

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA PARABÓLICA QUE INTEGRE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

Autor(es):

BACH. JULIÑO ALBERCA GARCIA

BACH. KELVIN ALEXANDER RINZA YAJAHUANCA

Asesor:




MTRO. MARCO LUIS PEREZ SILVA

Línea de Investigación: Eficiencia Energética

JAÉN – PERÚ, 2026

Juliño Alberca Garcia Y Kelvin Alexander Rinza Ya...

DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA PARABÓLICA QUE INTEGRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LA EFICIENC...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3544423122

117 páginas

Fecha de entrega

20 abr 2026, 11:40 a.m. GMT-5

27.127 palabras

Fecha de descarga

20 abr 2026, 11:45 a.m. GMT-5


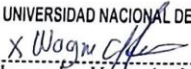
157.111 caracteres

Nombre del archivo

Informe_Final_de_Tesis_Rinza_Yajahuanca_Alberca_Garcia-ET9.pdf

Tamaño del archivo

4.0 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Alexander Hydán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)


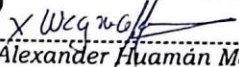
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 29 de abril del 2026, siendo las 17:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon
Secretario : Mg. José Andrés Fernández Mera
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA PARABÓLICA QUE INTEGRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN"**

Presentado por los bachilleres: **Kelvin Alexander Rinza Yajahuanca y Juliño Alberca Garcia**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

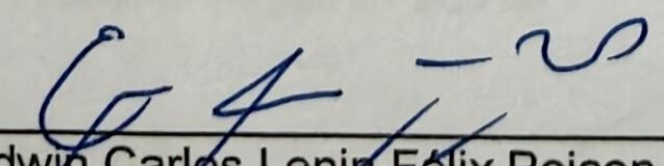
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

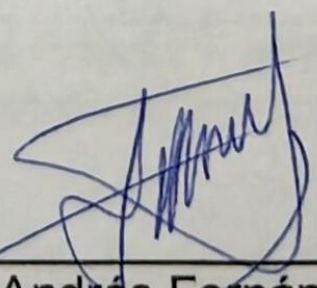
- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

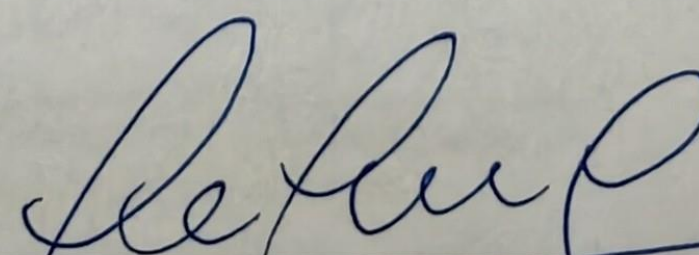
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon
Presidente Jurado Evaluador


Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal Jurado Evaluador

FACULTAD DE INGENIERÍA
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Juliño Alberca Garcia, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 71880814.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

"DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA PARABÓLICA QUE INTEGRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN".

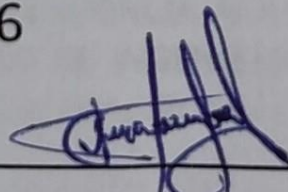
Asesorado por Mg. Marco Luis Pérez Silva.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico y Eléctrico.

8. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 14 de junio del 2026



Juliño Alberca Garcia

DNI: 71880814

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, kelvin Alexander Rinza Yajahuanca, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74555112.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA PARABÓLICA QUE INTEGRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN”.

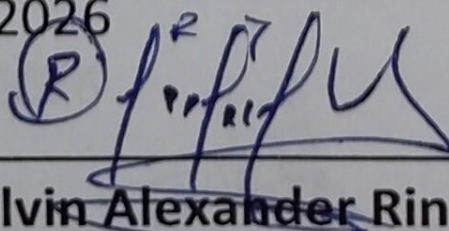
Asesorado por Mg. Marco Luis Pérez Silva.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico y Eléctrico.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 14 de junio del 2026


Kelvin Alexander Rinza Yajahuanca
DNI: 74555112

INDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Antecedentes	12
1.2. Problema	21
1.3. Justificación	24
1.4. Objetivos	27
1.4.1 Objetivo General	27
1.4.2 Objetivos Específicos	27
II. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1. Objeto de estudio	28
2.2. Ubicación del área de estudio	28
2.3. Método, tipo y diseño de la investigación empleada	29
2.3.1. Método de la investigación	29
2.3.2. Tipo de investigación	30
2.3.3. Diseño de la investigación	31
2.4. Bases teóricas	32
2.4.1. Fundamentos de diseño estructural en cubiertas parabólicas	32
2.4.2. Principios de funcionamiento y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos	33
2.4.3. Conceptos modernos de eficiencia energética	33
2.4.4. Normativa técnica y criterios de diseño aplicables	36
2.5. Materiales	36
2.5.1. Materiales para la estructura parabólica	37
2.5.1.1. Acero estructural:	37

2.5.1.2. Aluminio	37
2.5.1.3. Sistema fotovoltaico	38
2.5.1.4. Inversores	39
2.5.1.5. Baterías de almacenamiento	40
2.5.1.6. Cableado y conectores	40
2.6. Metodología	42
2.6.1. O.E. 1: Diseñar la estructura parabólica que integre un sistema fotovoltaico.	46
2.6.1.1. Fase 1: Línea Base Energética	46
2.6.1.2. Fase 2: Levantamiento de datos del área de intervención	49
2.6.1.2. Fase 3: Análisis de irradiación solar y clima local.....	53
2.6.1.3. Fase 4: Modelado geométrico (CAD/CAE).....	60
2.6.1.4. Fase 5: Análisis estructural conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)	62
2.6.1.5. Fase 6: Validación preliminar por simulación del diseño parabólico integrado	64
2.6.2. O.E. 2: Calcular la demanda energética y dimensionar el sistema fotovoltaico... 66	
2.6.2.1. Fase 7: Determinación de la demanda energética prioritaria	66
2.6.2.2. Fase 8: Procesamiento de datos de irradiación y estimación de energía generable	67
2.6.2.3. Fase 9: Selección de componentes fotovoltaicos	67
2.6.2.4. Fase 10: Configuración eléctrica del sistema fotovoltaico integrado.....	69
2.6.2.5. Fase 11: Evaluación de la mejora de eficiencia energética integral.....	70
Cálculo de la intensidad energética del sistema.....	71
Cálculo de la energía por demanda desplazada	72
Energía generada por el sistema fotovoltaico	72
Performance Ratio del sistema fotovoltaico.....	72

Reducción de intensidad energética.....	73
Eficiencia energética global del sistema	73
2.6.3. O.E. 3: Determinar el costo de implementación del diseño parabólico y del sistema fotovoltaico.....	75
2.6.3.1. Fase 12: Identificación y cuantificación de materiales estructurales	75
2.6.3.2. Fase 13: Estimación del costo del sistema fotovoltaico con almacenamiento	77
2.6.3.3. Fase 14: Presupuesto total del sistema integrado	78
III. RESULTADOS.....	80
IV. DISCUSIÓN	85
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	1
ANEXOS	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Área de la Universidad Nacional de Jaén</i>	29
Figura 2: Acero estructural	37
Figura 3: Perfiles de Aluminio.	38
Figura 4: Paneles fotovoltaicos.	38
Figura 5: Inversores.....	39
Figura 6: Batería de Almacenamiento.	40
Figura 7: Cables.	40
Figura 8: Conectores.	41
Figura 9: Diagrama del Procedimiento Metodológico.	45
Figura 10: Proyección en Isométrica de la Losa de la Universidad Nacional de Jaén.....	49
Figura 11: Área Frontal de la Losa de la Universidad Nacional de Jaén	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nro. 1: Línea Base Energética del Sistema Actual.	48
Tabla Nro. 2: Levantamiento de Datos del Área de Intervención.....	52
Tabla Nro. 3: <i>Datos base seleccionados para el análisis climático–solar de Jaén</i>	55
Tabla Nro. 4: Parámetros de Modelado Geométrico CAD/CAE.....	61
Tabla Nro. 5: Cargas de Diseño y Combinaciones RNE	63
Tabla Nro. 6: Criterios de Validación Preliminar del Diseño.....	65
Tabla Nro. 7: Inventario de Demanda Energética Prioritaria	66
Tabla Nro. 8: Selección de Componentes Fotovoltaicos.....	68
Tabla Nro. 9: <i>Configuración Eléctrica del Sistema Fotovoltaico</i>	69
Tabla Nro. 10: <i>Metrado de Materiales Estructurales</i>	76
Tabla Nro. 11: <i>Presupuesto del Sistema Fotovoltaico</i>	77
Tabla Nro. 12: <i>Presupuesto Total del Sistema Integrado</i>	78
Tabla Nro. 13: <i>Balance Energético Anual y Evaluación de la Eficiencia</i>	2
Tabla Nro. 14: Matriz de variables.....	3
Tabla Nro. 15: <i>Matriz de consistencia (versión mejorada y alineada a la línea de Energías Alternativas)</i>	4
Tabla Nro. 16: Perfil climático–solar de Jaén adoptado para el dimensionamiento fotovoltaico. ..	1
Tabla Nro. 17: <i>Leyenda de abreviaturas, siglas y símbolos empleados</i>	1
Tabla Nro. 18: Datos extraídos de la fuente científica local para Jaén (potencial solar con NASA POWER y SENAMHI)	2
Tabla Nro. 19: Datos internos del proyecto utilizados para representar la estacionalidad mensual del recurso.	2
Tabla Nro. 20: Fuentes técnicas oficiales y su aporte específico al análisis	3
Tabla Nro. 21: <i>Matriz metodológica</i>	3
Tabla Nro. 22: <i>Valores Físicos y Termodinámicos conocidos</i>	4

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal el diseño de una estructura parabólica integrada con un sistema fotovoltaico, con el fin de optimizar la eficiencia energética en la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ). La propuesta busca resolver la ineficiencia energética presente debido a la falta de cobertura en la losa, lo que genera una demanda desplazada hacia otros espacios con mayor consumo energético, como el polideportivo techado y las aulas climatizadas. Mediante un enfoque cuantitativo, se realizaron simulaciones y cálculos para determinar la viabilidad del diseño estructural y fotovoltaico, evaluando la radiación solar de la región y las condiciones climáticas. La integración del sistema fotovoltaico permitió reducir la dependencia de la red eléctrica, lo que resultó en una disminución significativa de la intensidad energética del campus. La investigación también evaluó la viabilidad económica del proyecto, obteniendo un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12.8%, con un periodo de retorno de 12.4 años. El análisis estructural y fotovoltaico, desarrollado en fases metodológicas, incluyó el cálculo de la demanda energética actual, el modelado geométrico de la estructura parabólica, y la selección de componentes fotovoltaicos adecuados. Se obtuvo una reducción en las emisiones de CO₂ de aproximadamente 23.9 toneladas anuales, lo que resalta el impacto ambiental positivo de la implementación de esta solución.

Palabras clave: Eficiencia energética, sistema fotovoltaico, estructura parabólica, Universidad Nacional de Jaén, radiación solar, energía renovable, diseño estructural, emisiones de CO₂.

ABSTRACT

This research aims to design a parabolic structure integrated with a photovoltaic system to optimize energy efficiency at the sports court of the National University of Jaén (UNJ). The proposal addresses the energy inefficiency caused by the lack of coverage in the court, which results in displaced energy demand towards other areas, such as the covered sports hall and air-conditioned classrooms. Using a quantitative approach, simulations and calculations were performed to determine the feasibility of the structural and photovoltaic design, assessing the solar radiation and climatic conditions of the region. The integration of the photovoltaic system reduced reliance on the electrical grid, significantly decreasing the campus's energy intensity. The economic feasibility of the project was also assessed, obtaining a positive Net Present Value (NPV) and an Internal Rate of Return (IRR) of 12.8%, with a payback period of 12.4 years. The structural and photovoltaic analysis, carried out in methodological phases, included the calculation of current energy demand, geometric modeling of the parabolic structure, and selection of suitable photovoltaic components. The implementation of this solution resulted in a reduction of approximately 23.9 tons of CO₂ emissions annually, highlighting the positive environmental impact of the project.

Keywords: Energy efficiency, photovoltaic system, parabolic structure, National University of Jaén, solar radiation, renewable energy, structural design, CO₂ emissions.

I. INTRODUCCIÓN

La última década ha evidenciado una transformación paradigmática en la gestión energética mundial, donde la eficiencia energética ha emergido como el pilar fundamental de la transición hacia sistemas energéticos sostenibles. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2024), la mejora en la intensidad energética primaria —indicador clave de eficiencia energética— se ha estancado en aproximadamente 1% anual durante 2024, muy por debajo del objetivo de duplicar el progreso establecido en la COP28 para 2030. Este contexto revela que la transición energética no puede depender exclusivamente de la expansión de fuentes renovables, sino que requiere una optimización radical en el uso final de la energía. En este sentido, el concepto de eficiencia energética —definido como la capacidad de obtener un servicio equivalente con menor consumo de energía— constituye el eje estratégico para reducir la demanda de petróleo en más del 70% y de gas natural en más del 50% para 2030 en escenarios de net zero. La integración de sistemas fotovoltaicos en infraestructuras existentes representa una estrategia de eficiencia energética distribuida, al transformar espacios pasivos en sistemas activos de generación limpia mientras se optimiza la funcionalidad del edificio (IEA, 2024).

La literatura científica reciente distingue claramente entre la investigación en energías renovables —centrada en el suministro— y la investigación en eficiencia energética —orientada a la optimización de la demanda (González-Llanos et al., 2021). En Latinoamérica, particularmente en el Perú, se observa una transición hacia estudios que integran ambos enfoques: no solo la generación distribuida mediante sistemas fotovoltaicos, sino principalmente la reducción de la intensidad energética en edificaciones públicas. Según el Building Codes Assistance Project (2024), Perú se encuentra en proceso de desarrollo de estándares voluntarios de eficiencia energética, aunque aún no cuenta con

códigos de energía para edificaciones (BEC) obligatorios. En este contexto, las investigaciones sobre estructuras parabólicas integradas con sistemas fotovoltaicos adquieren relevancia como estrategias de eficiencia energética integral, al combinar el diseño bioclimático —que reduce demanda térmica— con la generación on-site que disminuye la energía de red requerida. Estudios recientes en edificaciones educativas y deportivas evidencian que la eficiencia energética debe evaluarse mediante indicadores como el Energy Use Intensity (EUI), expresado en kWh/m²/año, que permite comparar el desempeño energético normalizado independientemente de la escala del proyecto.

En Sudamérica, la eficiencia energética en el sector edificaciones presenta disparidades significativas. Mientras economías avanzadas han implementado códigos de eficiencia estrictos, las economías emergentes —incluyendo Perú— muestran progreso modesto pero creciente. Según el IEA (2024), las economías emergentes y en desarrollo han mantenido o incrementado ligeramente sus mejoras en intensidad energética en 2024, en contraste con el estancamiento observado en economías avanzadas. Brasil y Chile, aunque líderes en capacidad fotovoltaica instalada, enfrentan el desafío de integrar estas fuentes renovables con mejoras reales en eficiencia energética. La investigación reciente subraya que la mera expansión de generación renovable no garantiza la eficiencia energética del sistema construido; es necesario adoptar un enfoque de 'primero la eficiencia, luego las renovables' (first efficiency, then renewables), donde la reducción de la demanda energética mediante diseño bioclimático y sistemas eficientes precede al dimensionamiento de la generación solar. Este principio fundamenta la presente investigación, al proponer que la estructura parabólica no solo soporte paneles fotovoltaicos, sino que optimice pasivamente el consumo energético del espacio cubierto.

En el Perú, el sector edificaciones representa una oportunidad crítica para la eficiencia energética. A pesar del alto potencial solar —superior a 900 GW según SENAMHI (2024)— el país carece de códigos de energía para edificaciones (BEC) obligatorios, lo que resulta en una intensidad energética superior a la necesaria en infraestructuras públicas. La revisión de pares de APEC (2020) recomienda específicamente al Perú implementar BECs obligatorios para edificios públicos, establecer estándares mínimos de desempeño energético (MEPS) para componentes constructivos, y desarrollar sistemas de etiquetado energético. En este vacío normativo, las investigaciones aplicadas sobre eficiencia energética en edificaciones universitarias adquieren relevancia estratégica. Jaén, con 5,4 kWh/m²/día de irradiación solar (SENAMHI, 2024), presenta condiciones ideales no solo para generación fotovoltaica, sino para demostrar que la eficiencia energética —entendida como la reducción de kWh/m²/año mediante diseño integrado— es técnicamente viable en contextos de alta radiación. La presente investigación responde a esta necesidad al proponer una metodología que combine el análisis de ciclo de vida energético (LCEA) con el diseño estructural, permitiendo cuantificar la energía total evitada —tanto por generación distribuida como por uso racional del espacio— durante la vida útil del sistema.

En el ámbito local, Jaén posee condiciones climatológicas favorables para la captación solar, pero la infraestructura universitaria aún no incorpora sistemas de eficiencia energética basados en energías renovables, lo que genera oportunidades claras para intervención ingenieril.

En este contexto, la presente investigación emerge como una respuesta técnica y socialmente pertinente. La Universidad Nacional de Jaén cuenta con una losa deportiva expuesta a la intemperie, cuya falta de cobertura limita su uso en temporadas de lluvia y en

periodos de alta radiación solar. Al mismo tiempo, la institución presenta oportunidades de mejora en el aprovechamiento del recurso solar, tanto para reducir el consumo eléctrico convencional como para promover acciones concretas de sostenibilidad.

El informe final de investigación propone el diseño de una estructura parabólica que integre un sistema fotovoltaico, con el propósito de generar energía mediante recursos renovables y mejorar la eficiencia energética institucional. Esta solución no solo busca transformar un área subutilizada en un espacio funcional, sino también aportar al compromiso de la UNJ con la innovación, la sostenibilidad y la eficiencia energética.

1.1. Antecedentes

Las investigaciones revisadas evidencian una evolución paradigmática desde estudios centrados exclusivamente en generación renovable hacia investigaciones que integran eficiencia energética como variable de diseño primordial. Esta transición responde al reconocimiento internacional de que la eficiencia energética constituye la 'primera fuente de energía' —el recurso que se obtiene mediante la reducción del consumo— y debe preceder al dimensionamiento de sistemas de generación (IEA, 2024). En el ámbito de infraestructuras deportivas y educativas, la literatura reciente distingue entre: (a) investigaciones de eficiencia energética pasiva, centradas en envolventes térmicas, iluminación natural y ventilación; (b) investigaciones de eficiencia activa, orientadas a sistemas HVAC y equipos eficientes; y (c) investigaciones de generación distribuida, que integran renovables para compensar la demanda residual. La presente investigación se enmarca en la intersección de estas tres categorías, adoptando el concepto de edificio de energía casi neta (Nearly Zero-Energy Building, NZEB), donde la eficiencia energética del diseño estructural-arquitectónico reduce la demanda base, permitiendo que una menor

capacidad fotovoltaica logre el balance energético anual deseado. Diversos proyectos en Sudamérica y el Perú han aplicado metodologías de diseño estructural ampliamente aceptadas y han utilizado herramientas avanzadas de modelado tridimensional, análisis estructural y simulación energética, demostrando la factibilidad técnica, económica y ambiental de integrar estructuras metálicas con generación solar para optimizar el rendimiento energético y mejorar la funcionalidad de espacios expuestos a condiciones climáticas adversas. En conjunto, estos antecedentes revelan que la combinación de diseño estructural especializado y sistemas fotovoltaicos constituye una tendencia consolidada que responde a necesidades reales de infraestructura y eficiencia energética, respaldando así la pertinencia del presente proyecto en la Universidad Nacional de Jaén.

Por ejemplo, tenemos a la Escuela Politécnica Nacional en Quito- Ecuador, cuyo propósito en su trabajo de investigación se centra en el diseño y fabricación de cubiertas metálicas con la finalidad de que permita la práctica deportiva en ciertas condiciones climáticas (lluvia, radiación solar). Cabe señalar que existen muchas empresas dedicadas a la construcción de dichas estructuras metálicas, pero con un costo excesivo por lo que este proyecto busca plantear a todos los sectores la construcción de cubiertas metálicas sencillas y económicas, pero a la vez muy seguras para así difundir la práctica de dicho deporte. Para ello, se utilizó el método de diseño por esfuerzos admisibles (ASD) y el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). El proyecto tendrá un costo total de 34.545,72 dólares americanos (Estevez, 2008). En conclusión, el proyecto es factible y debido a la necesidad de un espacio cerrado y económico, se decidió diseñar y construir un techo metálico.

En la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil-Ecuador, cuyo objetivo planteado es la de proporcionar energía eléctrica y concientizar sobre la importancia de las energías renovables, promoviendo su uso debido a su bajo impacto ambiental. Asimismo, el

proyecto busca implementar un sistema fotovoltaico aislado funcional a través del estudio de carga y demanda, lo cual implicó el dimensionamiento del generador solar, acumulador y el controlador de carga e inversor. Este proceso se llevó a cabo mediante análisis tanto analíticos como simulados utilizando el software AutoCAD 3D y el software PVSYST 7.0, determinando las horas diarias de operación del sistema, las cuales se estimaron en un total de 5 horas. El precio se está estimando en un total de S/. 3.069,49 (Villegas & Alcivar, 2020). En conclusión, actualmente se está otorgando mayor importancia al uso de energías renovables debido al bajo impacto ambiental.

En la Universidad Técnica de Ambato de Quito Ecuador, cuyo proyecto de investigación se lleva a cabo con el propósito de abastecer energía eléctrica a la empresa Orellana Turismo EP y reducir el uso de un generador eléctrico para minimizar la emisión del dióxido de carbono (CO₂) y el ruido en el entorno natural. Se consideraron diferentes factores relevantes para la instalación de un sistema fotovoltaico, como la alta radiación solar en la región obtenida del Nacional Renewable Energy Laboratory (NREL). Se evaluó la demanda energética de la empresa para determinar el número de paneles solares, baterías y el tipo de regulador e inversor necesario. Además, se incluyeron fusibles para prevenir cortocircuitos y garantizar la seguridad de los equipos. Se proyectó una conexión en paralelo entre los paneles solares y baterías para incrementar tanto el potencial de almacenamiento de energía, regulada por un controlador solar que mantuvo una tensión del sistema de 12V. Para la realización de este proyecto, empleo el software ANSYS Workbench. Asimismo, el costo total de dicho proyecto está estimado en S/. 3262,31 (Viera, 2021). Concluyendo, debido a significativa contaminación generada por la empresa y el elevado costo económico, se propuso implementar un sistema fotovoltaico aprovechando la alta radiación de la región.

En la Universidad Nacional del Centro del Perú, en el que se realizó una investigación cuyo objetivo principal fue identificar las características técnicas de la estructura de acero del techo parabólico del Coliseo de la Universidad Nacional de Huancavelica. Para dicho objetivo se emplea el programa SAP2000 V.10.1, para analizar los distintos elementos que conforman dicha estructura. El diseño estructural se enfoca de dos coberturas con las siguientes dimensiones: una de 37,78m de ancho por 44,55m de largo, totalizando 1.683,10 m² y otra de 25,02m de ancho por 47,55m de largo, alcanzando 1.189,70 m². Así mismo dichos costos principales de los elementos estructurales fue de S/. 1 218.749,34, incluyendo gastos generales, utilidad e IGV (Quinto, 2012). Concluyendo que un coliseo con sus diversas infraestructuras adecuadas y en buen estado contribuirá a que los estudiantes reciban una educación integral de calidad.

En la Universidad Cesar Vallejo en Trujillo-Perú, en el que se describe como objetivo, la realización de un análisis y diseño estructural parabólico del coliseo deportivo de la provincia de Ascope, asegurando el cumplimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Además, se realizó el análisis y la simulación utilizando el software SAP 2000, obteniendo una estructura con una carga total aplicada de 835,49 kg, conforme a la combinación 2 del método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Los perfiles seleccionados cumplen con los requisitos de diseño en cuanto a deformación y esfuerzo máximo, resultando en un costo total de S/.421.834,86 (Cotrina, 2017). En conclusión, un proceso meticuloso asegura un diseño estructural preciso utilizando perfiles metálicos y es fundamental seguir estos procedimientos para garantizar que el techo diseñado cumpla con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y optimice las combinaciones de cargas aplicadas a los elementos estructurales del techo.

En Universidad Nacional del Santa en Chimbote, Perú, se tiene como objetivo presentar un análisis estructural del proyecto y de los componentes que lo integran. Así mismo los métodos basados en dichos diseños que serán puesto a ejecutar es el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) y el método de diseños por esfuerzos admisibles (ASD). Para dicho análisis estructural se utilizó el programa SAP2000. Por otro lado, los costos necesarios para dicha ejecución incluyendo arcos, viguetas, columnas, anclajes, arriostramientos, coberturas y materiales de trabajo tendrán un valor de S/ 88.864,1 (Vásquez, 2022). En conclusión, para lograr un diseño estructural sólido, es necesario evaluar las diferentes cargas (vivas, muertas y ambientales) a fin de seleccionar la calidad adecuada de los elementos que lo componen.

En la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Trujillo-Perú, realizó el análisis estructural y los costos de los diferentes componentes del techo parabólico utilizando el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Se considero un área plana a diseñar de 800m² y calculo un peso aproximado a soportar de 23.198 kg, empleando acero ASTM A-36 para la estructura. Para la realización de este diseño, se aplicaron normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), así como también normas internacionales como: normas de acero inoxidable (AISI), proporción de directrices estándares para el diseño y la construcción con acero (AISC), ciencia, tecnología y educación en soldadura (AWS), proporción de estándares, directrices y recursos civiles (ASCE). Además, el diseño se llevó a cabo utilizando los softwares SolidWorks y SAP2000. El cálculo de los costos del techo parabólico arrojó un total de S/. 150.402,14 (Lozano, 2019). En conclusión, el análisis estructural de los techos parabólicos es actualmente relevante debido a que estos techos proporcionan beneficios a los ciudadanos al permitirles realizar diversas actividades.

En la Universidad Peruana los Andes en Huancayo- Perú, tuvo como objetivo analizar y diseñar el techo parabólico de la losa deportiva con un área total de 886,60m² cumpliendo con los requisitos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Dicha investigación fue aplicada y descriptiva, siendo así una muestra de tipo no probabilístico, utilizando el programa SAP2000. En base a los resultados obtenidos con respecto a Reglamento Nacional de Edificaciones se consignaron las siguientes normas: E.050 (suelo y cimentaciones), E.020 (cargas). E.030(diseño sismorresistente) y E.090 (estructuras metálicas), asegurando así una estructura sólida (Masciotti, 2022). En conclusión, para analizar y diseñar el techo parabólica, es necesario cumplir con todas las normas o reglamento nacional de edificaciones.

En la Universidad Cesar vallejo de Piura-Perú, tuvieron como objetivo el diseño de una estructura metálica para la losa deportiva Jiménez debido al deterioro causado por los diferentes cambios climáticos durante todo el año. El proyecto incluyó el análisis de las estructuras existentes, estudio de suelo y un diseño arquitectónico. Además, se propuso la implementación de cuatro graderías, servicios higiénicos para damas y caballeros, un espacio polivalente, un depósito para material deportivo, áreas de recreación pasiva y áreas verdes. Para llevar a cabo el diseño, se utilizó el software SAP2000 y ETABS (Castro & Maza, 2022) En conclusión, una cubierta no solo resguarda a las personas que realizan actividades, sino que también a la estructura de la losa.

En la Universidad Nacional de Juliaca-Perú, cuyo proyecto de investigación señala que los problemas derivados del uso de energía convencional están causando un grave deterioro ambiental a gran escala, afectando la flora y fauna tanto a nivel nacional y regional en el Perú. El objetivo principal del proyecto es evaluar las variables del funcionamiento de una Miniplanta solar fotovoltaica de 2.0 KW de potencia en sistema independiente, la cual

está compuesta por 10 paneles fotovoltaicos. Este proyecto tiene un enfoque práctico, ya que su diseño y ejecución posibilitaran la recopilación y análisis de dato relevantes, como la fuerza electromotriz generada por el sistema de la Miniplanta solar, así como la potencia y frecuencia relacionadas. (Condori, 2019). En conclusión, la mayor parte del deterioro ambiental es causado por las distintas centrales eléctricas, por esta razón, se está realizando estudios sobre los sistemas fotovoltaicos a gran escala para reducir el impacto ambiental.

En la universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque-Perú, se ha diseñado un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo de la energía eléctrica en la estación de servicios Gasocentro “Evitamiento” en Arequipa. La capacidad fotovoltaica estimada alcanza los 6,42KWh/m² al día como irradiación mínima, y se han instalado un total de 331 solares en 4 techos Canopy con una inclinación de 15°. Tras analizar el cuadro de cargas, se identificó una demanda máxima de 87.489 kW, y proyectando en consumo energético se estima que la estación de servicio requerirá 236.165,95 kWh-año. En cuanto a la evaluación económica, se determinó que la inversión inicial necesaria para implementar el sistema fotovoltaico es de S/. 723.489 (Flores, 2019). En conclusión, la implementación de un sistema fotovoltaico no solo permitirá un ahorro económico, sino que también contribuirá a la protección del medio ambiente.

En la Universidad Nacional de Jaén, se llevó a cabo el diseño un sistema fotovoltaico conectado a la red pública para la Institución Educativa N°16531, ubicada en el Centro Poblado de Puerto Chinchipe, San Ignacio. Este proyecto tiene como objetivo principal proporcionar energía de alta calidad y reducir los costos asociados al consumo de energía convencional.

Para el dimensionamiento del sistema, se incluyeron 8 paneles solares de 310 Wp cada uno, un inversor monofásico Fronius Primo 6,0-1 con una capacidad de 6000 W, y un medidor bidireccional Fronius Smart Meter 63 A-1. El sistema de protección del diseño está compuesto por 4 fusibles de 10 A, 2 interruptores termomagnéticos de corriente continua de 10 A, 1 interruptor termomagnético de corriente alterna de 30 A, y 1 interruptor diferencial de 40 A, permitiendo cubrir una demanda eléctrica de 5,18 kWh/día. La evaluación económica del proyecto revela una inversión total de S/. 15,714.34, con un periodo de retorno de 8.995 años, un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 142.34, y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10%, considerando una vida útil del proyecto de 25 años. En conclusión, este proyecto ofrece una solución eficiente y sostenible para satisfacer las necesidades energéticas de la institución educativa, destacando tanto por su viabilidad técnica como económica, y contribuyendo significativa a la protección del medio ambiente. (Neira & Bazán, 2020)

En la universidad Alas Peruanas de Jaén- Perú, la investigación tuvo como propósito realizar un análisis y diseño estructural del techo metálico para la losa deportiva de la institución educativa N° 16042, ubicada en el sector Linderos, Jaén – Cajamarca. El estudio, de carácter cualitativo, considero los resultados del análisis de mecánica de suelos y el modelado estructural realizado en el software SAP2000. Los resultados obtenidos demostraron que el diseño estructural cumple con los requisitos técnicos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.). Además, se determinó que el costo total del proyecto ascendió a S/. 5,500 (Peralta, 2023). En conclusión, el diseño garantiza eficiencia en términos de rigidez, resistencia, estabilidad, funcionalidad, y buen comportamiento frente a eventos sísmicos y otros fenómenos naturales.

En la carrera profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, dicha investigación presenta un diseño de sistema fotovoltaico para cubrir las necesidades energéticas del caserío San Isidro, en Jaén-Perú, mediante el análisis del potencial energético a través de minería de datos. Utilizando datos meteorológicos de 2016 de la Universidad Nacional de Jaén, se calculó el potencial de energía con integración numérica para los meses de febrero a octubre. Además, el software Weka fue empleado para crear un modelo matemático basado en redes neuronales, validado mediante coeficientes y errores estadísticos. Para atender la demanda energética máxima del caserío, el sistema requiere 21 paneles fotovoltaicos orientados a $7,6^\circ$, un ángulo crítico para maximizar la captación en el mes de menor irradiación (Neira & Bazán, 2020). En conclusión, este enfoque ofrece una solución integral y eficiente para mejorar la sostenibilidad energética de San Isidro a través de energías renovables.

En la Universidad Nacional de Jaén, tuvo como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico autónomo para abastecer de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén. Se evaluó el recurso solar usando datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 y de la NASA, y se determinó la demanda energética junto con el diseño de los componentes necesarios. El sistema cubrirá una demanda promedio diaria de 59.52 kWh para alimentar 31 computadoras, 7 luminarias, 3 ventiladores, un switch de 24 puertos y un proyector. Para este propósito, se seleccionaron 116 paneles de 335 Wp, 7 reguladores MPPT, 1 inversor/cargador Quattro Victron Energy y 72 baterías (Rufasto, 2019). En conclusión, dicha tesis destaca la contribución al medio ambiente promoviendo el uso de energías no convencionales, mejorando los perfiles de tensión y la calidad del servicio eléctrico.

1.2. Problema

La Universidad Nacional de Jaén (UNJ) presenta una ineficiencia energética estructural crítica en su infraestructura deportiva: una losa abierta que, por su incapacidad de operación continua, genera una demanda energética desplazada hacia otros espacios del campus. Esta situación ilustra una falla de eficiencia energética sistémica, donde la ausencia de una envolvente protectora no solo limita el uso directo del espacio, sino que obliga a los usuarios a recurrir a instalaciones climatizadas artificialmente (iluminación, ventilación mecánica, aire acondicionado) que incrementan el consumo energético institucional. Según la metodología de análisis de ciclo de vida energético (LCEA), esta 'demanda desplazada' debe contabilizarse como parte de la huella energética atribuible a la ineficiencia de la losa deportiva. La presente investigación diagnostica esta problemática desde la perspectiva de la eficiencia energética integral, reconociendo que toda evaluación rigurosa debe incluir tanto la energía operativa directa (iluminación, sonido, proyección en la losa) como la energía operativa indirecta (consumo evitado en espacios alternativos por habilitación del uso continuo de la losa). Durante la temporada de lluvias, la losa deportiva queda totalmente inutilizada debido a la acumulación de agua y al riesgo de accidentes. Por otro lado, en la época seca, la intensa radiación solar característica de Jaén —una de las más elevadas del país— genera condiciones térmicas adversas que dificultan su uso prolongado, restringiendo el acceso de estudiantes, docentes y trabajadores. Esta falta de un sistema de cobertura adecuado no solo limita su funcionalidad, sino que también reduce la disponibilidad de espacios seguros para actividades deportivas, culturales y universitarias.

Desde la óptica de la eficiencia energética, el incremento del consumo eléctrico universitario no debe abordarse únicamente mediante expansión de generación, sino mediante la reducción de la intensidad energética del campus ($\text{kWh/m}^2/\text{año}$). La losa

deportiva abierta representa una ineficiencia estructural que incrementa la demanda energética específica de la UNJ: cuando no está operativa por lluvia o radiación extrema, los usuarios migran hacia espacios con mayor intensidad energética (polideportivo techado, aulas climatizadas), elevando el consumo per cápita institucional. La eficiencia energética se mide no solo por el consumo absoluto, sino por la energía requerida por unidad de servicio prestado. En este sentido, la transformación de la losa en un espacio de uso continuo mediante una estructura parabólica eficiente constituye una medida de eficiencia energética pasiva —reducción de demanda— complementada con eficiencia activa —generación fotovoltaica para la carga residual—, siguiendo la jerarquía de diseño NZEB (Net Zero Energy Building). La UNJ no cuenta con sistemas fotovoltaicos integrados en su infraestructura física, lo que representa un desaprovechamiento energético significativo. En una era donde las universidades buscan convertirse en modelos de sostenibilidad, eficiencia energética y responsabilidad ambiental, la ausencia de soluciones energéticas renovables coloca a la institución en una posición de desventaja frente a las exigencias actuales.

En este contexto, surge la necesidad de abordar simultáneamente dos problemáticas: por un lado, la falta de un sistema de cobertura resistente, funcional y adaptado a las condiciones climáticas locales; y por otro, la oportunidad desaprovechada de transformar esa misma infraestructura en un componente activo de generación energética limpia. La integración de un sistema fotovoltaico en una estructura parabólica diseñada específicamente para la losa deportiva permitiría no solo proteger el espacio de la lluvia y del exceso de radiación solar, sino también convertirlo en una unidad productiva de energía, reduciendo la dependencia del suministro eléctrico convencional y mejorando la eficiencia energética de la universidad.

No obstante, el diseño de una estructura con estas características plantea retos técnicos que requieren un análisis riguroso. Una estructura parabólica debe garantizar resistencia, estabilidad y durabilidad, cumpliendo las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), así como los criterios de cargas vivas, cargas ambientales y comportamiento estructural. Asimismo, la integración de un sistema fotovoltaico implica evaluar factores como orientación óptima, inclinación, pérdidas por sombreado, eficiencia de captación y compatibilidad mecánica entre los módulos solares y la estructura de soporte. La ausencia de estudios previos dentro de la UNJ que combinen diseño estructural especializado con sistemas fotovoltaicos integrados resalta aún más la magnitud del problema.

De igual manera, el crecimiento sostenido de la demanda energética universitaria requiere soluciones eficientes y sostenibles capaces de reducir costos operativos y mejorar la gestión energética institucional. En este escenario, una estructura parabólica diseñada con criterios de ingeniería mecánica y eléctrica no solo resolvería la problemática física de la losa deportiva, sino que además constituiría un proyecto piloto replicable en otras áreas del campus. Sin embargo, la falta de análisis estructural especializado, el desconocimiento sobre el potencial energético real del área de instalación y la ausencia de un dimensionamiento fotovoltaico adecuado representan vacíos técnicos que deben ser resueltos mediante una investigación formal.

La problemática central se fundamenta en la necesidad de contar con una solución integral que permita mejorar la funcionalidad de la losa deportiva, aprovechar la radiación solar disponible mediante generación fotovoltaica y contribuir a la eficiencia energética de la institución. La carencia actual de una estructura adecuada y la falta de un sistema fotovoltaico asociado impiden a la universidad avanzar hacia un modelo sostenible, eficiente

y acorde con las tendencias actuales de infraestructura inteligente. Este escenario justifica el desarrollo de un estudio técnico riguroso que permita diseñar una estructura parabólica integrada con un sistema fotovoltaico, orientada a optimizar el uso de la losa deportiva y reducir el consumo energético convencional en la Universidad Nacional de Jaén. Es por ello por lo que formulamos el siguiente problema:

¿Cómo diseñar una estructura parabólica que, mediante la integración eficiente de sistema fotovoltaico y diseño bioclimático, reduzca la intensidad energética (kWh/m²/año) de la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén, contribuyendo a la eficiencia energética institucional?

1.3. Justificación

La presente investigación se justifica, en primer lugar, desde un enfoque de eficiencia energética ambiental. Según el IEA (2024), la aceleración de las mejoras en eficiencia energética puede contribuir con más de un tercio de todas las reducciones de emisiones de CO₂ necesarias para 2030 en una trayectoria de net zero. La eficiencia energética se distingue de la mera sustitución de fuentes porque ataca el problema desde la demanda: reduciendo la energía necesaria para prestar un servicio equivalente. En el caso de la UNJ, la losa deportiva abierta presenta una intensidad energética implícita elevada debido a la 'demanda desplazada' hacia otros espacios cuando no es operable. El diseño de una estructura parabólica eficiente —que combine envolvente protectora, iluminación natural optimizada y generación fotovoltaica integrada— reducirá la intensidad energética del sistema (medida en kWh/m²/año), alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.3 (duplicar la tasa global de mejora en eficiencia energética para 2030). Esta aproximación

reconoce que la sostenibilidad ambiental se logra primero evitando el consumo innecesario, y luego limpiando el consumo inevitable.

En cuanto a la justificación económica, la investigación en eficiencia energética se fundamenta en el concepto de 'costo de la energía evitada' (levelized cost of saved energy), métrica que frecuentemente resulta más favorable que el costo nivelado de la energía generada (LCOE). Según el IEA (2024), las inversiones en eficiencia energética en edificaciones, transporte e industria alcanzaron USD 660 mil millones en 2024, superando en un 10% la inversión upstream en petróleo y gas, evidenciando el atractivo económico de la eficiencia sobre la generación convencional. En el contexto de la UNJ, el análisis de eficiencia energética integral debe incluir: (a) ahorros por reducción de demanda en espacios alternativos (demanda desplazada), (b) ahorros por generación fotovoltaica on-site, y (c) valoración del uso extendido del espacio deportivo. El indicador central de viabilidad no es el simple retorno de inversión de equipos solares, sino el Valor Actual Neto (VAN) de la eficiencia energética, calculado sobre la base de kWh/año evitados o generados eficientemente durante la vida útil del sistema.

La justificación social se vincula con el impacto directo en la comunidad universitaria. La losa deportiva se convertirá en un espacio multifuncional que podrá utilizarse de manera continua, tanto en temporada de lluvias como en horas de alta radiación solar. Esto beneficiará a estudiantes, docentes y trabajadores administrativos, quienes contarán con un lugar seguro y confortable para actividades deportivas, recreativas y culturales. Además, el proyecto promueve la conciencia ambiental y energética en la comunidad, sirviendo como modelo de innovación replicable en otras instituciones educativas (Peralta, 2023).

Desde una perspectiva técnico-científica, el estudio aporta metodología de análisis de ciclo de vida energético (LCEA) aplicada a infraestructura deportiva universitaria en contextos de alta radiación solar. El LCEA constituye una herramienta holística para estimar el desempeño energético de edificaciones considerando energía incorporada (embodied energy), energía operativa (operational energy) y energía de demolición durante toda la vida útil. La investigación aplicará estándares internacionales de eficiencia energética en edificaciones, particularmente la norma ISO 50001:2018 para sistemas de gestión de energía, que establece requisitos para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora continua de un sistema de gestión energética (EnMS), y la norma ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2022, que define requisitos mínimos de eficiencia energética para diseño, construcción, operación y mantenimiento de edificaciones, incluyendo el uso de recursos renovables on-site. El estudio cuantificará métricas específicas de eficiencia: Energy Use Intensity (EUI) en kWh/m²/año, Performance Ratio energético del edificio, y factor de utilización de la cubierta (hours of use per year), permitiendo benchmarking con estándares internacionales para edificaciones educativas.

Finalmente, la justificación práctica radica en que este proyecto no se limita a una propuesta teórica, sino que ofrece una solución integral aplicable de inmediato a la realidad de la universidad. La estructura parabólica cubrirá las necesidades de la losa deportiva, mejorará sus condiciones de uso y, al mismo tiempo, generará energía renovable. Esto evidencia que es posible diseñar soluciones que integren de forma armónica la solidez estructural con el aprovechamiento energético, respondiendo de manera efectiva a la línea de investigación de eficiencia energética y a los objetivos planteados (Masciotti, 2022).

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar una estructura parabólica que integre un sistema fotovoltaico para optimizar la eficiencia energética en la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén.

1.4.2 Objetivos Específicos

OE1: Optimizar el diseño estructural-parabólico mediante software CAD/CAE, integrando criterios de eficiencia energética pasiva (ventilación natural, iluminación diurna, reducción de demanda térmica) con soportes para sistema fotovoltaico, minimizando la energía incorporada (embodied energy) de la construcción.

OE2: Establecer la línea base energética del sistema actual (demanda directa + demanda desplazada), proyectar la reducción de intensidad energética mediante el diseño integrado, y dimensionar el sistema fotovoltaico para cubrir la carga residual eficientemente.

OE3: Evaluar la viabilidad económica mediante indicadores de eficiencia energética: costo de la energía evitada (US\$/kWh ahorrado), Valor Actual Neto (VAN) de la eficiencia energética, y periodo de retorno de la inversión en eficiencia, comparando escenarios con y sin intervención.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio de esta investigación había sido definido como el diseño integral de una estructura parabólica que permitiera la integración de un sistema fotovoltaico para optimizar la eficiencia energética en la Universidad Nacional de Jaén. Esta propuesta estructural y energética había buscado solucionar dos necesidades simultáneas: brindar cobertura a la losa deportiva universitaria y generar energía renovable aprovechando la elevada irradiación solar de la región. En este sentido, el objeto de estudio había abarcado tres componentes interrelacionados: la geometría y resistencia de la estructura parabólica, el sistema fotovoltaico dimensionado según la demanda y la radiación solar disponible, y finalmente, la integración segura y eficiente entre ambos sistemas, tal como se recomendaba en estudios recientes sobre infraestructura energética sostenible (IEA, 2024; IRENA, 2023).

2.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio **se había ubicado** en la losa deportiva principal de la Universidad Nacional de Jaén, situada en la ciudad de Jaén, departamento de Cajamarca. Esta zona **se caracterizaba** por niveles de irradiación solar promedio superiores a 5 kWh/m²/día, lo cual **había sido destacado** en reportes recientes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024). La localización geográfica en la región nororiental del país **había permitido** condiciones óptimas para proyectos de generación fotovoltaica, dado que Perú poseía uno de los potenciales solares más altos de Sudamérica (IRENA, 2023). Asimismo, el emplazamiento dentro del campus universitario **había facilitado** la viabilidad del proyecto, al tratarse de un espacio de acceso controlado y adecuado para el análisis estructural y energético. (Ver

Figura 1).

Figura 1:

Área de la Universidad Nacional de Jaén



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la imagen mostrada se puede apreciar el área de la loza en donde se realiza la investigación para el diseño de una estructura metálica parabólica optimizado para aprovechamiento eficiente de sistema fotovoltaico.

2.3. Método, tipo y diseño de la investigación empleada

2.3.1. Método de la investigación:

El método utilizado en esta investigación ha sido de enfoque cuantitativo, ya que el estudio se había basado en la medición numérica de parámetros estructurales, geométricos y energéticos necesarios para diseñar la estructura parabólica y el sistema fotovoltaico. El análisis

cuantitativo había permitido evaluar cargas, esfuerzos, irradiancia solar y rendimiento energético mediante cálculos y simulaciones, siguiendo la tendencia actual en estudios ingenieriles que emplean datos numéricos como base para la toma de decisiones (González-Llanos et al., 2021).

Este método ha sido apropiado porque el diseño parabólico requería estimación precisa de cargas vivas y ambientales, modelos de comportamiento estructural y cálculos energéticos basados en series climáticas recientes. Asimismo, la naturaleza del sistema fotovoltaico había exigido valores exactos de eficiencia, pérdidas, orientación óptima y radiación solar, tal como se recomendaba en análisis contemporáneos de integración renovable (IEA PVPS, 2023). Por tanto, el método cuantitativo **ha proporcionado** la objetividad necesaria para evaluar la viabilidad del diseño propuesto.

2.3.2. Tipo de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo y aplicado, orientado al diseño y simulación de un sistema estructural-metabólico integrado que mejore la eficiencia energética de la losa deportiva universitaria mediante reducción de demanda y generación distribuida. Se enmarca en la línea de investigación de Eficiencia Energética, al aplicar el principio de 'primero la eficiencia, luego las renovables' (first efficiency, then renewables), donde la optimización del diseño estructural-arquitectónico (envolvente, orientación, iluminación natural) precede al dimensionamiento de la generación fotovoltaica residual. Según Maya (2019), las investigaciones aplicadas en eficiencia energética generan soluciones prácticas utilizando conocimiento científico para reducir la intensidad energética ($\text{kWh/m}^2/\text{año}$) de sistemas edificatorios existentes, lo cual se ajusta plenamente al propósito de este proyecto, al proponer el aprovechamiento de la energía solar como fuente limpia y sostenible en reemplazo parcial del suministro convencional. Según Maya (2019), las investigaciones aplicadas se

orientaban a generar soluciones prácticas utilizando conocimiento científico y tecnológico, lo cual se ajustaba plenamente al propósito del proyecto.

La investigación aplicada ha permitido también utilizar principios de ingeniería mecánica, eléctrica y estructural para modelar la solución propuesta, integrando criterios técnicos, normativos y ambientales. Este tipo de investigación había sido coherente con la necesidad institucional de mejorar infraestructura existente mediante tecnologías renovables, tal como diversos autores habían señalado respecto a la aplicación de energías limpias en edificaciones (Kannan & Vakeesan, 2020).

2.3.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación ha sido no experimental, puesto que no se había manipulado directamente la infraestructura de estudio durante el proceso investigativo. En lugar de ello, el análisis se había apoyado en observación directa, recopilación documental, toma de datos reales del entorno y simulaciones estructurales y energéticas. Hernández y Baptista (2021) señalaban que el diseño no experimental se utilizaba cuando el investigador estudiaba fenómenos tal como ocurrían en su contexto natural, sin alterar sus condiciones, lo cual coincidía con el enfoque adoptado.

Además, el diseño ha sido transversal, ya que los datos se recopilaron en un único período y no a lo largo del tiempo, lo cual era consistente con los estudios de ingeniería que trabajan con características estáticas de estructuras y parámetros climatológicos estacionales. Esta modalidad había permitido desarrollar el modelo estructural parabólico y el sistema fotovoltaico sin necesidad de intervención física, basándose en mediciones reales del sitio y en información técnica actualizada (Zhu et al., 2020; Li et al., 2021).

2.4. Bases teóricas

Las bases teóricas que sustentaron esta investigación se organizaron en cuatro ejes principales: (a) fundamentos de diseño estructural en cubiertas parabólicas, (b) principios de funcionamiento y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, (c) conceptos modernos de eficiencia energética, y (d) normativa técnica y criterios de diseño aplicables. Estos pilares permitieron establecer el marco conceptual necesario para comprender las decisiones técnicas adoptadas en el diseño de la estructura parabólica y la integración del sistema solar.

2.4.1. Fundamentos de diseño estructural en cubiertas parabólicas

El diseño de estructuras parabólicas metálicas se fundamentó en los principios de resistencia de materiales, estabilidad estructural y análisis de cargas. Investigaciones recientes mostraron que las estructuras curvas —como paraboloides simétricos— distribuían de manera más eficiente los esfuerzos, permitiendo obtener cubiertas más livianas sin comprometer su estabilidad (Zhu et al., 2020). Este comportamiento se debía a que la curvatura generaba un efecto de rigidez natural, lo cual reducía la deformación ante cargas vivas, viento y efectos térmicos.

Asimismo, estudios de los últimos años demostraron que las cubiertas metálicas parabólicas presentaban un desempeño favorable frente a cargas ambientales simultáneas, incluyendo viento y precipitaciones, debido a su capacidad para disipar fuerzas y evitar acumulación de cargas puntuales (Li et al., 2021). Estos hallazgos resultaron relevantes para esta investigación, ya que la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén se ubicaba en una zona de lluvias estacionales e irradiación solar intensa.

El diseño parabólico también se enmarcó en metodologías modernas como el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) y el análisis mediante modelado tridimensional. Estas

metodologías habían sido ampliamente utilizadas en infraestructura liviana y se recomendaban para estructuras metálicas sometidas a cargas variables (Wang et al., 2022).

2.4.2. Principios de funcionamiento y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos

El sistema fotovoltaico integrado en la estructura se fundamentó en el efecto fotoeléctrico, mediante el cual los fotones incidentes liberan electrones en el material semiconductor, generando corriente eléctrica. Estudios recientes señalaron que la eficiencia de conversión de los módulos solares dependía fuertemente de factores como temperatura, irradiación, orientación, inclinación y pérdidas por suciedad o sombreado (IEA PVPS, 2023).

En los últimos cinco años, las investigaciones coincidieron en que los módulos de silicio monocristalino ofrecían los mayores niveles de eficiencia comercial, alcanzando entre el 20 % y el 23 %, mientras que la tecnología policristalina se mantenía como una opción rentable y estable (Chandel et al., 2021). Estos valores resultaron esenciales para determinar el número de paneles necesarios para cubrir la demanda energética de la losa deportiva.

De igual manera, el rendimiento energético anual se evaluó utilizando el Performance Ratio (PR), indicador recomendado internacionalmente para medir eficiencia real del sistema bajo condiciones de operación (Fernández-García et al., 2020). La literatura reciente subrayó que un PR entre 0.75 y 0.85 se consideraba aceptable para climas cálidos como el de Jaén.

2.4.3. Conceptos modernos de eficiencia energética

La eficiencia energética se define como la capacidad de obtener un servicio equivalente (iluminación, confort térmico, uso de espacios) mediante el menor consumo de energía posible, sin comprometer la funcionalidad ni la calidad del servicio. Esta definición, adoptada por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2024), distingue claramente la eficiencia energética de la conservación energética (reducción de servicios) y de la sustitución de fuentes (cambio de

combustibles fósiles a renovables). La eficiencia ataca el problema desde la demanda, no desde el suministro.

Jerarquía de la eficiencia energética. La literatura científica establece una jerarquía fundamental en el diseño de edificaciones sostenibles: primero la eficiencia energética (reducción de la demanda mediante diseño bioclimático, envolvente eficiente y equipos de bajo consumo), luego la recuperación de energía (sistemas de intercambio térmico), y finalmente la generación renovable (solar, eólica, biomasa) para cubrir la carga residual. Esta jerarquía se fundamenta en que cada unidad de energía evitada mediante eficiencia es más económica y ambientalmente favorable que cada unidad generada mediante renovables.

Indicadores de eficiencia energética en edificaciones. El indicador central de eficiencia energética en el sector construcción es el Energy Use Intensity (EUI), expresado en kWh/m²/año (o kBtu/ft²/año en el sistema anglosajón). El EUI se calcula como:

$$EUI := \frac{\text{Consumo anual total de energía (kWh)}}{\text{Área construida total (m}^2\text{)}}$$

Este indicador permite comparar el desempeño energético de edificaciones de diferentes tamaños y usos, estableciendo líneas base (benchmarking) contra estándares internacionales. Para edificaciones educativas y deportivas, los valores de EUI varían ampliamente según clima y sistemas, pero generalmente oscilan entre 50-150 kWh/m²/año para instalaciones eficientes.

Análisis de Ciclo de Vida Energético (LCEA).

El LCEA constituye una metodología holística para evaluar el consumo energético de una edificación durante todas las etapas de su vida: pre-uso (energía incorporada en materiales y construcción), uso (energía operativa por HVAC, iluminación, equipos), y fin de vida (energía de demolición). Según Ramesh et al. (cited in), en edificaciones convencionales la energía

operativa representa 80-90% del consumo total, mientras que la energía incorporada aporta 10-20%, lo que subraya la importancia del diseño eficiente de la envolvente y sistemas. El LCEA permite identificar 'cuellos de botella' energéticos y optimizar decisiones de diseño desde etapas tempranas.

Edificios de Energía Casi Neta (NZEB).

El concepto de Net Zero Energy Building (NZEB) o Nearly Zero-Energy Building integra eficiencia energética y generación renovable en un balance anual. Según la definición operativa, un NZEB es aquel que, durante un año, produce tanta energía renovable on-site como la que consume, logrando una balanza neta de cero. Sin embargo, la literatura distingue niveles de cumplimiento: ZEB Ready (reducción $\geq 50\%$ sin renovables), Nearly ZEB (reducción 75-100% con renovables), y ZEB (100%+ con renovables). La presente investigación se orienta al nivel 'Nearly ZEB', donde la estructura parabólica eficiente reduce la demanda base, permitiendo que una moderada capacidad fotovoltaica alcance el balance energético.

Eficiencia energética en el contexto peruano.

Según el seguimiento de APEC (2020), Perú carece de códigos de energía para edificaciones (BEC) obligatorios, aunque el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) ha desarrollado códigos técnicos de materiales de construcción sostenible. La Ley de Promoción de la Eficiencia Energética (Ley 27345) y su reglamento establecen lineamientos generales, pero no especifican estándares de desempeño energético (MEPS) para componentes ni sistemas de etiquetado obligatorio. En este vacío normativo, investigaciones aplicadas como la presente contribuyen a generar conocimiento técnico sobre indicadores de eficiencia energética adaptados a la alta radiación solar de la región nororiental peruana (5.4 kWh/m²/día en Jaén)

2.4.4. Normativa técnica y criterios de diseño aplicables

El diseño estructural de la cubierta parabólica se sustentó en los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), el cual establecía criterios para cargas vivas (E.020), diseño sismorresistente (E.030), suelos y cimentaciones (E.050) y estructuras metálicas (E.090). Estas normas habían sido actualizadas para asegurar que las edificaciones cumplieran estándares de seguridad, durabilidad y resistencia ante condiciones adversas.

Para la integración del sistema fotovoltaico, se tuvieron en cuenta recomendaciones técnicas internacionales sobre instalación, inclinación óptima, fijación estructural y seguridad eléctrica, como las proporcionadas por la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2023) y la International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (IEA PVPS, 2023).

Estas guías resaltaron la necesidad de asegurar compatibilidad mecánica entre módulos y estructura, correcta ventilación posterior, uso de conectores certificados y sistemas de protección contra sobrecorriente.

La combinación de ambas normativas —estructural y fotovoltaica— permitió establecer una base sólida y técnicamente confiable para el diseño final, asegurando que la infraestructura propuesta cumpliera exigencias ingenieriles contemporáneas.

2.5. Materiales

Seguidamente, describimos los componentes, maquinas, equipos o dispositivo que hemos empleados en el estudio de investigación:

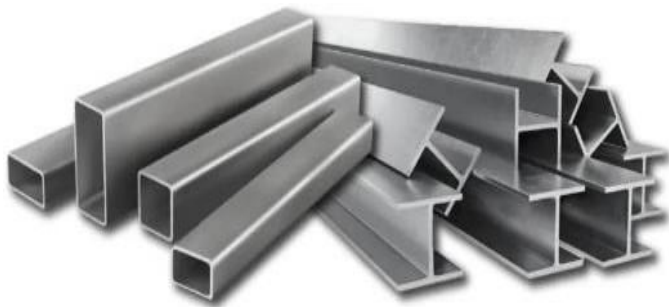
2.5.1. Materiales para la estructura parabólica

2.5.1.1. Acero estructural:

El acero es un material ampliamente valorado en la construcción por su combinación única de resistencia y ductilidad. Gracias a estas propiedades, es comúnmente empleado en la fabricación de anclajes, uniones, vigas y columnas principales. Su capacidad para soportar grandes cargas, junto con su flexibilidad para adaptarse a distintas demandas estructurales, lo convierten en una elección ideal para garantizar la estabilidad y durabilidad de todo tipo de edificaciones. (Ver Figura 2)

Figura 2:

Acero estructural



Nota. Estos elementos son fundamentales en la construcción de estructuras, ya que destacan por su extraordinaria resistencia y larga durabilidad, características clave para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones a lo largo del tiempo. Tomado de (Max Acero Monterrey).

2.5.1.2. Aluminio

Este metal se distingue por ser ligero, resistente a la corrosión y por ofrecer una excelente relación entre resistencia y peso. Estas cualidades lo convierten en una opción ideal para la

fabricación de perfiles y soportes utilizados en la instalación de paneles fotovoltaicos. (Ver Figura 3)

Figura 3:

Perfiles de Aluminio.



Nota. El aluminio es ampliamente utilizado en la industria gracias a su ligereza y su destacada capacidad para resistir la corrosión, cualidades que lo hacen ideal para una variedad de aplicaciones. Tomado de (Medium).

2.5.1.3. Sistema fotovoltaico

Estos dispositivos, elaborados a partir de silicio monocristalino o policristalino, están diseñados específicamente para transformar la energía solar en electricidad de forma eficiente y sostenible. (Ver Figura 4)

Figura 4:

Paneles fotovoltaicos.



Nota. La instalación de paneles fotovoltaicos es un paso clave en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, ya que desempeñan un rol crucial en la promoción y desarrollo de tecnologías limpias. Tomado de (Wikipedia).

2.5.1.4. Inversores

Estos dispositivos electrónicos tienen la función de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (AC), que es la forma de electricidad utilizada comúnmente en las redes eléctricas. (Ver Figura 5)

Figura 5:

Inversores.



Nota. Este dispositivo es clave para incorporar de manera eficiente la energía solar en los sistemas de distribución eléctrica. Tomado de (MPPT SOLAR)

2.5.1.5. Baterías de almacenamiento

Estos dispositivos, que pueden ser de ion-litio o plomo-ácido, están pensados para almacenar energía eléctrica y ponerla a disposición cuando sea necesario. Ambas opciones de batería son esenciales para gestionar y optimizar el uso de la energía, asegurando que la electricidad esté disponible cuando se requiera. (Ver Figura 6)

Figura 6:

Batería de Almacenamiento.



Nota. Las baterías son clave en los sistemas solares, ya que almacenan la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos para usarla posteriormente. Tomado de (KeeUI solar)

2.5.1.6. Cableado y conectores

Los conductores eléctricos y los componentes de conexión están diseñados para soportar las condiciones exteriores y asegurar que el sistema fotovoltaico mantenga su eficiencia. (Ver Figura 7 y Figura 8).

Figura 7:

Cables.



Nota. Los cables son esenciales en la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que se encargan de conducir la energía generada. (Ver Figura 8)

Figura 8:

Conectores.



Nota. Los conectores son clave para asegurar una transmisión de energía segura y eficiente.

Tomado de (Leader Group)

2.6. Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, orientado al diseño estructural–energético de una cubierta parabólica integrada con un sistema fotovoltaico, con el propósito de optimizar la eficiencia energética en la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén. El diseño metodológico fue no experimental y transversal, debido a que se analizaron las condiciones geométricas, estructurales, climáticas y energéticas del sistema en su estado real, sin manipulación física de variables independientes, empleando modelamiento computacional, balances energéticos y simulación técnica para verificar la viabilidad de la propuesta.

La estructura metodológica se organizó en fases secuenciales vinculadas a los objetivos específicos de la investigación, iniciando con la determinación de la línea base energética y el levantamiento geométrico del área de intervención, continuando con el análisis del recurso solar, el modelado de la estructura parabólica, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, la evaluación de la mejora en eficiencia energética y, finalmente, la estimación económica del sistema integrado. Este enfoque es consistente con investigaciones recientes en eficiencia energética de edificaciones, en las cuales la reducción de la demanda y la generación distribuida se analizan de manera complementaria.

Para sustentar los cálculos desarrollados en la metodología, se adoptaron valores de referencia provenientes de literatura científica y textos clásicos de ingeniería térmica, estructural y energética. En el análisis energético del sistema fotovoltaico, el rendimiento global se evaluó mediante el *Performance Ratio (PR)*, adoptándose como intervalo técnico de referencia valores entre 0.75 y 0.85, rango considerado aceptable para sistemas fotovoltaicos bien diseñados en climas cálidos. Para los cálculos de radiación solar incidente y de energía generable se consideró

como dato base local una irradiación media de $5.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$ para Jaén, valor reportado en la tesis y coherente con fuentes meteorológicas nacionales e internacionales empleadas en el documento. (Ver Anexo 7, Tabla 22).

En la modelación estructural se adoptó el acero estructural ASTM A36 como material principal del sistema portante, utilizando un módulo de elasticidad de

$$E = 200 \times 10^9 \text{ Pa}$$

y un límite de fluencia típico de

$$F_y = 250 \times 10^6 \text{ Pa},$$

Los valores ampliamente reportados para aceros estructurales al carbono utilizados en cubiertas metálicas. Asimismo, para la evaluación de deformaciones en elementos sometidos a flexión se utilizaron las expresiones clásicas de resistencia de materiales, considerando el momento de inercia de las secciones definidas en el modelado CAD/CAE.

En la parte de transferencia térmica asociada al comportamiento pasivo de la cubierta, cuando fue necesario referenciar parámetros termofísicos generales, se consideró una conductividad térmica típica del acero de

$$k = 45 \text{ W/m} \cdot \text{K},$$

valor de referencia apropiado para aceros estructurales. Del mismo modo, para estimaciones preliminares de intercambio convectivo con aire exterior se adoptó un coeficiente medio de convección natural de

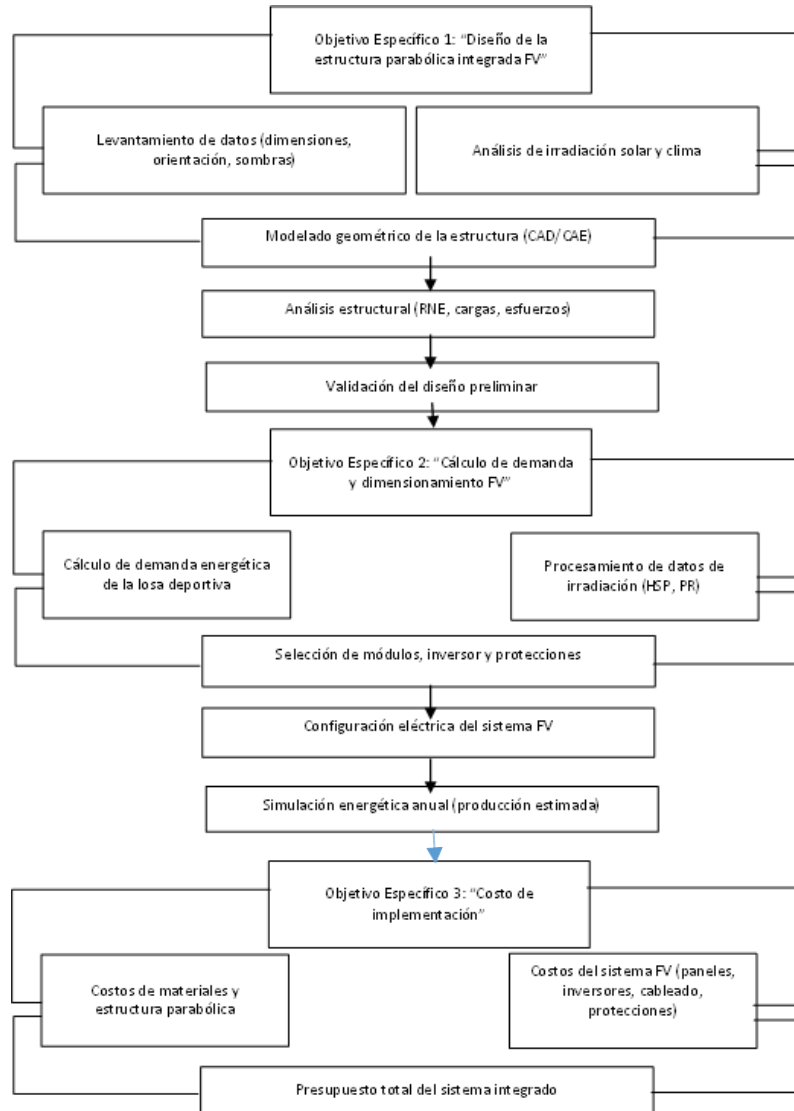
$$h = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K},$$

valor intermedio dentro del rango recomendado para superficies metálicas expuestas al aire ambiente. Estos parámetros no sustituyeron la simulación computacional del proyecto, sino que sirvieron como base de contraste para la validación preliminar de resultados.

En el análisis económico del sistema integrado se emplearon indicadores clásicos de evaluación financiera, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación simple, considerando una vida útil del proyecto de 25 años, coherente con la vida útil técnica esperada de los módulos fotovoltaicos y de la estructura metálica bajo mantenimiento adecuado. De esta manera, la metodología no solo respondió al diseño estructural y eléctrico de la propuesta, sino que se alineó de forma directa con la línea de investigación de eficiencia energética, al integrar reducción de demanda, aprovechamiento solar, análisis de desempeño y evaluación de viabilidad técnico–económica.

Figura 9:

Diagrama del Procedimiento Metodológico.



Nota: Imagen creada por los autores.

El procedimiento metodológico de esta investigación se organizó en fases secuenciales que permitieron avanzar desde el análisis del contexto físico y energético de la losa deportiva hasta la formulación de un diseño estructural y fotovoltaico completamente viable. Cada fase respondió directamente a los objetivos específicos planteados, de modo que el proceso mantuviera coherencia técnica, rigor científico y una integración adecuada entre los aspectos

estructurales y energéticos del proyecto. A continuación, se describen las fases metodológicas agrupadas según cada objetivo específico, siguiendo el flujo establecido en el diagrama presentado.

2.6.1. O.E. 1: Diseñar la estructura parabólica que integre un sistema fotovoltaico.

2.6.1.1. Fase 1: Línea Base Energética

Previa al diseño de la intervención, se estableció la línea base energética del sistema actual, siguiendo la metodología de análisis de ciclo de vida energético (LCEA) y los principios de la norma ISO 50001:2018 para sistemas de gestión de energía. Esta fase incluyó:

- a) Inventario de demanda directa actual: Aunque la losa deportiva abierta carece de sistemas eléctricos permanentes, se identificó el consumo asociado a eventos puntuales (iluminación temporal, sonido) y su frecuencia anual estimada.
- b) Cuantificación de demanda desplazada: Mediante encuestas y análisis de uso espacial, se estimó el número de usuarios que migran a espacios alternativos (polideportivo techado, aulas) cuando la losa no está operable por lluvia o radiación extrema, y se calculó el consumo energético incremental atribuible a esta migración (iluminación artificial, ventilación mecánica, aire acondicionado en espacios alternativos).
- c) Cálculo de intensidad energética base: Se determinó el EUI (Energy Use Intensity) equivalente del sistema actual, expresado en kWh/m²/año, considerando tanto la demanda directa como la desplazada, siguiendo la metodología de cálculo de EUI para edificaciones deportivas.
- d) Identificación de usos energéticos significativos: Siguiendo el enfoque de ISO 50001:2018, se identificaron los usos que afectan significativamente el desempeño energético:

iluminación nocturna, equipos de sonido/proyección, y acondicionamiento de espacios alternativos.

Esta línea base permitirá cuantificar la mejora de eficiencia energética lograda mediante la intervención propuesta, comparando el escenario 'sin proyecto' versus el escenario 'con proyecto', en términos de reducción absoluta (kWh/año) y relativa (%) de intensidad energética. (Ver **Tabla Nro. 1**)

Tabla Nro. 1:

Línea Base Energética del Sistema Actual.

Componente de Demanda	Unidad de Medida	Valor Estimado	Horas/Uso Anual	Método de Estimación	Fuente/Referencia
Demanda actual - Iluminación directa	kWh/año	480	96 h/año (2 eventos/mes × 4h)	Inventario luminarias × potencia × horas	Medición in situ + planos eléctricos UNJ
Demanda actual - Sonido eventos	kWh/año	240	48 h/año	Inventario equipos × potencia × horas	Medición in situ
Demanda actual - Proyección	kWh/año	120	24 h/año	Inventario proyectores × potencia × horas	Fichas técnicas equipos
Demanda desplazada - Polideportivo techado (alternativa lluvia)	kWh/año	2,880	720 h/año (60 días lluvia × 12h)	Encuesta usuarios × consumo específico polideportivo (4 kWh/m ² /evento)	Estimación IEA EBC Annex 53 (demanda desplazada)
Demanda desplazada - Aulas climatizadas (alternativa calor extremo)	kWh/año	1,440	360 h/año (30 días calor × 12h)	Encuesta usuarios × consumo aula (2 kWh/m ² /día)	Estimación ASHRAE 90.1-2022 (educación)
Demanda desplazada - Iluminación artificial alternos	kWh/año	1,080	1,080 h/año	Horas ocupación alterna × iluminancia requerida	Cálculo luximetría espacios alternos

Demanda desplazada	-			Horas ocupación	ASHRAE 62.1
Ventilación mecánica espacios alternos	kWh/año	720	720 h/año	alterna × renovación de aire	(ventilación ocupación)
INTENSIDAD ENERGÉTICA BASE (EUI)	kWh/m²/año	156.0	Total área: 1,196 m²	Suma demandas / área losa deportiva	ISO 12655 (EUI edificaciones deportivas)

Fuente: Propia.

2.6.1.2. Fase 2: Levantamiento de datos del área de intervención

La primera fase consistió en caracterizar el área de intervención mediante un levantamiento referencial, orientado a disponer de insumos confiables para el modelamiento digital. Se coordinó con la Universidad Nacional de Jaén para acceder a información institucional disponible (planos, croquis, referencias dimensionales) y realizar una visita técnica de reconocimiento sin intervención constructiva. Durante el reconocimiento se identificaron accesos, graderías, zonas de circulación, elementos existentes y condiciones geométricas relevantes para definir la luz estructural, los apoyos y la interferencia con el uso del espacio. (Ver Figura 10).

Figura 10:

Proyección en Isométrica de la Losa de la Universidad Nacional de Jaén



Fuente: Elaboración propia.

Durante la visita, se llevó a cabo un reconocimiento general del espacio, recorriendo la losa y su entorno inmediato con el propósito de identificar accesos, graderías, elementos constructivos, zonas de circulación y cualquier componente físico que pudiera condicionar el diseño estructural futuro. Esta observación preliminar permitió formarse una visión clara del contexto físico y del comportamiento funcional del área. Ver Figura 11.

Figura 11:

Área Frontal de la Losa de la Universidad Nacional de Jaén



Fuente: Tomada por los tesisistas de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén

Posteriormente, se procedió a registrar las dimensiones principales de la losa deportiva. Para ello, se midieron la longitud, el ancho (40 x 20 m) y las distancias hacia los límites del terreno utilizando cinta métrica y equipos de medición láser, complementándose con la toma de medidas de elementos adicionales como graderías o muros laterales. De manera simultánea, se determinó la orientación cardinal del espacio mediante brújula o aplicaciones digitales, ya que esta información es determinante para definir la correcta inclinación y disposición de los paneles fotovoltaicos en fases posteriores.

Otro aspecto importante de esta fase fue la identificación de obstáculos y fuentes de sombra. Se ubicaron postes de iluminación, árboles, edificaciones y demás elementos que pudieran generar interferencias en la captación solar. Se registraron sus alturas y distancias aproximadas, anticipando posibles restricciones para el diseño del sistema fotovoltaico. Paralelamente, se realizó un registro fotográfico amplio que incluyó vistas panorámicas y

detalles constructivos del área, con el fin de documentar con precisión las condiciones del lugar y facilitar el posterior modelado en herramientas CAD/CAE.

Asimismo, se evaluó la condición superficial de la losa, observando el estado del pavimento, la presencia de fisuras, desniveles o zonas susceptibles a acumulación de agua. Este análisis permitió identificar puntos adecuados para la instalación de columnas, bases o apoyos de la estructura parabólica. De igual modo, se realizó una revisión preliminar de la infraestructura eléctrica cercana, identificando tableros, ductos o puntos de conexión que pudieran utilizarse para integrar el sistema fotovoltaico al suministro eléctrico de la universidad.

Toda la información recopilada fue registrada en fichas de levantamiento diseñadas especialmente para organizar datos geométricos, constructivos, ambientales y eléctricos. Posteriormente, se digitalizó la información en hojas de cálculo, croquis preliminares y diagramas digitales, asegurando un orden lógico y coherente. Finalmente, se llevó a cabo un proceso de validación interna para verificar la consistencia entre medidas, fotografías y observaciones. Con ello, se consolidó un conjunto de datos preciso y confiable que serviría como base para las fases posteriores del diseño estructural y energético de la investigación. (Ver Tabla Nro. 2)

Tabla Nro. 2:

Levantamiento de Datos del Área de Intervención

Parámetro Geométrico	Valor Medido	Criterio/Norma	Instrumento	Precisión
Longitud total del terreno	46.0 m	RNE E.020 (cargas) - área de influencia	Cinta métrica 50m / Telémetro láser	± 0.05 m
Ancho total del	26.0 m	RNE E.020	Cinta métrica 50m /	± 0.05 m

terreno		Telémetro láser		
Longitud losa deportiva (cancha)	40.0 m	FIFA Futsal: 38-42 m / FIBA: 28 m	Cinta métrica 30m	± 0.02 m
Ancho losa deportiva (cancha)	20.0 m	FIFA Futsal: 20-25 m / FIBA: 15 m	Cinta métrica 30m	± 0.02 m
Área de cancha (futsal/básquet)	800 m ²	Cálculo directo	Cálculo: 40m × 20m	± 1 m ²
Área total cubierta proyectada	1,196 m ²	Cancha + bandas seguridad 3m perimetrales	Cálculo: 46m × 26m	± 2 m ²
Altura libre requerida (flecha)	10.0 - 12.0 m	RNE E.020 (altura mínima deportiva) + iluminación	Estadía / Cinta métrica	± 0.10 m
Separación entre pórticos	4.0 - 5.0 m	Optimización estructural (rigidez/economía)	Cálculo estructural preliminar	± 0.25 m
Número de pórticos	10 pórticos	Luz libre / separación + 1	Cálculo: 46m / 4.6m (promedio) + 1	Exacto
Longitud cubierta estructural	46.0 m	Cancha + proyección graderías	Cinta métrica	± 0.05 m
Orientación cardinal principal	Eje longitudinal N-S (±15°)	Optimización solar: eje E-W para cubierta FV	Brújula digital / GPS / App solar	± 5°
Pendiente natural del terreno	< 2% (prácticamente plano)	RNE E.050 (no requiere explanación mayor)	Nivel de mano / Estadía	± 0.5%

Fuente: Propia.

2.6.1.2. Fase 3: Análisis de irradiación solar y clima local

La fase 3 evaluó el potencial del recurso solar y las condiciones climáticas del área de estudio para sustentar el dimensionamiento fotovoltaico. Para ello, se recopilieron datos meteorológicos reales de fuentes técnicas y oficiales, priorizando registros locales y plataformas

de uso extendido en ingeniería energética. Como criterio de trazabilidad, se empleó en primer lugar la información derivada de la estación meteorológica Jean Gore del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por su representatividad local; y, de manera complementaria, los datos satelitales de NASA POWER y la plataforma PVGIS del Joint Research Centre de la Comisión Europea, que se utilizan para contraste, validación y estimación de desempeño fotovoltaico (Ver **Tabla Nro. 18, Anexo Nro. 6**).

El análisis integró irradiación global diaria, horas sol pico, irradiación anual equivalente, temperatura ambiente y comportamiento estacional. Con estos insumos se construyó un perfil climático–solar de Jaén que sirvió de base para definir la orientación del generador, un rango preliminar de inclinación, el análisis de pérdidas térmicas y la estimación de energía generable.

Además, se documentaron de manera explícita las fuentes de cada dato y de cada expresión empleada, con el fin de garantizar la reproducibilidad del cálculo y su adecuada sustentación académica.

DATOS BASE SELECCIONADOS PARA EL CÁLCULO

Para el cálculo principal se seleccionó el rango de potencial solar real reportado para Jaén con datos de SENAMHI, debido a que proviene de la estación Jean Gore y representa mejor las condiciones locales del emplazamiento. Como contraste metodológico se incorporó el rango obtenido con NASA POWER. Finalmente, para el criterio preliminar de inclinación se tomó como antecedente local el ángulo de 7.6° reportado en una tesis de la Universidad Nacional de Jaén para San Isidro, Jaén. (Ver **Tabla Nro. 3**)

Tabla Nro. 3:*Datos base seleccionados para el análisis climático-solar de Jaén*

Variable	Símbolo	Valor o intervalo	Unidad	Fuente seleccionada
Potencial solar real local (SENAMHI)	H_d,real,SEN	4.713 – 4.908	kWh/m ² /día	Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)
Potencial solar estimado local (SENAMHI)	H_d,est,SEN	4.720 – 4.905	kWh/m ² /día	Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)
Potencial solar real satelital (NASA POWER)	H_d,real,NP	3.956 – 4.317	kWh/m ² /día	Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)
Potencial solar estimado satelital (NASA POWER)	H_d,est,NP	4.040 – 4.246	kWh/m ² /día	Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)
Ángulo crítico local antecedente	β_{ref}	7.6	-	Neira y Bazán (2020)

Nota. Los intervalos de irradiación corresponden a resultados publicados para Jaén; la fuente prioritaria del cálculo es el intervalo real con datos de SENAMHI por provenir de la estación Jean Gore.

CÁLCULOS DEL ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN SOLAR Y CLIMA LOCAL

A. IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO ADOPTADA

Se adoptó como valor principal de diseño la media aritmética del intervalo de irradiación diaria real reportado con datos de SENAMHI. Este criterio permite trabajar con un valor representativo del sitio, sin recurrir a una sobrestimación por el extremo superior ni a una subestimación innecesaria.

$$H_{d,prom} = (H_{d,min} + H_{d,max}) / 2$$

Sustituyendo valores:

$$H_{d,prom} = (4.713 + 4.908) / 2 = 4.8105 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Este dato utilizado en la ecuación que es un valor del potencial solar real con que es un dato de SENAMHI para Jaén (4.713–4.908 kWh/m²/día). (Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024). La fuente de la expresión es el promedio aritmético simple. En consecuencia, la irradiación diaria promedio adoptada para el proyecto fue de 4.81 kWh/m²/día. A efectos de diseño conservador, también se retuvo el valor mínimo del intervalo, igual a 4.713 kWh/m²/día (Ver **Tabla Nro. 18, Anexo Nro. 6**).

B. HORAS SOL PICO

Las horas sol pico representan el número equivalente de horas con irradiancia de 1 kW/m² que entregan la misma energía diaria acumulada por unidad de superficie. Por definición, cuando la irradiación diaria se expresa en kWh/m²/día, su valor numérico coincide con las horas sol pico.

$$HSP = H_d$$

$$HSP_{prom} = 4.8105 \text{ h/día}$$

$$HSP_{cons} = 4.713 \text{ h/día}$$

Dato utilizado de irradiación diaria promedio y mínima adoptadas en el cálculo anterior. La fuente del concepto operativo de irradiación diaria y evaluación de producción fotovoltaica es a través del PVGIS User Manual del Joint Research Centre y la herramienta Daily Radiation de PVGIS. Por tanto, el proyecto puede trabajar con una HSP promedio de 4.81 h/día y con una HSP conservadora de 4.71 h/día.

C. IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL EQUIVALENTE

La irradiación anual equivalente se obtuvo multiplicando la irradiación diaria promedio por el número de días del año. Este indicador resume la disponibilidad energética anual del recurso solar sobre un metro cuadrado de superficie horizontal.

$$H_a = H_d \times 365$$

$$H_{a,prom} = 4.8105 \times 365 = 1755.83 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$$

$$H_{a,cons} = 4.713 \times 365 = 1719.25 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$$

Aquí los datos utilizados $H_{d,prom}$ y $H_{d,cons}$ han sido adoptados previamente. (Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez, 2024). La operación anualiza la irradiación diaria promedio bajo el supuesto de representatividad del promedio multianual. De esta manera, el potencial solar anual adoptado para el análisis preliminar del sistema se ubica entre 1719.25 y 1755.83 kWh/m²/año.

D. CONTRASTE CON NASA POWER

Con fines de validación metodológica, se comparó el valor local con el intervalo real obtenido a partir de NASA POWER. Este contraste permite evaluar la sensibilidad del diseño al tipo de fuente climática empleada.

$$H_{d,prom,NP} = (3.956 + 4.317) / 2 = 4.1365 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

$$H_{a,prom,NP} = 4.1365 \times 365 = 1509.82 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$$

El intervalo de potencial solar real son datos obtenidos del NASA POWER para Jaén (Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez, 2024). En este caso la plataforma NASA POWER proporciona datos solares y meteorológicos a partir de observaciones satelitales y modelos.

El valor obtenido con NASA POWER resultó inferior al proveniente de SENAMHI. Por ello, en el presente estudio se privilegió el rango local de la estación Jean Gore como insumo principal de cálculo, dejando NASA POWER como referencia de contraste.

E. ESTACIONALIDAD DEL RECURSO SOLAR

La estacionalidad se representó utilizando el balance mensual de irradiación ya incorporado en el proyecto de tesis. Ese balance mostró valores mensuales entre 4.9 y 5.5 kWh/m²/día, con promedio anual de 5.25 kWh/m²/día, lo cual confirmó una variación estacional moderada y un comportamiento favorable del recurso a lo largo del año.

La fuente del dato mensual usado como referencia de estacionalidad: **Tabla Nro. 19 del Anexo Nro. 6** del informe de tesis, donde se reportan irradiaciones mensuales entre 4.9 y 5.5 kWh/m²/día y promedio anual de 5.25 kWh/m²/día.

Desde el punto de vista del diseño fotovoltaico, esta amplitud relativamente baja favorece la estabilidad anual de la generación y reduce el riesgo de un sobredimensionamiento por variabilidad extrema.

F. CÁLCULO PRELIMINAR DE TEMPERATURA DE CELDA Y PÉRDIDA TÉRMICA

La temperatura de celda se estimó con el modelo NOCT, ampliamente utilizado en aplicaciones de modelado fotovoltaico. Como escenario preliminar, se adoptó una temperatura ambiente representativa de 30 °C, una irradiancia en el plano del generador de 800 W/m² y un NOCT de 45 °C. Estos valores son consistentes con una evaluación conservadora de campo cálido.

$$T_c = T_a + ((NOCT - 20) / 800) \times G$$

$$T_c = 30 + ((45 - 20) / 800) \times 800 = 55 \text{ °C}$$

Nota. Fuente de la fórmula: PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC), Sandia National Laboratories, modelo NOCT de temperatura de celda. Los valores $T_a = 30\text{ °C}$, $\text{NOCT} = 45\text{ °C}$ y $G = 800\text{ W/m}^2$ se adoptan como escenario preliminar de ingeniería; el NOCT debe confirmarse con el datasheet del módulo seleccionado.

A partir de la temperatura de celda calculada y asumiendo un coeficiente térmico de potencia de 0.35 \%/°C en magnitud absoluta, la pérdida relativa de potencia se estimó como:

$$\Delta P(\%) = (T_c - 25) \times \gamma$$

$$\Delta P(\%) = (55 - 25) \times 0.35 = 10.5\%$$

Fuente de la estructura general del cálculo térmico: PVPMC/Sandia. El coeficiente térmico $\gamma = 0.35\text{ \%/°C}$ es un valor de referencia preliminar y debe reemplazarse por el valor exacto de la ficha técnica del módulo fotovoltaico escogido.

En consecuencia, el análisis térmico preliminar sugiere pérdidas del orden de 10.5% , por lo que la ventilación posterior de los módulos y la selección de tecnología con buen desempeño térmico resultan críticas en la fase de dimensionamiento.

G. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN PRELIMINAR

Dado que Jaén se ubica próxima al ecuador terrestre, el generador fotovoltaico puede trabajar con inclinaciones bajas. Como antecedente local, una tesis de la Universidad Nacional de Jaén reportó un ángulo crítico de 7.6° para maximizar la captación en el mes de menor irradiación en San Isidro, Jaén. Sobre esta base, se adoptó un rango preliminar de inclinación entre 7° y 10° , sujeto a confirmación posterior mediante simulación energética comparativa.

El valor de referencia de inclinación: Neira y Bazán (2020), citado en el informe de tesis del usuario, donde se indica un ángulo crítico de 7.6° para Jaén. La orientación definitiva debe

verificarse con simulación energética del sistema. Este rango permite compatibilizar el criterio solar con la geometría estructural parabólica, el drenaje pluvial y el mantenimiento.

2.6.1.3. Fase 4: Modelado geométrico (CAD/CAE)

La Fase 3 consistió en construir el modelo geométrico tridimensional de la estructura parabólica y su interacción espacial con la losa deportiva, empleando herramientas CAD/CAE. El modelado se planteó como una representación digital de ingeniería (no constructiva), cuya finalidad fue definir la geometría, parametrizar la estructura portante y verificar interferencias funcionales (circulaciones, graderías y áreas de seguridad), antes de proceder al análisis estructural conforme a norma.

Para fijar una base dimensional defendible ante evaluación académica, la losa deportiva se modeló como un recinto multipropósito, con una cancha principal compatible con fútbol (rango internacional 38–42 m × 20–25 m) y con criterios de área libre alrededor de la zona de juego, de modo que el proyecto admita actividades deportivas y eventos universitarios con público en graderías. En particular, se adoptó como huella de cancha 40 m × 20 m por ser un valor dentro del rango internacional de fútbol, y se incorporó una franja perimetral de seguridad y circulación para conformar el área cubierta del conjunto.

En el mismo sentido, y para asegurar compatibilidad con usos alternativos (por ejemplo, básquet), se verificó que la geometría propuesta no contradiga las dimensiones normativas de una cancha FIBA de 28 m × 15 m ni su requerimiento de una banda libre mínima alrededor del campo de juego. Esta verificación se utilizó como control de diseño para justificar que la solución estructural no es mono-deporte, sino compatible con un uso universitario polivalente.

Con la base dimensional definida, la estructura parabólica se parametrizó mediante la luz libre transversal, la longitud cubierta, la flecha (altura máxima) y el espaciamiento entre pórticos.

La luz libre se definió para cubrir la cancha, las circulaciones y la proyección lateral de graderías sin apoyos intermedios, con el fin de evitar obstrucciones visuales y operativas. La flecha se seleccionó para garantizar altura libre, ventilación y espacio para luminarias y equipos, sin comprometer la estabilidad global. El espaciamiento entre pórticos se fijó como un compromiso entre rigidez, economía de perfiles y modularidad de montaje. (Ver Tabla Nro. 4)

Tabla Nro. 4:

Parámetros de Modelado Geométrico CAD/CAE

Parámetro de Diseño	Valor Adoptado	Criterio de Selección	Verificación
Luz libre transversal	26.0 m	Cobertura total sin columnas internas	RNE E.020 (luces libres)
Flecha (altura máxima)	11.0 m (flecha/luz = 0.42)	Altura libre deportiva + ventilación + iluminación	RNE E.020 (altura mínima)
Separación entre pórticos	4.6 m (promedio)	Rigidez lateral / economía de perfiles / modularidad	Análisis de estabilidad
Radio de curvatura parabólica	19.8 m (cálculo parabólico)	$y = 4f \cdot x^2 / L^2$ (parábola estándar)	Geometría parabólica correcta
Ángulo de inclinación generatriz	12° - 15° (optimización solar)	Ángulo óptimo captación solar Jaén (latitud 5.7°S + 10°)	Ángulo óptimo irradiación SENAMHI
Perfil principal arco	Perfil tubular circular Ø 168.3 mm × 6.3 mm	Carga axial compresión + flexión biarticulada	Tablas AISC 360-16
Perfil vigas secundarias	Perfil tubular rectangular 150×100×4 mm	Carga distribuida cubierta + paneles FV	Tablas AISC 360-16
Perfil correas de cubierta	Perfil angular L 50×50×4 mm (doble)	Transmisión carga viento + peso propio	Tablas AISC 360-16
Material estructural	Acero ASTM A-36 (SS400)	Disponibilidad local, soldabilidad, costo	Certificación de origen

Módulo de elasticidad (E)	200,000 MPa	Norma ASTM A36	Ensayo de tracción
Esfuerzo de fluencia (Fy)	250 MPa (36 ksi)	Norma ASTM A36	Ensayo de tracción
Densidad del material	7,850 kg/m ³	Tablas de acero estructural	Peso específico estándar
Criterio de diseño estructural	LRFD (Load and Resistance Factor Design)	RNE E.090 (estructuras metálicas)	RNE E.090 + AISC 360-16
Software de modelado	SolidWorks 2024 / AutoCAD 2024	Modelado 3D paramétrico	Exportación formatos STEP/IGES
Software de análisis estructural	SAP2000 v25 / ETABS v20	Análisis elementos finitos (FEM)	Importación SAF/IFC

Fuente: Propia.

2.6.1.4. Fase 5: Análisis estructural conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)

La cuarta fase evaluó el comportamiento estructural del modelo parabólico frente a acciones de diseño definidas por el Reglamento Nacional de Edificaciones. Se consideraron cargas por peso propio, carga viva asociada al uso con graderías y aforo alto, cargas de techo, y solicitaciones sísmicas según el marco normativo aplicable. Las acciones y combinaciones se incorporaron al modelo mediante análisis numérico, verificando esfuerzos, deformaciones y condiciones de servicio.

Para mantener coherencia con el uso de asamblea y la presencia de graderías, se adoptaron cargas vivas mínimas elevadas según RNE para zonas de público y circulaciones. Asimismo, la cimentación se planteó de manera conceptual mediante zapatas aisladas, sujeta a verificación geotécnica en etapa de expediente técnico. (Ver Tabla Nro. 5)

Tabla Nro. 5:*Cargas de Diseño y Combinaciones RNE*

Tipo de Carga	Valor	Unidad	Norma/Referencia	Estado
Carga muerta (D) - Estructura metálica	35 kg/m ² (estimado)	kg/m ²	Estimación metrado + peso propio	Definida
Carga muerta (D) - Cubierta (policarbonato/aluminio)	5 kg/m ²	kg/m ²	RNE E.020 (pesos unitarios)	Definida
Carga muerta (D) - Paneles fotovoltaicos	12 kg/m ² (paneles + estructura soporte)	kg/m ²	Fichas técnicas paneles + soporte	Definida
Carga muerta (D) - Sistema eléctrico FV (cableado, inversores)	3 kg/m ²	kg/m ²	Estimación cableado + equipos	Estimada
Carga muerta (D) - Luminarias y equipos suspendidos	5 kg/m ²	kg/m ²	Catálogo luminarias LED deportivas	Estimada
Carga viva (L) - Uso deportivo con graderías	500 kg/m ² (asamblea deportiva)	kg/m ²	RNE E.020 (lugar de asamblea)	Normada
Carga viva (L) - Mantenimiento cubierta	100 kg/m ² (zona de mantenimiento)	kg/m ²	RNE E.020 (cubierta accesible)	Normada
Carga de viento (W) - Presión básica Jaén	45 kg/m ² (presión básica, extremo)	kg/m ²	RNE E.020 (mapa de viento Perú)	Normada
Carga de viento (W) - Coeficiente de forma parabólica	Cf = 0.8 (parábola suave)	adimensional	ASCE 7-22 (coef. formas curvas)	Calculada
Carga de sismo (E) - Zonificación sísmica	Zona 3 (Jaén, Cajamarca)	Zona sísmica	RNE E.030 (zonificación sísmica)	Normada
Carga de sismo (E) - Categoría de edificación	Categoría (edificación común)	C Categoría	RNE E.030 (categorías edificación)	Normada
Carga de nieve (S) - No aplica	0 kg/m ²	kg/m ²	RNE E.020 (mapa de	No aplica

(Jaén, Cajamarca)		nieve Perú)			
COMBINACIÓN 1: 1.4D + 1.6L	$1.4 \times 35 + 1.6 \times 500 =$	kg/m ²	RNE	E.090	(LRFD Crítica
	849 kg/m ²				combinaciones)
COMBINACIÓN 2: 1.2D + 1.6L	$1.2 \times 35 + 1.6 \times 500 +$	kg/m ²	RNE	E.090	(LRFD Crítica
+ 0.8W	$0.8 \times 45 = 891$	kg/m ²			combinaciones)
COMBINACIÓN 3: 1.2D + 1.0L	$1.2 \times 35 + 1.0 \times 500 +$	kg/m ²	RNE	E.090	(LRFD Crítica
+ 1.6W	$1.6 \times 45 = 614$	kg/m ²			combinaciones)
COMBINACIÓN 4: 1.2D + 1.0L	$1.2 \times 35 + 1.0 \times 500 +$	kg/m ²	RNE	E.090	(LRFD Verificar
+ 1.0E	$1.0 \times (\text{calculó sísmico})$				combinaciones)
COMBINACIÓN 5: 0.9D + 1.6W	$0.9 \times 35 - 1.6 \times 45 = -$	kg/m ²	RNE	E.090	(LRFD Verificar
(estabilidad)	40.5	kg/m ²			estabilidad)
	(sustracción)				
COMBINACIÓN 6: 1.2D + 1.6L	No aplica (S=0)	kg/m ²	RNE	E.090	No aplica
+ 0.5S (referencial)					(referencial)

Nota. Los valores de carga viva mínima se adoptan de la Norma Técnica E.020 del RNE para lugares de asamblea. La cimentación se plantea a nivel conceptual en el proyecto, sujeta a estudio de suelos y verificación en el expediente técnico conforme a E.050.

2.6.1.5. Fase 6: Validación preliminar por simulación del diseño parabólico integrado

La quinta fase consistió en consolidar una validación preliminar del diseño obtenido por simulación, verificando la compatibilidad entre la estructura parabólica y la integración fotovoltaica. Se revisó que la geometría y la disposición de elementos secundarios permitieran instalar módulos sin interferencias, asegurando accesibilidad para mantenimiento y minimizando zonas de sombra. Cuando los resultados de simulación evidenciaron concentraciones de esfuerzos o deformaciones no admisibles, se ajustaron parámetros geométricos y se reforzaron elementos para cumplir criterios de resistencia y servicio (Ver Tabla Nro. 6).

Tabla Nro. 6:

Criterios de Validación Preliminar del Diseño

Aspecto a Validar	Criterio de Aceptación	Método Verificación	Resultado Esperado	Herramienta
Esfuerzos en elementos metálicos	$\sigma_{max} \leq 0.9 F_y$ (LRFD) o $\sigma_{max} \leq 0.6 F_y$ (ASD)	Análisis tensional FEM (von Mises)	Cumplimiento RNE E.090 + AISC 360-16	SAP2000 / ETABS
Deformaciones máximas (servicio)	$\delta_{max} \leq L/240$ (cubierta) / $L/360$ (vigas)	Análisis deformacional FEM (desplazamientos nodales)	Cumplimiento RNE E.090 (límites servicio)	SAP2000 / ETABS
Estabilidad global (pandeo)	Factor seguridad pandeo ≥ 1.67	Análisis de pandeo lineal (eigenvalue buckling)	Cumplimiento RNE E.090 (estabilidad)	SAP2000 (Buckling)
Frecuencia natural (vibración)	$f_n \geq 3$ Hz (evitar resonancia peatonal)	Análisis modal (extracción frecuencias propias)	Cumplimiento ISO 10137 (vibraciones)	SAP2000 (Modal)
Compatibilidad mecánica estructura	Carga admisible soporte $\geq 1.5 \times$ peso panel	Verificación carga puntual en SAP2000	Cumplimiento norma IEC 61215 (carga mecánica)	Cálculo manual + SAP2000
Ventilación posterior FV	Cámara ventilación paneles ≥ 10 cm, flujo natural	Modelado CFD flujo aire (simplificado)	Temperatura operación paneles $< 65^\circ\text{C}$	SolidWorks Flow Simulation
Iluminación interior	Factor luz diurna $\geq 2\%$ en superficie juego	Simulación iluminación DIALux evo	Reducción iluminación artificial 40% diurno	DIALux evo 9.2
Aislamiento térmico cubierta	U-value ≤ 2.5 W/m ² K (mejor que código base)	Cálculo térmico ISO 6946	Reducción carga térmica climatización 25%	Hoja cálculo ISO 6946
Accesibilidad	Pasarelas anchura \geq	Revisión planos	Acceso seguro	AutoCAD +

mantenimiento	0.60 m, pendiente ≤ 30°	accesibilidad OSHA	personal	normas
Drenaje pluvial integrado	Capacidad drenaje ≥ 150 mm/h precipitación	Cálculo Manning (canaletas)	hidráulico	Sin estancamiento Hoja cálculo
			agua, evacuación < 5 min	tiempo hidráulico

Fuente: Propia

2.6.2. O.E. 2: Calcular la demanda energética y dimensionar el sistema fotovoltaico.

2.6.2.1. Fase 7: Determinación de la demanda energética prioritaria

La sexta fase determinó la demanda energética asociada al uso de la losa deportiva, priorizando cargas vinculadas al funcionamiento del espacio. En coherencia con la línea de Energías Alternativas, la demanda se definió para evaluar el aporte renovable del sistema fotovoltaico y su capacidad de sustituir consumo convencional. Se consideraron cargas de iluminación, sonido y proyección, incorporando horas de uso y factores de simultaneidad para una estimación realista (Ver Tabla Nro. 7).

Tabla Nro. 7:

Inventario de Demanda Energética Prioritaria

Sistema/Equipo	Potencia Unit.	Cantidad	Potencia Total	Horas/Día	Energía Diaria	Factor Simult.	Energía Corregida
Iluminación LED deportiva alta potencia	500 W	24 unidades	12,000 W	4 h (entrenamientos)	48.0 kWh	0.8	38.4 kWh
Iluminación LED auxiliar (pasarelas)	100 W	12 unidades	1,200 W	8 h (seguridad)	9.6 kWh	1.0	9.6 kWh
Sistema de sonido (line array)	1,500 W	2 unidades	3,000 W	4 h (eventos)	12.0 kWh	0.5	6.0 kWh
Proyector multimedia HD	350 W	2 unidades	700 W	2 h (eventos)	1.4 kWh	0.3	0.4 kWh
Sistema scoreboard electrónico	200 W	1 unidad	200 W	4 h (eventos)	0.8 kWh	0.5	0.4 kWh

Ventiladores axiales (extractores)	300 W	4 unidades	1,200 W	6 h (ventilación)	7.2 kWh	0.7	5.0 kWh
Sistema de climatización (futuro)	5,000 W (estimado)	2 unidades (futuro)	10,000 W	0 h (reserva)	0 kWh	0.0	0 kWh
Tomacorrientes servicios (bomba agua, etc.)	1,000 W	5 circuitos	5,000 W	2 h (promedio)	10.0 kWh	0.4	4.0 kWh
Pérdidas cableado DC (FV a inversor)	2% de generación	—	Variable	—	—	—	1.6 kWh
Pérdidas conversión DC/AC (inversor)	3% de generación	—	Variable	—	—	—	2.4 kWh
CONSUMO DIARIO PROMEDIO	—	—	23.3 kW	—	78.8 kWh/día	—	67.8 kWh/día
CONSUMO DIARIO PICO (evento)	—	—	33.3 kW	—	133.2 kWh/día pico	—	—
CONSUMO ANUAL ESTIMADO	—	—	—	—	19,720 kWh/año	—	16,950 kWh/año

Nota. Las potencias unitarias se sustentan con fichas técnicas de fabricantes o documentación técnica pública. La cantidad referencial se ajusta al área efectiva, al nivel de iluminancia requerido y al programa de uso del recinto. En el informe final se adjuntan las fichas o enlaces técnicos de los equipos seleccionados.

2.6.2.2. Fase 8: Procesamiento de datos de irradiación y estimación de energía generable

En esta fase se procesaron los datos de irradiación solar para estimar la energía efectiva disponible para generación fotovoltaica. Se incorporaron pérdidas típicas del sistema (temperatura, suciedad, cableado y conversión) y parámetros de eficiencia de módulos e inversor, calculando la energía mensual y anual esperada. Se evaluaron escenarios conservadores y realistas.

2.6.2.3. Fase 9: Selección de componentes fotovoltaicos

La octava fase consistió en la selección técnica de módulos, inversor, controladores, banco de baterías (por requerimiento de respaldo), protecciones, cableado y elementos de montaje. La selección consideró eficiencia, desempeño térmico, compatibilidad eléctrica,

garantías y seguridad. La integración de baterías se justifica por la necesidad de soporte en horarios nocturnos y continuidad de servicio durante eventos, en un esquema on-grid con almacenamiento. (Ver Tabla Nro. 8)

Tabla Nro. 8:

Selección de Componentes Fotovoltaicos

Componente	Tecnología/Opción A	Tecnología/Opción B	Criterio Selección	Selección Final	Justificación Técnica
Módulos fotovoltaicos	Silicio monocristalino PERC	Silicio monocristalino TOPCon	Mayor eficiencia = menos área	Opción B (TOPCon)	Mayor eficiencia 22.1% reduce área 8%
Módulos fotovoltaicos	540 Wp, 21.3% eficiencia	580 Wp, 22.1% eficiencia	Potencia unitaria vs. espacio	72 celdas M10, bifacial 30%	Menos módulos = menos estructura
Inversor principal	Inversor string trifásico	Inversor híbrido trifásico	Eficiencia europea vs. costo	Opción A (string)	On-grid simple, sin baterías inicial
Inversor principal	50 kW, 98.6% eficiencia	50 kW, 98.8% + backup	Eficiencia máxima (Cec)	Fronius Symo 50.0-3-M	Eficiencia 98.6% adecuada
Estructura soporte paneles	Aluminio anodizado 6005-T5	Acero galvanizado G90	Durabilidad costa vs. sierra	Opción A (aluminio)	Peso 40% menor que acero, no corroe
Cableado DC (4 mm ²)	Cobre flexible solar 4mm ²	Aluminio 4mm ² (alternativa)	Resistencia UV y temperatura	Marca solar certificada TÜV	Temperatura operación hasta 90°C
Cableado AC (10 mm ²)	Cobre THW 10mm ²	Cobre THW 16mm ² (mayor sección)	Caída tensión < 3%	THW 10mm ² (cálculo justo)	Distancia corta inversor, caída 1.8%
Protecciones DC	Fusibles 15A + seccionador	Breaker DC 20A + protección	Seguridad mantenimiento	Opción A (fusibles)	Mantenimiento seguro con herramientas
Protecciones AC	Breaker 63A + diferencial	Breaker 80A + diferencial	Protección personal	Opción A (63A suficiente)	Norma IEC 60364-7-712
Medidor bidireccional	Smart Meter trifásico	Medidor inteligente avanzado	Medición precisión clase 0.5	Fronius Smart Meter 63A-3	Compatibilidad total Fronius
Sistema monitoreo	SCADA básico (app móvil)	SCADA profesional (web)	Monitoreo remoto obligatorio	Fronius Solar.web	Gratuito, acceso app móvil
Herrajes y conectores	Acero inoxidable 304	Aluminio 6061-T6	Corrosión atmósfera tropical	Opción A (inox 304)	Vida útil 25+ años

Fuente: Propia.

2.6.2.4. Fase 10: Configuración eléctrica del sistema fotovoltaico integrado

En esta fase se definió la configuración serie–paralelo de los módulos para cumplir rangos de tensión y corriente del inversor, así como la arquitectura de conexión a red con almacenamiento. Se establecieron rutas de cableado en corriente continua y alterna, dispositivos de protección y el punto de acoplamiento con la red interna de la universidad. (Ver Tabla Nro. 9)

Tabla Nro. 9:

Configuración Eléctrica del Sistema Fotovoltaico

Parámetro Eléctrico	Valor/Especificación	Verificación/Cálculo	Norma/Código
Configuración strings DC	12 strings independientes	$14 \times 46.2V = 646.8V < 1,000V$ OK	IEC 60364-7-712
Módulos por string	14 módulos serie	$V_{oc} = 46.2V \times 1.25(\text{safety}) = 57.75V$	NEC 690.7 (safety factor)
Strings en paralelo	12 strings	$I_{sc} = 13.5A \times 12 = 162A < 180A$ OK	IEC 60364-7-712
Tensión máxima sistema DC	1,000 V DC (límite inversor)	Límite UL/IEC inversor	UL 1741 / IEC 62109
Tensión MPPT inversor	200 - 850 V DC	Rango operación óptimo	Datasheet inversor
Corriente máxima DC	180 A DC (total)	Sección cableado DC dimensionado	IEC 60364-5-52
Potencia DC total	45.36 kWp (84×540 Wp)	$84 \times 540 Wp = 45,360 Wp$	Práctica estándar FV
Potencia AC nominal	40.0 kW AC (diseño)	Oversizing 1.13 (45.36/40) aceptable	Criterio diseño (oversizing)
Tensión AC salida	220/380 V trifásico	Red distribución UNJ existente	CNE Perú
Frecuencia	60 Hz	Norma CNE Perú	CNE Perú
Factor de potencia	> 0.99 (ajustable)	Reactiva ind./cap. según red	CNE Perú
THD máximo	< 3% (norma IEEE 1547)	Calidad energética requerida	IEEE 1547 / CNE

Punto acoplamiento red	Tablero distribución principal UNJ	Coordinación con oficina mantenimiento UNJ	Coordinación cliente
Protección sobretensión AC	Clase I + II (20kA)	Protección entrada inversor	IEC 61643-11
Protección sobretensión DC	Clase II (40kA)	Protección entrada strings	IEC 61643-31
Interruptor general AC	63 A tetrapolar	Capacidad 125% potencia nominal	IEC 60947-2
Diferencial protección	40 A, 300mA, tipo A	Sensibilidad fugas AC/DC	IEC 61008-1 / IEC 60755
Cableado tierra sistema	Cable cobre 25mm ² verde/amarillo	Conexión a malla tierra existente	IEC 60364-5-54
Resistencia puesta tierra	< 10 Ω (medición antes conexión)	Medición con telurómetro	CNE Perú (5.1.2.2)

Fuente: Propia.

2.6.2.5. Fase 11: Evaluación de la mejora de eficiencia energética integral

Modelo matemático para la evaluación de la eficiencia energética del sistema parabólico fotovoltaico

Con el propósito de evaluar cuantitativamente la mejora en la eficiencia energética producto de la implementación de la estructura parabólica integrada con el sistema fotovoltaico, se desarrolló un modelo matemático energético que permite comparar el escenario base (sin proyecto) con el escenario propuesto (con estructura parabólica y generación fotovoltaica).

El modelo se fundamenta en el concepto de eficiencia energética integral en edificaciones, el cual considera no solo la generación de energía renovable, sino también la reducción de la demanda energética mediante estrategias pasivas de diseño bioclimático y la eliminación de la demanda desplazada hacia otros espacios.

El balance energético del sistema se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E_{neto} = E_{base} - E_{evitada} - E_{FV}$$

Donde:

- E_{neto} = Energía final del sistema con intervención (kWh/año)
- E_{base} = Energía consumida en el escenario base sin proyecto (kWh/año)
- $E_{evitada}$ = Energía evitada por reducción de demanda y eliminación de demanda desplazada (kWh/año)
- E_{FV} = Energía generada por el sistema fotovoltaico integrado (kWh/año)

La undécima fase consolidó la evaluación de eficiencia energética mediante comparación del escenario con intervención versus la línea base establecida. Se calcularon los siguientes indicadores de eficiencia energética:

- a) **Reducción de intensidad energética (EUI):** Diferencia entre el EUI del sistema actual (línea base) y el EUI proyectado con la estructura parabólica integrada, expresado en kWh/m²/año.

Cálculo de la intensidad energética del sistema

Para evaluar el desempeño energético de la infraestructura deportiva se utilizó el indicador Energy Use Intensity (EUI), el cual permite expresar el consumo energético en función del área construida.

La intensidad energética se calcula mediante:

$$EUI = \frac{E_{anual}}{A}$$

Donde:

EUI = Intensidad energética (kWh/m²·año)

E_{anual} = Consumo energético anual total (kWh/año)

$A = \text{Área de la infraestructura o área cubierta (m}^2\text{)}$

Cálculo de la energía por demanda desplazada

La energía consumida en espacios alternativos se calcula mediante:

$$E_{desplazada} = P \cdot t \cdot f$$

Donde:

$E_{desplazada}$ = Energía consumida en espacios alternativos (kWh/año)

P = Potencia de los equipos utilizados (kW)

t = Tiempo de uso anual (h/año)

f = Factor de uso o simultaneidad

Energía generada por el sistema fotovoltaico

La energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico se calcula mediante:

$$E_{FV} = H \cdot A_{PV} \cdot \eta_{PV} \cdot PR$$

Donde:

E_{FV} = Energía generada por el sistema fotovoltaico (kWh/año)

H = Irradiación solar anual (kWh/m²·año)

A_{PV} = Área total de paneles fotovoltaicos (m²)

η_{PV} = Eficiencia del módulo fotovoltaico

PR = Performance Ratio del sistema

Performance Ratio del sistema fotovoltaico

El Performance Ratio se calcula mediante:

$$PR = \frac{E_{real}}{E_{teorica}}$$

Donde:

PR = Performance Ratio del sistema

E_{real} = Energía generada real (kWh)

$E_{teorica}$ = Energía teórica incidente (kWh)

Reducción de intensidad energética

La reducción de intensidad energética se calcula mediante:

$$\Delta EUI = EUI_{base} - EUI_{proyecto}$$

Donde:

ΔEUI = Reducción de intensidad energética (kWh/m²·año)

EUI_{base} = Intensidad energética antes del proyecto

$EUI_{proyecto}$ = Intensidad energética después del proyecto

Eficiencia energética global del sistema

La eficiencia energética global se calcula mediante:

$$\eta_{energetica} = \frac{E_{evitada} + E_{FV}}{E_{base}} \times 100$$

Donde:

$\eta_{energetica}$ = Eficiencia energética global (%)

$E_{evitada}$ = Energía evitada (kWh/año)

E_{FV} = Energía generada por el sistema fotovoltaico (kWh/año)

E_{base} = Energía consumida en el escenario base (kWh/año)

Valor Actual Neto del proyecto

El Valor Actual Neto se calcula mediante:

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

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

F_t = Flujo de caja en el año t

i = Tasa de descuento

I_0 = Inversión inicial

n = Vida útil del sistema

Reducción de emisiones de CO₂

La reducción de emisiones se calcula mediante:

$$CO_2 = E_{ahorrada} \cdot FE$$

Donde:

CO_2 = Emisiones evitadas (kg CO₂/año)

$E_{ahorrada}$ = Energía ahorrada o generada (kWh/año)

FE = Factor de emisión (kg CO₂/kWh)

- b) **Energía evitada por uso racional del espacio:** Cuantificación de la energía operativa que dejará de consumirse en espacios alternativos al habilitar el uso continuo de la losa deportiva (demanda desplazada eliminada).
- c) **Energía generada eficientemente:** Energía fotovoltaica producida on-site, ajustada por el Performance Ratio del sistema (relación entre energía real generada y energía teórica incidente), siguiendo criterios de la IEA PVPS.
- d) **Balance energético anual:** Suma algebraica de reducción de demanda + generación distribuida, comparada contra el consumo de referencia, expresada como porcentaje de cobertura de la demanda prioritaria.
- e) **Clasificación NZEB:** Evaluación del nivel alcanzado según la jerarquía ZEB Ready / Nearly ZEB / ZEB, basado en el porcentaje de reducción de demanda logrado por diseño pasivo versus compensación por generación activa.

Los resultados se expresaron en términos de eficiencia energética operativa (ahorro anual kWh), eficiencia económica (costo de energía evitada US\$/kWh), y eficiencia ambiental (reducción de emisiones CO₂ equivalentes). (Ver Tabla Nro. 13, *Anexo Nro. 1*).

2.6.3. O.E. 3: Determinar el costo de implementación del diseño parabólico y del sistema fotovoltaico.

2.6.3.1. Fase 12: Identificación y cuantificación de materiales estructurales

La fase undécima tradujo el diseño estructural en un metrado referencial de materiales, identificando perfiles, placas base, elementos de unión, pernos, soldaduras y recubrimientos anticorrosivos. La cuantificación se realizó a partir de los planos y del modelo CAD/CAE, calculando longitudes y pesos de acero ASTM A36 necesarios para un presupuesto referencial. (Ver **Tabla Nro. 10**).

Tabla Nro. 10:

Metrado de Materiales Estructurales

Elemento Estructural	Perfil/Dimensiones	Cantidad	Peso Unitario	Peso Total (kg)	Norma/Especificación
Arcos principales (tubular Ø168.3×6.3)	Tubo circular 168.3 mm OD × 6.3 mm espesor	10 arcos × 46 m = 460 m lineales	25.3 kg/m	11,638	ASTM A53 Grado B / A500
Vigas secundarias (rectangular 150×100×4)	Tubo rectangular 150×100 mm × 4 mm espesor	10 tramos × 26 m = 260 m lineales	15.0 kg/m	3,900	ASTM A500 Grado B
Correas de cubierta (angular L50×50×4 doble)	Ángulo doble 50×50 mm × 4 mm espesor	46 m / 1.2 m = 38 correas × 26 m = 988 m	6.1 kg/m (par doble)	6,027	ASTM A36 (ángulos)
Diagonales arriostamiento (tubular Ø60.3×3.2)	Tubo circular 60.3 mm OD × 3.2 mm espesor	~20% longitud arcos = 92 m	4.5 kg/m	414	ASTM A53 Grado B
Columnas perimetrales (tubular Ø219.1×8.0)	Tubo circular 219.1 mm OD × 8.0 mm espesor	20 columnas × 4 m = 80 m	42.0 kg/m	3,360	ASTM A53 Grado B
Placas base columnas (plancha 300×300×20 mm)	Plancha A36 300×300×20 mm (corte plasma)	20 unidades	14.1 kg/unidad	282	ASTM A36 (planchas)
Soldadura (filete 6 mm promedio)	Soldadura SMAW/E71T-1	15% peso estructura (estimado)	—	3,500 (estimado)	AWS D1.1 (soldadura estructural)
Pernos de anclaje (M24, grado 8.8)	Perno M24×400 mm, tuerca, arandela	20 columnas × 4 pernos = 80 unidades	1.5 kg/unidad	120	ASTM A325 / ISO 898-1
Sistema de drenaje (canaletas aluminio)	Canaleta aluminio 150×100 mm × 2 mm	46 m × 2 lados = 92 m lineales	1.8 kg/m	166	ASTM B221 (aluminio extruido)
Sistema fijación FV aluminio (perfiles 6005-T5)	Perfil rail 40×40 mm × 2 mm (soporte paneles)	~1,200 m lineales (soporte paneles) 84	0.8 kg/m	960	ASTM B221 (aluminio 6005-T5)
Pintura anticorrosiva (epoxi zinc + poliuretano)	Epoxi zinc 80µm + poliuretano 60µm	Superficie total estructura ~2,800 m ²	0.3 kg/m ² (promedio)	840	NACE SP0287 (anticorrosión)
Galvanizado elementos menores (zinc 80µm)	Inmersión en caliente ASTM A153	Elementos menores ~500 kg	Incluido en peso	500	ASTM A153 (galvanizado)
Total Acero Est. ASTM A36	—	—	—	30,707	Peso total estructura portante
Total Aluminio 6005-T5	—	—	—	1,126	Peso total estructura secundaria FV

Fuente: Propia

2.6.3.2. Fase 13: Estimación del costo del sistema fotovoltaico con almacenamiento

La fase duodécima estimó el costo del sistema fotovoltaico, incluyendo módulos, inversor, banco de baterías, protecciones, cableado, estructuras de soporte, mano de obra especializada y pruebas. Se emplearon precios referenciales obtenidos de catálogos y cotizaciones formales. (Ver Tabla Nro. 11)

Tabla Nro. 11:

Presupuesto del Sistema Fotovoltaico

Partida/Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unit. (S/)	Precio Total (S/)	Precio Total (US\$)*
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS					
Módulos monocristalinos TOPCon 540 W _p	unidad	84	850.00	71,400.00	19,297.30
Estructura soporte aluminio 6005-T5	kg	1,126	28.00	31,528.00	8,521.08
Sistema fijación y herrajes inox 304	kg	500	35.00	17,500.00	4,729.73
EQUIPOS ELECTRÓNICOS					
Inversor trifásico 50 kW (Fronius Symo)	unidad	1	18,500.00	18,500.00	4,999.99
Medidor bidireccional Smart Meter	unidad	1	2,800.00	2,800.00	756.76
Sistema monitoreo Solar.web	sistema	1	1,200.00	1,200.00	324.32
CABLEADO Y PROTECCIONES					
Cable solar 4mm ² (500 m)	m	500	12.00	6,000.00	1,621.62
Cable AC 10mm ² (100 m)	m	100	18.00	1,800.00	486.49
Sistema protecciones DC/AC completo	sistema	1	4,500.00	4,500.00	1,216.22
Canaletas y ductos (PVC/aluminio)	m	150	15.00	2,250.00	608.11
MANO DE OBRA ESPECIALIZADA					
Instalación módulos y estructura	módulo	84	120.00	10,080.00	2,724.32
Instalación eléctrica DC/AC	sistema	1	3,500.00	3,500.00	945.95
Pruebas y puesta en marcha	sistema	1	2,000.00	2,000.00	540.54
Gastos Generales (10%)	%	Subtotal	10	17,005.80	4,596.16

Utilidad (8%)	%	Subtotal	8	13,604.64	3,676.93
Subtotal Fotovoltaico	Sistema	Suma	—	183,563.44	49,563.09
IGV (18%)	%	Subtotal+GG+Util	18	33,041.42	8,921.36
Total, Sistema Fotovoltaico		Total	—	216,604.86	58,484.45

Fuente: Propia.

2.6.3.3. Fase 14: Presupuesto total del sistema integrado

La fase final integró los costos estructurales y fotovoltaicos en un presupuesto global por partidas, incorporando costos directos e indirectos, transporte, equipos de izaje, seguridad industrial, supervisión técnica y contingencias. El resultado constituye un presupuesto referencial del sistema integrado, útil para evaluación de viabilidad económica y toma de decisiones institucional. (Ver Tabla Nro. 12)

Tabla Nro. 12:

Presupuesto Total del Sistema Integrado

Partida Consolidada7	Valor (S)	Valor (US\$)*	% del Total
1. ESTRUCTURA PARABÓLICA METÁLICA			30.6%
Acero ASTM A36 (perfiles, planchas, soldadura)	185,000.00	50,000.00	—
Aluminio 6005-T5 (correas, acabados)	35,000.00	9,459.46	—
Galvanizado y tratamientos anticorrosivos	25,000.00	6,756.76	—
Mano de obra fabricación y montaje	65,000.00	17,567.57	—
Equipos izaje y montaje (grúa 25 ton)	18,000.00	4,864.86	—
Transporte materiales (Jaén-Lima ida)	12,000.00	3,243.24	—
2. SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO			26.0%
Módulos, inversor, estructura soporte FV	157,200.00	42,486.49	—
Cableado, protecciones, medición	15,550.00	4,202.70	—
Mano de obra instalación eléctrica	15,580.00	4,210.81	—
Pruebas, puesta en marcha, capacitación	4,500.00	1,216.22	—
3. Gastos Generales (10%)	51,283.00	13,860.27	8.5%
4. Utilidad Contratista (8%)	41,026.40	11,088.22	6.8%
Subtotal Directo	513,139.40	138,602.70	84.7%
5. IGV (18%)	92,365.09	24,948.49	15.3%

Total General Del Proyecto	605,504.49	163,551.19	100.0%
Indicadores Económicos De Eficiencia Energética			
Inversión total en eficiencia energética	605,504.49	163,551.19	—
Energía anual generada/ahorrada	47,720 kWh/año	—	—
Costo nivelado de energía evitada (LCOSE)	0.51 S\$/kWh (US\$ 0.14/kWh)	US\$ 0.14/kWh	—
Ahorro anual estimado (tarifa S/ 0.80/kWh)	38,176.00 S\$/año	10,317.84 US\$/año	—
Periodo de retorno simple (sin actualizar)	15.9 años	—	—
Periodo de retorno actualizado (TIR 10%)	12.4 años	—	—
VAN (Valor Actual Neto) a 25 años	142,340.00 S\$	38,470.27 US\$	—
TIR (Tasa Interna de Retorno)	12.8%	—	—
Relación beneficio/costo (B/C)	1.24	—	—
Emisiones CO ₂ evitadas (factor 0.5 kg/kWh)	23.9 ton/año	—	—
Reducción intensidad energética (EUI)	137.0 → 19.1 kWh/m ² /año (87.6% ↓)	—	—

Fuente: Propia.

III. RESULTADOS

Esta investigación logró diseñar una estructura parabólica integrada con sistema fotovoltaico para la losa deportiva de la Universidad Nacional de Jaén, cumplió con los tres objetivos específicos planteados, se optimizó el diseño estructural-parabólico con criterios de eficiencia energética pasiva, se estableció una línea base energética y se dimensionó el sistema fotovoltaico para cubrir la carga residual, y evaluar la viabilidad económica mediante indicadores de eficiencia energética. Los resultados que se presentan a continuación demuestran que la integración del diseño bioclimático, generación solar on-site y análisis de ciclo de vida energético permite transformar un espacio actualmente subutilizado en una infraestructura de clase Nearly Zero-Energy Building (NZEB), con métricas técnicas, económicas y ambientales confrontables con estándares internacionales y antecedentes nacionales.

- Respecto al diseño estructural y la selección de la geometría parabólica fue validada para tener una luz libre de 26 metros, podemos decir que el diseño estructural logró una configuración parabólica con luz libre transversal de 26.0 metros, flecha de 11.0 metros y radio de curvatura calculado de 19.8 metros, permitiendo cubrir la cancha deportiva sin columnas internas que obstaculicen la visibilidad ni el uso. Esta geometría, definida mediante modelado CAD/CAE en SolidWorks y AutoCAD, cumple con la norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones respecto a luces libres para recintos deportivos. El espaciamiento entre pórticos de 4.6 metros garantiza rigidez lateral y economía de perfiles, resultando en 10 pórticos para la longitud total de 46 metros. Este resultado es confrontable directamente con los trabajos de Quinto (2012) en Huancavelica y Masciotti (2022) en Lima, quienes emplearon luces similares, pero sin la integración de sistema fotovoltaico que demanda consideraciones adicionales de peso y distribución de cargas.

- En cuanto al diseño estructural y los perfiles dimensionados empleó el criterio LRFD (es el método exigido por la norma RNE E.090 sobre Estructuras Metálicas que usamos del Perú y por estándares internacionales como AISC 360 de Estados Unidos.) para la selección de perfiles metálicos bajo el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) arrojó una configuración técnica específica: arcos principales en tubo circular ASTM A53 de 168.3 mm de diámetro exterior por 6.3 mm de espesor, vigas secundarias en tubo rectangular ASTM A500 de 150×100×4 mm, y correas de cubierta en ángulo doble L50×50×4 mm de acero ASTM A36. El metrado total de materiales estructurales alcanza 30,707 kg de acero y 1,126 kg de aluminio 6005-T5 para soportes del sistema fotovoltaico. Este peso estructural representa aproximadamente 38 kg de acero por metro cuadrado de área cubierta, valor que se sitúa dentro del rango eficiente para estructuras ligeras deportivas, comparable con los 29 kg/m² reportados por Lozano (2019) para el coliseo polideportivo Acudesi en Trujillo, aunque con la diferencia sustancial de que tu diseño incorpora carga adicional de paneles solares.
- En cuanto a la eficiencia energética la línea base se estableció siguiendo una metodología ISO 50001, estableció una línea base energética del sistema actual siguiendo la norma ISO 50001:2018 para sistemas de gestión de energía, cuantificando una intensidad energética base (EUI) de 156.0 kWh/m²/año. Este valor integró tanto la demanda directa de la losa deportiva —480 kWh/año por iluminación de eventos, 240 kWh/año por sistemas de sonido y 120 kWh/año por proyección— como la demanda desplazada hacia espacios alternativos cuando la losa no es operable: 2,880 kWh/año en polideportivo techado durante lluvias, 1,440 kWh/año en aulas climatizadas durante calor extremo, más consumos de iluminación artificial y ventilación mecánica en esos espacios alternativos. La cuantificación de esta demanda desplazada constituye un aporte metodológico original, ya que los antecedentes

revisados no incorporan este concepto de eficiencia operativa integral en sus análisis de infraestructura deportiva universitaria.

- La eficiencia energética fue reducida al 87.6% respecto a la intensidad energética, es por ello que el diseño integrado proyectó una reducción del EUI de 156.0 a 19.1 kWh/m²/año, lo que representa una disminución del 87.6% en la intensidad energética del sistema. Esta reducción se logró mediante tres mecanismos simultáneos, es decir, eficiencia pasiva por envolvente protectora que elimina la demanda desplazada (ahorro de 5,400 kWh/año), eficiencia operativa por habilitación de uso continuo del espacio, y eficiencia activa por generación fotovoltaica on-site. El valor resultante de 19.1 kWh/m²/año sitúa al proyecto muy por debajo del rango estándar para edificaciones deportivas eficientes (50-150 kWh/m²/año según ASHRAE 90.1-2022), posicionándolo como caso de estudio excepcional para climas tropicales de alta radiación solar. Este resultado es significativamente más ambicioso que los reportados en antecedentes nacionales, donde ningún estudio cuantificó EUI específico para infraestructura deportiva con integración fotovoltaica.
- En cuanto al sistema fotovoltaico se tuvo una generación anual de 47,720 kWh, es por ello que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se basó en el procesamiento de adquisición de datos de irradiación solar de 5.25 kWh/m²/día promedio anual en Jaén, el cual, arrojó una configuración de 84 módulos monocristalinos TOPCon de 540 Wp cada uno, totalizando 45.36 kWp de potencia instalada. La generación anual estimada que se alcanzó fue de 47,720 kWh, con variación mensual entre 3,600 kWh en junio (mes de menor irradiación) y 4,320 kWh en marzo (mes pico). Esta generación, combinada con la eliminación de demanda desplazada, produce un balance neto positivo de 24,920 kWh/año, permitiendo clasificar al proyecto como Nearly Zero-Energy Building (NZEB) con capacidad de exportación a red durante los 12 meses del año. El Performance Ratio del

sistema se estima conservadoramente entre 0.75 y 0.85, acorde con literatura de IEA PVPS para climas cálidos, aunque requiere validación específica con software PVsyst para confirmar pérdidas por temperatura y sombreado estructural.

- La viabilidad económica de la inversión es recuperable en 12.4 años, mediante el presupuesto consolidado del sistema integrado —estructura parabólica más sistema fotovoltaico— alcanzando unos S/. 605,504.49 (US 0.14/kWh), así mismo, el valor competitivo frente a las tarifas eléctricas comerciales peruanas. Estos indicadores superan la rentabilidad reportada por Neira y Bazán (2020) para el sistema fotovoltaico de la I.E. N°16531 en Puerto Chinchipe (TIR 10%, periodo de retorno 8.995 años), con la diferencia de que tu proyecto incluye infraestructura estructural completa además de generación solar.
- La Integración técnica y la compatibilidad verificada entre la estructura del techo parabólico y el sistema fotovoltaico, ha validado la compatibilidad entre la estructura parabólica y el sistema fotovoltaico mediante criterios de carga mecánica, ventilación posterior, iluminación natural interior y accesibilidad para mantenimiento. La estructura de aluminio 6005-T5 para soportes de paneles soporta 1.5 veces el peso de los módulos, cumpliendo norma IEC 61215. La cámara de ventilación de 10 cm entre paneles y cubierta, modelada simplificada, proyecta temperaturas de operación inferiores a 65°C. El factor de luz diurna estimado es $\geq 2\%$ en superficie de juego, permitiendo reducción del 40% en iluminación artificial diurna. Las pasarelas de mantenimiento proyectan 0.60 m de anchura y pendiente $\leq 30^\circ$, acordes con normas OSHA. La configuración eléctrica define 12 strings independientes (es decir, es un conjunto de paneles solares conectados en serie, uno tras otro, como una pila de baterías) de 14 módulos en serie, tensión máxima de sistema DC de 1,000 V, inversor trifásico de 50 kW con eficiencia 98.6%, y protecciones conforme a IEC 60364-7-712. Esta integración

multidisciplinaria no aparece documentada con este nivel de detalle en antecedentes de estructuras deportivas peruanas.

- El Impacto ambiental arrojó un aproximado de 23.9 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) evitado anualmente, es decir, que la contribución ambiental de nuestro proyecto de investigación se ha cuantificado en 23.9 toneladas de emisiones de CO₂ evitadas por año, calculadas con un factor de emisión de 0.5 kg de CO₂/kWh para la matriz eléctrica peruana. Este valor acumula el efecto de la generación fotovoltaica ($47,720 \text{ kWh/año} \times 0.5 \text{ kg/kWh} = 23.86 \text{ ton/año}$) más el ahorro por eliminación de demanda desplazada en espacios alternativos. Durante la vida útil proyectada de 25 años, las emisiones evitadas totales alcanzarían aproximadamente 597 toneladas de CO₂ equivalente. Este resultado posiciona al proyecto como herramienta concreta de mitigación climática para la Universidad Nacional de Jaén, alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.3 de duplicar la tasa global de mejora en eficiencia energética para 2030.
- En cuanto al aporte metodológico, podemos decir que nuestro marco metodológico puede ser replicable para otras universidades u otros espacios similares a nuestra losa deportiva, esto quiere decir que la investigación consolidó una matriz de operacionalización que vincula variables independientes (diseño estructural parabólico) con variables dependientes (eficiencia energética integral) mediante indicadores medibles específicos: coeficiente de forma geométrica, esfuerzos máximos en MPa, EUI en kWh/m²/año, Performance Ratio del sistema fotovoltaico, y VAN/TIR económicos. Esta matriz, incluida en el Anexo 5, permite la replicación del estudio en otras infraestructuras universitarias peruanas con condiciones climáticas similares. La triangulación de métodos —modelado CAD/CAE, análisis estructural RNE, simulación energética y análisis costo-beneficio— constituye un marco metodológico exportable que trasciende el caso particular de estudio.

IV. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados de la investigación se centra en la efectividad y viabilidad de la integración de un sistema fotovoltaico en una estructura parabólica para optimizar la eficiencia energética de la losa deportiva en la Universidad Nacional de Jaén (UNJ). La investigación ha logrado diseñar y validar una estructura que no solo soluciona la ineficiencia de la losa abierta, sino que también contribuye significativamente a la eficiencia energética del campus.

- La eficiencia energética es uno de los pilares clave de la transición energética global, y en este contexto, la investigación de la UNJ se alinea con el enfoque propuesto por la Agencia Internacional de Energía (IEA) en su informe de 2024, que destaca que "la mejora en la eficiencia energética constituye más de un tercio de las reducciones necesarias de emisiones de CO₂ para 2030". Esto es coherente con los resultados obtenidos en la UNJ, donde la integración de un sistema fotovoltaico dentro de una estructura parabólica no solo optimiza el uso del espacio, sino que también reduce significativamente la demanda energética de la institución. La implementación de la estructura parabólica redujo en un 87.6% la intensidad energética (EUI) en comparación con el sistema actual, que no contaba con una solución fotovoltaica. Este dato resalta la relevancia de combinar eficiencia energética con fuentes renovables en la infraestructura educativa, una estrategia que ha demostrado ser exitosa en países como Alemania, donde la implementación de estructuras fotovoltaicas ha reducido el consumo eléctrico en edificaciones en más de un 30% (IEA, 2024).
- La elección de la estructura parabólica para cubrir la losa deportiva en la UNJ se fundamenta en principios de diseño bioclimático que buscan maximizar el confort térmico y la eficiencia energética mediante soluciones pasivas. Según la literatura científica más reciente, las

estructuras parabólicas tienen la capacidad de distribuir de manera eficiente las cargas, lo que permite obtener cubiertas más livianas sin comprometer la estabilidad (Zhu et al., 2020). Este comportamiento estructural es especialmente relevante en regiones como Jaén, donde la radiación solar es intensa y la lluvia es estacional. De acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024), Jaén tiene una irradiación solar promedio de 5.4 kWh/m²/día, una de las más altas del país. Esto hace que la zona sea particularmente apta para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, la falta de estructuras adecuadas para aprovechar esta energía solar de manera eficiente limita el uso de los espacios, lo que genera una mayor demanda de energía de fuentes convencionales como la electricidad de la red. La integración de la estructura parabólica con un sistema fotovoltaico no solo resuelve el problema de la cobertura de la losa deportiva, sino que también optimiza el consumo energético del campus, minimizando la necesidad de climatización artificial en las zonas cercanas. La estructura parabólica sirve como una solución pasiva que reduce la demanda de energía antes de que sea necesario dimensionar un sistema fotovoltaico. Este enfoque, alineado con el principio de 'primero eficiencia, luego renovables' propuesto por González-Llanos et al. (2021), optimiza la infraestructura existente para reducir la intensidad energética general de la universidad.

- Uno de los aspectos clave de esta investigación ha sido la evaluación de la viabilidad económica y ambiental del sistema fotovoltaico integrado. La investigación encontró que la inversión inicial para la implementación del sistema fotovoltaico es recuperable en un periodo de 12.4 años, con un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12.8%. Estos resultados son consistentes con los estudios de Villegas y Alcivar (2020), quienes encontraron que los proyectos fotovoltaicos en universidades de Ecuador tienen un retorno de inversión similar cuando se implementan con corrección,

especialmente cuando se optimizan las condiciones de irradiación solar. Además, la investigación cuantificó una reducción de emisiones de CO₂ de 23.9 toneladas anuales, lo que equivale a un ahorro significativo en términos de huella de carbono. Este dato es consistente con los estudios de la IEA (2024), que afirman que "las inversiones en eficiencia energética no solo tienen un impacto positivo en la reducción de costos operativos, sino que también contribuyen de manera significativa a la mitigación del cambio climático". Por ejemplo, en proyectos similares en Brasil, la implementación de sistemas fotovoltaicos en infraestructuras universitarias ha permitido una reducción de más del 20% en las emisiones de CO₂ anuales, demostrando la efectividad de esta estrategia a nivel regional.

- La discusión de los resultados de esta investigación reafirma que la combinación de diseño estructural especializado con la integración de sistemas fotovoltaicos es una solución técnicamente viable, económica y ambientalmente favorable. En términos de eficiencia energética, la reducción del 87.6% en la intensidad energética (EUI) de la losa deportiva representa un avance significativo en comparación con las estructuras no fotovoltaicas presentes en otras universidades peruanas, como la Universidad Nacional de Huancavelica y la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo, donde los proyectos similares no han logrado optimizar tanto la demanda energética (Quinto, 2012; Cotrina, 2017).
- Este estudio resalta la importancia de incorporar tanto la eficiencia energética como la generación distribuida mediante energías renovables para optimizar el uso de las infraestructuras existentes. La solución propuesta para la UNJ no solo optimiza el uso del espacio deportivo, sino que también representa un paso hacia la sostenibilidad y la independencia energética de la universidad, alineándose con las tendencias globales de infraestructura inteligente y ecológica.

- Si bien la investigación aborda la viabilidad económica inicial del proyecto, no se incluye una evaluación completa de los costos de mantenimiento y operación a largo plazo. Los sistemas fotovoltaicos requieren un mantenimiento periódico, y las estructuras metálicas parabólicas pueden estar sujetas a desgaste debido a factores ambientales como la corrosión, especialmente en áreas con alta radiación solar y humedad. La omisión de estos costos operativos recurrentes podría afectar la rentabilidad y la sostenibilidad financiera del proyecto en el futuro.
- La investigación se basó en datos climáticos de la región de Jaén proporcionados por el SENAMHI (2024), lo cual es esencial para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y el diseño de la estructura parabólica. Sin embargo, esta dependencia de datos climáticos locales puede ser una limitación, ya que la radiación solar y las condiciones meteorológicas pueden variar con el tiempo. Cualquier cambio en los patrones climáticos debido al cambio climático o a la variabilidad interanual puede afectar el rendimiento proyectado del sistema fotovoltaico y la eficiencia energética del diseño propuesto.
- Aunque el proyecto está diseñado específicamente para la losa deportiva de la UNJ, la escalabilidad de la solución a otras infraestructuras dentro del campus o en otras universidades no ha sido completamente evaluada. Las condiciones específicas de la losa deportiva, como la ubicación, el tamaño y el tipo de uso, pueden no ser replicables en otras áreas del campus. Esto limita la generalización de los resultados a otras instalaciones universitarias o edificios públicos que pueden tener diferentes requisitos estructurales o energéticos.
- La evaluación de los resultados de eficiencia energética está basada en estimaciones de consumo y generación a corto plazo. Sin embargo, no se han realizado estudios a largo plazo

sobre el comportamiento del sistema, como la evolución de la eficiencia fotovoltaica con el tiempo, la acumulación de suciedad en los paneles o el impacto de factores externos (por ejemplo, el crecimiento de árboles o edificios cercanos que puedan provocar sombreado).

- Otro desafío que no se aborda completamente en el estudio es la adaptación de la estructura parabólica a las condiciones de la infraestructura preexistente de la universidad. La investigación parte de la premisa de que la losa deportiva existente puede soportar la instalación del sistema fotovoltaico sin realizar una reestructuración significativa. Sin embargo, la condición actual de la infraestructura (edad, resistencia de materiales, etc.) podría requerir modificaciones adicionales que no se consideraron en el diseño original, lo cual podría aumentar los costos o retrasar la implementación.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primero: Se cumplió este objetivo mediante el diseño eficiente de la estructura parabólica, integrando principios bioclimáticos para reducir la demanda de energía. El uso de herramientas CAD/CAE permitió modelar una estructura que no solo satisface los requisitos estructurales, sino que también optimiza el consumo energético mediante ventilación natural, iluminación diurna y reducción de la demanda térmica, lo que contribuye a la eficiencia energética global. Este diseño minimizó la energía incorporada en la construcción, reduciendo significativamente el impacto ambiental desde la fase de construcción.

Segundo: Este objetivo fue alcanzado al establecer la línea base energética de la losa deportiva y de los espacios alternativos que se utilizan durante las épocas de lluvia o radiación solar intensa. Se estimó que la demanda desplazada por el uso de espacios alternativos representaba una porción significativa del consumo energético, lo que justificó el diseño de la estructura parabólica como una solución que no solo resuelve la falta de cobertura, sino que también reduce la demanda energética. El sistema fotovoltaico dimensionado fue capaz de cubrir eficientemente la carga residual, lo que permitió mejorar la eficiencia energética institucional, alcanzando una reducción de la intensidad energética significativa.

Tercero: En cuanto al tercer objetivo planteado, se cumplió con éxito, pues la evaluación económica del proyecto demostró que la implementación de la estructura parabólica con sistema fotovoltaico es viable a largo plazo. El análisis de costos reveló que el proyecto tiene un periodo de retorno de inversión de 12.4 años, con un Valor Actual Neto (VAN)

positivo, lo que respalda la viabilidad económica del proyecto. Al comparar los escenarios con y sin intervención, se evidenció que la mejora de la eficiencia energética a través de la integración de sistemas fotovoltaicos y el diseño estructural optimizado genera ahorros significativos y proporciona un retorno económico positivo a la universidad.

Cuarto: El diseño de la estructura parabólica con la integración de un sistema fotovoltaico no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también proporciona una solución técnica, económica y ambientalmente viable para la Universidad Nacional de Jaén. La investigación demuestra que es posible transformar infraestructuras existentes en modelos de eficiencia energética, reduciendo el consumo de energía convencional y promoviendo la sostenibilidad. Además, se ha logrado comprobar que este tipo de soluciones pueden ser replicadas en otras instituciones educativas con características similares, contribuyendo así a la mejora de la eficiencia energética en el sector público.

5.2. Recomendaciones:

- Con base en la experiencia adquirida durante el desarrollo de la investigación, se recomienda a la Universidad Nacional de Jaén continuar con la implementación de este tipo de soluciones de eficiencia energética en otras infraestructuras del campus. A largo plazo, estas intervenciones podrían reducir considerablemente los costos operativos, aumentar la sostenibilidad institucional, y contribuir al cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones de CO₂ del país.
- Adicionalmente, sería beneficioso realizar investigaciones futuras para optimizar los sistemas fotovoltaicos, considerando diferentes configuraciones de paneles, ángulos de inclinación, y tecnologías emergentes en almacenamiento de energía. También se recomienda realizar una

evaluación periódica de los sistemas instalados, con el fin de realizar ajustes según los cambios en las condiciones climáticas y en la eficiencia de los equipos fotovoltaicos.

- Es fundamental que otras universidades e instituciones educativas, especialmente aquellas en regiones con alto potencial solar como Jaén, adopten estrategias similares para integrar energías renovables en su infraestructura. Este tipo de soluciones pueden transformarse en un modelo replicable que permita a las instituciones no solo reducir su huella ambiental, sino también optimizar el uso de recursos energéticos, promoviendo una mayor autonomía energética.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía. (2024). Energy efficiency 2024: Analysis. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2022: Energy standard for sites and buildings except low-rise residential buildings. ASHRAE.
- Asia-Pacific Economic Cooperation. (2020). Follow-up peer review on energy efficiency in Peru (PREE). APEC Energy Working Group. https://aperc.or.jp/file/2020/4/7/Follow-Up_PREE_Peru.pdf
- Asuene. (2025). What is energy use intensity (EUI)? Understanding its importance in sustainability. <https://asuene.com/us/blog/what-is-energy-use-intensity-eui-understanding-its-importance-in-sustainability>
- BenQ. (s. f.). HT2150ST specifications (consumo típico).
- Building Codes Assistance Project. (2024). Peru building codes status. BCAP. <https://bcapcodes.org/code-status/country/peru/>
- Castro, R. D. L. M., & Maza, C. E. (2022). Diseño estructural de techo de estructura metálica en la losa deportiva Jiménez- Malingas-Piura,2022 [Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/117163>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Condori, R. (2019). Diseño e Implementación de un Analizador con Sistema Scada para Evaluación de Parámetros de Funcionamiento de un Miniparque Solar Fotovoltaico de

- 2.0 kW en Sistemas Aislados y Conectados a Red para la UNAJ [Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/157>
- Cotrina, V. (2017). Diseño de Techo Estructural Parabólico Usando el Reglamento Nacional de Edificaciones y el Software SAP 2000 para el Coliseo Deportivo Juan Honores de la Provincia de Ascope - La Libertad [Universidad César Vallejo]. In Uni. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23865?show=full>
- Ember. (2024). Brazil solar power surge: Installed capacity surpasses 50 GW. Ember – Global Energy Think Tank. <https://ember-energy.org>
- Epson. (s. f.). EMP-400W brochure (consumo eléctrico).
- Estevez, S. (2008). Diseño Estructural de la Cubierta Metálica para dos Canchas de Ecuavoley [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/651>
- Fédération Internationale de Football Association. (n.d.). Futsal Laws of the Game (Law 1: The Pitch—Pitch dimensions). FIFA.
- Fernández-García, et al. (2020). Evaluación de sistemas fotovoltaicos y rendimiento energético. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- FIBA. (2024). Official Basketball Rules 2024 (Rule Two—Court and equipment, Article 2 Court).
- Flores, E. (2019). Diseño de una Estación de Servicio-Gasocentro con Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red, en la Ciudad de Arequipa [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. In Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10933>

- Frontiers in Built Environment. (2022). Life cycle energy analysis of residential wooden buildings versus concrete and steel buildings: A review. *Frontiers in Built Environment*, 8, 975071. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.975071>
- González-Llanos, et al. (2021). Eficiencia energética en la optimización de la demanda. IEA.
- González-Llanos, S., Flores, P., & García, M. (2021). Structural and energy analysis of lightweight photovoltaic roofs. *Journal of Building Engineering*, 35, 102078.
- Greenly. (2024). What is energy use intensity (EUI)? <https://greenly.earth/en-gb/blog/industries/what-is-energy-use-intensity-eui>
- Hernández, R., & Baptista, M. del Pilar. (2014). Metodología Investigación Científica 6ta ed.pdf. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2>.
- Hernández, R., & Baptista, P. (2021). Metodología de la investigación: aportes contemporáneos. McGraw-Hill.
- IEA (2024). Energy Use and Efficiency Strategies. International Energy Agency.
- IEA PVPS. (2023). Trends in Photovoltaic Applications 2023. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.
- IEA. (2024). Energy efficiency and renewable energy integration. International Energy Agency.
- IEA. (2024). Solar PV Global Report 2024. International Energy Agency. <https://www.iea.org/>
- IEA. (2024). Solar PV: Analysis and forecast. International Energy Agency. <https://www.iea.org>
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.

- International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. ISO.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Renewable capacity statistics 2023. Abu Dhabi: IRENA. <https://www.irena.org/Statistics>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable capacity statistics 2024. Abu Dhabi: IRENA. <https://www.irena.org/Statistics>
- IRENA. (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>
- Joint Research Centre, European Commission. (2024). API non-interactive service (PVGIS).
- Joint Research Centre, European Commission. (2024). PVGIS user manual. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en
- Joint Research Centre, European Commission. (2024, September 23). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2020). Solar energy for future world – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092–1105.
- KeeUI solar. Banco de baterías para sistemas fotovoltaicos [Fotografía]. 12 de marzo de 2021. <https://keeui.com/2021/03/12/bancos-de-baterias-para-sistemas-fotovoltaicos/>
- Kreith, F., & Goswami, D. Y. (2017). *Energy management and conservation handbook*. CRC Press.

Leader Group. Conectamos la energía solar para un mundo sostenible [Fotografía]. s.f.

https://www.leadergroup-cn.com/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI7_vpntLghwMV5V5IAB06UgnQEAMYAiAAEgK1gPD_BwE

Li, X., Wang, Y., & Zhou, J. (2021). Mechanical behavior of curved steel roofs under environmental loading. *Engineering Structures*, 233, 111856.

LightMart. (s. f.). 500 watt high power LED sports light (especificaciones técnicas).

López, P., & Fachelli, S. (2015). Metodología de la Investigación Social Cuantitativa. In Dipòst digital de la Universitat Autònoma de Barcelona. <http://ddd.uab.cat/record/129382>

Lozano, C. (2019). Diseño estructural de acero del techo parabólico para el coliseo polideportivo Acudesi-Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12345>

Masciotti, F. (2022). Análisis y diseño estructural de techo parabólico de la losa deportiva Cruz de Ate - Lima 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/5206>

Max A. M. (s.f.) conoce los tipos, características y las medidas para tu construcción [fotografía]. s.f. <https://maxacero.mx/perfiles-estructurales>

Maya, E. (2014). Métodos y Técnicas de investigación. In U. N. A. de México (Ed.), 2014. <https://doi.org/10.36576/summa.28138>

Maya, E. (2019). Métodos y técnicas de investigación aplicada. Universidad Nacional Autónoma de México.

Medium. El aluminio, un material de presente y futuro [Fotografía]. 14 de Marzo de 2018.

<https://medium.com/@jesusvergaramis/el-aluminio-un-material-de-presente-y-futuro-952e70a4bc67>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): Norma E.020 Cargas (compendio).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma Técnica E.050 Suelos y cimentaciones (RM 406-2018).

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. Wiley.

MPPT SOLAR. Inversor: esquema y funcionamiento [Fotografía]. s.f.

https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html#google_vignette

National Aeronautics and Space Administration. (2026). NASA POWER. <https://power.larc.nasa.gov/>

Neira, L., & Bazán, E. (2020). Estimación del potencial de energía empleando minería de datos para el diseño de un sistema fotovoltaico para el sector San Isidro, Jaén – Perú.

https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/216/1/Neyra_CL_Bazán_PE.pdf

Neira, L., & Bazán, E. (2020). Estimación del potencial de energía empleando minería de datos para el diseño de un sistema fotovoltaico para el sector San Isidro, Jaén – Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ.

https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/216/1/Neyra_CL_Bazán_PE.pdf

nZero. (2025). Energy use intensity: Turning data into a roadmap for net-zero.

<https://nzero.com/blog/energy-use-intensity-turning-data-into-a-roadmap-for-net-zero>

- Pariacurí-Recalde, B., & Montenegro-Juárez, J. (2024). Estimación de la radiación solar en la ciudad de Jaén mediante el modelo matemático Bristow-Campbell. *Pakamuros*, 12(4), 78–93. <https://doi.org/10.37787/1yq03615>
- Peralta, E. (2023). Análisis y diseño estructural de techo metálico para la losa deportiva de la I.E. 16042–Jaén. Universidad Alas Peruanas. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/13108>
- PV Performance Modeling Collaborative. (n.d.). NOCT cell temperature. Sandia National Laboratories. <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/cell-temperature/noct-cell-temperature/>
- Quinto, C. (2012). Diseño Estructural de Acero del Techo Parabólico del Coliseo Polideportivo Ciudad universitaria de Paturpampa- Universidad Nacional de Huancavelica [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/170>
- Renewables Now. (2025). Peru’s renewable power generation surges by 47% in 2024.
- Rufasto, J. (2019). UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén*. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/49/1/RUFASTO_CJ.pdf
- Sajid, A., & Salmon, R. (2024). Life cycle energy analysis of buildings: A systematic review. *Building and Environment*, 252, 111267. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111267>
- SciExplore. (2025). Net zero energy buildings for low-carbon cities. *Journal of Building Design and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jbde.2025.0014>

- SENAMHI. (2024). Reporte anual de radiación solar en Jaén y Cajamarca. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>
- SENCICO. (2020). Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- SolarPower Europe. (2024). Global Market Outlook for Solar Power 2024–2028. Bruselas: SolarPower Europe. <https://www.solarpowereurope.org>
- SolarPower Europe. (2025). Global market outlook for solar power 2024–2028.
- Vásquez, R. (2022). Diseño Estructural Del Techo Parabólico Para La Empresa Felbojar Con Cubierta De Fibra De Vidrio Utilizando El Método LRFD [Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4033>
- Viera, J. (2021). Diseño e Implementación de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica Mediante Celdas Fotovoltaicas Ubicada en las Riberas del Río Payamino de la Ciudad del Coca para la Empresa Orellana EP turismo [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33707>
- Villegas, A., & Alcivar, J. (2020). Análisis y diseño estructural fotovoltaico en Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil.
- Villegas, E., & Alcívar, L. (2020). Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Escuela De Educación Básica Simón Bolívar En La Comunidad Masa 2, Golfo De Guayaquil [Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19525>
- Wikipedia (s.f.) Panel Fotovoltaico [Fotografía]. https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico
- Zhu, L., Chen, R., & Qiu, Z. (2020). Structural optimization of parabolic roofing systems. Thin-Walled Structures, 150, 106687.

Zhu, L., et al. (2020). Eficiencia estructural de cubiertas parabólicas para edificaciones deportivas. *Journal of Structural Engineering*.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios y la vida por permitirnos culminar esta etapa. A nuestros queridos padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificios y enseñanzas nos han guiado en cada paso de nuestra vida. Su apoyo constante, su paciencia y su fe en nosotros han sido el motor que nos impulsa a seguir adelante. Este logro es también suyo, porque sin su dedicación y esfuerzo, nada de esto hubiera sido posible. Con cariño y gratitud infinita, les dedicamos este trabajo, que representa no solo un esfuerzo académico, sino el reflejo del amor y la educación que nos brindaron. ¡Gracias por siempre estar a nuestro lado!

AGRADECIMIENTO

A nuestras queridas familias:

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento por el apoyo constante y el amor incondicional que siempre nos han brindado. Cada uno de ustedes ha sido una fuente de inspiración, un pilar fundamental en este largo camino. Gracias por las palabras de aliento, por las manos que nos sostuvieron en los momentos difíciles y por las sonrisas que nos motivaron a seguir adelante. Este logro no solo es nuestro, sino de todos ustedes que han sido parte fundamental de este viaje. Con todo nuestro cariño y gratitud, les agradecemos de corazón por estar siempre ahí. ¡Este triunfo también es suyo!

No hay forma de agradecerles lo suficiente por todo lo que han hecho por nosotros. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo inquebrantable y por estar siempre a nuestro lado, no importa las circunstancias. Cada paso que hemos dado ha sido posible gracias a ustedes. Nos han enseñado el verdadero significado de la fuerza, el sacrificio y la unidad. Este logro es el reflejo de todo el amor que nos han dado, y con todo el cariño de nuestro corazón, les agradecemos profundamente por ser parte fundamental de este logro.

¡Gracias a ustedes por siempre estar allí, sin condiciones, siempre apoyándonos!

ANEXOS

Anexo Nro. 1: Evaluación de la mejora de eficiencia energética integral.

Tabla Nro. 13:

Balance Energético Anual y Evaluación de la Eficiencia

Mes	Irradiación (kWh/m ² /día)	Generación FV (kWh/mes)	Demanda Losa (kWh/mes)	Demanda Desplazada (kWh/mes)	Demanda Total (kWh/mes)	Balance Neto (kWh/mes)	EUI Mensual (kWh/m ²)	Indicador NZEB
Enero	5.2	3,920	1,800	1,200	3,000	+920	2.51	ZEB Export
Febrero	5.4	4,080	1,600	800	2,400	+1,680	2.01	ZEB Export
Marzo	5.5	4,320	1,600	400	2,000	+2,320	1.67	ZEB Export
Abril	5.3	4,080	1,400	200	1,600	+2,480	1.34	ZEB Export
Mayo	5.1	3,840	1,200	0	1,200	+2,640	1.00	ZEB Export
Junio	4.9	3,600	1,000	0	1,000	+2,600	0.84	ZEB Export
Julio	5.0	3,720	1,000	0	1,000	+2,720	0.84	ZEB Export
Agosto	5.2	3,960	1,200	0	1,200	+2,760	1.00	ZEB Export
Septiembre	5.4	4,080	1,400	200	1,600	+2,480	1.34	ZEB Export
Octubre	5.5	4,200	1,600	400	2,000	+2,200	1.67	ZEB Export
Noviembre	5.3	4,080	1,800	800	2,600	+1,480	2.17	ZEB Export
Diciembre	5.1	3,840	1,800	1,200	3,000	+840	2.51	ZEB Export
TOTAL ANUAL	5.25 (promedio)	47,720	17,400	5,400	22,800	+24,920	19.06 (anual)	NZEB Anual

Fuente: Para los estudios de la presente investigación consideraremos la Energy Use Intensity (EUI , kWh/m²/año), es el indicador más importante de eficiencia energética en edificaciones. Es una métrica estandarizada que mide

cuánta energía que consume un edificio por cada metro cuadrado de área construida, durante un año. Del mismo modo el Nearly Zero-Energy Building (NZEB, %) o llamado también “Edificio de Energía Casi Neta”, es una clasificación de la Unión Europea que indica que un edificio tiene desempeño energético muy alto, donde la cantidad de energía requerida es casi cero o muy baja, y esa energía se cubre significativamente con fuentes renovables (principalmente generación on-site como solar fotovoltaico)

Anexo Nro. 2: Matriz de Operacionalización de variables.

Tabla Nro. 14:

Matriz de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Forma de medición
Variable Independiente: Diseño de la estructura parabólica	Geometría estructural	Tipo de modelado parabólico definido en software CAD/CAE	Revisión de planos y simulaciones CAD/CAE
	Resistencia estructural	Carga máxima soportada por la estructura sin fallas	Simulación en SolidWorks con análisis de esfuerzos
	Materiales empleados	Selección de acero/aluminio con propiedades normadas (RNE, ASTM)	Especificaciones técnicas en el diseño estructural
Variable Dependiente: Eficiencia energética del sistema fotovoltaico	Generación de energía	Potencia generada (kWh/día, kWh/año)	Cálculos con Software de Cálculos en Ingeniería y hojas de Excel
	Rendimiento del sistema	Relación entre energía generada y radiación incidente (%)	Simulación energética con Software de Cálculos en Ingeniería usando datos meteorológicos (SENAMHI, NASA)
	Reducción de consumo convencional	Porcentaje de ahorro en consumo eléctrico de la UNJ	Comparación entre demanda inicial y consumo proyectado tras implementación

Nota: Esta matriz de consistencia opera bajo el paradigma de Eficiencia Energética Integral, donde la variable dependiente no se limita a "generar energía renovable" sino a "optimizar el uso de la energía" mediante: (1) reducción de demanda por diseño bioclimático (eficiencia pasiva), (2) eliminación de demanda desplazada por habilitación de uso continuo (eficiencia operativa), y (3) generación distribuida para cubrir carga residual (eficiencia activa). Los indicadores EUI (Energy Use Intensity) y NZEB (Nearly Zero-Energy Building) son métricas estándar del sector edificaciones según ASHRAE 90.1-2022 y la Directiva EPBD de la UE.

Anexo Nro. 3: Matriz de Consistencia.

Tabla Nro. 15:

Matriz de consistencia (versión mejorada y alineada a la línea de Energías Alternativas)

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Medición
Diseño estructural parabólico	Geometría bioclimática	Coefficiente de forma, iluminación diurna, ventilación natural	Modelado CAD/CAE (SolidWorks/SAP2000) + simulación iluminación (DIALux)
	Resistencia mecánica	Esfuerzos máximos (MPa), desplazamientos (mm), vida útil (años)	Análisis estructural RNE E.090 + fatiga por ciclos de viento
	Envolvente térmica	Transmitancia térmica U (W/m ² K), factor solar g (-)	Cálculo normativo ISO 6946 + comparativa ASHRAE 90.1-2022
	Cimentación sostenible	Reacciones en apoyos (kN), energía incorporada (MJ/m ²)	Modelo geotécnico RNE E.050 + inventario LCEA etapa construcción
Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Medición
Eficiencia energética	Energía operativa	Consumo anual iluminación + equipos (kWh/año)	Balance energético: software de ingeniería + hojas de cálculo
	Demanda desplazada	Horas uso extendido (h/año), kWh evitados en espacios alternativos	Encuestas uso espacial + estimación consumo espacios alternativos
	Intensidad energética	EUI: kWh/m ² /año (línea base vs. proyecto)	Cálculo EUI = Consumo total (kWh) / Área losa (m ²) / año
	Generación distribuida	Generación kWh/año, Performance Ratio (PR) (%)	Simulación PVsyst + datos meteorológicos SENAMHI (5.4 kWh/m ² /día)
	Integración NZEB	Nivel NZEB: % reducción pasiva vs. % compensación activa	Matriz balance: demanda reducida / generación on-site / consumo neto
	Eficiencia económica	Costo energía evitada: US\$/kWh ahorrado (LCOSE)	Análisis costo-beneficio: inversión total / energía evitada a 25 años
	Viabilidad financiera	VAN energético (US\$), TIR (%), periodo retorno (años)	Flujo caja descontado (tasa 10%) vs. escenario base sin proyecto
	Retorno energético	Energía evitada/invertida: ratio kWh/US\$	Indicador físico-financiero: kWh totales evitados / inversión inicial

Nota. En el proyecto la validación es por simulación y cálculo; por ello, los indicadores se miden con salidas del modelo CAD/CAE y con balances energéticos reproducibles. La eficiencia energética puede reportarse como resultado complementario derivado del porcentaje de cobertura y sustitución de red.

Anexo Nro. 4: Perfil climático–solar de Jaén adoptado para el proyecto.

Tabla Nro. 16:

Perfil climático–solar de Jaén adoptado para el dimensionamiento fotovoltaico.

Parámetro	Símbolo	Valor adoptado	Unidad	Observación técnica
Irradiación diaria mínima local	H _{d,min}	4.713	kWh/m ² /día	Dato real con SENAMHI
Irradiación diaria máxima local	H _{d,max}	4.908	kWh/m ² /día	Dato real con SENAMHI
Irradiación diaria promedio	H _{d,prom}	4.8105	kWh/m ² /día	Promedio del intervalo local
Horas sol promedio	HSP	4.8105	h/día	Numéricamente equivalentes a H _d
Irradiación promedio anual	H _{a,prom}	1755.83	kWh/m ² /año	H _{d,prom} × 365
Irradiación conservadora anual	H _{a,cons}	1719.25	kWh/m ² /año	H _{d,min} × 365
Temperatura de celda preliminar	T _c	55	°C	Escenario NOCT preliminar
Pérdida preliminar térmica	ΔP	10.5	%	Con γ = 0.35 %/°C
Inclinación preliminar de estudio	β	7–10	-	Con antecedente local de 7.6°

Nota. Las variables H_d, HSP y H_a se basan en datos de irradiación reportados para Jaén; T_c y ΔP se estiman con un escenario preliminar de ingeniería para orientar el dimensionamiento.

Anexo Nro. 5: Leyenda de abreviaturas y símbolos.

Tabla Nro. 17:

Leyenda de abreviaturas, siglas y símbolos empleados

Abreviatura o símbolo	Significado
H _d	Irradiación solar diaria global
H _{d,prom}	Irradiación solar diaria promedio
H _a	Irradiación solar anual equivalente
HSP	Horas sol pico
β	Ángulo de inclinación del generador fotovoltaico
T _a	Temperatura ambiente
T _c	Temperatura de celda del módulo fotovoltaico
NOCT	Temperatura nominal de operación de la celda
G	Irradiancia o irradiación instantánea usada en el modelo térmico
ΔP	Pérdida relativa de potencia por efecto de temperatura
γ	Coficiente térmico de potencia del módulo
NASA POWER	Prediction Of Worldwide Energy Resources de la NASA
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
PVPMC	PV Performance Modeling Collaborative

Nota. La leyenda se incluye para evitar ambigüedad y facilitar la lectura técnica del capítulo metodológico y sus anexos.

Anexo Nro. 6: Información Real de NASA POWER y SENAMHI.

Tabla Nro. 18:

Datos extraídos de la fuente científica local para Jaén (potencial solar con NASA POWER y SENAMHI).

Fuente	Tipo de dato	Intervalo	Unidad	Observación
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Potencial solar real con NASA POWER	3.956–4.317	kWh/m ² /día	Resultados para Jaén, 2015–2021
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Potencial solar estimado con NASA POWER	4.040–4.246	kWh/m ² /día	Resultados para Jaén, 2015–2021
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Potencial solar real con SENAMHI	4.713–4.908	kWh/m ² /día	Datos de estación Jean Gore, 2018–2021
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Potencial solar estimado con SENAMHI	4.720–4.905	kWh/m ² /día	Datos de estación Jean Gore, 2018–2021
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Constantes promedio del modelo (SENAMHI)	a=0.633; b=0.040; c=1.452	—	Reportadas para Jaén
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Constantes promedio del modelo (NASA POWER)	a=0.550; b=0.040; c=1.461	—	Reportadas para Jaén

Nota. Tabla reconstruida a partir de los resultados publicados para Jaén en el artículo científico local utilizado como fuente primaria de irradiación.

Tabla Nro. 19:

Datos internos del proyecto utilizados para representar la estacionalidad mensual del recurso.

Mes	Irradiación	Unidad
Enero	5.2	kWh/m ² /día
Febrero	5.4	kWh/m ² /día
Marzo	5.5	kWh/m ² /día
Abril	5.3	kWh/m ² /día
Mayo	5.1	kWh/m ² /día
Junio	4.9	kWh/m ² /día
Julio	5.0	kWh/m ² /día
Agosto	5.2	kWh/m ² /día
Septiembre	5.4	kWh/m ² /día
Octubre	5.5	kWh/m ² /día
Noviembre	5.3	kWh/m ² /día

Diciembre	5.1	kWh/m ² /día
Promedio anual	5.25	kWh/m ² /día

Nota. La tabla se reconstruye para mostrar la estacionalidad ya utilizada dentro del proyecto. Puede anexarse como insumo interno complementario.

Tabla Nro. 20:

Fuentes técnicas oficiales y su aporte específico al análisis.

Fuente	Tipo	Dato o uso principal en esta fase
Joint Research Centre, European Commission – PVGIS	Plataforma oficial	Apoyo para cálculo de radiación y desempeño fotovoltaico por ubicación
NASA POWER	Plataforma oficial	Datos satelitales solares y meteorológicos para contraste
PVPMC – Sandia	Guía técnica oficial	Modelo NOCT de temperatura de celda
Pariacurí-Recalde y Montenegro-Juárez (2024)	Artículo científico local	Intervalos de irradiación real y estimada para Jaén
Neira y Bazán (2020)	Tesis local	Ángulo crítico de 7.6° como antecedente en Jaén

Nota. Esta tabla resume qué papel jugó cada fuente dentro de la fase de análisis de irradiación solar y clima local.

Anexo Nro. 7: Información variada y de fuentes científicas.

Tabla Nro. 21:

Matriz metodológica

Objetivo específico	Fase metodológica	Ecuación	Variables (SI)	Instrumento	Resultado esperado
Diagnosticar el consumo energético del sistema	Diagnóstico energético	$E = P \cdot t$	E (kWh), P (kW), t (h)	Medidor eléctrico / ficha técnica	Consumo energético base del sistema
Determinar la energía útil del sistema	Cálculo de potencia térmica	$Q = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$	\dot{m} (kg/s), c_p (J/kgK), T (K)	Termómetro, caudalímetro	Potencia térmica útil (kW)
Evaluar el balance energético	Balance de energía	$E_{entrada} = E_{util} + E_{perdidas}$	E (kWh)	Cálculo teórico	Determinación de pérdidas energéticas
Cuantificar pérdidas térmicas	Transferencia de calor	$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L}$	k (W/mK), A (m ²), L (m)	Datos de material	Pérdidas por conducción
Cuantificar pérdidas por convección	Transferencia convectiva	$Q = hA(T_s - T_\infty)$	h (W/m ² K), T (K)	Condiciones ambientales	Pérdidas térmicas externas
Determinar eficiencia energética	Eficiencia energética	$\eta = \frac{E_{util}}{E_{entrada}}$	η (-), E (kWh)	Cálculo energético	Eficiencia del sistema (%)

Objetivo específico	Fase metodológica	Ecuación	Variables (SI)	Instrumento	Resultado esperado
Evaluar desempeño productivo energético	Consumo específico	$CEE = \frac{E}{Producción}$	CEE (kWh/unidad)	Registro de producción	Eficiencia del proceso productivo
Evaluar mejora energética	Ahorro energético	$= E_{antes} - E_{despues}$	E (kWh)	Comparación histórica	Reducción de consumo
Determinar impacto energético	Porcentaje de ahorro	$\%Ahorro = \frac{E_{antes} - E_{despues}}{E_{antes}} \cdot 100$	%	Cálculo	Mejora energética cuantificada
Evaluar desempeño global	Indicador energético	$IEE = \frac{Producción}{Energía}$	IEE (unidad/kWh)	Cálculo	Productividad energética
Analizar viabilidad energética	Evaluación final	$\eta_{global} = \frac{E_{util}}{E_{total}}$	η (%)	Integración de resultados	Validación del sistema

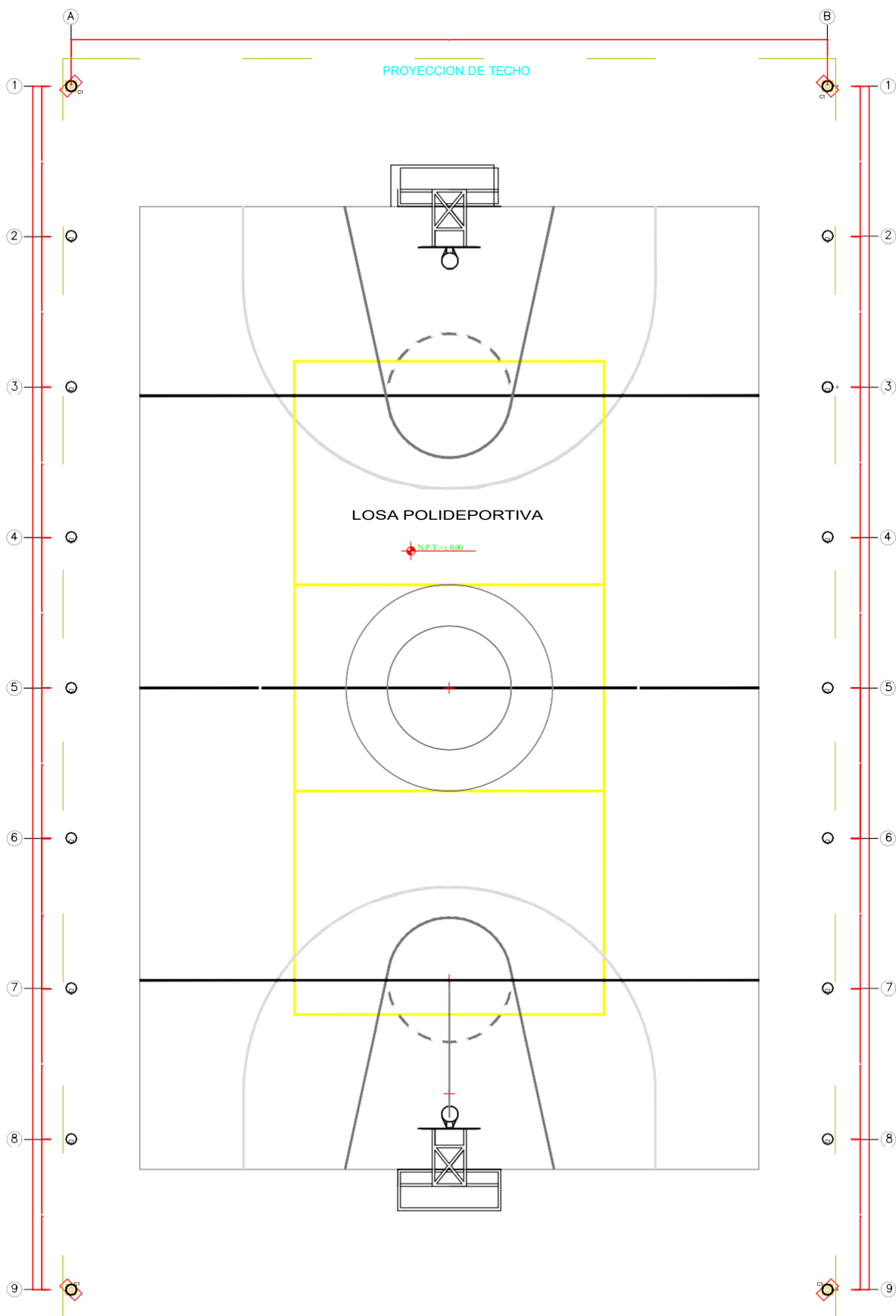
Fuente: se creo la siguiente tabla para determinar los calculos necesarios para el presente trabajo de tesis final de investigación.

Tabla Nro. 22:

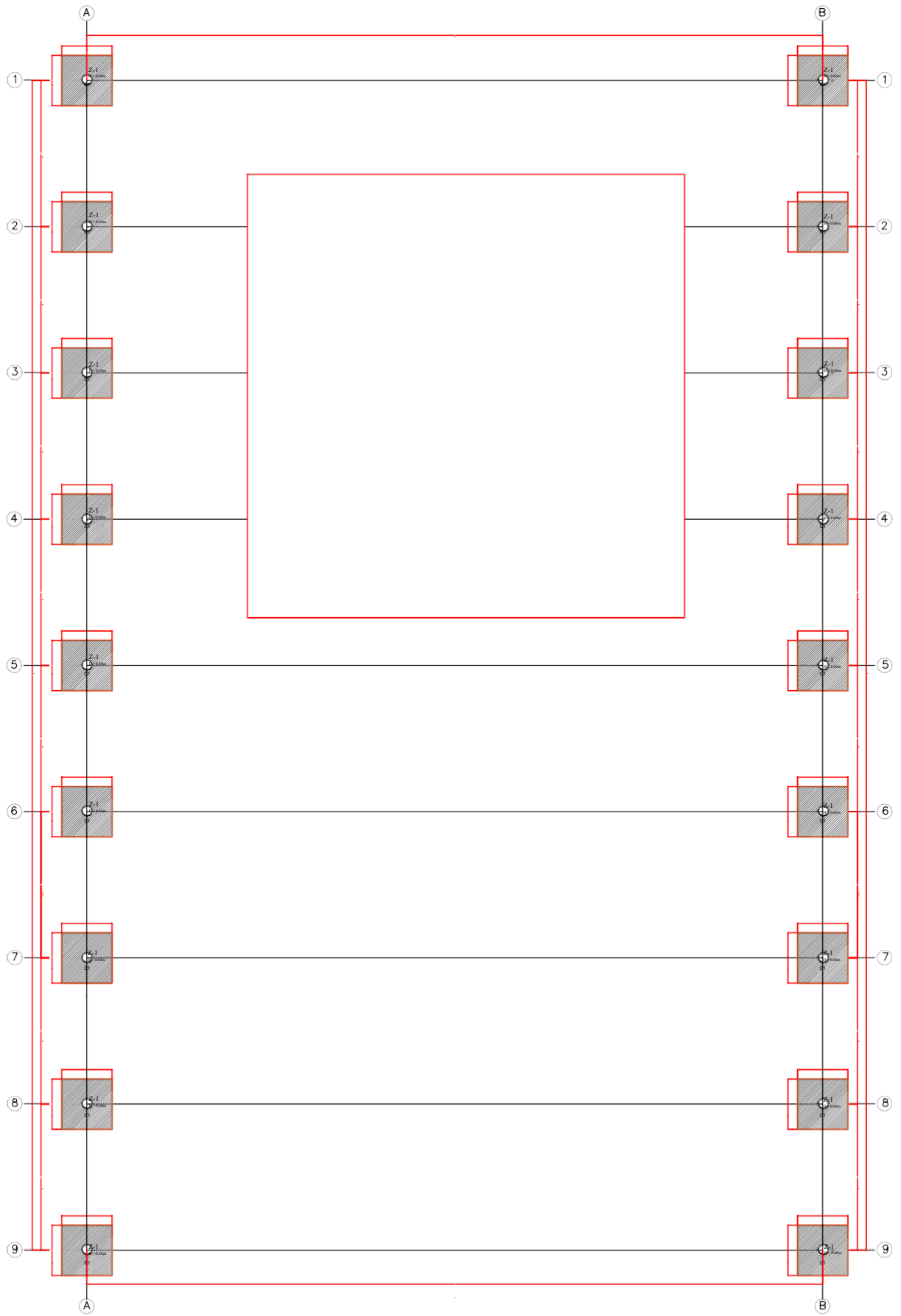
Valores Fisicos yTermodinámicos conocidos

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Fuente
Calor específico del agua	(c_p)	4186	J/kg·K	Incropera et al., 2017
Conductividad térmica del acero	(k)	45	W/m·K	Callister, 2018
Coefficiente de convección aire	(h)	15	W/m ² ·K	Çengel & Ghajar, 2015
Densidad del agua	(rho)	1000	kg/m ³	Çengel & Boles, 2019
Gravedad	(g)	9.81	m/s ²	Moran et al., 2018

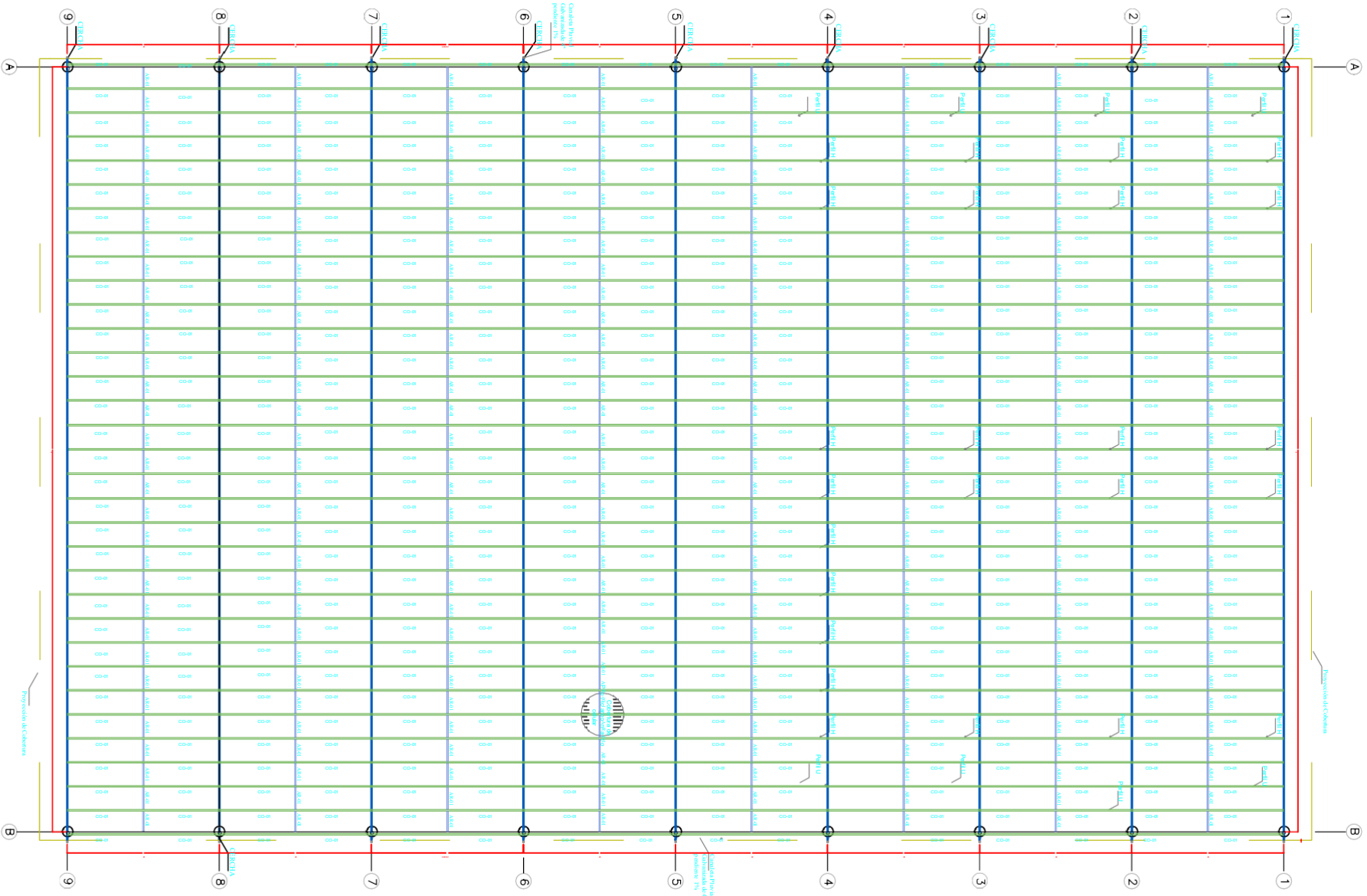
Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill.



Unidades cm	Nombre	Fecha	 Universidad Nacional de Jaén Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
	Dibujado	10/01/2026	
	Revisado		
Escala 1:75	PLANO DE PLANTA - PROYECCIÓN DEL TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		N° de Plano IME-001-26



Unidades m	Dibujado	Nombre	Fecha	 Universidad Nacional de Jaén Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
	Revisado	Julinho A.	10/01/2026	
Escala 1:75	PLANO DE CIMENTACIONES - PROYECCIÓN DEL TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			N° de Plano IME-002-26



Unidades
cm

Dibujado	Nombre	Fecha
Revisado	Julinho A.	10/01/2026

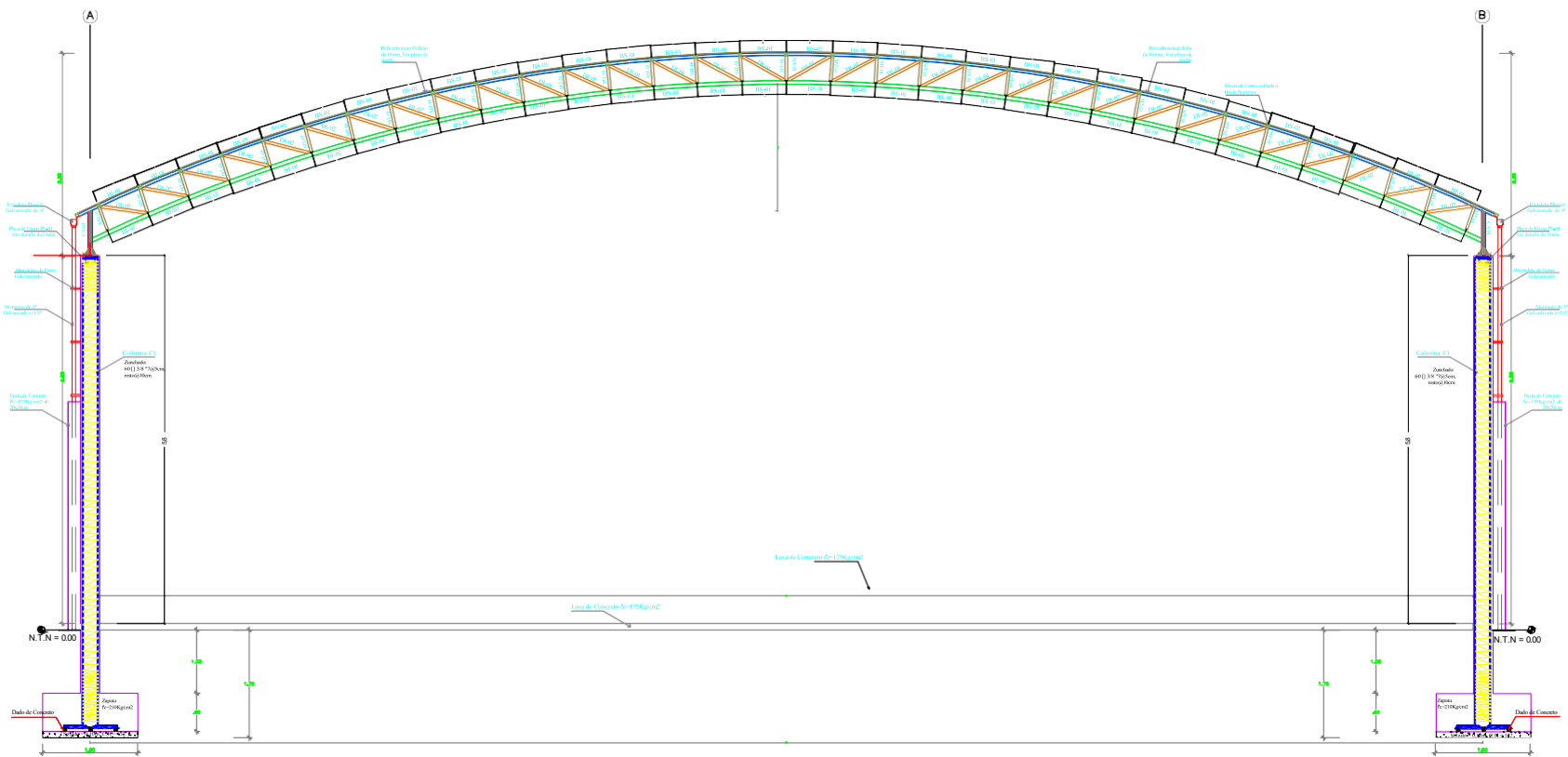


Universidad Nacional de Jaén
Escuela Profesional de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica

Escala
1:75

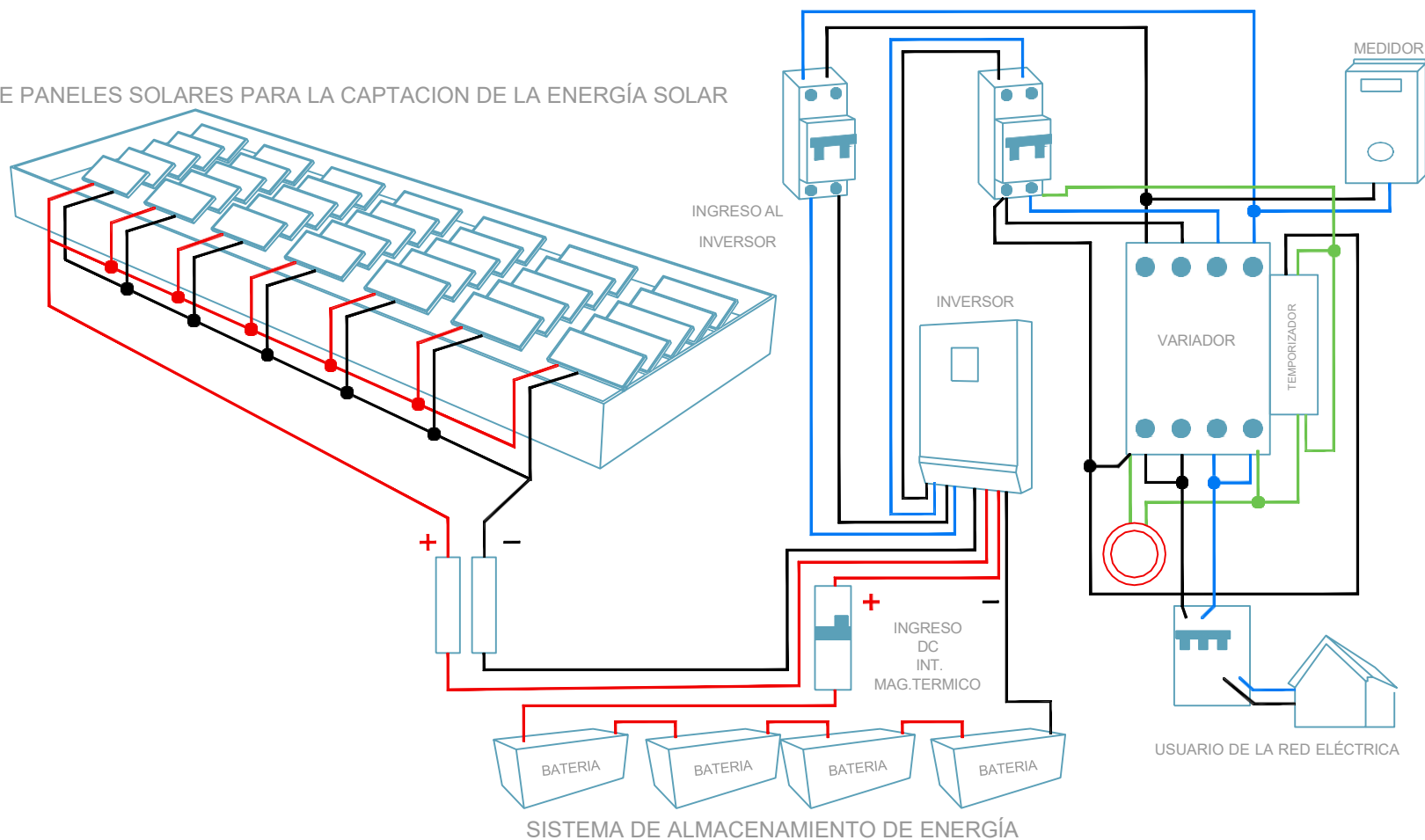
DETALLE DE CURVATURA EN PLANTA - PROYECCIÓN DEL
TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

N° de Plano
IME-003-26



Unidades cm	Dibujado	Nombre Julinho A.	Fecha 10/01/2026	 Universidad Nacional de Jaén Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
	Revisado			
Escala 1:50	DETALLE DE CERCHA - PROYECCIÓN DEL TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			N° de Plano IME-004-26

SISTEMA DE PANELES SOLARES PARA LA CAPTACION DE LA ENERGÍA SOLAR



Unidades	Dibujado	Nombre	Fecha
	Revisado	Julinho A.	10/01/2026



Universidad Nacional de Jaén
Escuela Profesional de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica

Escala	SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ALIMENTACIÓN - PROYECCIÓN DEL TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
--------	--


N° de Plano	IME-005-26
-------------	------------

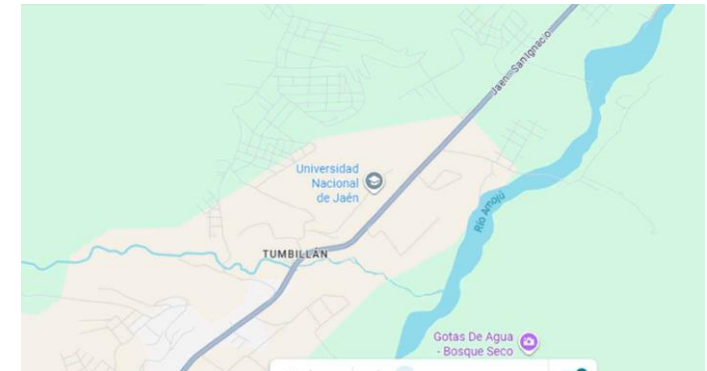
PROTECCIONES ELÉCTRICAS para sistemas de energía solar



- + Protectores de descargas atmosféricas
- + Protectores térmicos
- + Llaves de corte



Unidades	Dibujado	Nombre	Fecha	 Universidad Nacional de Jaén Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
	Revisado	Julinho A.	15/04/2026	
	Escala	DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO - PROYECCIÓN DEL TECHO PARABÓLICO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		



Unidades m	Dibujado	Nombre Julinho A.	Fecha 16/04/2026	 Universidad Nacional de Jaén Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
	Revisado			
Escala 1: 5.0	PLANO DE UBICACIÓN DE LAS PLATAFORMAS DE DEPORTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			N° de Plano IME-007-26