además, la compensación por los excedentes permite recuperar la inversión en un periodo de entre 6 y 10 años. Considerando que los paneles solares tienen una vida útil de aproximadamente 25 años, es un sistema eficiente de ahorro energético.

**Figura 2**

*Instalación fotovoltaica de autoconsumo*



*Nota. Tomado de “Instalación Fotovoltaica de autoconsumo” por ENDEF Solar Solutions, s.f. <https://edef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>*

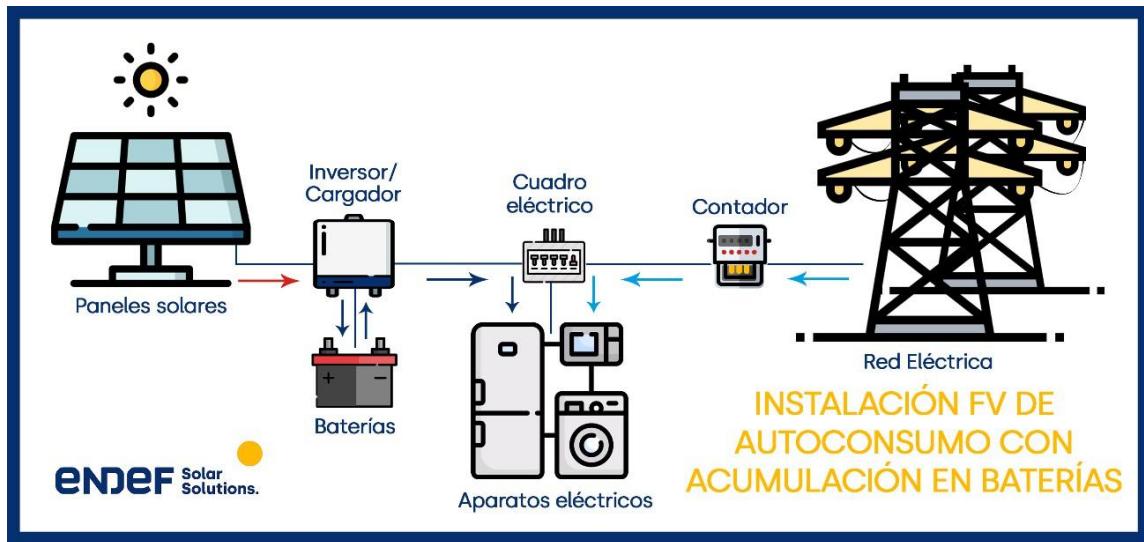
### **b) Sistema fotovoltaico de autoconsumo con almacenamiento en baterías**

Esta variante de autoconsumo almacena la energía excedente en baterías para su uso posterior, especialmente en horarios donde no hay radiación solar. Aun así, se mantiene la conexión con la red eléctrica para suplir la demanda cuando la batería se agota.

Entre sus principales ventajas destaca la optimización del uso de la energía generada, evitando pérdidas tanto en la producción propia como en la distribución de la electricidad desde la red. No obstante, la inversión inicial es considerablemente mayor en comparación con los sistemas que reciben compensación, ya que las baterías incrementan significativamente los costos del proyecto. Además, su vida útil debe ser tomada en cuenta para evaluar la viabilidad económica y el tiempo de recuperación de la inversión.

**Figura 3**

*Instalación fotovoltaica de autoconsumo con acumulación del excedente en baterías.*



*Nota. Tomado de “Instalación fotovoltaica de autoconsumo con acumulación del excedente en baterías.” por ENDEF Solar Solutions, s.f. <https://endef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>*

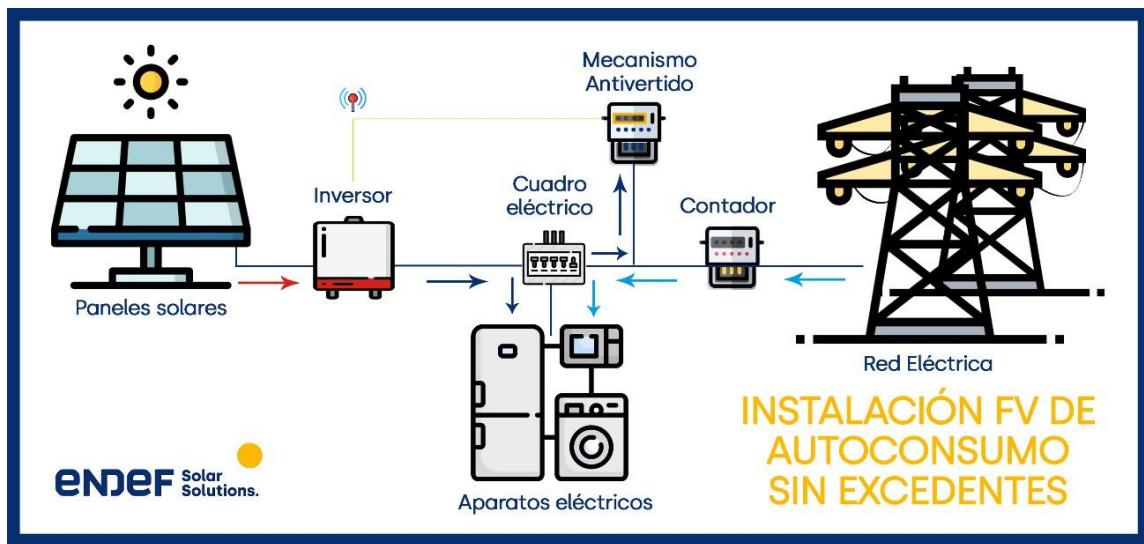
### c) Sistema fotovoltaico de autoconsumo sin excedentes

Este tipo de instalación se caracteriza por no verter energía a la red eléctrica, aunque sigue obteniendo suministro de ella cuando es necesario. Su funcionamiento es similar al de los otros modelos de autoconsumo, pero incorpora un mecanismo anti vertido que se comunica con el inversor para evitar la generación de energía en exceso y su transferencia a la red.

Al no aprovechar los excedentes, estos sistemas no permiten obtener beneficios económicos ni compartir la energía no consumida con otros usuarios. Se utilizan principalmente en países donde la legislación no permite la inyección de electricidad a la red pública.

**Figura 4**

*Instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes.*



*Nota. Tomado de “Instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes.” por ENDEF Solar Solutions, s.f. <https://edef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>*

## B. Sistemas fotovoltaicos independientes de la red eléctrica

### Instalación fotovoltaica aislada

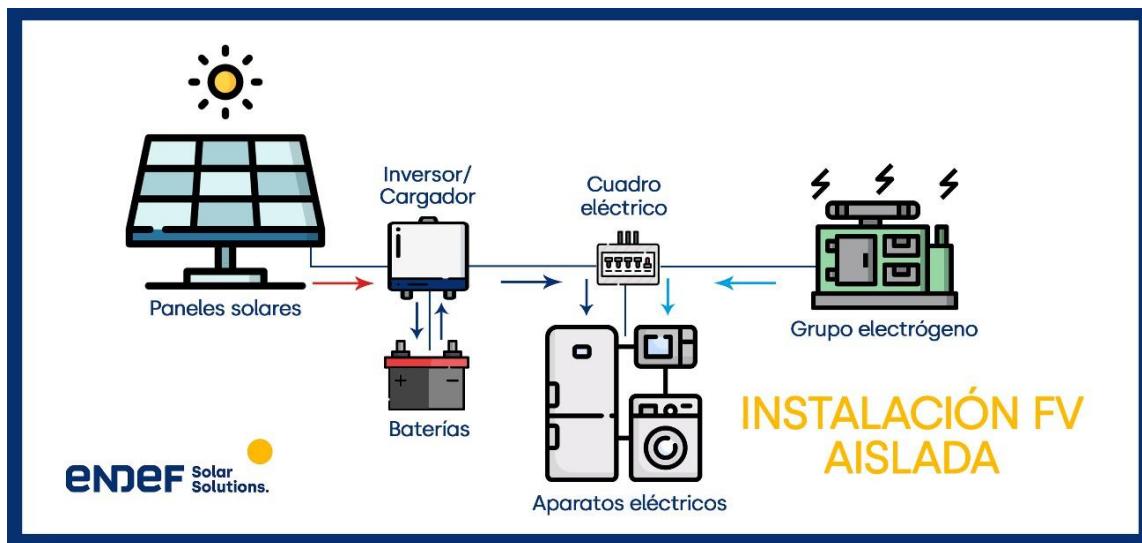
A diferencia de las anteriores, estas instalaciones no cuentan con conexión a la red eléctrica, por lo que la energía generada se consume en el mismo lugar donde se produce. Este tipo de sistema elimina la dependencia del suministro eléctrico convencional.

Para garantizar su funcionamiento en períodos sin radiación solar, estas instalaciones requieren componentes adicionales como inversores de carga y generadores auxiliares. La planificación del sistema debe considerar la cantidad de energía necesaria y la capacidad de almacenamiento para asegurar el suministro durante varios días sin sol. Como resultado, el dimensionamiento de estas instalaciones suele ser mayor que el de los sistemas de autoconsumo, lo que implica una mayor inversión en paneles solares y baterías. Las instalaciones aisladas son ideales para viviendas y negocios situados en zonas remotas sin

acceso a la red eléctrica, como granjas o comunidades rurales. Aunque no son la opción más rentable en entornos donde el autoconsumo es viable, representan una solución sostenible para la generación de energía en lugares donde no es posible otro tipo de abastecimiento.

**Figura 5**

*Instalación Fotovoltaica Aislada*



*Nota. Imagen recuperada de “Instalación fotovoltaica aislada.” por ENDEF Solar Solutions, s.f. <https://endef.com/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>*

#### **2.4. Componentes del Sistema Fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico está compuesto por varios elementos esenciales que permiten convertir la radiación solar en energía eléctrica utilizable, almacenarla y adaptarla para su uso. Los principales componentes incluyen reguladores de carga, sistemas de almacenamiento (baterías) e inversores, además de los propios módulos solares, cableado y estructuras de soporte (SFE Solar, 2025).

## **2.4.1. Reguladores de Carga**

### **2.4.1.1. Principios y funcionamiento:**

Los reguladores de carga son dispositivos que gestionan la energía que fluye desde los paneles solares hacia las baterías para evitar sobrecargas y descargas profundas que dañen las baterías. Su principal función es mantener la tensión y corriente dentro de límites seguros, optimizando la vida útil del sistema de almacenamiento. Técnicamente, ajustan el voltaje y corriente que llega a la batería mediante técnicas como PWM (Pulse Width Modulation) o MPPT (Maximum Power Point Tracking), siendo esta última más eficiente al maximizar la extracción de energía de los paneles solares (Damia Solar, 2024).

### **2.4.1.2. Criterios de Selección:**

Al seleccionar un regulador de carga se debe considerar: el voltaje nominal del sistema (12V, 24V, 48V), la corriente máxima que puede manejar, la compatibilidad con la tecnología de la batería, y las funciones adicionales como protección contra cortocircuitos, protección por inversión de polaridad y capacidad de comunicación para monitoreo remoto. Los reguladores MPPT son recomendados para sistemas con paneles en condiciones de radiación variable o con varios paneles en serie (Naturgy, 2025).

## **2.4.2. Sistemas de Almacenamiento**

### **2.4.2.1. Tecnologías de Baterías:**

Los sistemas de almacenamiento en energía solar permiten conservar la energía generada para usarla cuando la radiación es insuficiente o ausente. Las tecnologías predominantes incluyen:

- Baterías de plomo-ácido (convencionales, AGM y Gel), que son económicas, pero presentan menor vida útil y menor profundidad de descarga.
- Baterías de ion litio (Li-ion) y específicamente litio-ferrofósfato (LiFePO<sub>4</sub>), que ofrecen mayor eficiencia, mayor ciclo de vida, menor peso y mejor desempeño térmico, siendo preferidas para aplicaciones modernas y sistemas conectados a red con almacenamiento (SFE Solar, 2025).
- Otras tecnologías emergentes incluyen baterías de flujo y alternativas de estado sólido, aunque aún en fase desarrollo para uso comercial a gran escala.

#### **2.4.3. Inversores:**

##### **2.4.3.1. Tipos de Inversores:**

El inversor convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares o almacenada en baterías en corriente alterna (CA), que es la forma estándar para el consumo eléctrico en hogares y redes. Los tipos principales incluyen:

- Inversores de cadena o string: conectan varios paneles en serie antes de la conversión y son comunes en instalaciones residenciales y comerciales.
- Microinversores: se conectan individualmente a cada panel, mejorando la eficiencia en sombras o orientación variable.
- Inversores híbridos: integran funciones de inversor y regulador de carga para sistemas con almacenamiento y conexión a red.
- Inversores centrales: para grandes plantas solares con alta capacidad (Damia Solar, 2024).

#### **2.4.3.2. Protecciones y sistemas de monitoreo**

Los inversores incluyen sistemas de protección contra sobretensiones, sobre corrientes, y desconexión automática en caso de fallo para garantizar seguridad y evitar daños a los equipos y a la red eléctrica. Además, incorporan tecnologías para monitoreo en tiempo real del rendimiento, comunicación remota vía internet o dispositivos móviles, lo que facilita el mantenimiento predictivo y la optimización del sistema (SFE Solar, 2025).

#### **2.4.4. Estructuras de montaje**

Las estructuras sostienen y orientan los módulos hacia el sol para maximizar la captación de radiación. Se diseñan según el tipo de superficie y condiciones ambientales, pudiendo ser:

- Estructuras para cubiertas inclinadas: Adaptadas para tejados con inclinación, se ajustan a la pendiente existente y suelen ser económicas y rápidas de instalar. Generalmente están fabricadas con perfiles de aluminio y permiten una fijación sólida sin perforar excesivamente (Alusinsolar, 2023).
- Estructuras para cubiertas planas o suelo: Incorporan soportes con ángulos ajustables para optimizar la inclinación del panel, o sistemas con contrapesos para estabilidad ante viento. Son robustas y permiten un mejor control del ángulo de inclinación (Solarama, 2025)
- Estructuras elevadas o monoposte: Permiten aprovechar el espacio debajo para otros usos, ideales en terrenos con limitaciones de espacio o para orientaciones específicas (Cambio Energético, 2024).

## **2.5. Evaluación Económica de Proyectos Fotovoltaicos**

La evaluación económica en proyectos fotovoltaicos es esencial para determinar la viabilidad financiera, permitiendo a inversionistas y gestores comprender el retorno esperado, los riesgos y la sostenibilidad del proyecto. Se basa en la cuantificación y análisis de todos los costos (inversión, operación, mantenimiento) y beneficios (ingresos por venta de energía o ahorro energético), proyectados a lo largo de la vida útil estimada, normalmente 20 a 25 años. El enfoque principal es actualizar estos flujos futuros a valor presente para tomar decisiones informadas, pues un proyecto rentable no solo cubre los costos, sino que proporciona ganancias relevantes (Rojas et al., 2021).

### **2.5.1. LCOE**

El LCOE es una métrica clave en la evaluación económica que calcula el costo promedio por unidad de energía generada (usualmente en \$/kWh) durante toda la vida útil del sistema, considerando todos los costos iniciales, financieros, operativos y de mantenimiento, así como la energía total estimada producida. Este valor se obtiene descontando los flujos de efectivo futuros y refleja el valor económico real para producir energía, facilitando la comparación entre diferentes tecnologías y alternativas energéticas (Veliz, García & Molina, 2012), la cual está representado por la siguiente formula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}} \dots \dots \dots Ec. 1$$

Donde Ct representa los costos totales (CAPEX & OPEX) del proyecto en el año t , Et es la energía generada en el año t, r es la tasa de descuento y N es la vida útil del proyecto.

Un LCOE bajo es un indicador de alta competitividad y eficiencia económica buena en un proyecto solar

### **2.5.2. Valor Actual Neto**

El Valor Actual Neto es el criterio financiero que permite evaluar el valor presente de los flujos de caja generados por el proyecto, descontados a una tasa que representa el costo de oportunidad del capital o el riesgo del proyecto. Se calcula restando el costo inicial de inversión a la suma de los flujos netos descontados, expresado matemáticamente como:

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+r)^t} - I \dots \dots \dots Ec. 2$$

Un VAN positivo indica que el proyecto generará valor económico adicional, mientras que un VAN negativo sugiere que el proyecto no es rentable bajo las condiciones evaluadas (Rojas et al., 2021). El VAN es muy utilizado para comparar proyectos y decidir cuál optimiza mejor el capital invertido.

### **2.5.3. Tasa interna de Retorno**

La Tasa Interna de Retorno es la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero, es decir, la rentabilidad interna del proyecto basada en sus flujos de caja proyectados. Se determina iterativamente o mediante software financiero y sirve como indicador porcentual para juzgar el atractivo financiero del proyecto.

Si la TIR es mayor que la tasa mínima aceptable o costo de capital, el proyecto es considerado rentable; en caso contrario, puede ser rechazado. Este índice ayuda a comparar la rentabilidad de proyectos y financiamientos alternativos, facilitando la priorización de inversiones (Méndez, 2016).

#### **2.5.4. Análisis de Sensibilidad y Riesgos Financieros**

El análisis de sensibilidad y el estudio de riesgos financieros son fundamentales en la evaluación de proyectos fotovoltaicos para garantizar su viabilidad y sostenibilidad económica. El análisis de sensibilidad consiste en examinar cómo las variaciones en parámetros claves, como la radiación solar promedio, costo de los módulos, tasa de interés, demanda energética, o vida útil del proyecto, afectan los indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este análisis permite identificar cuáles variables tienen mayor impacto en la rentabilidad y dónde enfocar esfuerzos de mitigación (Martínez, 2017).

El proceso se suele realizar mediante simulaciones y estudios que ajustan una variable a la vez, manteniendo las demás constantes, para observar el efecto en la configuración óptima del sistema y en los resultados económicos. Herramientas como HOMER Y PVSIST facilitan estas simulaciones bajo diferentes escenarios para asegurar decisiones robustas (Rivera-Martínez, 2017; Aninver, 2025).

Respecto a los riesgos financieros, estos pueden provenir de fluctuaciones en costos de materiales, variaciones regulatorias, cambios en la demanda, o incumplimientos contractuales. La valoración y cuantificación de estos riesgos mediante análisis estadísticos y técnicas de opciones reales permiten diseñar estrategias de mitigación como seguros, contratos a largo plazo (PPA), o diversificación financiera, asegurando la resiliencia del proyecto ante la incertidumbre (Repositorio CUC, 2023).

## **2.6. Marco Normativa y Regulatorio**

### **2.6.1. Marco normativo nacional**

#### **2.6.1.1. Ley de promoción de energías Renovables**

La Ley N° 28832, promulgada en 2006 y modificada posteriormente, establece el marco legal para fomentar la inversión y el desarrollo de proyectos con energías renovables en Perú, incluyendo la energía solar. Esta ley tiene como objetivos principales diversificar la matriz energética del país, promover la inversión privada nacional e internacional, y contribuir a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Los proyectos de energías renovables pueden beneficiarse de mecanismos de incentivos como la exoneración del Impuesto General a las Ventas (IGV) en la importación de equipos y maquinaria, además de contratos a largo plazo que aseguran precios estables para la energía generada. La ley facilita también la simplificación administrativa en los trámites para la ejecución de proyectos renovables, contribuyendo a acelerar su desarrollo (Review Energy, 2025).

#### **2.6.1.2. Código Nacional de Electricidad**

El Código Nacional de Electricidad (CNE) regula la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el Perú. Este código incorpora las normativas para la interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red y establece las condiciones técnicas y de seguridad que deben cumplir los proyectos, así como la responsabilidad de los agentes involucrados (Ministerio de Energía y Minas, 2025).

#### **2.6.1.3. Normas Técnicas Peruanas para sistemas fotovoltaicos**

El Perú cuenta con normas técnicas específicas diseñadas para regular la instalación, operación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos con el fin de garantizar seguridad, calidad y eficiencia. Normas como las NTP-IEC adaptan estándares internacionales y establecen requisitos para módulos solares, sistemas eléctricos asociados, estructuras de soporte y equipos auxiliares, asegurando el cumplimiento de mejores prácticas (OSINERGMIN, 2024).

### **2.6.2. Estándares Internacionales**

#### **2.6.2.1. IEC 61215: Calificación del diseño y aprobación tipo**

La norma IEC 61215 establece los requisitos para la calificación de los módulos fotovoltaicos cristalinos para uso en sistemas terrestres. Define una serie de pruebas que garantizan la durabilidad, confiabilidad y desempeño bajo diferentes condiciones ambientales, asegurando que el diseño sea adecuado para una vida útil prolongada y eficiente (IEC, 2023).

#### **2.6.2.2. IEC 61730: Calificación de seguridad**

La norma IEC 61730 está orientada a la seguridad eléctrica, mecánica y contra incendios de los módulos fotovoltaicos, estableciendo los métodos para evaluar los riesgos asociados al uso de estos dispositivos (IEC, 2023). Es fundamental para proteger tanto a los usuarios como a los técnicos durante la instalación y operación de los sistemas.

#### **2.6.2.3. IEEE 1547: Interconexión de recursos distribuidos**

El estándar IEEE 1547 define los criterios técnicos para la interconexión segura y confiable de generadores fotovoltaicos distribuidos con la red eléctrica. Incluye requerimientos sobre la capacidad de respuesta a fallas, protección contra sobrecargas y comunicación con el

operador del sistema, facilitando la integración de generación renovable distribuida en sistemas eléctricos modernos (IEEE, 2024).

### **2.6.3. Regulaciones Nacionales en América Latina**

Las regulaciones nacionales sobre sistemas fotovoltaicos en América Latina muestran una dinámica creciente y diversa, enfocada en fomentar la generación distribuida y promover la transición energética con un marco legal sólido y adaptado a las necesidades locales.

En Argentina, la Ley 27.424 regula la generación distribuida asegurando que el usuario solicite la autorización para conectar su sistema fotovoltaico a la red mediante un proceso digitalizado. Requiere la aprobación técnica de la distribuidora local, certificación del sistema por técnicos autorizados, registro en el Registro Nacional de Usuarios-Generadores (REGEF), y un contrato de acceso formal para la compensación y comercialización de excedentes energéticos. Esta normativa favorece la expansión residencial y comercial con subsidios y esquemas de medición neta (Barahona Vélez, 2025).

Colombia, Bolivia, Ecuador, Chile y otros países han adoptado marcos regulatorios que fijan normativas claras para la instalación, conexión y operación segura de sistemas fotovoltaicos. Se regulan parámetros técnicos como la potencia máxima, calidad de equipos, y esquemas financieros para asegurar retorno de inversión. Sin embargo, persisten diferencias en los tiempos de tramitación y el nivel de digitalización, afectando la penetración de estas tecnologías (Barahona Vélez, 2025).

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) impulsa la armonización y actualización de estas normativas para fomentar inversiones, facilitar la integración técnica y promover la competitividad del sector fotovoltaico. En su último boletín de agosto 2025,

OLADE enfatizó la necesidad de simplificar procesos, reducir costos regulatorios y articular políticas de incentivo para potenciar el desarrollo del autoconsumo y la micro generación, con especial atención a zonas rurales y aisladas —un desafío clave en la región (OLADE, 2025).

## **2.7. Impacto Ambiental y sostenibilidad de la Energía Fotovoltaica**

La energía fotovoltaica se ha consolidado como una fuente renovable limpia que ofrece importantes beneficios ambientales frente a los sistemas convencionales de generación eléctrica. Sin embargo, su ciclo de vida completo implica impactos y retos que es necesario conocer para avanzar hacia una sostenibilidad integral.

### **2.7.1. Impactos durante el ciclo de vida**

El análisis del ciclo de vida (ACV) de sistemas fotovoltaicos considera las etapas de fabricación, transporte, instalación, operación y desmantelamiento o reciclaje, evaluando consumos energéticos, emisiones y residuos asociados. Estudios realizados en varios sistemas fotovoltaicos en Perú muestran que el tiempo de retorno energético (EPBT) fluctúa entre 3.6 y 6.4 años, dependiendo del tamaño y escala del proyecto, mientras la huella de carbono puede ir desde unas pocas toneladas a megatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, variando con la capacidad instalada (Rodríguez et al., 2023).

La fabricación de paneles solares requiere materiales como el silicio, metales conductores, y componentes que incluyen elementos potencialmente contaminantes como cadmio y plata. Aunque el proceso es intensivo en energía, las emisiones generadas se compensan muchas veces durante la vida útil que puede superar los 25 años, debido a la generación continua de energía sin emisiones directas en operación (TECNIA, 2023).

### **2.7.2. Impactos ambientales en terreno y ecosistemas**

La instalación de módulos fotovoltaicos tiene impacto mínimo sobre el terreno si se implementa en zonas previamente degradadas o tejados, minimizando alteraciones en la vegetación o fauna local. Sin embargo, en parques solares a gran escala, la ocupación de terreno puede ocasionar cambios en la calidad del suelo, microclimas y en el hábitat de especies. Estudios destacan que estas instalaciones pueden crear “efectos isla” que afectan el movimiento y comportamiento de fauna, aunque también pueden generar microhábitats beneficiosos para ciertas especies (Grupords, 2023).

La gestión adecuada incluye planes de revegetación con especies autóctonas y control ambiental, aspectos cada vez más exigidos por licencias y normativas nacionales.

### **2.7.3. Emisiones y consumo de recursos**

La operación de sistemas fotovoltaicos no produce emisiones contaminantes ni polución térmica, y no consume agua, a diferencia de centrales termoeléctricas o hidroeléctricas. La principal huella ecológica reside en la fase industrial, donde se consumen recursos minerales y se generan residuos por la química involucrada en la fabricación. Por ello, la ruta tecnológica tiene un rol clave en la sostenibilidad final (MDPI, 2023).

La gestión de residuos y reciclaje de paneles es un desafío emergente. La reutilización y el reciclaje pueden reducir significativamente la generación de desechos tóxicos y recuperar materiales valiosos, mitigando impactos futuros.

#### **2.7.4. Beneficios comparativos y sostenibilidad**

Comparada con fuentes fósiles, la energía fotovoltaica reduce significativamente emisiones de gases efecto invernadero, contribuyendo a mitigar el cambio climático. Su avance en eficiencia y reducción de costos, junto con mejores prácticas ambientales, posicionan a esta tecnología como una pieza clave en los sistemas energéticos sostenibles.

La integración de planes ambientales y el desarrollo tecnológico en materiales y reciclaje configuran oportunidades para mejorar la huella ambiental y lograr sistemas fotovoltaicos más sostenibles en la región (TECNIA, 2023).

### **III. MATERIALES Y MÉTODO**

#### **3.1. Materiales:**

##### **3.1.1. Información de la Institución:**

El Hospital III EsSalud Chimbote, ubicado en la Av. Circunvalación N.<sup>o</sup> 119, urbanización Laderas del Norte, constituye el principal establecimiento de salud de alta complejidad de la Red Asistencial Áncash. Atiende a una población estimada de más de 250 000 asegurados, procedentes de las provincias del Santa, Casma, Huarmey y zonas rurales aledañas. Su infraestructura hospitalaria posee un área total superior a 20 000 m<sup>2</sup>, con un cerco perimétrico totalmente cerrado, accesos vehiculares y peatonales independientes, zonas de estacionamiento, áreas verdes, y vías internas que garantizan la circulación de ambulancias y vehículos de emergencia.

Actualmente, el sistema de alumbrado perimetral del hospital opera mediante energía eléctrica convencional suministrada por la red del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), gestionada por la empresa Hidrandina S.A. Dicho sistema emplea luminarias de sodio y LED conectadas a un circuito de alumbrado exterior que permanece activo un promedio de 12 horas diarias. El consumo promedio estimado del sistema de iluminación exterior se sitúa entre 5 500 y 6 200 kWh mensuales, representando un costo aproximado de S/ 4 000 a S/ 4 500 mensuales, dependiendo de la tarifa eléctrica BT5A aplicable a instituciones públicas.

Este nivel de consumo contribuye significativamente a la factura eléctrica global del hospital, la cual supera los S/ 60 000 mensuales, considerando los equipos médicos, climatización, refrigeración, sistemas de soporte vital y alumbrado general. A pesar de los esfuerzos por

migrar a luminarias LED, el sistema perimetral continúa dependiendo íntegramente de la red eléctrica, lo que genera vulnerabilidad ante cortes de suministro, especialmente durante emergencias, además de costos energéticos elevados y una huella de carbono asociada al consumo de energía no renovable.

El alumbrado perimetral cumple una función crítica de seguridad hospitalaria, ya que garantiza la visibilidad de accesos, áreas de tránsito vehicular, vigilancia y zonas de ingreso de emergencias. Sin embargo, la ausencia de un sistema fotovoltaico autónomo impide asegurar su funcionamiento continuo durante fallas eléctricas o eventos de emergencia nocturna. Asimismo, los costos de mantenimiento y consumo energético resultan crecientes en un contexto de tarifas eléctricas fluctuantes y presupuestos institucionales limitados.

### **3.1.2. Software de simulación:**

Para el análisis y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos propuestos en la presente investigación, se empleó el software especializado PVsyst versión 7.4. PVsyst constituye una herramienta de simulación ampliamente reconocida en el ámbito internacional para el diseño, análisis y optimización de sistemas solares fotovoltaicos, siendo utilizada tanto por profesionales del sector energético como por instituciones académicas y centros de investigación para proyectos de diversa escala y complejidad.

El software integra una base de datos meteorológicos extensa que incluye información de irradiancia solar, temperatura ambiente, velocidad del viento y otros parámetros climáticos provenientes de estaciones meteorológicas distribuidas globalmente, así como datos satelitales procesados por organizaciones como la NASA y Meteonorm. Esta información permite realizar simulaciones precisas considerando las condiciones climáticas específicas

de cualquier ubicación geográfica del mundo. Para el presente estudio, se utilizaron los datos meteorológicos correspondientes a las coordenadas del HOSPITAL III ESSALUD, obtenidos a través de la base de datos PVGIS integrada en el software.

### **3.2. Metodología**

#### **3.2.1. Método de la investigación:**

Los métodos de investigación que se emplearan en el presente estudio son:

Método descriptivo: El propósito es recopilar, analizar y exponer datos sobre una realidad, con la máxima exactitud posible, siguiendo ciertos criterios establecidos previamente. Este procedimiento conlleva la recolección y exposición sistemática para conseguir una representación nítida de una circunstancia específica. En este caso, inicialmente, se detallará la situación del sistema de iluminación perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote utilizando energía tradicional. Después, se detallará el mismo sistema considerando un sistema de iluminación más eficiente con sistema fotovoltaico.

Método deductivo: Se trata de obtener una conclusión fundamentada en una premisa o en un conjunto de afirmaciones que se consideran verdaderas. Mediante el uso de las bases teóricas esenciales para calcular un sistema de iluminación, dimensionar un sistema fotovoltaico y examinar las distintas configuraciones de estos sistemas fotovoltaicos, se busca examinar tanto desde un punto de vista técnico como económico la configuración más eficaz.

#### **3.2.2. Diseño:**

En esta investigación, es del tipo no experimental, la cual, se refiere a la investigación que, de manera deliberada, no altera las variables implicadas. En resumen, se refiere a los estudios

en los que no se realiza una modificación premeditada a la variable independiente. Solo se realizan observaciones de sucesos en su entorno propio sin intervención.

La presente investigación tiene la siguiente simbología de estudio:

$$\begin{array}{ccc} & X & \\ O1 & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & O2 \end{array}$$

Donde:

O1: Observación 1 (Indicadores técnicos, económicos de un sistema de iluminación alimentado por energía convencional).

O2: Observación 2 (Indicadores técnicos y económicos de un sistema de iluminación alimentado por energía solar fotovoltaica considerando las diferentes configuraciones estudiadas para el ambiente físico establecido en la muestra).

X: Implementación y puesta en operación de un sistema de iluminación perimetral alimentado mediante energía solar fotovoltaica, considerando las configuraciones de instalación evaluadas en el estudio.

### **3.2.3. Población y muestra:**

- **Población:** Hospital III EsSalud Chimbote.
- **Muestra:** Exterior perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote.
- **Muestreo:** No probabilístico (por conveniencia).

### **3.2.4. Técnicas, Instrumentos o fuentes para obtener los datos:**

#### **Técnicas:**

- Medición: Se recabará la información requerida como las dimensiones del entorno físico de la muestra, al igual que se medirá la información correspondiente sobre la localización del lugar de estudio y sus propiedades técnicas del sistema de iluminación.
- Observación: Se recolectarán las propiedades de iluminación, junto con las propiedades climáticas del lugar, un análisis que resalta la radiación solar, las temperaturas mínimas y máximas, y las temperaturas mínimas y máximas.
- Bibliográfica: Se utilizará la técnica bibliográfica para ordenar y tener un registro de las referencias bibliográficas necesarias para el presente proyecto de investigación.

#### **Instrumentos:**

- Hoja de datos: Instrumento que se empleará para recopilar las Características técnicas y físicas del sistema de iluminación.
- Recibos de electricidad: Instrumentos que mostraran los datos del consumo eléctrico mensual de la institución donde se realiza la investigación.
- Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2: Página web con base de datos meteorológicos de donde se obtendrá los datos necesarios de radiación solar.
- Ficha bibliográfica: Instrumento donde se ordenará los datos más relevantes de cada referencia bibliografía usada en la investigación.

### **3.2.5. Procedimiento o forma de tratamiento de la información:**

En un primer momento, se obtendrá las características eléctricas del sistema de iluminación perimetral del lugar, tomando en cuenta: tipos de luminarias, cantidad, potencia, consumo de energía, número de horas de uso.

Con los datos recopilados, se procederá a determinar la capacidad del sistema fotovoltaico según las diferentes configuraciones.

A continuación, se recopila la data de radiación solar desde la fuente virtual web de datos meteorológicos PVGIS, para su análisis y con ello poder dimensionar los componentes del sistema fotovoltaica.

Finalmente, se estudiará y se comparará los diferentes indicadores tanto económicos como técnicos de cada configuración y finalmente se elige cual es el más efectivo.

## **IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

### **4.1. Cálculo De La Demanda De Energía**

Con el fin de determinar la máxima demanda eléctrica generada por el sistema de alumbrado exterior del Hospital de Essalud de Chimbote, se procedió a realizar un inventario detallado de los postes de iluminación, considerando el número de luminarias instaladas, su potencia nominal y el tiempo de operación diario. Esta información es fundamental para conocer el consumo energético real, cuantificar los costos asociados a la facturación eléctrica y establecer una línea base sobre la cual se puedan evaluar alternativas de ahorro y eficiencia energética.

En la siguiente tabla se presenta la relación de cada poste con sus características técnicas: tipo de instalación (monopastoral, bipastoral o tripastoral), cantidad de luminarias, potencia unitaria, horario de encendido y apagado, número de horas de operación y energía diaria consumida. Asimismo, se consolida el cálculo total de potencia instalada y el consumo energético del sistema de alumbrado, información que será empleada posteriormente para el análisis de la factibilidad de un sistema fotovoltaico como medida de optimización de la demanda.

**Tabla 1**

*Cuadro de máxima demanda por poste-iluminación perimetral Hospital III EsSalud-Chimbote*

POSTE	LUMINARIA	TIPO DE PASTORAL	Nº LUMIN	POTENCIA (W)	Nº HORAS OP.	ENERGÍA (Wh)
POSTE 1	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 2	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 3	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 4	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 5	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 6	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 7	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 8	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 9	Econ-150 W	TRIPASTORAL	3	450	12	5400
POSTE 10	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 11	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 12	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 13	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 14	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 15	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 16	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 17	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 18	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 19	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 20	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 21	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 22	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 23	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 24	Econ-150 W	BIPASTORAL	2	300	12	3600
POSTE 25	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 26	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 27	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 28	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 29	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
POSTE 30	Econ-150 W	MONOPASTORAL	1	150	12	1800
					ENERGÍA (Wh/día)	75600
					ENERGÍA (kWh/Día)	75.6

*Nota. Datos obtenidos mediante medición técnica in situ realizada por el personal del Área Mantenimiento del Hospital ESSALUD III, según protocolo interno de evaluación lumínica perimetral, En archivo Físico ubicado en oficina técnica de la Institución*

Para el cálculo de la máxima demanda del sistema de alumbrado exterior del Hospital de Essalud de Chimbote, se tomó en consideración el horario de funcionamiento de las luminarias. Se estableció un periodo de 12 horas diarias (de 6:00 p. m. a 6:00 a. m.), el cual corresponde al rango promedio de iluminación requerido durante la noche para garantizar condiciones adecuadas de seguridad y visibilidad en las áreas exteriores del hospital.

El sistema está conformado por un total de 30 postes de iluminación, con diferentes configuraciones: monopastoral (1 luminaria por poste), bipastoral (2 luminarias) y tripastoral (3 luminarias), alcanzando un total de 42 luminarias instaladas. Cada luminaria corresponde a un equipo de 150 W de potencia nominal, lo que representa una potencia instalada global de 6,300 W (6.3 kW).

En función de las horas de operación y la potencia total instalada, el consumo energético global asciende a 75.6 kWh por día, valor que constituye la energía diaria demandada únicamente por el sistema de alumbrado exterior.

#### **4.2. Datos De Irradiación Solar**

Con el propósito de contar con información confiable sobre el recurso solar en la zona de estudio, se realizó la recopilación de datos de irradiación global en el plano horizontal a partir de la base de datos del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Para garantizar representatividad, se consideró el promedio de las irradiancias registradas desde el año 2018 hasta la actualidad, obteniéndose valores mensuales y diarios que reflejan el comportamiento típico del recurso solar en la región.

**Tabla 2***Irradiancia promedio por mes y día*

Mes	Irradiación en el plano		T(°C)
	horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /mes)	(kWh/m <sup>2</sup> /día)	
Enero	195.76	6.53	22.72
Febrero	178.00	5.93	23.97
Marzo	184.13	6.14	24.05
Abril	173.67	5.79	22.00
Mayo	170.98	5.70	19.65
Junio	160.03	5.33	18.08
Julio	170.71	5.69	17.45
Agosto	187.68	6.26	17.05
Setiembre	191.09	6.37	16.98
Octubre	205.68	6.86	17.60
Noviembre	207.41	6.91	18.62
Diciembre	200.38	6.68	20.60
<b>TOTAL</b>	<b>2225.50</b>	<b>74.18</b>	

*Nota.* Datos de irradiancia y temperatura promedio mensual obtenido mediante el uso del software PVGIS

De acuerdo con la Tabla N° 2, la radiación solar presenta un comportamiento variable a lo largo del año, con valores que oscilan entre 5.33 kWh/m<sup>2</sup>/día y 6.91 kWh/m<sup>2</sup>/día, alcanzando un valor promedio anual de 6.18 kWh/m<sup>2</sup>/día. El menor valor de radiación se registra en el mes de junio con 5.33 kWh/m<sup>2</sup>/día, el cual resulta adecuado para ser considerado en los cálculos, a fin de obtener un análisis conservador que asegure el óptimo desempeño del sistema fotovoltaico incluso en condiciones menos favorables.

De la misma manera, la temperatura de la zona se encuentra entre valores de 16.98 °C y 24.05 °C, con un promedio de 19.9 °C. Considerando el promedio de temperatura, este se adopta como referencia para el análisis, ya que representa las condiciones más apropiadas para garantizar la eficiencia del sistema fotovoltaico en la instalación propuesta.

## 4.3. Equipamiento Del Sistema

### 4.3.1. Paneles Fotovoltaicos

De acuerdo a la Tabla N°1 la energía promedio diaria es 75.6 kW.h., En base a esta información, se procede con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, empleando la constante  $E_0 = 1000 \text{ W/m}^2$  como referencia para determinar la disponibilidad del recurso solar.

Datos:

- Mínima irradiación diaria ( $GA$ ) =  $5.33 \text{ kWh/m}^2$
- Desviación estándar  $\sigma = 0.50516 \text{ kWh/m}^2$

Cálculo de disponibilidad media

$$\ddot{a}(GA, \sigma) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \frac{\sigma}{GA} \dots \dots \dots Ec. 3$$

$$\ddot{a}(GA, \sigma) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \frac{0.50516}{5.33}$$

$$\ddot{a}(GA, \sigma) = 96.21 \%$$

La disponibilidad media del recurso solar para el Hospital III Essalud Chimbote se estimó en 96.21 %, valor que se encuentra por encima del umbral mínimo requerido del 90%, lo que confirma la viabilidad del proyecto en términos de aprovechamiento energético. Para el cálculo de la potencia máxima se considera la condición  $G_{dim} = GA$ ; sin embargo, con el propósito de minimizar posibles desviaciones en el dimensionamiento, se realiza un ajuste del valor de  $G_{dim}$ , garantizando mayor precisión en los resultados.

### Cálculo de Gdim:

$$G_{dim}(a_{soll}) = GA * \left(1 - \frac{a - 1 + \frac{\sigma}{GA * \sqrt{2\pi}}}{\frac{1}{2} - \frac{\sigma}{GA * \sqrt{2\pi}}}\right) \dots \dots \dots Ec. 4$$

$$G_{dim}(a_{soll}) = 5.33 * \left(1 - \frac{0.9621 - 1 + \frac{0.50516}{5.33\sqrt{2\pi}}}{\frac{1}{2} - \frac{0.50516}{5.33 * \sqrt{2\pi}}}\right)$$

$$G_{dim}(a_{soll}) = 5.3310 \frac{kWh}{m^2}$$

### Cálculo del rendimiento máximo optimo

Para determinar la potencia pico del sistema fotovoltaico, es necesario tomar en cuenta las eficiencias típicas de los componentes, lo cual permite definir el módulo fotovoltaico a emplear y validar su desempeño mediante la simulación en PVsyst.

**Tabla 3**

*Características estándar del rendimiento de equipos del sistema fotovoltaico*

Elemento	Características	Eficiencia (%)
Modulo fotovoltaico Pro	Relación de rendimiento	84
Regulador de carga	Eficiencia del regulador	98
ηlr	Precisión de ajuste de MPP ηa	95
Batería ηbat	Eficiencia de la batería	85
Inversor ηwrt	Eficiencia del inversor	95

*Nota.* Características estándar de los elementos presentes empleados en nuestro sistema fotovoltaico

- Energía promedio diario ( $W_d$ ) = 75.6 kWh
- Máximo valor sobre la superficie terrestre ( $E_o$ ) = 1000 W/m<sup>2</sup>
- Disponibilidad de recurso energético Gdim = 5.33 kWh/m<sup>2</sup>

$$P_{pKopt} = \frac{E_o * W_d}{G_{dim} * PR_{0cSi} * \eta_{lr} * \eta_a * \eta_{br} * \eta_{wr}} \dots \dots \dots Ec. \ 5$$

$$P_{pKopt} = \frac{1000 \frac{W}{m^2} * 75.6 \text{ kWh}}{5.33 \frac{m^2}{kWh} * 84\% * 98\% * 95\% * 85\% * 95\%}$$

$$P_{pKopt} = 22460.68 \text{ Wp}$$

Para el dimensionamiento se consideró el panel solar bifacial JA Solar TOP Con N-Type de 615 W, debido a que ofrece mayor eficiencia y rendimiento en condiciones variables, gracias a su tecnología bifacial que permite generar entre un 5% y 20% adicional de energía. Asimismo, su garantía de hasta 30 años de potencia lineal asegura confiabilidad a largo plazo, lo que lo convierte en una opción adecuada para un proyecto institucional como el del Hospital III Essalud Chimbote. El costo unitario del módulo es de aproximadamente USD 112.40, lo que representa una solución competitiva en relación a su nivel de innovación y durabilidad.

**Tabla 4**  
*Parámetros Eléctricos*

Potencia Nominal Máxima (Pmax) [W]	615
Voltaje de Circuito Abierto (Voc) [V]	48.3
Voltaje de Potencia Máxima (Vmp) [V]	39.96
Corriente de Cortocircuito (Isc) [A]	16.10
Corriente de Potencia Máxima (Imp) [A]	15.39
Eficiencia del Módulo [%]	22.8
Temperatura de funcionamiento	40
Coeficiente de temperatura de Isc ( $\alpha$ )	+0.045%/ $^{\circ}$ C
Coeficiente de temperatura de Voc ( $\beta$ )	-0.250%/ $^{\circ}$ C
Coeficiente de temperatura de Pmax ( $\gamma$ )	-0.290 %/ $^{\circ}$ C

*Nota.* Parámetros eléctricos extraídos de ficha técnica del Panel Fv JA Solar 615 W

A partir de la información contenida en la ficha técnica del módulo fotovoltaico bifacial, es posible determinar el comportamiento del panel frente a las variaciones de temperatura, lo cual resulta fundamental para el dimensionamiento preciso del sistema. Con estos datos se establece el número óptimo de módulos en serie y en paralelo, permitiendo obtener la potencia pico total del sistema fotovoltaico. Dicho valor constituye la referencia principal para la selección de los demás componentes del sistema, cuya configuración final se valida mediante la simulación especializada en el software PVsyst.

### Temperatura de celda

$$T_c = T_a + G * \frac{T_{NMOT}-20}{800} \dots\dots\dots E.c. 6$$

$$T_c = 25 + 1000 * \frac{40 - 20}{800} \dots$$

$$T_c = 50^{\circ}\text{C}$$

### Corrección de la variación de potencia:

$$\Delta P_{max} = \gamma * (T_{Cmax} - 25) \dots\dots\dots E.c. 7$$

$$\Delta P_{max} = -0.290\%/\text{C} * (50 - 25)$$

$$\Delta P_{max} = -7.25 \%$$

## **Corrección de variación de voltaje**

$$\Delta V_{oc} = \beta * (T_{Cmax} - 25) \dots Ecu. 8$$

$$\Delta V_{oc} = -0.25\%^{\circ}\text{C} * (50 - 25)$$

$$\Delta V_{oc} = -6.25 \%$$

## **Corrección de la variación de corriente**

$$\Delta I_{sc} = \alpha * (T_{Cmax} - 25) \dots Ecu. 9$$

$$\Delta I_{sc} = +0.045\%^{\circ}\text{C} * (50 - 25)$$

$$\Delta I_{sc} = 1.125\%$$

## **Potencia máxima corregida**

$$P_{Pmaxc} = P_{max} * (1 + \Delta P_{Pmpp}) \dots Ecu. 10$$

$$P_{Pmaxc} = 615 * (1 - 7.25\%)$$

$$P_{Pmaxc} = 570.412 W$$

## **Voltaje corregido**

$$\Delta V_{occ} = V_{oc} * (1 + \Delta V_{oc}) \dots Ecu. 11$$

$$\Delta V_{occ} = 48.3 * (1 - 6.25 \%)$$

$$\Delta V_{occ} = 45.28 V$$

## **Corriente corregida**

$$\Delta I_{sc} = I_{sc} * (1 + \Delta I_{sc}), \dots Ecu. 12$$

$$\Delta I_{sc} = 16.10 * (1 + 1.125\%)$$

$$\Delta I_{sc} = 16.28 A$$

## **Cálculo de cantidad de paneles**

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{P_{pk}}{P_{maxc}} \dots Ecu. 13$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{22460.68 \text{ W}}{570.412 \text{ W}}$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = 39.37 \cong 40 \text{ paneles}$$

### Número de paneles en serie

$$N^{\circ}_{pserie} = \frac{V_{sistema}}{V_{modulo}} \dots \dots \text{Ec. 14}$$

$$N^{\circ}_{pserie} = \frac{196V}{24V}$$

$$N^{\circ}_{pserie} = 8$$

### Número de paneles en paralelo

$$N^{\circ}_{pparalelo} = \frac{N^{\circ}_{paneles}}{N^{\circ}_{pserie}} \dots \dots \text{Ec. 15}$$

$$N^{\circ}_{pparalelo} = \frac{40}{8} = 5$$

### Voltaje en circuito abierto en serie

$$V_{oc-serie} = V_{oc} * N^{\circ} \text{ paneles en serie} \dots \dots \text{Ec. 16}$$

$$V_{oc-serie} = 45.28 * 8$$

$$V_{oc-serie} = 362.24 \text{ V}$$

### Corriente de cortocircuito en paralelo

$$I_{sc-paralelo} = I_{sc} * N^{\circ} \text{ paneles en paralelo} \dots \dots \text{Ec. 17}$$

$$I_{sc-paralelo} = 16.28 * 5$$

$$I_{sc-paralelo} = 81.4 \text{ A}$$

### Máxima capacidad de voltaje en serie

$$V_{pm-serie} = V_{pm} * N^{\circ} \text{ paneles en serie} \dots \dots \text{Ec. 18}$$

$$V_{pm-serie} = 39.96 * 8$$

$$V_{pm-serie} = 319.68 \text{ V}$$

## Máxima capacidad de corriente en paralelo

$$I_{pm-paralelo} = I_{pm} * N^{\circ} \text{ paneles en paralelo} ..... Ec. 19$$

$$I_{pm-paralelo} = 15.39 * 5$$

$$I_{pm-paralelo} = 76.95 A$$

## Nueva potencia pico final del sistema.

$$P_{pk-final} = P_{Pmaxc} * N^{\circ} \text{ paneles}, ..... Ec. 20$$

$$P_{pk-final} = 570.412 W * 40$$

$$P_{pk-final} = 22816.48 W$$

**Tabla 5**

Datos del sistema fotovoltaico

Número de Paneles	40
Nº de string	5
Nº de Paneles en serie	8
Potencia Peak corregida por temperatura	22816.48 W

La Tabla muestra la configuración final del campo fotovoltaico tras considerar la influencia de la temperatura en el desempeño de los módulos. Se determinó un total de 40 paneles solares, organizados en 5 strings, cada uno conformado por 8 módulos en serie. Esta disposición permitió ajustar el dimensionamiento del sistema a condiciones reales de operación, donde la temperatura incide directamente en la eficiencia del módulo. Como resultado de esta corrección, la potencia pico efectiva del sistema quedó establecida en 22816.48 W, valor que representa la capacidad real disponible y que será utilizado como base para la selección de los equipos complementarios y la simulación en el software PVsyst.

#### 4.3.2. Baterías

Para calcular el banco de baterías a utilizar se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$C_T = \frac{N_{autonomia} * W_d}{T_s} \dots Ec. 21$$

Datos

Energía promedio diaria ( $Wd$ )= 75.6 kWh

Días de autonomía ( $N_{autonomia}$ ) = 3

Tensión del sistema ( $T_s$ ) = 48 V

$$C_T = \frac{3 * 75600 Wh}{48 V}$$

$$C_T = 4725 A.h$$

Se considera usar Batería 20 OPzV 2500 Batería Gel 2V 2700Ah con una vida útil de 15 años. Considerando la capacidad y voltaje de la batería.

Calcular cuantas baterías en serie para obtener 48V

$$\frac{48V}{2V} = 24 \text{ baterias en serie}$$

Al conectarlo en serie se obtiene los 48 voltios, pero la capacidad en Ah se mantiene entonces.

$$\frac{4725 Ah}{2700 Ah} = 1.75 \cong 2$$

Entonces para cumplir con la capacidad requerida, se necesita 1 grupo de 24 baterías conectadas en serie (48V), y luego estos grupos conectados en paralelo, por lo que se necesitaría un total de 24 baterías de 2V/2700Ah.

**Figura 5**

Batería 2V 2700 Ah OPzV SIGMA



Nota. Adaptado de Mejor Baterías, s.f. <https://mejorbaterias.com/bateria-20-opzv-2500-sigma-2741.html>

#### 4.3.3. Inversor y Regulador De Carga:

La selección del inversor se realiza en función de la demanda total del sistema, empleando dicho valor para establecer la potencia mínima necesaria, que en este caso corresponde a 22816.48 W, según lo indicado en la Tabla N°1. Para este cálculo se ha considerado un factor de simultaneidad igual a 1, lo que implica que todas las cargas operan de manera concurrente.

$$P_i = \text{Factor}_{\text{simultaneidad}} * \text{demanda}_{\text{total}} kW \dots \dots \text{Ec. 22}$$

$$P_i = 1 * 22816.48 W$$

$$P_i = 22816.48 W$$

También se debe calcular la corriente que circula por el regulador

Se recomienda usar un margen de seguridad del 25% sobre la corriente calculada entonces

$$I_{reg} = \frac{\text{Potencia total de paneles}}{\text{voltaje del sistema}} * (1 + 25\%) \dots \dots \text{Ec. 23}$$

$$I_{reg} = \frac{570.41 W}{48V} * (1 + 25\%)$$
$$I_{reg} = 14.85 A$$

De acuerdo a los datos anteriormente calculados se elige el Regulador Smart Solar MPPT RS

450V 200A VICTRON

## **Figura 6**

*Controlador Smart Solar MPPT RS 450V 200A VICTRON*



Nota. Adaptado de Autosolar, sf. <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt/regulador-smartsolar-mppt-rs-450v-200a-victron>

Para lo cual se considera el inversor MID 22KTL3-X tiene una potencia nominal de salida de 22.0 kWac, opera en un rango de voltaje de 160–1000 V, y cuenta con dos MPPT configurados al 50 % cada uno, sin compartir potencia entre ellos. El sistema utiliza una unidad de este inversor, con una relación de potencia DC/AC (Pnom ratio) de 1.06, lo que indica una ligera sobrecarga del campo fotovoltaico respecto a la capacidad del inversor.

**Figura 7**

*Growatt Growatt - MID22KTL3-X Inversor 22 KW 3 Fases 2 MPPT*



Nota. Tomado de Solar Traders,

<https://www.solartraders.com/es/products/inversor/growatt-growatt-mid22ktl3-x>

#### **4.4. Simulación Y Resultados En Pvsist:**

Una vez definido los componentes presentes para el sistema fotovoltaico, toca pasar toda la información a PVsist para poder obtener resultados, en este caso simularemos en 2 situaciones, 1er caso es un sistema aislado (el cual emplea banco de baterías) y el 2do caso se evaluará un sistema mixto el cual consume energía de red y también cuenta con un sistema de almacenamiento, ello para corroborar cual es la alternativa más viable a emplear

#### 4.4.1. Sistema Aislado (Con Almacenamiento)

**Tabla 6**

*Balance Energético simulado por PVsist configuración: Sistema Aislado con almacenamiento*

Mes	GlobHor (kWh/m <sup>2</sup> )	GlobEff (kWh/m <sup>2</sup> )	E_Avail (kWh)	E_Unused (kWh)	E_Miss (kWh)	E_User (kWh)	E_Load (kWh)	SolFrac (ratio)
Enero	210.7	180.5	3739	1196	0	2344	2344	1
Febrero	183.1	165.6	3419	1168	0	2117	2117	1
Marzo	210.1	202.7	4168	1677	0	2344	2344	1
Abril	184.1	189.4	3929	1524	0	2268	2268	1
Mayo	176.5	192.9	4018	1529	0	2344	2344	1
Junio	153.4	170.4	3591	1185	0	2268	2268	1
Julio	160.6	176.2	3720	1235	0	2344	2344	1
Agosto	157.8	164.1	3468	1005	0	2344	2344	1
Septiembre	168.6	165.7	3486	1050	0	2268	2268	1
Octubre	199.7	184.3	3879	1395	0	2344	2344	1
Noviembre	200	173.3	3641	1231	0	2268	2268	1
Diciembre	213.2	179.1	3751	1264	0	2344	2344	1
<b>Año</b>	<b>2217.9</b>	<b>2144.1</b>	<b>44810</b>	<b>15458</b>	<b>0</b>	<b>27594</b>	<b>27594</b>	<b>1</b>

*Nota.* Datos obtenidos de simulación elaborada mediante Pvsist.

**Las variables calculadas representan lo siguiente:**

- GlobHor: Irradiación solar global en superficie horizontal (kWh/m<sup>2</sup>).
- DiffHor: Irradiación solar difusa en superficie horizontal (kWh/m<sup>2</sup>).
- GlobEff: Irradiación efectiva utilizada por el sistema FV (kWh/m<sup>2</sup>).
- E\_Array: Energía generada por los paneles FV antes del inversor (kWh).
- E\_User: Energía consumida por el usuario (kWh).
- E\_Miss: Energía faltante (kWh)
- E\_Unused: Energía no usada (carga de baterías completa)

- E\_Avail: Energía solar disponible en kWh
- Solar frac: Fracción solar ( $E_{\text{usada}} / E_{\text{carga}}$ )
- E\_load: Necesidad de energía del usuario (Carga)

El sistema solar aislado con banco de baterías presentó un rendimiento operativo óptimo, alcanzando una autosuficiencia energética del 100% durante todo el año sin registrar un solo corte de suministro. El sistema genera anualmente 44,810 kWh con una eficiencia de conversión del 96.7%, cubriendo completamente tu consumo de 27,594 kWh y manteniendo una fracción solar perfecta (Sol Frac = 1.0) en todos los meses.

La configuración actual demuestra un dimensionamiento estratégico robusto con un factor de sobredimensionamiento de 1.62, lo que garantiza energía disponible las 24 horas durante los 365 días del año, incluso en las peores condiciones climáticas. El banco de baterías funciona de manera óptima, entregando exactamente la energía demandada ( $E_{\text{Load}} = E_{\text{User}}$ ) sin déficits, mientras que la variación estacional se mantiene controlada entre 3,468 kWh en agosto y 4,168 kWh en marzo.

El análisis revela que el sistema genera un excedente significativo de 17,216 kWh anuales, de los cuales 15,458 kWh (34.5% de la producción total) se desperdician cuando las baterías están completamente cargadas y el consumo instantáneo está satisfecho. Esta energía no utilizada, aunque representa una aparente ineficiencia, es en realidad el precio de mantener una confiabilidad perfecta en un sistema aislado, proporcionando un margen de seguridad que elimina completamente el riesgo de quedarnos sin energía.

La distribución estacional del desperdicio muestra máximos en marzo (1,677 kWh) durante la alta producción de verano y mínimos en agosto (1,005 kWh) en el período de menor generación solar. Este excedente representa una valiosa oportunidad para expandir el

consumo energético en un 62% adicional, implementar sistemas de calentamiento de agua, o equipos de climatización adicionales sin comprometer la estabilidad del sistema. En términos económicos, logras independencia energética total eliminando gastos recurrentes de electricidad externa, aunque el potencial de optimización radica en monetizar o aprovechar productivamente ese 35% de energía excedente para maximizar el retorno de tu inversión.

#### 4.4.1.1. Cálculo De Costes Del Sistema:

Tomando en cuenta distribuidores locales y externos para costos capitales obtenemos la siguiente data

**Tabla 7**

*Cuadro de costos de instalación*

Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Coste Total (USD)
Panel Solar Bifacial 615W TOPCon N-Type Ja Solar	Piezas	40	120	4,800.00
Estructura para 8 Paneles de 30-45mm Coplanar	Global	5	260	1,300.00
Growatt Growatt - MID22KTL3-X Inversor 22 KW	Piezas	1	3,500	3,500.00
Regulador SmartSolar MPPT RS 450V 200A Victron	Piezas	2	2,425.62	4,851.24
Banco de BateríaS Gel 2V 3523Ah (48 UNIDADES)	Banco	1	34,556.82	34,556.82
Cableado eléctrico (CC y CA)	Global	1	1,000.00	1,000.00
Protecciones y accesorios eléctricos	Global	1	1,200.00	1,200.00
Montaje e instalación	Global	1	2,500.00	2,500.00
Contingencia (zona de difícil acceso 10%)	Global			5,370.81
<b>TOTAL ESTIMADO</b>				<b>59,078.87</b>

**Tabla 8***Costos Operativos del sistema*

Mantenimiento			
Limpieza	US\$/Año	0.30%	165.69
Reparaciones	US\$/Año	0.40%	220.92
Fondo de seguridad	US\$/Año	0.20%	110.46
Provisión para el reemplazo	US\$/Año	0.20%	110.46
<b>TOTAL</b>			<b>649.87</b>

Con estos valores podemos determinar el coste nivelado de la energía presente en la instalación. El cual representa la sumatoria de todos los costos capitales y operativos sobre la producción de energía en lo largo del periodo de vida del proyecto (representando el costo unitario de energía que lleva el valor presente a 0)

**Tabla 9***Estimación del Costo Nivelado Energético*

Tasa	10%	
Energía aprovechable	236953.73	kWh
Costo inicial	59078.87	US\$
Opex (todos los años)	6085	US\$
Tiempo	20	años
<b>LCOE</b>	<b>0.28</b>	<b>\$/kWh</b>
	<b>275.01</b>	<b>\$/MWh</b>

#### 4.4.1.2. Cálculo de ahorro Ambiental:

Para poder determinar el ahorro equivalente en Toneladas de CO<sub>2</sub> dejadas de emitir por nuestro sistema fotovoltaico, tomaremos como referencia la data brindada por IGES (Institute for Global Environmental Strategies), la cual muestra los factor de emisiones de red más actualizada a nivel mundial, en el caso de Perú usaremos el CM ( Combined Margin ) el cual representa el promedio ponderado de las plantas operando marginalmente y las plantas más

recientes construidas, brindándonos un factor de emisión de red equivalente a 0.389 Ton Co<sub>2</sub> / MWh , con este parámetro multiplicando nuestra energía consumida por el sistema fotovoltaico anualmente.

**Tabla 10**

*Toneladas de Dióxido de Carbono dejados de emitir por mes*

Año	Energía solar Producida (kWh)	Ton Co <sub>2</sub> Dejadas de Emitir
1	27594.00	10.734
2	27456.72	10.681
3	27320.12	10.628
4	27184.19	10.575
5	27048.95	10.522
6	26914.38	10.470
7	26780.48	10.418
8	26647.24	10.366
9	26514.67	10.314
10	26382.75	10.263
11	26251.50	10.212
12	26120.89	10.161
13	25990.94	10.110
14	25861.63	10.060
15	25732.96	10.010
16	25604.94	9.960
17	25477.55	9.911
18	25350.80	9.861
19	25224.67	9.812
20	25099.18	9.764
<b>TOTAL</b>	<b>236953.73</b>	<b>97.346</b>

Esto es un excelente indicador ya que al emplear este sistema fotovoltaico se obtuvo en el primer año 10.734 Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes dejadas de emitir y evaluando en el tiempo de duración del proyecto se estiman un total de 97.346 Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes dejadas de emitir. Esto tomando en cuenta el dato brindado por la EPA (Environmental Protection Agency) nos menciona que 1 galón de diesel al ser quemado emite 10180 gramos

de CO<sub>2</sub>, esto comparándolo con las toneladas que dejamos de emitir en toda la vida del proyecto representa un total de 9562.47 galones de Diesel que no fueron quemados

#### **4.4.2. Sistema Conectado A Red (On Grid)**

La siguiente tabla presenta la proyección de consumos y beneficios de un sistema fotovoltaico conectado a red (On Grid) a lo largo de 20 años de operación. Se muestra el consumo anual de energía proveniente de la red eléctrica (E\_Cons. Red), así como el costo facturado por dicho consumo. De manera complementaria, se detalla la energía generada y utilizada por el usuario (E\_Usuario), junto con el valor económico equivalente de esta energía en términos de ahorro en la facturación eléctrica.

**Tabla 11**

*Proyección de consumo y generación del sistema fotovoltaico On Grid (20 años)*

Año	E_Cons. Red (kWh)	Precio facturado	E_Usuario (kWh)	Precio facturado (E_User)
1	1467.00	645.80	27597.00	20597.90
2	1474.34	648.30	27734.99	20644.40
3	1481.71	650.80	27873.66	20691.20
4	1489.12	653.30	28013.03	20738.20
5	1496.56	655.80	28153.09	20785.40
6	1504.04	658.30	28293.86	20832.80
7	1511.56	660.90	28435.33	20880.50
8	1519.12	663.40	28577.50	20928.50
9	1526.72	666.00	28720.39	20976.60
10	1534.35	668.50	28863.99	21025.10
11	1542.02	671.10	29008.31	21073.70
12	1549.73	673.70	29153.36	21122.60
13	1557.48	676.30	29299.12	21171.70
14	1565.27	679.00	29445.62	21221.10
15	1573.10	681.60	29592.85	21270.80
16	1580.96	684.30	29740.81	21320.70
17	1588.87	686.90	29889.51	21370.80
18	1596.81	689.60	30038.96	21421.20
19	1604.79	692.30	30189.16	21471.80
20	1612.82	695.00	30340.10	21522.70
<b>TOTAL</b>			267063.65	421067.70

La proyección mostrada en la tabla se ha realizado considerando la tarifa eléctrica vigente en la zona, correspondiente a la modalidad MT3. Bajo este esquema tarifario, se calculan tanto los costos de la energía consumida desde la red como el valor económico de la energía generada y utilizada por el usuario. Esto permite reflejar con mayor precisión el impacto financiero del sistema fotovoltaico conectado a red, evidenciando los ahorros obtenidos en la facturación eléctrica y la reducción de la dependencia de la red a lo largo de los 20 años de análisis.

**Tabla 12***Análisis económico del sistema fotovoltaico conectado a red vs tarifa convencional*

<b>Año</b>	<b>Sistema On Grid</b>	<b>Tarifa Convencional</b>	<b>Flujo de Caja</b>	<b>Retorno De Inversión</b>
0	-S/ 218,591.80		-S/ 218,591.80	-S/ 218,591.80
1	-S/ 3,050.31	-S/ 20,597.90	S/ 17,547.59	-S/ 201,044.21
2	-S/ 3,052.81	-S/ 20,644.40	S/ 17,591.59	-S/ 183,452.62
3	-S/ 3,055.31	-S/ 20,691.20	S/ 17,635.89	-S/ 165,816.73
4	-S/ 3,057.81	-S/ 20,738.20	S/ 17,680.39	-S/ 148,136.34
5	-S/ 3,060.31	-S/ 20,785.40	S/ 17,725.09	-S/ 130,411.25
6	-S/ 3,062.81	-S/ 20,832.80	S/ 17,769.99	-S/ 112,641.26
7	-S/ 3,065.41	-S/ 20,880.50	S/ 17,815.09	-S/ 94,826.17
8	-S/ 3,067.91	-S/ 20,928.50	S/ 17,860.59	-S/ 76,965.58
9	-S/ 3,070.51	-S/ 20,976.60	S/ 17,906.09	-S/ 59,059.49
10	-S/ 37,629.83	-S/ 21,025.10	-S/ 16,604.73	-S/ 75,664.22
11	-S/ 3,075.61	-S/ 21,073.70	S/ 17,998.09	-S/ 57,666.13
12	-S/ 3,078.21	-S/ 21,122.60	S/ 18,044.39	-S/ 39,621.74
13	-S/ 3,080.81	-S/ 21,171.70	S/ 18,090.89	-S/ 21,530.85
14	-S/ 3,083.51	-S/ 21,221.10	S/ 18,137.59	-S/ 3,393.26
15	-S/ 3,086.11	-S/ 21,270.80	S/ 18,184.69	S/ 14,791.43
16	-S/ 3,088.81	-S/ 21,320.70	S/ 18,231.89	S/ 33,023.32
17	-S/ 3,091.41	-S/ 21,370.80	S/ 18,279.39	S/ 51,302.71
18	-S/ 3,094.11	-S/ 21,421.20	S/ 18,327.09	S/ 69,629.80
19	-S/ 3,096.81	-S/ 21,471.80	S/ 18,374.99	S/ 88,004.79
20	-S/ 3,099.51	-S/ 21,522.70	S/ 18,423.19	S/ 106,427.98
VAN	-S/ 264,722.31	-S/ 205,531.26		
		VNA =	-S/ 59,191.05	
		TIR=	4%	

La evaluación económica del sistema fotovoltaico conectado a red muestra que, durante los primeros años, los flujos de caja son negativos debido al alto costo inicial de inversión (-S/ 218,591.80). Sin embargo, conforme avanzan los años, se evidencia un incremento progresivo en los ahorros generados por el sistema en comparación con la tarifa convencional, lo que permite reducir gradualmente el déficit acumulado hasta alcanzar valores positivos a partir del año 15, momento en el que se logra el punto de retorno de la inversión.

En cuanto a los indicadores financieros, el proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) negativo de -S/ 59,191.05, lo que indica que, bajo la tasa de descuento empleada, los beneficios actualizados no logran cubrir completamente el costo inicial de inversión. Este resultado refleja una rentabilidad financiera limitada, ya que el flujo descontado de los ingresos no compensa el desembolso inicial dentro del horizonte de 20 años.

Por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza un valor del 4%, lo que representa una rentabilidad moderada y constante en el tiempo. No obstante, este porcentaje se encuentra por debajo de una tasa mínima atractiva de referencia (por ejemplo, entre 8% y 10%), lo que sugiere que el proyecto no resulta financieramente viable si se evalúa estrictamente bajo criterios económicos tradicionales.

A pesar de ello, desde una perspectiva técnica y ambiental, la implementación del sistema fotovoltaico ofrece beneficios indirectos significativos, como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la disminución de la dependencia energética y el aprovechamiento de recursos renovables. Estos aspectos contribuyen a una sostenibilidad a largo plazo, reforzando el valor social y ambiental del proyecto, aunque su rentabilidad económica no sea completamente favorable.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones:

Se determinó que el sistema de alumbrado perimetral del Hospital III EsSalud Chimbote cuenta con 30 postes de iluminación distribuidos en configuraciones monopastoral, bipastoral y tripastoral, con un total de 42 luminarias tipo Econ-150W. El sistema presenta una potencia instalada total de 6,300 W (6.3 kW) y un consumo energético diario de 75.6 kWh, operando durante 12 horas nocturnas (18:00 a 06:00 horas). Esta demanda energética constituye la línea base fundamental para el dimensionamiento de cualquier sistema fotovoltaico alternativo.

La caracterización del recurso solar en la zona de estudio mediante datos del sistema PVGIS reveló condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Se registró una irradiación solar promedio anual de 6.18 kWh/m<sup>2</sup>/día, con valores que oscilan entre 5.33 kWh/m<sup>2</sup>/día en junio (valor mínimo) y 6.91 kWh/m<sup>2</sup>/día en noviembre. La disponibilidad media del recurso solar alcanza 96.21%, superando el umbral mínimo requerido del 90%, lo que confirma la viabilidad técnica del proyecto desde el punto de vista del recurso energético disponible.

Para satisfacer la demanda energética identificada, se dimensionó un sistema fotovoltaico con 40 paneles solares bifaciales JA Solar TOP Con N-Type de 615 W cada uno, organizados en 5 strings de 8 módulos en serie, resultando en una potencia pico corregida por temperatura de 22,816.48 W. El sistema aislado requiere un banco de baterías de gel OPzV de 24 unidades de 2V/2700Ah conectadas en serie para proporcionar 48V del sistema, junto con reguladores MPPT SmartSolar RS 450V 200A. Esta configuración garantiza el suministro continuo de energía durante períodos de baja radiación solar con 3 días de autonomía.

La evaluación comparativa de las configuraciones estudiadas demostró que el sistema aislado con almacenamiento presenta superioridad técnica absoluta, alcanzando una fracción solar del 100% y garantizando suministro continuo sin interrupciones durante todo el año. Técnicamente genera 44,810 kWh anuales con una eficiencia del 96.7%, cubriendo completamente el consumo de 27,594 kWh. Sin embargo, económicoamente representa una inversión inicial de USD 59,078.87 con un LCOE de 0.28 \$/kWh. En contraste, el sistema conectado a red presenta menor inversión inicial, pero indicadores económicos negativos (VAN: -S/ 59,191.05, TIR: 4%), lo que lo hace financieramente inviable. Por tanto, la configuración más efectiva desde el punto de vista operativo y de confiabilidad es el sistema aislado con almacenamiento, aunque requiere mayor inversión inicial.

### **5.2. Recomendaciones:**

Optimizar el aprovechamiento del excedente energético de 15,458 kWh anuales (la cual representa la carga no usada) que actualmente se desperdicia en el sistema aislado. Se recomienda evaluar la expansión del sistema de iluminación para incluir áreas interiores del hospital, implementar sistemas de calentamiento de agua solar o integrar equipos adicionales que aprovechen esta energía disponible

Documentar y certificar los beneficios ambientales del proyecto, que incluyen la reducción de 97.346 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente durante 20 años de operación, equivalente a evitar la quema de 9,562.47 galones de Diesel. Esta información puede ser utilizada para acceder a mercados de carbono o programas de responsabilidad social empresarial.

## **VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- Alusinsolar. (2023). Estructuras para cubiertas inclinadas.  
<https://alusinsolar.com/estructuras-inclinadas>
- Cambio Energético. (2024). Estructuras monoposte para paneles solares.  
<https://cambioenergetico.com/estructuras-monoposte>
- Chen, Y., Zhang, L., & Li, W. (2024). High-efficiency perovskite-silicon tandem solar cells: Progress and challenges. *Advanced Energy Materials*, 14(3), 2102567.  
<https://doi.org/10.1002/aenm.202102567>
- Damia Solar. (2024). Tipos de inversores solares: cadena, micro inversores e híbridos.  
<https://damiasolar.com/tipos-inversores>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- European Commission. (2018). Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*.
- Fraunhofer ISE. (2022). Current and future cost of photovoltaics. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
- Grupords. (2023). Impacto ambiental de parques solares en ecosistemas.  
<https://grupords.com/impacto-parques-solares>
- Hernández, A., Pérez, J., & Gómez, L. (2023). Factores que afectan el rendimiento de sistemas fotovoltaicos. *Revista Energía Renovable*, 12(4), 45–60.

- IEC. (2023). IEC 61215:2021 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2023). IEC 61730:2023 – Photovoltaic (PV) module safety qualification. International Electrotechnical Commission.
- IEEE. (2024). IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003) – IEEE standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces. IEEE.
- IEA. (2022). Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027. International Energy Agency.
- IRENA. (2023). Renewable power generation costs in 2022. International Renewable Energy Agency.
- Li, J., Gao, F., & Liu, Y. (2024). Organic tandem solar cells: Design strategies and device architectures. *Journal of Materials Chemistry A*, 12(11), 5473–5493. <https://doi.org/10.1039/D4TA01123A>
- Lin, Y., Bai, Y., & Fang, Z. (2020). Perovskite solar cells: Progress and challenges. *Nature Reviews Materials*, 5(4), 277–295. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0197-7>
- Liu, B., Zhang, X., & Sun, Y. (2023). Radiación solar y su impacto en la generación fotovoltaica. *Solar Energy Journal*, 200, 112–125.

- Martínez, R., Silva, A., & Torres, F. (2024). Design and performance of bifacial photovoltaic modules: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 258, 112874. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112874>
- Méndez, R. (2016). Análisis financiero de proyectos de energía renovable. Editorial Universitaria.
- Ministerio de Energía y Minas. (2025). Código Nacional de Electricidad – Actualización 2025. <https://minem.gob.pe/cne>
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2024). Radiación solar difusa y su modelado en climas tropicales. *Renewable Energy*, 210, 300–315.
- Naturgy. (2025). Guía de reguladores MPPT para sistemas fotovoltaicos. <https://naturgy.com/reguladores-mppt>
- NREL. (2023). Best research-cell efficiencies chart. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- OSINERGMIN. (2024). Normas Técnicas Peruanas para sistemas fotovoltaicos – NTP-IEC adaptadas. <https://osinergmin.gob.pe/normas-fv>
- Rivera-Martínez, M. A. (2017). Análisis de sensibilidad de sistemas fotovoltaicos. SciELO México. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432017000300293](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000300293)
- Rojas, M., López, P., & García, A. (2021). Evaluación económica de proyectos fotovoltaicos en Perú. *Revista de Ingeniería Energética*, 8(2), 100–115.

- Rodríguez, J., et al. (2023). Análisis cualitativo y dimensionamiento del impacto ambiental del uso de la energía fotovoltaica: 3 casos de estudio en el Perú. TECNIA, 33(1), 34–41.
- SFE Solar. (2025). Componentes esenciales de un sistema fotovoltaico.  
<https://sfesolar.com/componentes>
- Solarama. (2025). Estructuras para cubiertas planas con contrapesos.  
<https://solarama.com/estructuras-planas>
- TECNIA. (2023). Impacto ambiental de sistemas fotovoltaicos en Perú. TECNIA, 33(2), 50–65.
- Veliz, R., García, M., & Molina, J. (2012). Cálculo del LCOE en proyectos solares. Revista Latinoamericana de Energía, 5(1), 20–35.
- Review Energy. (2025). Ley N° 28832: Promoción de energías renovables en Perú.  
<https://reviewenergy.com/ley-28832>

## VII. ANEXOS

### Anexo 1:

#### *Autorización para trabajo de Investigación en EsSalud*



Firmado digitalmente por  
TORRES SOLANO Carol Giovanna FAU  
2031325750 hard  
Motivo: Soy el autor del documento.  
Fecha: 21.10.2025 15:11:27-0500

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

**CARTA N° 000135-RANC - RAAN-ESSALUD-2025**  
**Chimbote, 21 de Octubre del 2025**

Señor.

**ACOSTA BUSTOS ALEJANDRO MIGUEL**  
**Presente. -**

#### **ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA EJECUCIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Expediente:** 0068520250000195.

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, en respuesta a vuestra solicitud señalado en el rubro del asunto se le AUTORIZA, el desarrollo del proyecto de Investigación titulado: "**EVALUACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL ALUMBRADO PERIMETRAL DEL HOSPITAL III ESSALUD CHIMBOTE 2025**", en la Red Asistencial Ancash-EsSalud.

Se le otorga las facilidades del caso, a fin que pueda aplicar su investigación y recopilar los datos necesarios que le permita concluir con éxito su trabajo de investigación. Asimismo, deberá en todos los procesos salvaguardar la integridad y seguridad de nuestros usuarios, respetando nuestras normas institucionales.

Se le recuerda que, la información recabada para dicho estudio es eminentemente con fines académicos, los mismos que serán de absoluta confidencialidad para el grupo en estudio; los resultados deberán ser presentados a la institución al finalizar la investigación, para los fines que se estime pertinente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

*Firmado digitalmente por*  
**CAROL GIOVANNA TORRES SOLANO**  
Gerente de Red Asistencial Ancash  
**ESSALUD**

CGTS



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Seguro Social de Salud, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgdredes.essalud.gob.pe/validadorDocumental> e ingresando la siguiente clave: **HXFU3GI**.

Ir. Domingo Cueto N.º 120  
www.gob.pe/essalud Jesús María  
Lima 11 – Perú  
Tel.: 265 – 6000 / 265 - 7000

## Anexo 2:

### Parámetros Generales de Sistema con almacenamiento

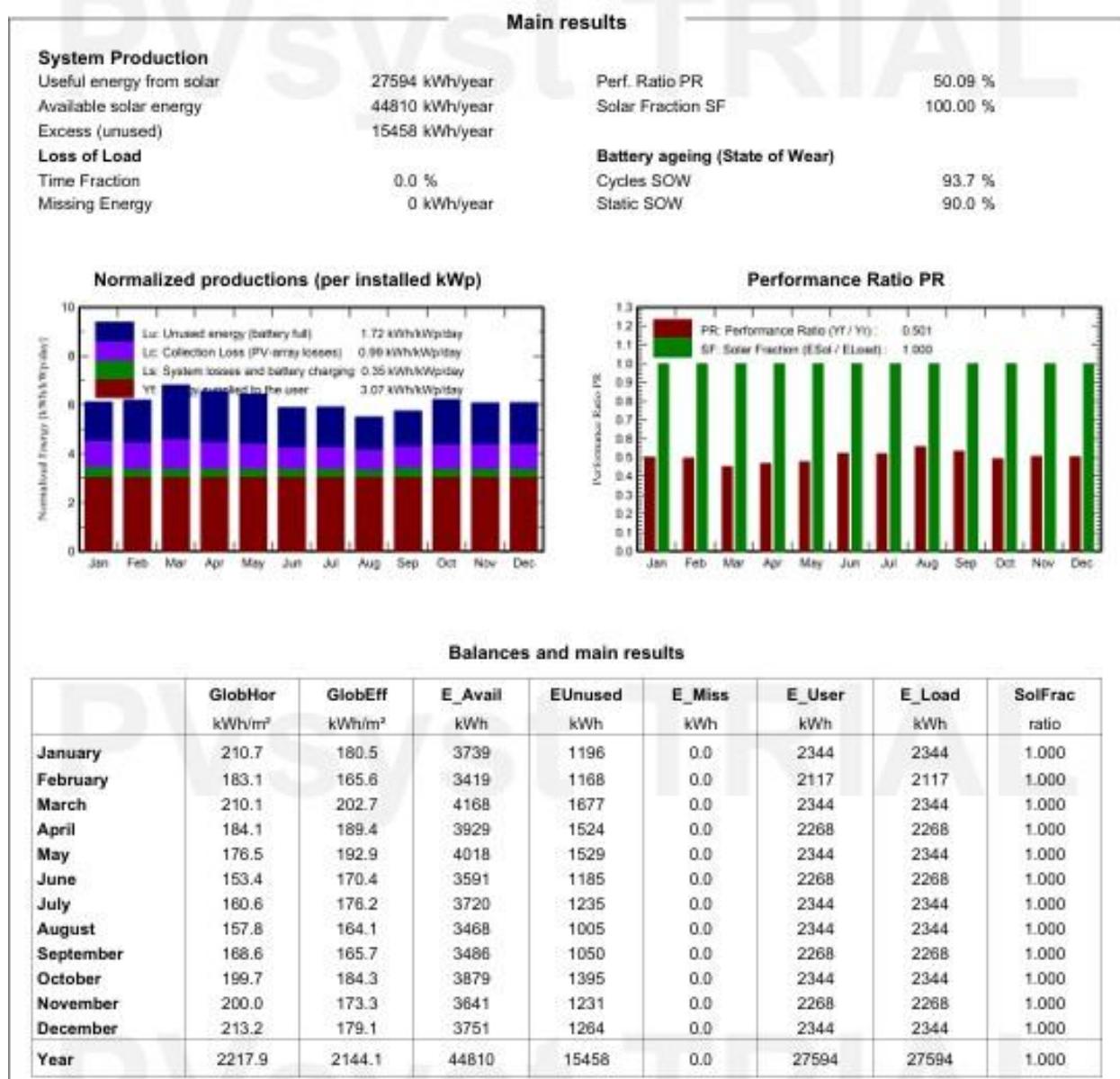
General parameters													
Standalone system			Standalone system with batteries								User's needs		
<b>Orientation #1</b>			<b>Models used</b>				<b>User's needs</b>						
Fixed plane	Transposition	Perez	Daily profile				Constant over the year	Average	76 kWh/Day				
Tilt/Azimuth	16.1 / 0 °		Diffuse	Perez, Meteonorm	Circumsolar	separate							
Hourly load	0 h 6.30	1 h 6.30	2 h 6.30	3 h 6.30	4 h 6.30	5 h 6.30	6 h 0.00	7 h 0.00	8 h 0.00	9 h 0.00	10 h 0.00	11 h 0.00	kW
	12 h 0.00	13 h 0.00	14 h 0.00	15 h 0.00	16 h 0.00	17 h 0.00	18 h 6.30	19 h 6.30	20 h 6.30	21 h 6.30	22 h 6.30	23 h 6.30	kW

PV Array Characteristics													
PV module							Controller						
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic				Model	SmartSolar MPPT RS 450/200					
Model	JAM66-D45-615-LB	Nb. units	2 units				Technology	MPPT converter					
(Original PVsyst database)		Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.				Converter						
Unit Nom. Power	615 Wp	Maxi and EURO efficiencies	96.0 / 95.0 %				Battery Management control						
Number of PV modules	40 units	Threshold commands as	SOC calculation				Charging	SOC = 0.90 / 0.75					
Nominal (STC)	24.60 kWp	approx.	54.0 / 50.5 V				Discharging	SOC = 0.20 / 0.45					
Modules	5 string x 8 In series	approx.	47.3 / 49.2 V										
At operating cond. (50°C)													
Pmpp	22.82 kWp												
U mpp	297 V												
I mpp	77 A												
Battery													
Manufacturer	Generic												
Model	20 OPzV 2500												
Technology	Lead-acid, sealed, Gel												
Nb. of units	2 in parallel x 24 in series												
Discharging min. SOC	20.0 %												
Stored energy	209.9 kWh												
Battery Pack Characteristics													
Voltage	48 V												
Nominal Capacity	5280 Ah (C10)												
Temperature	Fixed 20 °C												
Total PV power													
Nominal (STC)	25 kWp												
Total	40 modules												
Module area	108 m²												
Cell area	101 m²												

### Anexo 3:

#### *Resultados de sistema con almacenamiento*



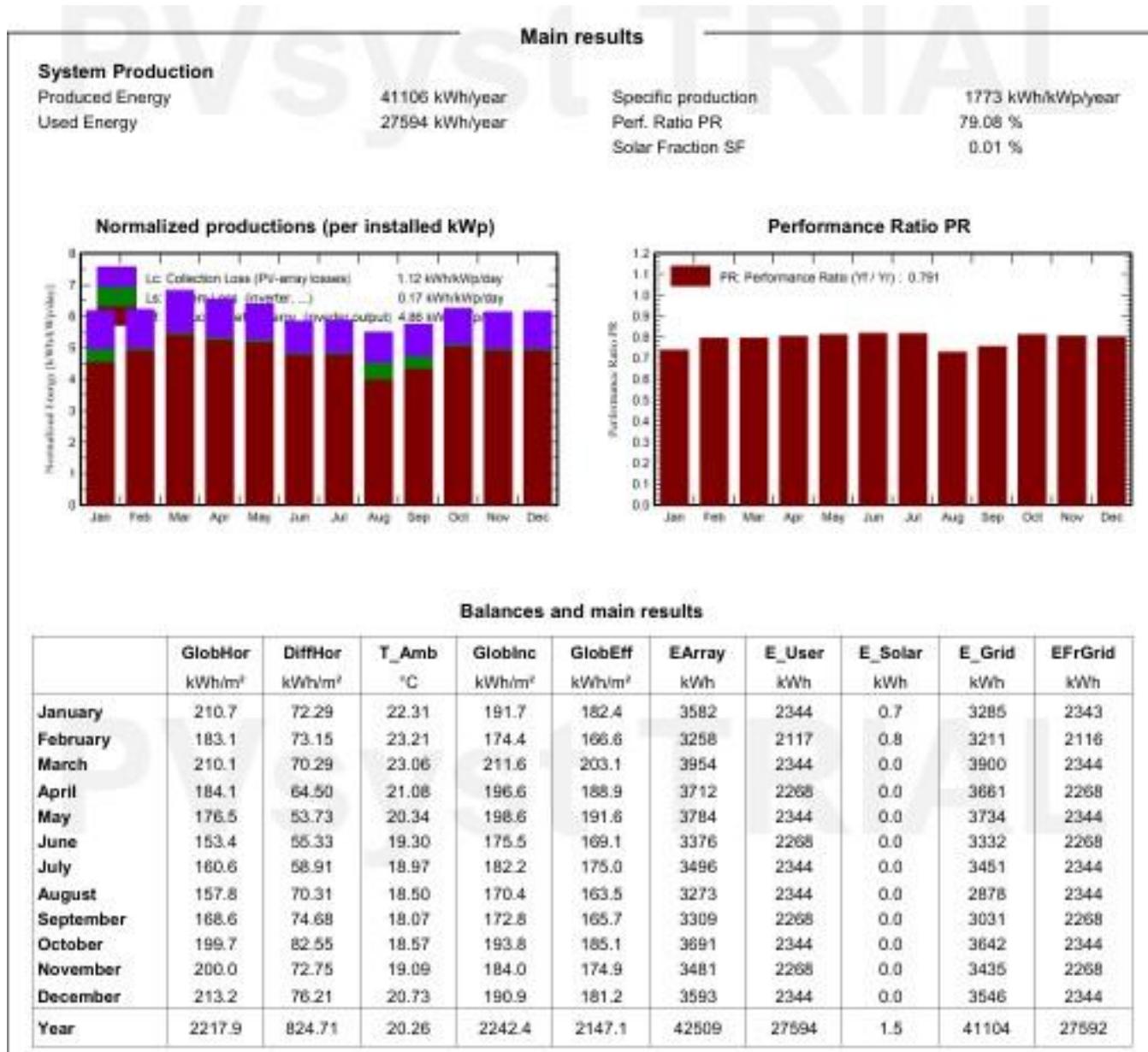
## Anexo 4:

### Parámetros Generales de sistema on-grid

PV Array Characteristics		
PV module	Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer
Model	JAM66-D45-610-LB (Original PVsyst database)	Model
Unit Nom. Power	610 Wp	Unit Nom. Power
Number of PV modules	38 units	Number of inverters
Nominal (STC)	23.18 kWp	Total power
Modules	2 string x 19 In series	Operating voltage
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)
Pmpp	21.51 kWp	1.05
U mpp	701 V	No power sharing between MPPTs
I mpp	31 A	
<b>Total PV power</b>		
Nominal (STC)	23 kWp	Total inverter power
Total	38 modules	Total power
Module area	103 m <sup>2</sup>	Number of inverters
Cell area	95.9 m <sup>2</sup>	Pnom ratio
<b>Array losses</b>		
<b>Array Soiling Losses</b>		
Loss Fraction	1.5 %	<b>Thermal Loss factor</b>
Module temperature according to irradiance		
Uc (const)		
20.0 W/m <sup>2</sup> K		
Uv (wind)		
0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		
<b>Serie Diode Loss</b>		
Voltage drop	0.7 V	<b>LID - Light Induced Degradation</b>
Loss Fraction	0.1 % at STC	Loss Fraction
2.0 %		
<b>Module mismatch losses</b>		
Loss Fraction	2.00 % at MPP	<b>Module average degradation</b>
Year no		
10		
Loss factor		
0.4 %/year		
Imp / Vmp contributions		
80% / 20%		
<b>Mismatch due to degradation</b>		
Imp RMS dispersion		
0.4 %/year		
Vmp RMS dispersion		
0.4 %/year		
<b>DC wiring losses</b>		
Global array res.	374 mΩ	
Loss Fraction	1.50 % at STC	
<b>Module Quality Loss</b>		
Loss Fraction	-0.75 %	

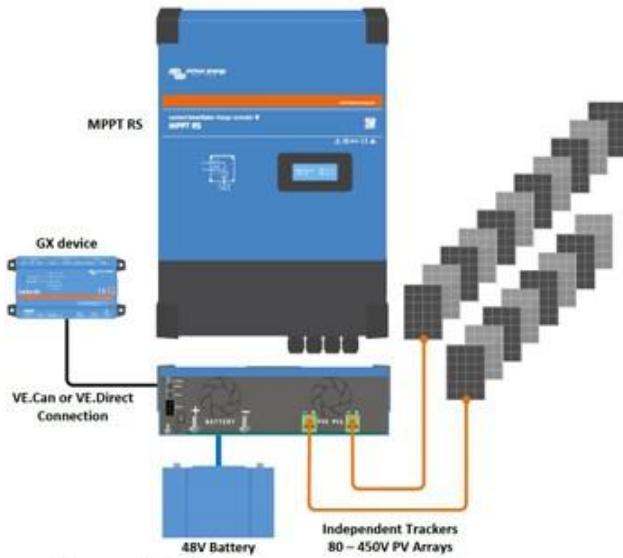
## Anexo 5:

### Resultados de sistema on-grid



## Anexo 6:

### Ficha Técnica de controlador de Carga Victron:



#### Diagrama de ejemplo de sistema

El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

#### Portal VRM

Cuando el MPPT RS esté conectado a un dispositivo GX con conexión a Internet, o al GlobalLink 520 con conectividad 4G integrada, podrá acceder a nuestro sitio web gratuito de seguimiento a distancia (VRM). Le mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.

MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
CARGADOR		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 62 V	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
SOLAR		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V <sup>(1)</sup>	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV <sup>(2)</sup>	20 A por rastreador	
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador <sup>(3)</sup>	7200 Wp (450 V x 20 A) <sup>(3)</sup>	
Nivel de fallo del aislamiento FV <sup>(4)</sup>	100 kΩ	
GENERAL		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Si, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable <sup>(5)</sup>	Si	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretensión	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VE.Can y Bluetooth <sup>(6)</sup>	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Si, 2	
On/Off remoto	Si	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95%	

## Anexo 7:

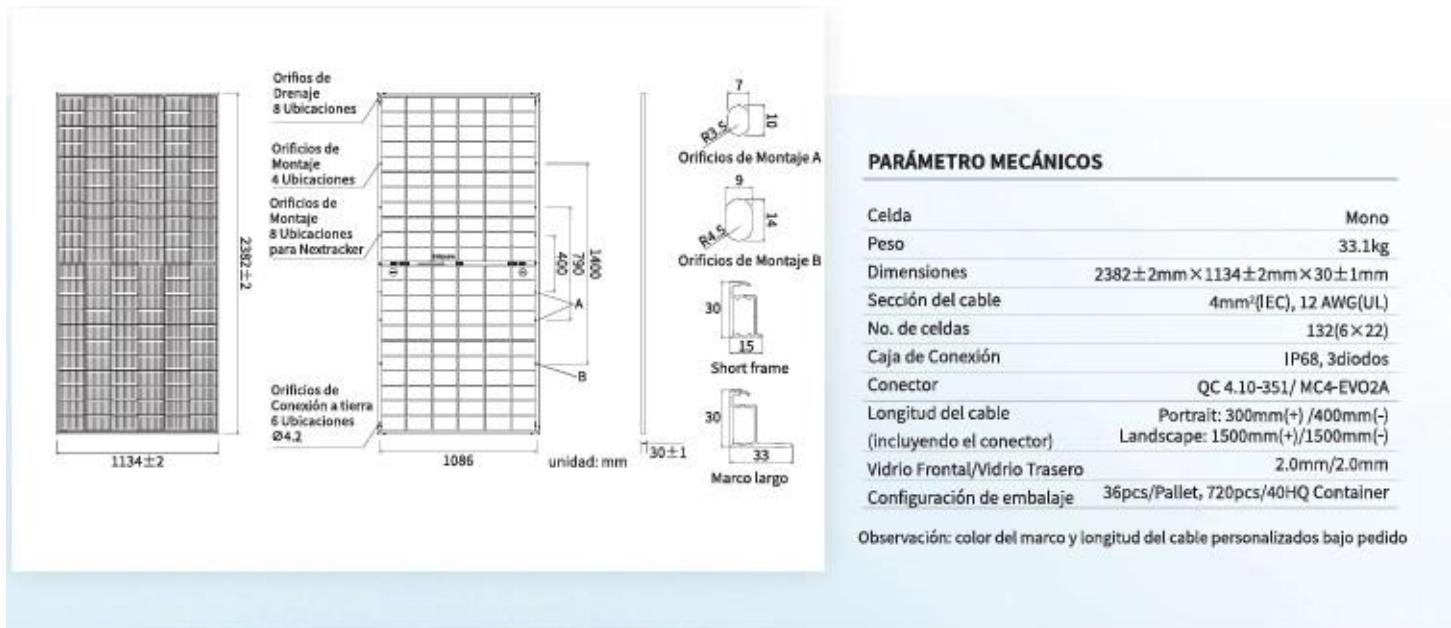
### Ficha Técnica de Inversor Solar Growatt



Datasheet	MID 15KTL3-X	MID 17KTL3-X	MID 20KTL3-X	MID 22KTL3-X	MID 25KTL3-X
<b>Input data (DC)</b>					
Max. recommended PV power (for module STC)	22500W	25500W	30000W	33000W	37500W
Max. DC voltage			1100V		
Start Voltage			250V		
Nominal voltage			580V		
MPPT voltage range			160V-1000V		
No. of MPP trackers			2		
No. of PV strings per MPP tracker	2	2	2	2	2/3
Max. input current per MPPT tracker	25A	25A	25A	25A	25A/37.5A
Max. short circuit current per MPPT	32A	32A	32A	32A	32A/48A
<b>Output data (AC)</b>					
Rated AC output power	15000W	17000W	20000W	22000W	25000W
Max. AC apparent power	16600VA	18800VA	22000VA	24400VA	27700VA
Nominal AC voltage (range*)			220V/380V, 230V/400V (340-440V)		
AC grid frequency (range*)			50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)		
Max. output current	24.2A	27.4A	31.9A	35.5A	40.2A
Adjustable power factor			0.8 leading...0.8 lagging		
THDI			<3%		
AC grid connection type			3W+N+PE		
<b>Efficiency</b>					
Max. efficiency			98.75%		
European efficiency			98.6%		
MPPT efficiency			99.9%		

## Anexo 8:

### Ficha Técnica Panel Solar

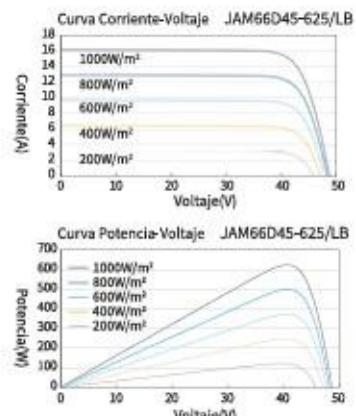


### PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN STC

TIPO	JAM66D45	JAM66D45	JAM66D45	JAM66D45	JAM66D45	JAM66D45
Potencia Nominal Máxima (Pmax) [W]	-605/LB	-610/LB	-615/LB	-620/LB	-625/LB	-630/LB
Voltaje de Circuito Abierto (Voc) [V]	47.90	48.10	48.30	48.50	48.70	48.90
Voltaje de Potencia Máxima (Vm)	39.60	39.77	39.96	40.21	40.45	40.70
Corriente de Cortocircuito (Isc) [A]	16.00	16.05	16.10	16.13	16.15	16.18
Corriente de Potencia Máxima (Imp) [A]	15.28	15.34	15.39	15.42	15.45	15.48
Eficiencia del Módulo [%]	22.4	22.6	22.8	23.0	23.1	23.3
Tolerancia de Potencia	0~+3%					
Coeficiente de temperatura de Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.045%/°C					
Coeficiente de temperatura de Voc ( $\beta_{Voc}$ )	-0.250%/°C					
Coeficiente de temperatura de Pmax ( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.290%/°C					
STC	Irradiación 1000W/m <sup>2</sup> , temperatura de la celda 25°C, AM1.5G					

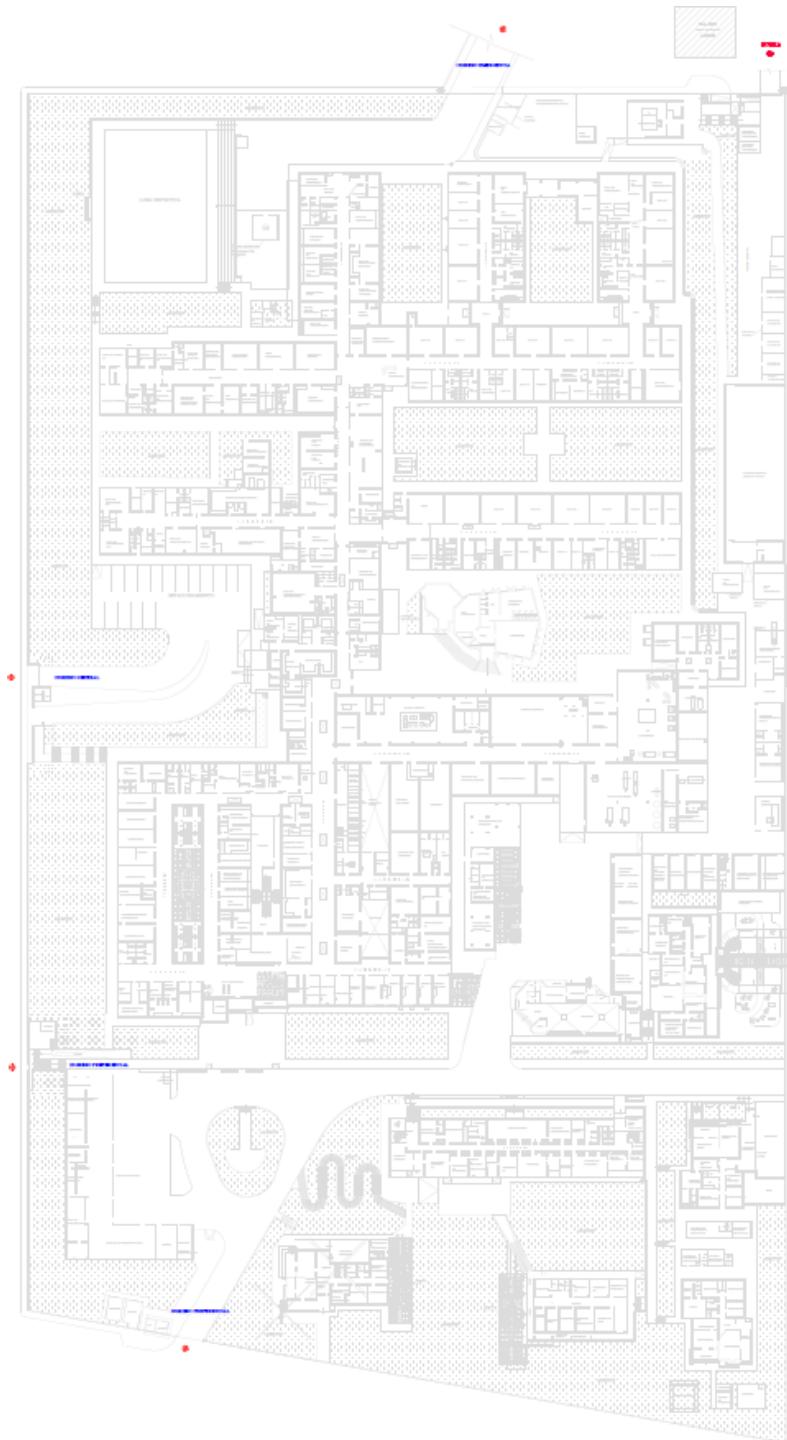
Observación: Los datos eléctricos de este catálogo no se refieren a un solo módulo y no forman parte de la oferta.

### CARACTERÍSTICAS



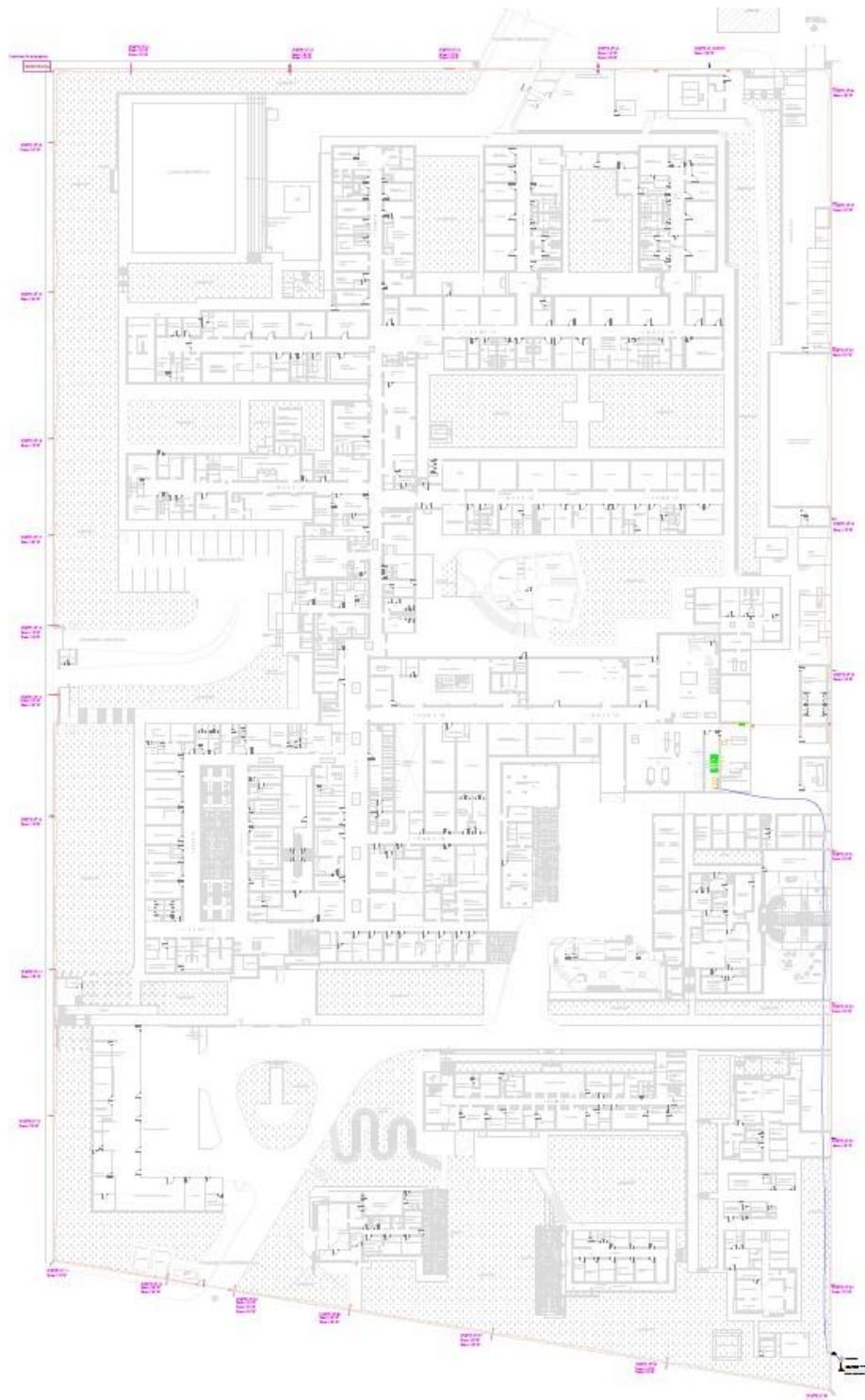
**Anexo 09:**

*Mapa de Ingreso a EsSalud III*



## Anexo 10:

### *Alumbrado Perimetral EsSalud III*



## Anexo 11:

Información adicional de Hospital Essalud III

<b>Indicador</b>	<b>Valor estimado / descriptivo</b>	<b>Fuente</b>	<b>Año / Observaciones</b>
Consultas externas mensuales	≈ 16 000	EsSalud (comunicados institucionales)	cifra promedio reciente
Intervenciones quirúrgicas anuales	~ 550	Comunicados / reportes internos	puede variar año a año
Población asegurada / beneficiaria	~ 213 000–255 000 personas	EsSalud Red Asistencial Ancash	depende de los distritos atendidos
Ubicación	Av. Circunvalación N°119, Urb. Laderas del Norte, Chimbote	Direcciones oficiales EsSalud	Ubicación exacta y accesos deben validarse con planos
Cercado perimetral	Sí, perímetro delimitado	Descripciones institucionales y académicas	Ubicación exacta y accesos deben validarse con planos
Accesos diferenciados	Sí — Peatonal, vehicular, ambulancias, servicios técnicos	Comunicados institucionales / proyectos de modernización	Importante verificar número y dimensiones exactas
Zonas de servicio técnicas	Presencia de áreas para generadores, UPS, mantenimiento y logística de abastecimiento	Estudios y planificación de infraestructura hospitalaria	Ubicación exacta y accesos deben validarse con planos