UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon

Autor: Egres. Wilder Neira Velasco

Línea de investigación: Eficiencia energética

JAÉN – PERÚ

2026

Wilder Neira Velasco

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNA...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3627470555

Fecha de entrega
14 ago 2026, 12:58 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
14 ago 2026, 1:05 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_FINAL_WILDER_NEIRA_VELASCO_1_-_WILDER_NEIRA_VELASCO.pdf

Tamaño del archivo
8.6 MB

137 páginas

20.027 palabras

112.748 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

turnitin Página 1 de 141 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::1:3627470555

4% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
2%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° 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

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día **22** de .....**julio**.....del año 20.**26**, siendo las **17:00** horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : **Mg. Juan Antonio Labrin Romero**
Secretario : **Mg. Frans Fuentes Maza**
Vocal : **Mg. José Andrés Fernández Mera**, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado:" **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025"** "

Presentado por estudiante/egresado o Bachiller **Wilder Neira Velasco**, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica 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 ò menos	( )

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

Presidente

Secretario

Vocal

"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, **Wilder Neira Velasco**, 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 **75407873.**

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

   "DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS DE SAN IGNACIO, CAJAMARCA 2025".
   Asesorado por DR, Edwin Carlos Lenin Félix Poicon.
   El mismo que presento bajo la modalidad de bachiller para optar; el Título Profesional de ingeniero Mecánico y Electricista.

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, 11, noviembre del 2026.



Wilder Neira Velasco

ÍNDICE

ÍNDICE II
ÍNDICE DE TABLAS V
ÍNDICE DE FIGURAS VI
RESUMEN VIII
ABSTRACT IX
I. INTRODUCCIÓN 10
1.1. Antecedentes 10
1.2. Problema 14
1.3. Justificación 15
1.4. Objetivos 16
1.4.1. Objetivo General 16
1.4.2. Objetivos Específicos 16
II. MATERIALES Y MÉTODOS 17
2.1. Objeto de estudio 17
2.2. Ubicación geográfica 17
2.3. Base teórica 18
2.3.1. Energía solar fotovoltaica 18
2.3.2. Radiación solar 19
2.3.3. Sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED 20
2.4. Metodología del estudio 26
2.4.1. Evaluación del recurso solar 26
2.4.1.1. Ubicación de la zona de estudio 27
2.4.1.2. Descripción de los datos meteorológicos 27
2.4.1.3. Inclinación óptima de los paneles. 32

2.4.2. Diseño del sistema de iluminación en DIALux 33
2.4.2.1. Selección de luminarias LED del sistema propuesto 33
2.4.2.2. Parámetros de simulación 35
2.4.2.3. Plano del sistema de iluminación existente (MPSI) 36
2.4.2.4. Determinación de la potencia total del área del proyecto 37
2.4.2.5. Distribución de postes de iluminación 38
2.4.2.6. Simulación del sistema de iluminación en DIALux evo 40
2.4.2.7. Simulación con el software DIALux evo 40
2.4.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico 51
2.4.3.1. Demanda energética del sistema de iluminación 51
2.4.3.2. Determinación del Rendimiento Global de la Instalación Fotovoltaica 54
2.4.3.3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico 56
2.4.3.4. Determinación de la Potencia del Generador Fotovoltaico 57
2.4.3.5. Dimensionamiento del banco de baterías 63
2.4.3.6. Selección y dimensionamiento del inversor 66
2.4.3.7. Selección y dimensionamiento de conductores eléctricos. 68
2.4.3.8. Sistemas de protección y maniobra eléctrica 72
2.4.3.8.1. Protección de los paneles fotovoltaicos 72
2.4.3.9. Sistema de conexión a tierra 77
2.4.3.10. Infraestructura del sistema fotovoltaico 78

2.4.3.10.1. Distribución de brazos y altura del sistema 78

2.4.4. Análisis técnico-financiero del sistema planteado. 81

2.4.4.1. Presupuesto referencial del sistema de iluminación fotovoltaica 82

2.4.4.2. Presupuesto referencial del sistema de alumbrado tradicional 84

2.4.4.3. Análisis comparativo de costos y eficiencia económica 85

2.4.4.4. Durabilidad de los equipos y programación de reemplazos 88

2.4.4.5. Evaluación de la factibilidad financiera del proyecto 88

III. RESULTADOS 93
IV. DISCUSIÓN 95
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 97
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101
DEDICATORIA **106**

AGRADECIMIENTO 107
ANEXOS 108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos generales de la provincia de San Ignacio 17

Tabla 2 *Datos meteorológicos de la zona de estudio (2024–2025)* 29

Tabla 3 *Radiación solar según ángulo de inclinación (2024)* 29

Tabla 4 *Selección de luminarias LED del sistema propuesto* 34

Tabla 5 *Niveles de iluminación de referencia para el diseño* 36

Tabla 6 *Distribución de postes de iluminación* 40

Tabla 7 *Distribución de potencia instalada del sistema de iluminación propuesto* 52

Tabla 8 *Consumo energético diario referencial por tipo de poste del sistema de iluminación propuesto* 52

Tabla 9 *Factores de Pérdidas en un Sistema Fotovoltaico* 54

Tabla 10 *Consumo energético por poste y dimensionamiento del generador fotovoltaico* 58

Tabla 11 *Dimensionamiento de la batería por luminaria* 64

Tabla 12 *Dimensionamiento de inversores para los sistemas de luminarias* 67

Tabla 13 *Características técnicas de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico* 71

Tabla 14 *Selección de fusibles* 75

Tabla 15 *Selección de interruptores termomagnéticos* 76

Tabla 16 *Presupuesto estimado para la instalación del sistema de iluminación fotovoltaica* 83

Tabla 17 *Presupuesto estimado para sistema de iluminación tradicional* 84

Tabla 18 *Tarifa BT5C Alumbrado Público Especial (1E)* 85

Tabla 19 *Costo mensual de cada tipo de energía* 87

Tabla 20 *Flujo de caja acumulado* 90

Tabla 21 *Evaluación de los ingresos y gastos* 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Ubicación de la Plaza de Armas de San Ignacio* 18

Figura 2 *Clases de radiación solar en sistemas fotovoltaicos* 20

Figura 3 *Espectro visible de la radiación electromagnética.* 21

Figura 4 Sistema de iluminación solar autónoma utilizando tecnología LED 25

Figura 5 *Radiación solar en función del ángulo de inclinación óptimo* 31

Figura 6 *Radiación solar según ángulo de inclinación (2024)* 31

Figura 7 *Plano del sistema de iluminación existente (MPSI) de la Plaza de Armas de San Ignacio.* 37

Figura 8 *Mapa de ubicación de los postes y luminarias en la Plaza de Armas de San Ignacio.* 41

Figura 9 *Localización de los puntos de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio* 42

Figura 10 *Proyección del sistema de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio.* 44

Figura 11 *Representación nocturna del sistema de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio.* 44

Figura 12 *Mapa de iluminancia del sistema en la Plaza de Armas de San Ignacio.* 46

Figura 13 *Proyección del flujo luminoso de las luminarias hacia el área central de la Plaza de Armas de San Ignacio.* 47

Figura 14 *Simulación nocturna del alumbrado en la Plaza de Armas de San Ignacio.* 47

Figura 15 *Detalle de un poste de iluminación con luminarias y panel solar en la Plaza de Armas de San Ignacio.* 48

Figura 16 *Detalle de un poste de iluminación con tres brazos y tres luminarias, equipado con panel solar.* 49

Figura 17 *Detalle de un poste de iluminación con dos brazos y dos luminarias, equipado con panel solar.* 50

Figura 18 *Panel Solar 210W 12V Monocristalino* 59

Figura 19 *Panel solar ZY150M2C-36 de 150 W* 59

Figura 20 *Panel solar 620 W N-type i-TOPCon* 60

Figura 21 *Influencia de la irradiancia sobre la corriente de cortocircuito y la potencia máxima de los módulos solares.* 61

Figura 22 *Efectos de la temperatura sobre la corriente de cortocircuito de los módulos solares.* 61

Figura 23 *Variación de la potencia máxima en función de la temperatura en módulos fotovoltaicos.* 62

Figura 24 *Batería de GEL 12V 150Ah Tensite* 65

Figura 25 *Batería solar 80 Ah gel 12 V sunbatt* 65

Figura 26 *Batería AGM 380Ah 12V Rolls* 66

Figura 27 Inversor Victron Phoenix 12 V 250 VA VE.Direct. 67

Figura 28 *Poste metálico de 5 m con tres brazos* 79

Figura 29 *Poste metálico de 3 m con dos brazos estándar* 79

Figura 30 *Poste metálico de 3 m con dos brazos y luminaria adicional sobre mástil* 80

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos del alumbrado público. Se evaluó el recurso solar mediante datos satelitales NASA POWER 2024–2025, determinándose una radiación solar promedio anual de 4,76 kWh/m²/día y un ángulo óptimo de inclinación de 20°. El diseño luminotécnico se realizó en DIALux evo, considerando 51 puntos de iluminación con luminarias LED de alta eficiencia. Asimismo, se dimensionaron paneles solares de 150 W, 210 W y 620 W, junto con los principales componentes del sistema fotovoltaico como baterías, reguladores de carga, inversores, conductores eléctricos y dispositivos de protección. Los resultados de la simulación mostraron niveles de iluminancia comprendidos entre 20.6 lx y 94 lx, cumpliendo con los criterios establecidos por la Norma DGE 017-AI-1-1982. El sistema propuesto presenta una potencia total instalada de 1 510 W y una demanda energética diaria de 18,12 kWh/día. El análisis económico evidenció una inversión inicial de S/ 73 073,00, un beneficio económico anual aproximado de S/ 21 055,56, un VAN de S/ 104 830,49, una TIR de 14 % y una relación beneficio-costo de 1,43, concluyéndose que el sistema es técnica, energética, ambiental y económicamente viable.

Palabras clave: iluminación fotovoltaica, energía renovable, tecnología LED, eficiencia energética, alumbrado público.

ABSTRACT

The objective of this research was to design a photovoltaic lighting system with LED technology for the Plaza de Armas of San Ignacio, Cajamarca, in order to improve energy efficiency and reduce public lighting operating costs. The solar resource was evaluated using NASA POWER satellite data for the period 2024–2025, determining an average annual solar radiation of 4.76 kWh/m²/day and an optimal tilt angle of 20°. The lighting design was developed using DIALux evo, considering 51 lighting points with high-efficiency LED luminaires. Likewise, solar panels of 150 W, 210 W, and 620 W were dimensioned, along with the main photovoltaic system components such as batteries, charge controllers, inverters, electrical conductors, and protection devices. The simulation results showed illuminance levels between 20.6 lx and 94 lx, complying with the criteria established by the DGE 017-AI-1-1982 standard. The proposed system has a total installed power of 1,510 W and a daily energy demand of 18.12 kWh/day. The economic analysis showed an initial investment of S/ 73,073.00, an approximate annual economic benefit of S/ 21,055.56, an NPV of S/ 104,830.49, an IRR of 14%, and a benefit-cost ratio of 1.43, concluding that the system is technically, energetically, environmentally, and economically viable.

Keywords: photovoltaic lighting, renewable energy, LED technology, energy efficiency, public lighting.

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Duman y Güler (2019), en el artículo científico titulado "Análisis tecnoeconómico de sistemas de iluminación vial LED fotovoltaicos fuera de la red: un estudio de caso para las regiones del norte, centro y sur de Turquía", realizaron un análisis técnico y económico de sistemas de iluminación vial LED alimentados mediante energía solar fotovoltaica en Turquía. La investigación empleó los softwares DIALux evo y HOMER para el cálculo lumínico y optimización del sistema fotovoltaico. Los resultados determinaron que el Costo Nivelado de Energía (COE) varía entre 0.229 y 0.362 $/kWh para la clase M4 y entre 0.254 y 0.359 $/kWh para la clase M5. Asimismo, concluyeron que los sistemas fotovoltaicos LED representan una alternativa sostenible debido a la reducción de emisiones de CO_2 y al aprovechamiento de energía renovable. Este estudio se relaciona con la presente investigación porque emplea procedimientos de simulación lumínica y dimensionamiento fotovoltaico aplicados al alumbrado público.

Katzin, Marcelis y Van Mourik (2021), en el artículo científico titulado "Ahorro de energía en invernaderos mediante la transición de la iluminación de sodio de alta presión a la iluminación LED", evaluaron el ahorro energético generado por el reemplazo de luminarias de sodio de alta presión (HPS) por luminarias LED en distintos escenarios climáticos. La investigación utilizó simulaciones mediante el modelo GreenLight, considerando variables como temperatura interior, intensidad y tiempo de iluminación. Los resultados determinaron que las luminarias LED reducen aproximadamente un 40 % del consumo energético destinado a iluminación y permiten un ahorro total de energía entre 10 % y 25 %. Los autores concluyeron que la tecnología LED representa una alternativa eficiente y sostenible debido a la disminución del consumo energético y las emisiones

contaminantes. Este estudio guarda relación con la presente investigación debido a que demuestra la eficiencia energética de los sistemas de iluminación LED aplicados en proyectos sostenibles.

Rivera (2022), realizó una investigación orientada al diseño de un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para fortalecer la oferta turística del Parque Ecológico Las 7 Leyendas, en Cochas Grande – Huancayo. El estudio empleó un enfoque mixto y un diseño no experimental transversal. Su objetivo general fue diseñar un sistema de iluminación fotovoltaica mediante tecnología LED que contribuya al fomento de la actividad turística del parque. Como objetivos específicos planteó determinar la demanda energética requerida, definir las características técnicas de los componentes del sistema (panel solar, acumulador, regulador y luminarias LED) y establecer las condiciones de instalación necesarias para asegurar un funcionamiento eficiente. Los resultados del estudio identificaron una demanda diaria mínima de 5.22 A, una inclinación óptima de 11° para los paneles solares, una capacidad de almacenamiento de 103.12 Ah, un regulador de carga de 8.19 A y el uso de conductores de cobre superiores a 0.4 mm^2. Estos parámetros permitieron formular un diseño de iluminación sostenible que contribuye a mejorar la experiencia turística en el Parque Ecológico Las 7 Leyendas.

Baldeon Yauri y Ramos Alanya (2025), desarrollaron una investigación cuyo objetivo principal fue plantear una alternativa sostenible y eficiente para reemplazar las 19 luminarias de vapor de sodio de 150 W que conforman el sistema de alumbrado público del Parque Miguel Grau, ubicado en el distrito de Yauli – La Oroya, en Junín. Su propuesta consistió en evaluar la sustitución de estas luminarias por equipos LED con tecnología solar, analizando las opciones disponibles en función de la tensión requerida en la unidad de estudio. El estudio empleó un diseño descriptivo–comparativo y consideró la medición del consumo eléctrico mediante el medidor instalado en la subestación de distribución, además del registro fotográfico y la sistematización en

cuadros de datos. Los autores concluyeron que la implementación de luminarias LED reduciría el consumo energético en al menos un 50% respecto al sistema basado en vapor de sodio, generando una mejora significativa en la rentabilidad mensual del servicio.

Araujo Gonzales (2022) desarrolló una investigación cuyo objetivo fue proponer una alternativa sostenible de alumbrado público para la Plaza Las Américas, en el distrito de Cerro Colorado, Arequipa, mediante un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED. Para ello, empleó una metodología descriptiva–aplicada, iniciando con una revisión bibliográfica sobre energías renovables y las ventajas técnicas, económicas y ambientales de las luminarias LED frente a tecnologías tradicionales. Posteriormente, realizó la caracterización del recurso solar mediante el software PVWatts, determinando que la radiación mínima adecuada para el diseño correspondía a 5,51 kWh/m². También efectuó un estudio lumínico con DIALux, que permitió identificar los niveles adecuados de iluminación para el espacio público. Los resultados de estos análisis, el autor procedió al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el cual quedó conformado por 16 paneles solares de 540 W, un inversor/cargador de 5200 W, un controlador de 80 A y un banco de tres baterías de litio de 200 Ah. Finalmente, se realizó una evaluación técnica y económica, concluyéndose que la propuesta requiere una inversión de S/ 100 810.59, presenta un tiempo de recuperación aproximado de ocho años y posee una vida útil estimada de 20 años, lo que respalda su viabilidad y su contribución a la sostenibilidad energética.

Moya Ramírez y Benavides Huamán (2024), desarrollaron una investigación enfocada en el diseño y simulación de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque del C.P.M. Ambato Tamborapa, en el distrito Bellavista, provincia de Jaén. El estudio surge debido a las deficiencias en la iluminación del parque, donde los niveles lumínicos no cumplen con la norma técnica DGE y el consumo energético es elevado, generando inseguridad,

limitaciones en la convivencia vecinal y una reducción en la práctica de actividades culturales y deportivas. El objetivo general del estudio fue diseñar y simular un sistema de iluminación fotovoltaico con tecnología LED que mejore las condiciones lumínicas del parque. Sus objetivos específicos incluyeron analizar el recurso solar disponible en la zona, determinar los niveles de iluminación requeridos según la normativa, realizar la simulación lumínica mediante el software DiaLux EVO 9.2 y dimensionar el sistema fotovoltaico para cada punto de iluminación, además de evaluar su viabilidad económica. Como parte del proceso, se utilizaron datos de la NASA para definir ángulos de inclinación óptimos y se generaron visualizaciones fotorrealistas a través de DiaLux EVO 9.2. Los autores concluyeron que el proyecto es viable, respaldado por un VAN positivo.

Pérez Zulueta (2019), desarrolló una investigación titulada Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque central de la provincia de Jaén – Cajamarca. El objetivo del estudio fue diseñar un sistema de alumbrado público con tecnología LED alimentado mediante paneles fotovoltaicos para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética del parque central de Jaén. La investigación analizó el recurso solar utilizando datos de la NASA, considerando una radiación mínima de 3,71 kWh/m², y realizó el dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico. Los resultados determinaron el uso de luminarias LED de 67 W, paneles fotovoltaicos de 130 Wp y una inversión aproximada de S/. 43 025,13, con un periodo de recuperación de siete años y cuatro meses. El autor concluyó que el sistema propuesto representa una alternativa sostenible y eficiente para el alumbrado público. Este estudio se relaciona con la presente investigación debido a que aplica criterios de diseño y evaluación de sistemas de iluminación fotovoltaica LED en espacios públicos de la región Cajamarca.

1.2. Problema

La Plaza de Armas de San Ignacio, ubicada en la provincia de San Ignacio, región Cajamarca, constituye un espacio público central donde se desarrollan actividades sociales, culturales, turísticas y comerciales. Sin embargo, el sistema de iluminación pública instalado presenta deficiencias técnicas significativas. Actualmente, la plaza cuenta con luminarias de sodio y halógenas conectadas a la red eléctrica convencional, lo que genera elevados costos de operación y mantenimiento para la municipalidad, además de un bajo rendimiento energético, según Huamani Rios y Paucar Huaman (2021).

De acuerdo con la Norma Técnica de Alumbrado Público del Ministerio de Energía y Minas (2002), los espacios de uso recreativo como plazas deben cumplir con niveles mínimos de iluminancia que garanticen seguridad y visibilidad. No obstante, mediciones preliminares realizadas en la Plaza de Armas de San Ignacio muestran valores inferiores a lo establecido por la normativa, lo que afecta la seguridad ciudadana y limita el aprovechamiento del espacio en horarios nocturnos.

Además, el consumo eléctrico proviene principalmente de fuentes no renovables, lo que contribuye al incremento de emisiones contaminantes y compromete los objetivos del Plan Energético Nacional al 2040, propuesto por el Ministerio de Energía y Minas (2010) la Política Energética Nacional la eficiencia energética y el uso de energías limpias. Este panorama evidencia una situación de ineficiencia energética, altos costos operativos y ausencia de criterios de sostenibilidad en la gestión del alumbrado público local.

Diversos estudios sostienen que la implementación de sistemas fotovoltaicos combinados con tecnología LED constituye una alternativa viable para el alumbrado de espacios públicos. Según Pérez Zulueta (2019), el diseño de estos sistemas requiere considerar parámetros como la

radiación solar disponible, el dimensionamiento de paneles y baterías, así como la selección de luminarias LED de alta eficiencia. Por su parte, Gómez (2023) destaca que el uso de iluminación solar en plazas y espacios públicos, sino que además favorece los gastos operativos municipales, además, favorece la sostenibilidad ambiental y la modernización del equipamiento urbano.

En consecuencia, la Plaza de Armas de San Ignacio presenta altos costos operativos, deficiencia en los niveles de iluminación y baja eficiencia energética, lo que justifica la necesidad de planificar un sistema de alumbrado solar utilizando tecnología LED para garantizar seguridad ciudadana, sostenibilidad ambiental y eficiencia en la gestión pública.

Formulación del problema

¿De qué manera el diseño de un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED puede contribuir a mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos en la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca?

1.3. Justificación

Justificación social

La presente investigación tiene sustento social al presentar una opción de alumbrado eficiente y sostenible para la Plaza de Armas de San Ignacio, espacio público donde se desarrollan actividades recreativas, culturales y sociales de la población. La deficiente iluminación existente afecta la sensación de seguridad y restringe el uso adecuado del área durante horarios nocturnos. En ese sentido, la planificación de un sistema de alumbrado solar con tecnología LED permitirá mejorar las condiciones de visibilidad y seguridad para los ciudadanos, favoreciendo la permanencia y participación de la población en actividades sociales y comunitarias. Asimismo, el proyecto contribuirá al bienestar de la población mediante la promoción de espacios públicos más seguros, accesibles y adecuados para el desarrollo de la convivencia social.

Justificación ambiental

La presente investigación se justifica ambientalmente, ya que promueve el uso de la energía solar como recurso renovable y sostenible para el sistema de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio. La implementación de un sistema fotovoltaico con tecnología LED permitirá reducir la electricidad proveniente de fuentes tradicionales, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes y el impacto ambiental derivado del uso de combustibles fósiles. Además, optimiza el aprovechamiento de los recursos energéticos y fortalece prácticas sostenibles, contribuyendo a la conservación del medio ambiente y fomentando el uso de energías limpias en espacios públicos.

Justificación económica

La presente investigación también se justifica económicamente, dado que la instalación de un sistema LED fotovoltaico para la Plaza de Armas de San Ignacio constituye una alternativa eficiente y económicamente viable frente a los sistemas de alumbrado convencionales. Aunque la instalación inicial requiere un desembolso considerable, los costos de operación y mantenimiento son significativamente menores gracias al uso de energía solar. Asimismo, el proyecto contempla un análisis técnico-económico que permitirá evaluar su viabilidad mediante indicadores de inversión, retorno y periodo de recuperación, proporcionando información confiable para la toma de decisiones enfocadas en el desarrollo sostenible y la eficiencia energética del distrito de San Ignacio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para la Plaza de Armas San Ignacio, Cajamarca

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el recurso solar en la zona del proyecto.
- Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaica mediante el software DIALux.
- Evaluar los componentes del sistema fotovoltaico según la demanda del proyecto.
- Realizar un análisis económico y técnico del sistema propuesto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio

El objetivo de esta investigación es analizar el sistema de alumbrado de la Plaza de Armas de San Ignacio, enfocado en el diseño de un sistema solar fotovoltaico con tecnología LED, como opción eficiente y sostenible.

2.2. Ubicación geográfica

El estudio se llevó a cabo en la Plaza de Armas de San Ignacio, en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca. La zona ofrece características propicias para el uso eficiente de la energía solar con el fin de planificar el sistema solar fotovoltaico propuesto.

Tabla 1

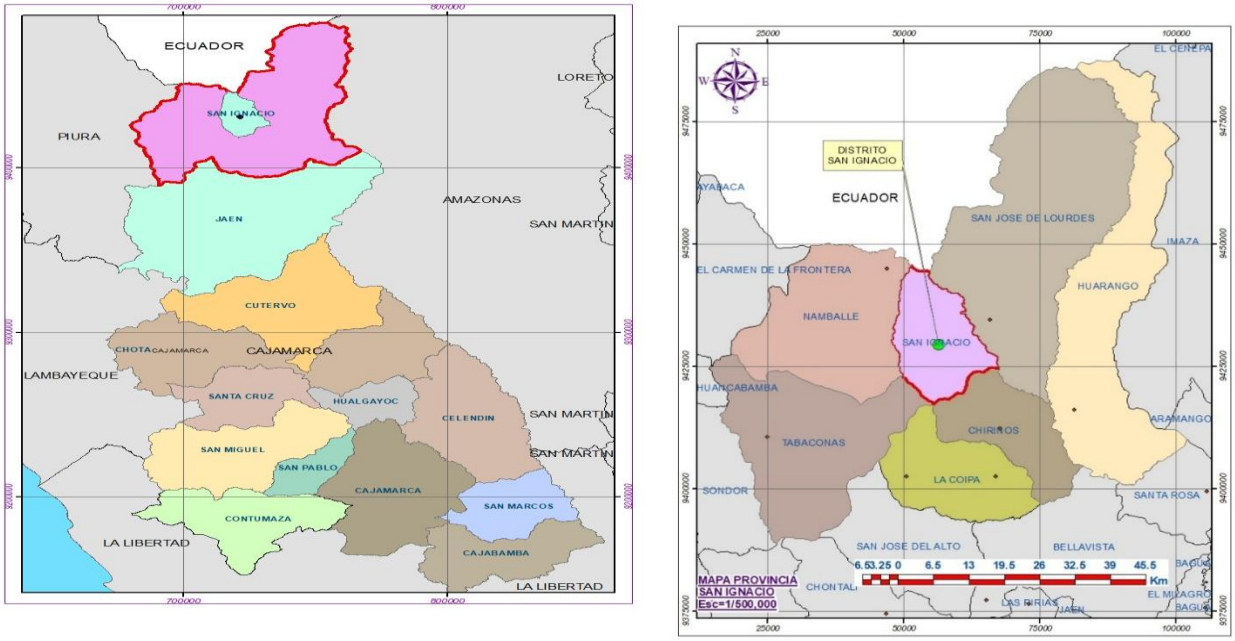
Datos generales de la provincia de San Ignacio

Parámetro	**Descripción**
Ubicación geográfica	5°08'45" S; 79°00'05" O
Altitud	1,324 m s.n.m.
Extensión	4,990.30 km²
Actividades económicas	Agricultura, ganadería y comercio

Fuente: *Municipalidad Provincial de San Ignacio, elaboración propia.*

Figura 1

Ubicación de la Plaza de Armas de San Ignacio



2.3. Base teórica

2.3.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica constituye una fuente renovable que posibilita transformar directamente la radiación solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Este fenómeno ocurre en materiales semiconductores, principalmente silicio, que al recibir radiación solar provoca un movimiento de electrones, generando corriente eléctrica Garnacho (2020).

Los sistemas solares se dividen en aquellos conectados a la red eléctrica y los sistemas independientes (off-grid), siendo estos últimos los más adecuados para aplicaciones de alumbrado público en zonas donde se busca independencia energética.

La potencia eléctrica generada por un sistema solar depende de la intensidad de la radiación solar, la superficie del panel y su eficiencia, expresándose mediante la ecuación 1.

$$P = G \cdot A \cdot \eta \qquad (1)$$

Donde:

P = potencia generada (W)

G = irradiancia solar (W/m²)

A = área del panel (m²)

η = eficiencia del panel

2.3.2. Radiación solar

La radiación solar consiste en la energía que el Sol emite en forma de ondas electromagnéticas, constituyendo la fuente principal de energía para los sistemas solares. Según Muñoz Mamani (2019), la constante solar, medida en la capa superior de la atmósfera, es cercana a 1367 W/m². La radiación solar se divide en:

a) **Radiación directa:** la radiación solar que llega directamente desde el Sol sin alteraciones en su trayectoria, siendo la principal causante de las sombras proyectadas por los objetos.
b) **Radiación difusa:** es aquella radiación que alcanza la superficie terrestre tras ser dispersada por la atmósfera debido a la interacción de las ondas electromagnéticas con partículas del aire (dispersión). Esta porción puede constituir cerca del 15% de la radiación total en días despejados, aumentando su proporción a medida que se incrementa la nubosidad.
c) **Radiación reflejada (albedo):** es la radiación que resulta de la reflexión de la superficie terrestre, cuya intensidad depende del coeficiente de reflexión del suelo, conocido como albedo.
d) **Radiación global:** Es la radiación que llega a una superficie horizontal considerando un ángulo sólido de 2π estereorradianes, calculada según la ecuación (2).

La radiación global se expresa como:

$$R_g = R_d + R_f + R_a \quad (2)$$

Donde:

Rg = radiación global

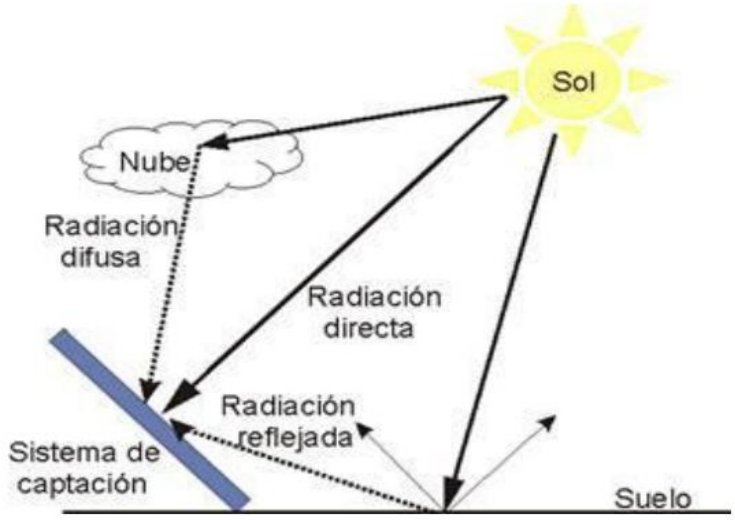
Rd = radiación directa

Rf = radiación difusa

Ra = radiación reflejada

Figura 2

Clases de radiación solar en sistemas fotovoltaicos



Nota: La ilustración presenta las diferentes formas de radiación solar que inciden sobre un sistema de captación. Fuente: SFE-Solar (s.f.).

2.3.3. Sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED

a. Definición de luz

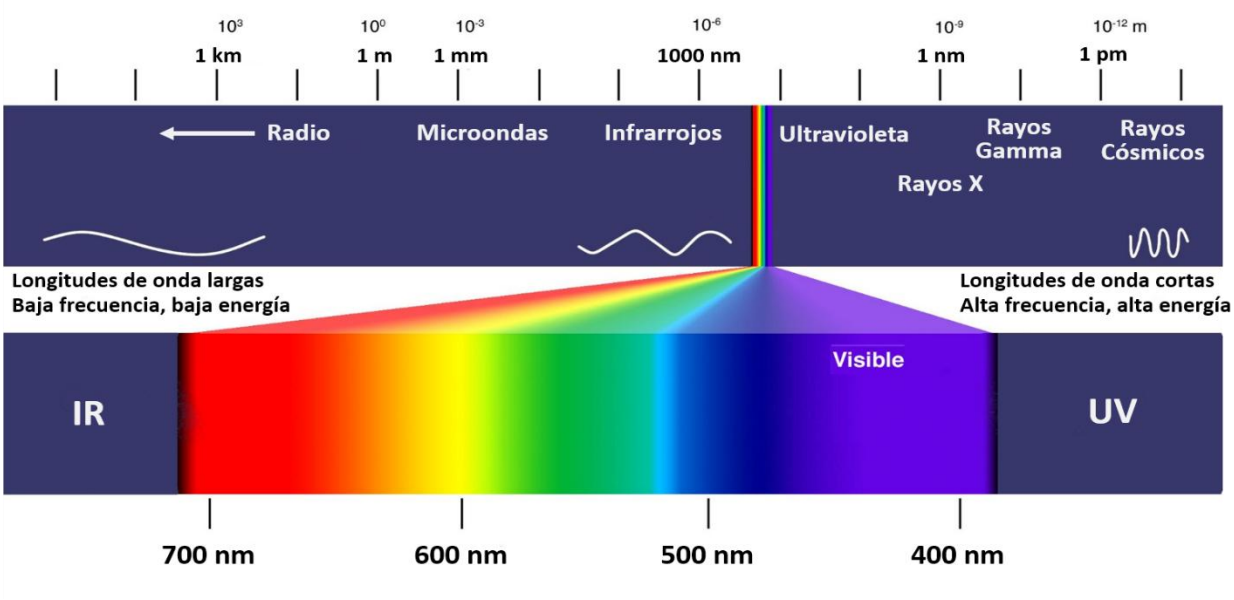
La luz es un tipo de energía electromagnética esencial para que el ser humano pueda ver y comprender el entorno que lo rodea. Según Illa (2020), la luz corresponde a la porción del espectro

electromagnético comprendida aproximadamente entre 380 nm y 760 nm, la cual es detectada por los fotorreceptores del ojo humano, dando inicio al proceso de la visión.

De manera complementaria, Espinoza Robles (2017), describe la luz como un tipo de energía radiante electromagnética capaz de estimular la retina, generando la percepción visual y facilitando la interpretación del entorno.

Figura 3

Espectro visible de la radiación electromagnética.



Nota. *La figura muestra el rango visible del espectro electromagnético que puede ser detectado por la visión humana. Tomado del Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea* (2015).

b. Magnitudes luminotécnicas

Las magnitudes luminotécnicas son parámetros físicos utilizados para caracterizar la luz en términos cuantitativos y cualitativos. Según Pérez (2019), estas magnitudes permiten evaluar el comportamiento de las fuentes luminosas y su adecuada aplicación en sistemas de iluminación, especialmente en alumbrado público.

- **Flujo luminoso (Φ)**

El flujo luminoso representa el total de luz generada por una fuente por unidad temporal, considerando la capacidad del ojo humano para percibir distintas longitudes de onda de la ecuación 3.

$$\Phi_{lum} = k_m \int_{380}^{760} V_\lambda \ \Phi_{rad} \, d\lambda \tag{3}$$

Donde:

- Φ_{lum}: flujo luminoso (lúmenes, lm)
- Φ_{rad}: flujo radiante (W)
- V_λ: función de sensibilidad espectral del ojo humano
- k_m: constante de máxima eficacia luminosa

• Intensidad luminosa (I)

La intensidad luminosa representa la luz emitida por una fuente específica en una dirección determinada específica dentro de un ángulo tridimensional determinado de la ecuación 4.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \tag{4}$$

Donde:

- I: intensidad luminosa (candela, cd)
- Φ: flujo luminoso (lm)
- Ω: ángulo sólido (estereorradián, sr)

• Iluminancia (E)

La iluminancia es la magnitud que expresa volumen de luz que llega a una superficie determinada de la ecuación 5.

$$E = \frac{\Phi}{S} \tag{5}$$

Donde:

- E: Nivel de iluminancia
- Φ: Flujo de luz incidente (lm)
- S: área iluminada (m^2)

• Luminancia (L)

La luminancia es la propiedad que vincula la intensidad de luz con el área de la superficie aparente observada desde una dirección específica de la ecuación 6.

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\alpha)} \tag{6}$$

Donde:

- L: luminancia
- I: intensidad luminosa
- S: superficie emisora
- α: ángulo de observación

Lámparas e iluminación artificial

Las lámparas son elementos concebidos para convertir energía eléctrica en energía luminosa visible, siempre que la radiación generada se encuentre dentro del espectro visible. Según Cano (2021) la luz se produce cuando las ondas electromagnéticas emitidas pueden ser percibidas por el ojo humano.

Existen dos principios fundamentales de generación de luz:

- **Incandescencia:** emisión de luz debido al calentamiento de un filamento conductor a altas temperaturas.
- **Luminiscencia:** emisión de luz sin necesidad de altas temperaturas, mediante procesos eléctricos o electrónicos.

Dentro de este grupo se encuentran las lámparas de sodio y mercurio, así como los diodos emisores de luz (LED), siendo estos últimos los más utilizados en sistemas modernos por su alta eficiencia energética.

- **Luminarias LED**

Las luminarias LED (Light Emitting Diode) son dispositivos semiconductores que convierten energía eléctrica en energía luminosa mediante la recombinación de electrones y huecos en un material semiconductor.

Según Jinchuña (2020), un LED está formado por varias capas de materiales semiconductores encapsulados en estructuras de resina epoxi o cerámica, lo que permite su alta eficiencia y durabilidad.

- **Características principales:**

- Alta eficiencia energética (menor consumo eléctrico)
- Larga vida útil (superior a 50 000 horas)
- Encendido instantáneo
- Bajo mantenimiento
- Alta resistencia a condiciones ambientales

Figura 4

Sistema de iluminación solar autónoma utilizando tecnología LED



Nota. *La ilustración presenta una luminaria LED que se alimenta mediante módulos solares. Made-in-China (2022).*

- **Iluminación autónoma solar fotovoltaica**

Los sistemas de iluminación autónoma solar son aquellos que funcionan de forma autónoma sin conexión a la red eléctrica tradicional, utilizando energía solar fotovoltaica almacenada en baterías para alimentar luminarias LED.

De acuerdo con Duman y Güler (2019), estos sistemas representan una alternativa eficiente y sostenible para la iluminación de espacios públicos, ya que permiten minimizar gastos de operación y disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Componentes principales del sistema:

- Paneles solares fotovoltaicos
- Controlador de carga
- Banco de baterías
- Luminarias LED
- Sistema de soporte y protección eléctrica

Aplicaciones:

- Plazas públicas
- Parques urbanos
- Vías peatonales y vehiculares
- Estacionamientos
- Señalización urbana

2.4. Metodología del estudio

2.4.1. Evaluación del recurso solar

Para analizar el potencial solar en el área estudiada, se revisaron múltiples fuentes de datos nacionales e internacionales, incluyendo el Atlas de Energía Solar del Perú, registros de estaciones meteorológicas locales y bases de datos satelitales globales. Sin embargo, debido a la disponibilidad continua de información, la consistencia de los datos y las limitaciones de tiempo y presupuesto del presente estudio, se optó por el uso de datos satelitales provenientes del sistema NASA POWER (National Aeronautics and Space Administration – Prediction of Worldwide Energy Resources)**,** correspondientes al periodo 2024–2025. Este sistema proporciona

información meteorológica y energética de alta resolución, permitiendo analizar variables como radiación solar global horizontal, temperatura del aire y otros parámetros climáticos relevantes para la evaluación del potencial energético solar.

2.4.1.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en el distrito y provincia de San Ignacio, región Cajamarca – Perú, zona que ofrece características geográficas propicias para la utilización eficiente de la energía solar gracias a su ubicación en la región tropical del hemisferio sur.

Las coordenadas geográficas del punto de análisis son:

- **Latitud:** -5.1458
- **Longitud:** -79.0051
- **Altitud:** 1414 m s.n.m.

2.4.1.2. Descripción de los datos meteorológicos

Para el presente estudio se utilizaron datos meteorológicos provenientes de la base de datos NASA POWER, la cual proporciona información satelital de variables climáticas con cobertura global. Los datos corresponden al periodo 2024–2025 y fueron seleccionados por su confiabilidad y disponibilidad continua, permitiendo caracterizar el comportamiento climático de la zona de estudio.

Las variables consideradas son:

- Radiación solar global horizontal (ALLSKY_SFC_SW_DWN): energía solar incidente sobre una superficie horizontal (kWh/m²/día).
- Temperatura máxima a 2 m (T2M_MAX): máxima temperatura del aire registrada cada día (°C).

- Temperatura mínima a 2 m (T2M_MIN): mínima temperatura del aire registrada diariamente (°C).

Estos parámetros permiten evaluar el potencial solar de la zona y sirven como base para la evaluación del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 2

Datos meteorológicos de la zona de estudio (2024–2025)

Parámetro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Radiación solar global horizontal ALLSKY_SFC_SW_DWN (kWh/m²/día)	2024	3,64	4,04	4,29	4,01	4,38	4,36	4,59	4,93	4,56	5,32	5,47	4,19	**4,48**
T2M_MAX (°C)	2024	31,04	32,96	34,06	30,52	30,64	29,65	28,5	30,2	31,08	31,01	34,07	32,29	**31,34**
T2M_MIN (°C)	2024	16,1	16,57	15,86	15,97	16,44	14,54	14,36	14,14	16,43	15,98	15,18	14,46	**15,5**

Nota. *Datos obtenidos de la base de datos NASA POWER (2024), utilizados para el análisis del recurso solar y condiciones climáticas de la zona de estudio. Elaboración propia.*

Tabla 3

Radiación solar según ángulo de inclinación (2024)

Ángulo de inclinación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
0°	3,64	4,04	4,29	4,01	4,38	4,36	4,59	4,93	4,56	5,32	5,47	4,19	**4,48**
5°	3,72	4,12	4,35	4,1	4,45	4,42	4,65	5	4,63	5,38	5,54	4,25	**4,55**
10°	3,8	4,2	4,42	4,18	4,52	4,48	4,72	5,08	4,7	5,45	5,6	4,32	**4,62**
20°	**3,95**	4,35	4,58	4,3	4,65	4,6	4,85	5,2	4,82	5,58	5,75	4,45	**4,76**
90°	1,6	2,07	2,64	2,91	2,83	2,47	1,87	1,78	2,33	2,4	2,23	1,94	**2,26**

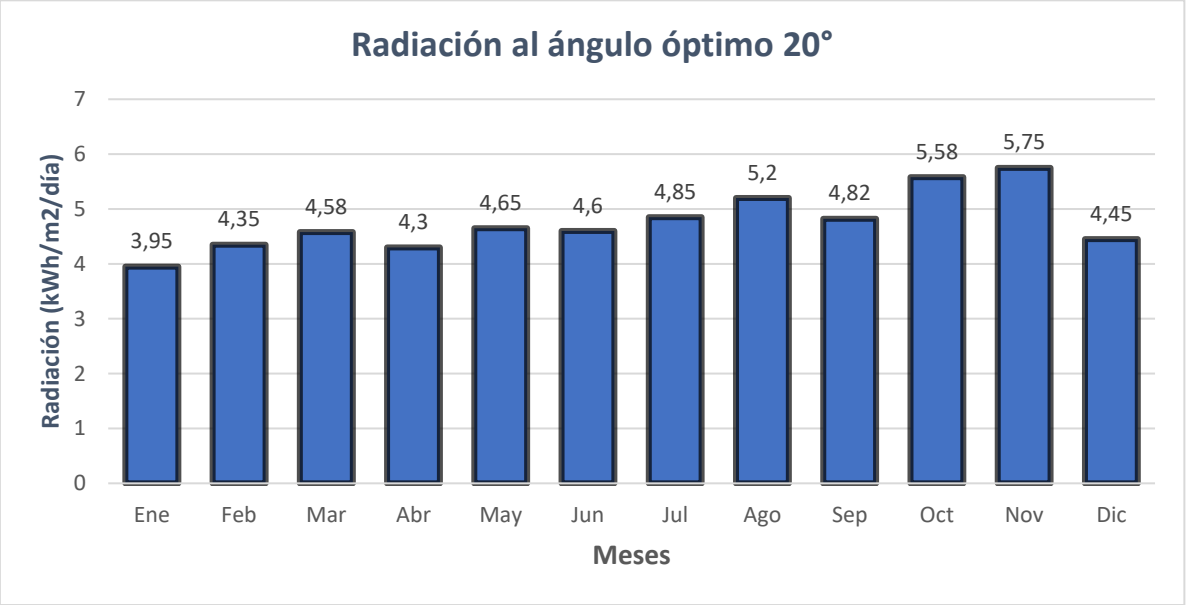
Nota. *La tabla presenta la variación mensual de la radiación solar promedio según la inclinación de los paneles fotovoltaicos. Los datos fueron obtenidos y procesados a partir del sistema NASA POWER (2024). Elaboración propia.*

En las Figuras 5 y 6 se muestra la variación de la energía solar según los ángulos de inclinación evaluados para los módulos fotovoltaicos, utilizando datos satelitales del sistema NASA POWER correspondientes al año 2024. Los resultados indican que la radiación solar depende directamente del ángulo de inclinación de los paneles, evidenciando la influencia directa de esta variable en la utilización eficiente de la energía solar disponible en el área de estudio. Los valores de radiación solar promedio anual obtenidos fueron de 4,48 kWh/m²/día para 0°, 4,55 kWh/m²/día para 5°, 4,62 kWh/m²/día para 10° y 4,76 kWh/m²/día para 20°. Para una inclinación vertical de 90° se obtuvo 2,26 kWh/m²/día, siendo el valor más bajo entre los ángulos analizados. Estos resultados muestran que la captación de energía solar aumenta progresivamente conforme se incrementa el ángulo de inclinación hasta alcanzar un mejor rendimiento a los 20°.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se consideró el mes de enero como condición crítica de diseño, debido a que presenta el valor más bajo de radiación solar durante el período evaluado, con una radiación de 3,64 kWh/m²/día. Esta consideración garantiza un diseño conservador y asegura el funcionamiento adecuado del sistema fotovoltaico durante todo el año. Finalmente, el análisis comparativo determinó que el ángulo de 20° presenta la mayor captación de radiación solar promedio anual, con un valor de 4,76 kWh/m²/día. En consecuencia, dicho ángulo fue seleccionado como inclinación óptima para la propuesta de sistema de iluminación LED diseñada para la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca.

Figura 5

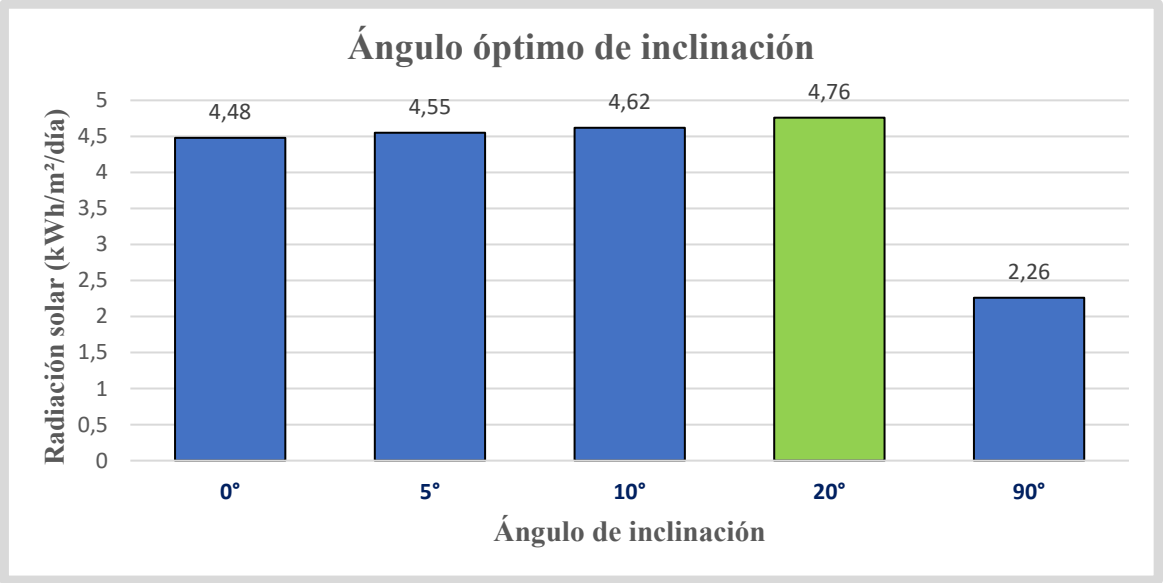
Radiación solar en función del ángulo de inclinación óptimo



Nota. *La ilustración presenta la variación de la energía solar captada mensualmente por los paneles fotovoltaicos, usando información obtenida del sistema NASA POWER (2024). Elaboración propia.*

Figura 6

Radiación solar según ángulo de inclinación (2024)



Nota. *Datos obtenidos y procesados a partir del sistema NASA POWER (2024). Elaboración propia.*

2.4.1.3. Inclinación óptima de los paneles.

La determinación de la inclinación ideal de los paneles solares se realizó mediante un enfoque combinado entre un método empírico basado en la latitud del lugar y la evaluación de la información satelital sobre radiación solar del sistema NASA POWER (2024–2025). En primer lugar, se emplea una expresión empírica utilizada en el diseño preliminar de sistemas fotovoltaicos, la cual relaciona la inclinación óptima con la latitud geográfica del sitio de estudio Mejía (2018). Para la zona de San Ignacio, cuya latitud es de -5,1458°, se aplica la siguiente ecuación 7:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \mid \phi \mid \quad (7)$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \mid -5.1458 \mid$$

$$\beta_{opt} = 7.24°$$

Donde:

β_{opt}: ángulo de inclinación óptimo (°)

|φ|: latitud del lugar (°)

El resultado obtenido mediante el método teórico fue de 7,24°, valor que representa una referencia inicial adecuada para zonas cercanas a la línea ecuatorial. No obstante, con el objetivo de mejorar la configuración del sistema solar fotovoltaico, se realizó un análisis complementario considerando distintos ángulos de inclinación de los módulos fotovoltaicos (0°, 5°, 10°, 20° y 90°), utilizando datos de radiación solar obtenidos del sistema NASA POWER. Los resultados mostraron que la radiación solar promedio anual varía en función del ángulo de inclinación considerado. Se obtuvieron valores promedio anuales de 4,48 kWh/m²/día para 0°, 4,55 kWh/m²/día para 5°, 4,62 kWh/m²/día para 10° y 4,76 kWh/m²/día para 20°, mientras que para una inclinación de 90° se registró un valor de 2,26 kWh/m²/día. A partir del análisis comparativo realizado, se determinó que el ángulo de inclinación de 20° presenta la mayor captación de radiación solar promedio anual, lo que evidencia una utilización más eficiente de la energía solar disponible en el área analizada. En consecuencia, dicho ángulo fue seleccionado como inclinación óptima para la propuesta de sistema de iluminación LED diseñada para la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca.

2.4.2. Diseño del sistema de iluminación en DIALux

2.4.2.1. Selección de luminarias LED del sistema propuesto

La selección de luminarias LED para el sistema de iluminación fotovoltaica de la Plaza de Armas de San Ignacio se realizó considerando criterios técnico-luminotécnicos, tales como el flujo luminoso, la potencia instalada, la distribución fotométrica, la eficiencia energética y la cobertura uniforme del área de intervención. El diseño fue verificado mediante simulación en DIALux evo, tomando en cuenta la ubicación de los postes, la altura de montaje, la orientación de las luminarias y el control del deslumbramiento.

El sistema de iluminación propuesto está conformado por 51 luminarias LED, distribuidas según el tipo de poste y las necesidades de iluminación de cada zona de la plaza. De acuerdo con la distribución presentada en la Tabla 4, el sistema alcanza un flujo luminoso total de 612 382 lm y una potencia total instalada de 1510 W.

Tabla 4

Selección de luminarias LED del sistema propuesto

Fabricante	***Modelo***	***Cantidad***	***Potencia (W)***	***Flujo luminoso (lm)***	***Potencia total (W)***	***Flujo luminoso total (lm)***
Cooper Lighting	*UTLD-PA1-100-727-U-SL3-FR (TRADITIONAIRE LED)*	*28*	*15*	*5969*	*420*	*167 132*
LEDVANCE	*SL AREA SPD XL V 50 W 765 RV35ST GY*	*21*	*50*	*20 250*	*1050*	*425 250*
LEDVANCE	*FL 100 PCELL P 20 W 840 10KLM PS BK*	*2*	*20*	*10 000*	*40*	*20 000*
Total	**—**	***51***	**—**	**—**	***1510***	***612 382***

Nota. *La tabla presenta la cantidad de luminarias, potencia instalada y flujo luminoso total del sistema propuesto, datos empleados para el cálculo del rendimiento lumínico global.*

Elaboración propia.

El rendimiento lumínico global del sistema de iluminación propuesto se calculó mediante la relación entre el flujo luminoso total y la potencia total instalada en la ecuación (8).

$$\eta_{global} = \frac{\Phi_{total}}{P_{total}} \tag{8}$$

Donde:

η global = rendimiento lumínico global del sistema, expresado en lm/W.

Φ total = flujo luminoso total del sistema, expresado en lm.

P total = potencia total instalada del sistema, expresada en W.

Reemplazando los valores:

$$\eta_{global} = \frac{612\ 382\ lm}{1510\ W}$$

$$\eta_{global} = 405{,}55\ lm/W$$

El rendimiento lumínico global del sistema de iluminación propuesto es de **405,55 lm/W**, valor que guarda relación directa entre el flujo luminoso total y la potencia total instalada del sistema.

2.4.2.2.Parámetros de simulación

Para llevar a cabo la simulación del sistema de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio, se utilizó el software DIALux evo versión 14, el cual permite modelar los espacios exteriores y analizar cómo se comporta la iluminación en condiciones cercanas a la realidad.

El programa facilita evaluar los niveles de iluminancia considerando la distribución de las luminarias y las características del entorno urbano. Como base del diseño, se tomaron en cuenta los criterios establecidos por la Norma Técnica de Alumbrado Público del Ministerio de Energía y Minas, DGE 017-A1-1-1982, que define los niveles mínimos de iluminación en plazas, parques y espacios públicos, con el objetivo de garantizar visibilidad adecuada, seguridad y uso cómodo del espacio durante la noche.

De acuerdo con esta normativa, se establecieron los niveles de iluminancia que servirán como referencia para la simulación del sistema propuesto, los cuales se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Niveles de iluminación de referencia para el diseño

Zona o elemento del espacio	Iluminación (lx)
Iluminación general del ambiente	5
Elementos paisajísticos (árboles, áreas verdes)	20
Áreas con elementos decorativos	50
Zonas de mayor concentración de personas	100

Nota. *Elaboración propia a partir de la Norma DGE 017-AI-1-1982 del Ministerio de Energía y Minas.*

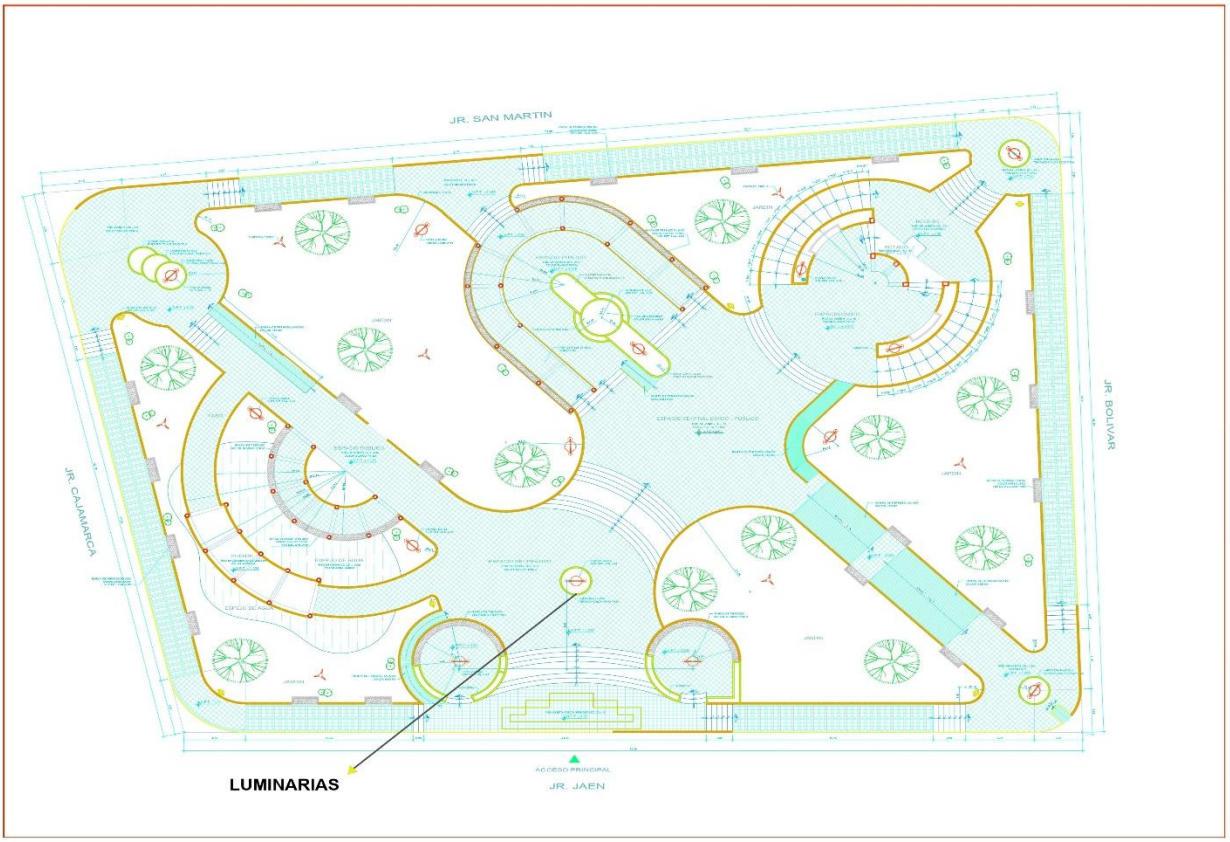
2.4.2.3. Plano del sistema de iluminación existente (MPSI)

El sistema de iluminación actual de la Plaza de Armas de San Ignacio está compuesto por un total de 21 postes: 14 postes metálicos tipo farola doble equipados con luminarias halógenas de 50 W cada una, y 7 postes de concreto tipo triple que cuentan con luminarias de sodio de alta presión de 150 W cada una. Todos los postes están conectados a la red eléctrica convencional y operan desde las 18:00 hasta las 06:00 del día siguiente, proporcionando iluminación nocturna en toda la plaza.

El plano del sistema de iluminación existente (MPSI) presentado en la Figura 7 permite identificar con precisión la ubicación de los postes y luminarias, así como su disposición en la plaza, sirviendo como referencia para evaluar el estado actual del sistema y planificar el nuevo diseño de iluminación fotovoltaica LED. La posición exacta de cada luminaria se detalla en los Anexos.

Figura 7

Plano del sistema de iluminación existente (MPSI) de la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota. *La figura ilustra la distribución de las luminarias existentes en el parque. Elaboración propia.*

Como se observa en la Figura 7, el sistema de iluminación existente de la Plaza de Armas de San Ignacio está conformado por 14 postes metálicos, cada uno equipado con 2 luminarias de 50 W, y 7 postes de concreto, cada uno con 3 luminarias de 150 W, para un total de 49 luminarias instaladas. La potencia total instalada es de 4.55kW, conectada actualmente a la red eléctrica convencional.

2.4.2.4. Determinación de la potencia total del área del proyecto

Según la normativa de alumbrado público DGE (2002) aplicada en plazas, parques y plazuelas, los concesionarios deben instalar unidades de iluminación que cumplan, como mínimo, con una razón de 0,13 W/m². En los casos donde ya existan luminarias cuya potencia total supere este valor, estas se mantendrán sin reducción, asegurando que se cumplan los criterios establecidos por la normativa.

Para calcular la potencia requerida para todo el proyecto, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_t = A_p \times R_{DGE}.. \quad (9)$$

Donde:

- P_t potencia total del proyecto (W)
- A_p= superficie total del proyecto (m²)
- R_{DGE}= razón de potencia según la normativa DGE (W/m²)

El área total del proyecto se determina considerando las dimensiones promedio de los distintos sectores del espacio, según la ecuación 10:

$$A_p = \frac{(L_1+L_2)}{2} \times \frac{(A_1+A_2)}{2} \ldots \quad (10)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la Plaza de Armas de San Ignacio:

$$A_p = \frac{(67.80+76.90)}{2} \times \frac{(52.30+46.79)}{2}$$

$$\mathbf{A_p = 3584.6\ m^2}$$

Finalmente, reemplazando en la ecuación de potencia total:

$$P_t = 3584.6\ m^2 \times 0.13\ W/m^2$$

$$\mathbf{P_t = 465.99\ W}$$

2.4.2.5.Distribución de postes de iluminación

La distribución de los postes de iluminación del sistema fotovoltaico de la Plaza de Armas de San Ignacio se llevó a cabo directamente en DIALux evo, considerando la cobertura lumínica necesaria para todas las áreas del proyecto, la altura de montaje y la prevención del deslumbramiento. Esta planificación asegura que los caminos peatonales, espacios decorativos y sectores con alta concentración de personas reciban una iluminación uniforme y adecuada.

Se emplearon tres tipos de postes, definidos según su altura y función:

- Postes altos (5 m): diseñados para iluminar las áreas centrales y más amplias de la plaza. Cada poste tiene 3 brazos dispuestos a 120°, con una luminaria SL AREA SPD XL V 50 W 765 RV35ST GY (20250 lm) por brazo. Las luminarias se inclinaron 15° para evitar deslumbramiento y mejorar la dispersión lumínica sobre el terreno.
- Postes medianos (3 m): ubicados en zonas secundarias y decorativas, cuentan con 2 brazos a 180°, cada uno con una luminaria UTLD Traditionaire Decorative Post Top Luminaire (5968 lm).
- Postes medianos especiales (3 m): de los 14 postes medianos, 2 postes incluyen un refuerzo adicional: además de los 2 brazos con 2 luminarias UTLD Traditionaire (5968 lm), se montó una luminaria FL 100 PCELL P 20 W 840 10KLM PS BK sobre el mástil, para garantizar iluminación suficiente en zonas críticas de mayor concentración de personas.

Esta distribución asegura la cobertura luminosa adecuada, cumpliendo con los estándares de iluminancia requeridos para espacios exteriores de tránsito peatonal y elementos decorativos, optimizando la eficiencia del sistema fotovoltaico.

Tabla 6

Distribución de postes de iluminación

Tipo de poste	Altura (m)	Brazos	Luminarias por brazo	Modelo de luminaria	Cantidad de postes	Observaciones
Postes altos	5	3	1	SL AREA SPD XL V 50 W (20,250 lm)	7	Inclinación 15° para evitar deslumbramiento
Postes medianos regulares	3	2	1	UTLD Traditionaire 15 W (5,969 lm)	12	Distribución regular
Postes medianos especiales	3	2 + mástil	1 + 1 superior	UTLD Traditionaire 15 W + FL 100 PCELL 20 W (5,969 lm + 10,000 lm)	2	Refuerzo en zonas críticas

Nota: *Se presenta la distribución de los postes de iluminación, indicando altura, cantidad de brazos, luminarias por brazo y modelo de luminaria para cada tipo de poste. Elaboración propia.*

2.4.2.6.Simulación del sistema de iluminación en DIALux evo

Los cálculos de iluminación relacionados con las luminarias y su disposición dentro del área del proyecto se realizaron usando el software DIALux evo 14. Los resultados obtenidos permitieron confirmar que los niveles de iluminancia cumplen con los estándares recomendados para parques y jardines, asegurando que la distribución de las luminarias sea adecuada según las normas establecidas.

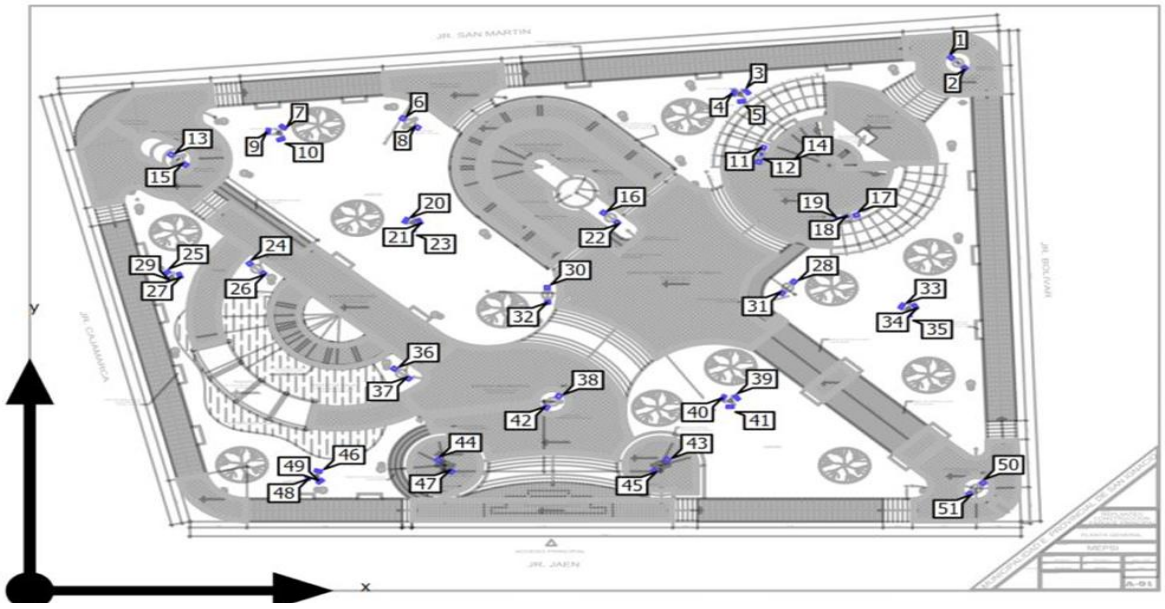
2.4.2.7. Simulación con el software DIALux evo

a) Ubicación de los puntos de iluminación

La disposición de los 51 puntos de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio se definió a través de DIALux evo, considerando la altura de los postes, la orientación de los brazos y el tipo de luminaria asignada a cada uno. Esta configuración garantiza uniformidad de iluminación, eficiencia energética y prevención del deslumbramiento en todas las áreas del proyecto, incluyendo zonas de tránsito peatonal, espacios verdes y sectores decorativos.

Figura 8

Mapa de ubicación de los postes y luminarias en la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: L*a figura presenta la disposición final de los puntos de iluminación en la plaza, indicando la ubicación de postes altos, medianos y especiales para garantizar cobertura uniforme y niveles adecuados de luz. Reporte generado con el software DIALux. Elaboración propia.*

b) **Distribución y configuración de postes de iluminación**

La ubicación de los puntos de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio se definió mediante DIALux evo, considerando la altura de los postes, la orientación de los brazos y el tipo

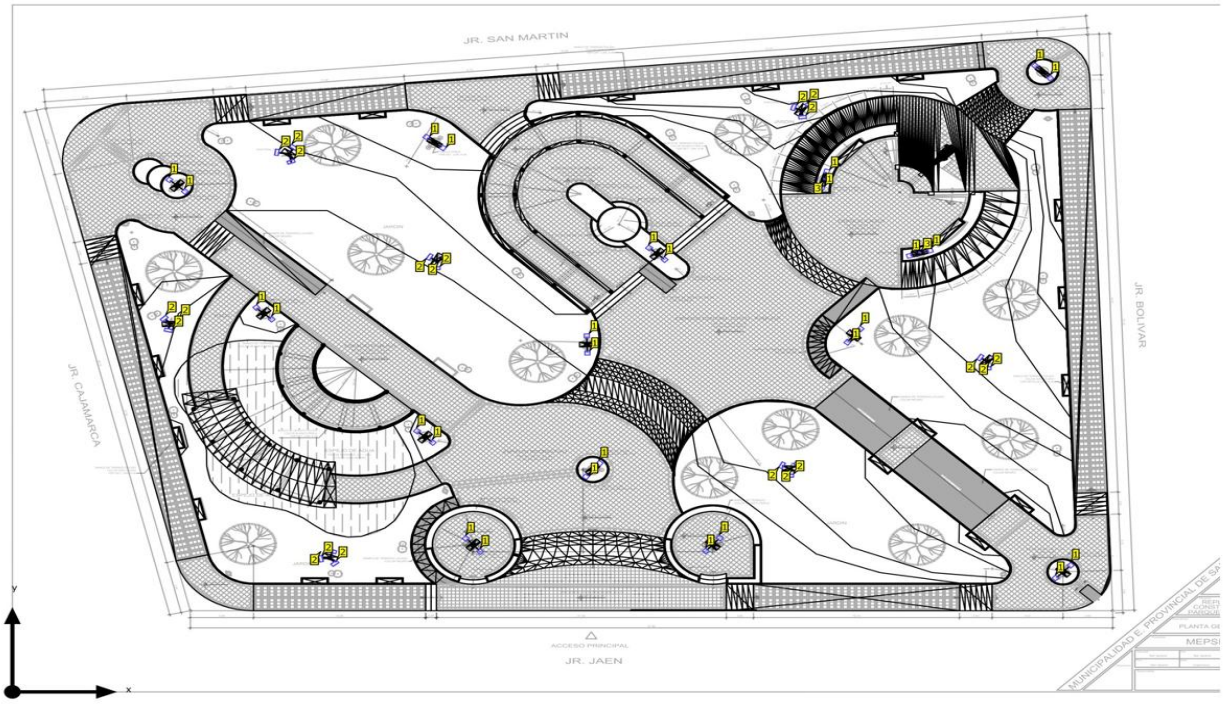
de luminaria asignada a cada uno. Esta configuración asegura uniformidad de iluminación, prevención de deslumbramiento y eficiencia energética en todas las áreas del proyecto, incluyendo zonas de tránsito peatonal, áreas verdes y espacios decorativos

En el diseño se emplearon tres tipos de postes:

1. Postes altos (5 m): 7 postes con 3 brazos a 120°, cada brazo con una luminaria SL AREA SPD XL V 50 W (20250 lm) inclinada 15° para mejorar la dispersión de la luz y evitar deslumbramiento.
2. Postes medianos (3 m): 12 postes con 2 brazos a 180°, cada brazo con una luminaria UTLD Traditionaire Decorative Post Top (5968 lm), distribuidos en zonas secundarias y decorativas.
3. Postes medianos especiales (3 m): 2 postes dentro de los medianos con 2 brazos a 180° y 2 luminarias UTLD Traditionaire (5968 lm), más una luminaria FL 100 PCELL P 20 W 840 10KLM montada sobre el mástil, para reforzar la iluminación en zonas críticas o de mayor concentración de personas

Figura 9

Localización de los puntos de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio



Nota: S*e muestra la localización de los puntos de iluminación, indicando los distintos tipos de postes y luminarias. Reporte generado con el software DIALux. Elaboración propia.*

c) Simulación del sistema de iluminación

La simulación del sistema fotovoltaico se llevó a cabo en DIALux evo, generando una representación tridimensional de la Plaza de Armas de San Ignacio. Esta visualización permite analizar cómo se distribuye la luz emitida por los diferentes tipos de postes y luminarias, asegurando uniformidad lumínica, prevención del deslumbramiento y eficiencia energética. Además, facilita identificar posibles zonas de sombra y garantiza que los espacios de tránsito, áreas verdes y decorativas reciban iluminación adecuada.

Figura 10

Proyección del sistema de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: La figura muestra la proyección de la luz de todos los postes y luminarias en la plaza, evidenciando cobertura uniforme y diseño final del sistema. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.

Figura 11

Representación nocturna del sistema de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: *La figura muestra la proyección de la luz de los postes y luminarias durante la noche, evidenciando cobertura uniforme y la disposición final del sistema. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

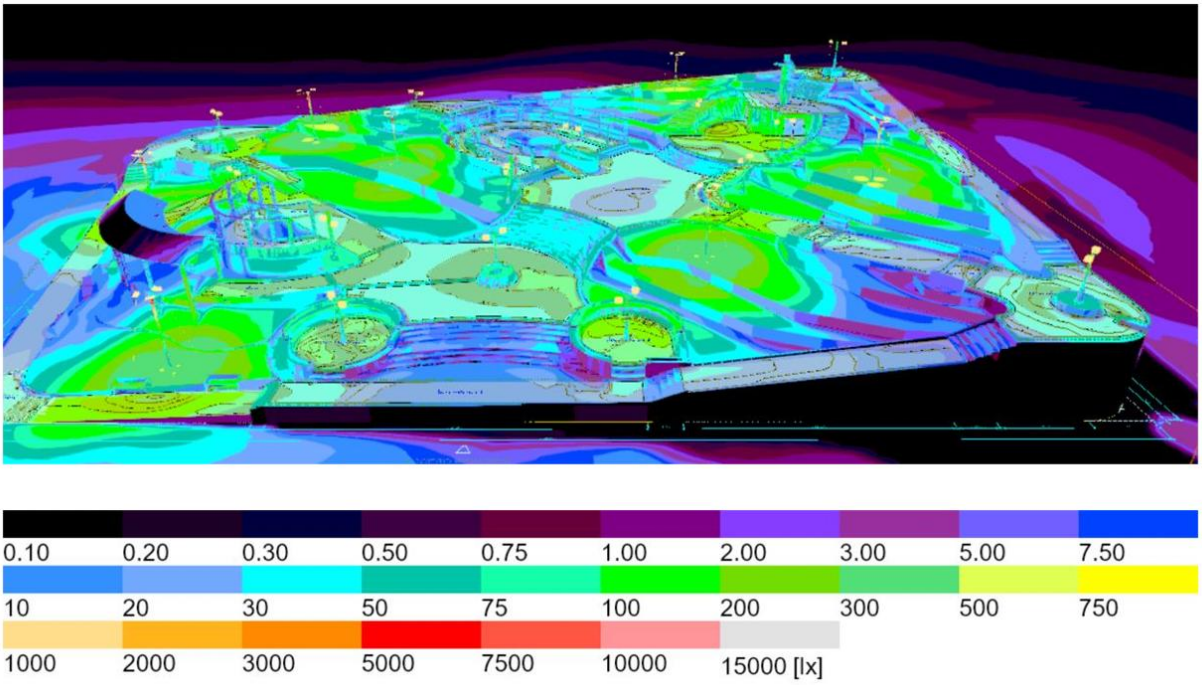
d) Mapa de iluminancia

La simulación del sistema fotovoltaico en la Plaza de Armas de San Ignacio permite observar cómo se distribuye la luz en toda el área del proyecto. La figura presenta un degradado de colores que refleja los niveles de iluminancia en lux ([lx]): los colores oscuros indican zonas con menor luminosidad, mientras que los tonos claros representan áreas con mayor iluminación.

Este análisis garantiza que todos los espacios de tránsito, áreas verdes y elementos decorativos reciban iluminación adecuada, permitiendo detectar posibles sombras o sobreexposición de luz y optimizando tanto la eficiencia energética del sistema como la ubicación de postes y luminarias.

Figura 12

Mapa de iluminancia del sistema en la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: *La figura presenta los niveles de iluminancia en lux para cada zona del proyecto, representados con un gradiente de colores, mostrando cobertura uniforme y eficiencia del sistema de iluminación. Reporte generado con el software DIALux. Elaboración propia.*

e) Dirección y proyección de luminarias

La orientación y proyección de las luminarias del sistema de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio se definió mediante DIALux evo, con el objetivo de dirigir el flujo luminoso hacia las áreas centrales, de tránsito y elementos representativos de la plaza. Esta configuración permite verificar la cobertura del haz de luz, asegurar uniformidad luminosa y controlar el deslumbramiento, garantizando que cada zona reciba iluminación adecuada según su función.

Figura 13

Proyección del flujo luminoso de las luminarias hacia el área central de la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: *La figura muestra la orientación y proyección del flujo luminoso de las luminarias sobre las áreas centrales y zonas de interés del proyecto, evidenciando cobertura uniforme y control de deslumbramiento. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

Figura 14

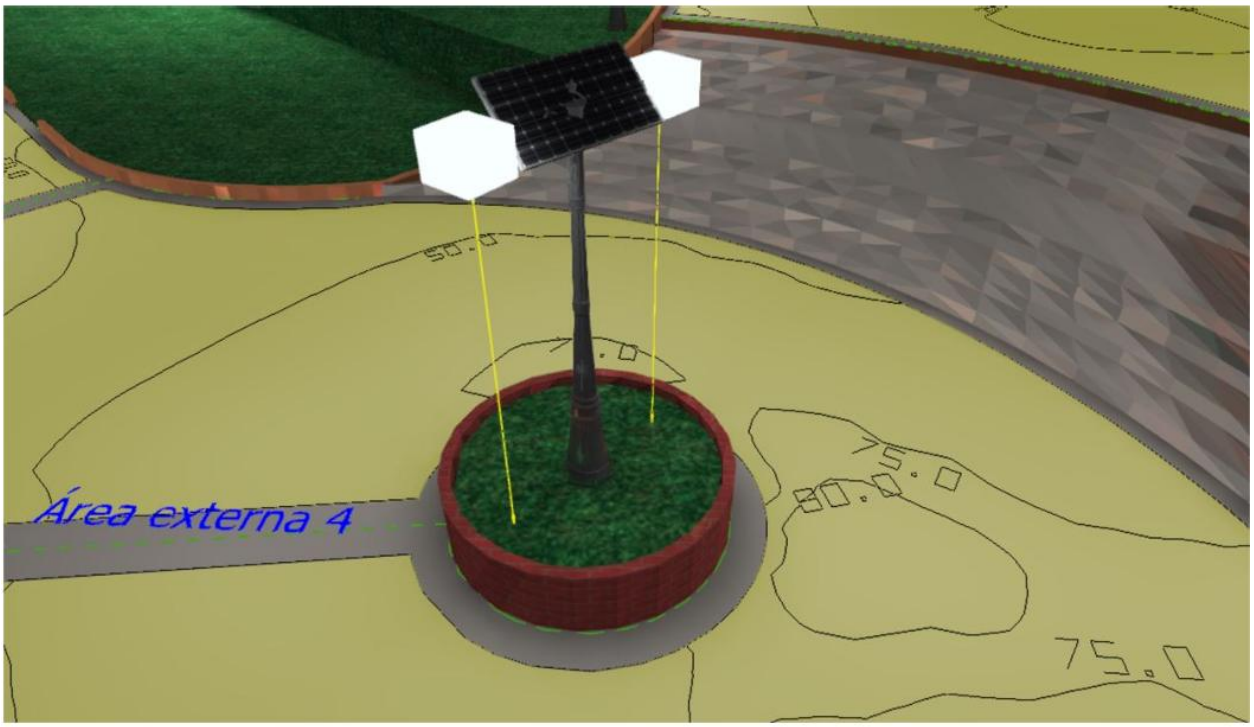
Simulación nocturna del alumbrado en la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: *La figura muestra la proyección de la luz de los postes y luminarias sobre las áreas centrales y peatonales, evidenciando cobertura uniforme y la configuración final del sistema. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

Figura 15

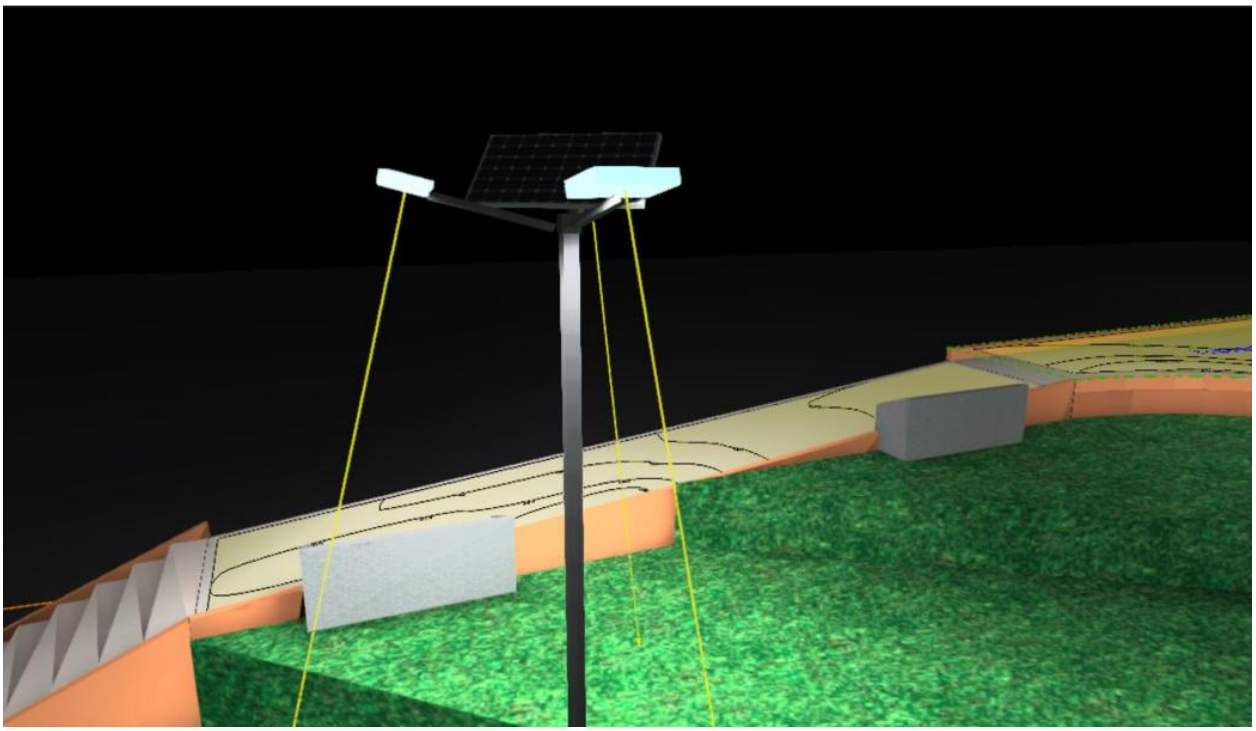
Detalle de un poste de iluminación con luminarias y panel solar en la Plaza de Armas de San Ignacio.



Nota: *La figura muestra un poste con sus luminarias y el panel solar instalado, evidenciando la configuración y orientación del sistema de iluminación fotovoltaica. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

Figura 16

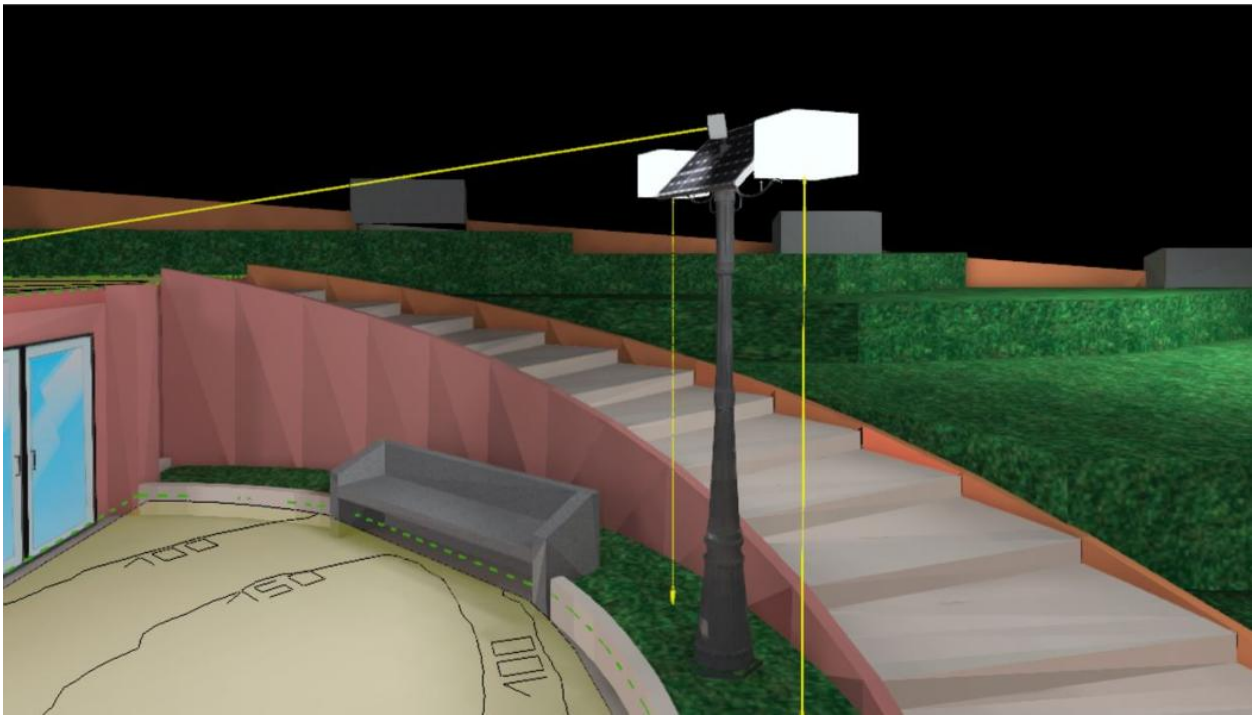
Detalle de un poste de iluminación con tres brazos y tres luminarias, equipado con panel solar.



Nota: *La figura muestra la configuración del poste con tres brazos, cada uno con una luminaria, junto con el panel solar, evidenciando la orientación y disposición del sistema fotovoltaico. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

Figura 17

Detalle de un poste de iluminación con dos brazos y dos luminarias, equipado con panel solar.



Nota: *La figura muestra un poste con dos brazos y dos luminarias, junto con el panel solar, evidenciando la orientación y disposición del sistema fotovoltaico. Reporte del software DIALux. Elaboración propia.*

2.4.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

2.4.3.1. Demanda energética del sistema de iluminación

Para estimar la energía consumida por el sistema de iluminación, se realizó un análisis tomando en cuenta el tiempo de operación de cada equipo. El cálculo de la energía utilizada se llevó a cabo aplicando la ecuación 11 correspondiente:

$$E_t = P \times t \ldots \quad (11)$$

Donde:

$\boldsymbol{E_t}$ representa la energía teórica consumida, expresada en Wh.

$\boldsymbol{P}$ corresponde a la potencia de los equipos, medida en W.

$\boldsymbol{t}$ es el tiempo de operación de los equipos, en horas.

Tabla 7

Distribución de potencia instalada del sistema de iluminación propuesto

Tipo de poste	Cantidad de postes	Cantidad de luminarias por poste	Potencia por luminaria (w)	Potencia por poste (W)	Potencia total (W)
Poste alto	7	3	50	150	1050
Poste bajo	12	2	15	30	360
Poste especial	2	3	15+15 +20	50	100
Total	**21**	**51**	—	—	**1510**

Nota. *La tabla muestra la potencia instalada del sistema de iluminación propuesto, considerando la cantidad de postes, luminarias y potencia asignada según cada tipo de poste. En el caso del poste especial, se consideraron dos luminarias de 15 W y una luminaria adicional de 20 W, obteniéndose una potencia total de 50 W por poste. Elaboración propia*.

Tabla 8

Consumo energético diario referencial por tipo de poste del sistema de iluminación propuesto

Tipo de poste	Potencia del poste (W)	Tiempo de operación (h/día)	Energía consumida (Wh/día)	Energía consumida (kWh/día)	Autoconsumo estimado (kWh/día)	Total, con autoconsumo (kWh/día)
Poste alto	150	12	1800	1,800	0,007	1,807

Poste bajo	30	12	360	0,360	0,005	0,365
Poste especial	50	12	600	0,600	0,007	0,607
Total	—	—	**2760**	**2,760**	**0,019**	**2,779**

Nota. *Los valores muestran el consumo diario por unidad de poste según su tipo. El total de 2,779 kWh/día corresponde a una suma referencial de las tres configuraciones de postes, no al consumo total de la instalación. Elaboración propia.*

La demanda energética diaria total del sistema de iluminación se determinó considerando la potencia total instalada presentada en la Tabla 7 y el tiempo diario de operación del alumbrado público. La Tabla 8 muestra el consumo referencial por unidad de cada tipo de poste; por ello, el valor de 2,779 kWh/día no debe interpretarse como la demanda total de la instalación, sino como una referencia de consumo para las tres configuraciones de postes evaluadas.

Aplicando la ecuación 10:

$$E_t = 1510\,W \times 12\,h/día$$

$$E_t = 18\,120\,Wh/día$$

$$E_t = \frac{18\,120}{1000}$$

$$E_t = 18{,}12\,kWh/día$$

El consumo energético diario total del sistema de iluminación fotovoltaica propuesto es de 18,12 kWh/día. Este valor corresponde a la demanda energética real de la instalación completa,

calculada con base en la potencia total instalada de la Tabla 7. En cambio, el valor de 2,779 kWh/día indicado en la Tabla 8 corresponde únicamente al consumo referencial por tipo de poste.

2.4.3.2.Determinación del Rendimiento Global de la Instalación Fotovoltaica

Según Guevara (2018), el rendimiento total de un sistema fotovoltaico se determina a partir de la ecuación correspondiente:

$$R = (1-K_b-K_i-K_r-K_v) \times \left(1 - K_a \times \frac{N}{P_d}\right) \quad (12)$$

Donde:

K_b: Coeficiente de pérdidas por eficiencia del acumulador.

K_i: Pérdidas asociadas al inversor.

- K_r: Pérdidas en el controlador de carga

K_v: Otras pérdidas no consideradas previamente.

K_a: Fracción de energía que se pierde por autodescarga.

N: Número de días de autonomía para garantizar un servicio sin carga.

P_d: Profundidad máxima de descarga admisible.

Tabla 9

Factores de Pérdidas en un Sistema Fotovoltaico

Ítem	Descripción	Símbolo	Valor
1	pérdidas en el almacenamiento de energía	K_b	
	Acumuladores recientes, con descargas moderadas		0.05
	Acumuladores antiguos, con descargas intensas y expuestos a bajas temperaturas		0.1
2	Autodescarga de las baterías.	K_a	
	Baterías con baja autodescarga y sin mantenimiento		0.002

	Baterías estacionarias para energía solar		0.005
	Baterías con alta autodescarga		0.012
3	Pérdidas asociadas al rendimiento del inversor	K_i	
	Sin inversor instalado		0
	Inversor con eficiencia 95 %		0.05
	Inversor con eficiencia 90 %		0.1
	Inversor con eficiencia 85 %		0.15
	Inversor con eficiencia menor al 85 %		0.2
4	Otras pérdidas no contempladas	K_v	
	Si no se consideran pérdidas por cableado o equipos		0.15
	Si se realizaron estudios detallados de pérdidas en los equipos		0.05
5	Profundidad máxima de descarga permitida	P_d	
	Batería con descarga limitada al 90%		0.9
	Batería con descarga limitada al 80%		0.8
	Batería con descarga limitada al 70%		0.7
	Batería con descarga limitada al 60%		0.6
	Batería con descarga limitada al 50%		0.5
	Batería con descarga limitada al 40%		0.4
	Batería con descarga limitada al 30%		0.3
6	Cantidad de días de autonomía	N	
	Vivienda usada ocasionalmente		3
	Vivienda de uso regular		5
	Instalaciones críticas con atención prioritaria		15
	Instalaciones críticas con alta confiabilidad		20
7	Pérdidas asociadas al controlador de carga	K_r	
	Controlador de carga con alta eficiencia		0.1
	Controlador de carga obsoleto o con baja eficiencia		0.15

Nota. La tabla presenta los principales factores de pérdidas de un sistema fotovoltaico. Tomado de Guevara (2018).

Para efectuar el cálculo del rendimiento total del sistema fotovoltaico, se consideraron los valores correspondientes a cada parámetro, los cuales fueron tomados de la Tabla 9. Los valores seleccionados para la instalación fueron los siguientes:

- Acumuladores recientes con descargas moderadas: $K_b = 0.05$
- Baterías estacionarias para sistemas solares: $K_a = 0.005$
- Eficiencia del inversor al 95 %: $K_i = 0.05$
- Controlador de carga con eficiencia elevada: $K_r = 0.10$
- Análisis detallado de las pérdidas en los equipos: $K_v = 0.05$
- Nivel máximo de descarga permitido del 60 %: $P_d = 0.60$
- Cantidad de días de autonomía del sistema: $N = 1.5$

Sustituyendo estos valores en la fórmula correspondiente, se obtiene de la ecuación 12:

$$R = (1 - K_b - K_i - K_r - K_v) \times \left(1 - K_a \times \frac{N}{P_d}\right)$$

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.10 - 0.05) \times \left(1 - 0.005 \times \frac{1.5}{0.60}\right)$$

$$R = 0.738$$

El consumo energético real (E) se calcula utilizando el consumo energético teórico (E_t) y considerando los factores de pérdidas en la instalación fotovoltaica, como se expresa en la ecuación 11. El resultado es un consumo energético de 0,607 kWh.

$$E = \frac{E_t}{R}$$

$$E_{real} = \frac{0.607\ kWh}{0.738} \approx 0.822\ kWh/đia$$

2.4.3.3.Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para determinar la potencia requerida del generador fotovoltaico, se consideraron la demanda energética real de la instalación y las Horas Sol Pico (HSP), ya que ambos parámetros permiten estimar la capacidad necesaria del sistema fotovoltaico para cubrir el consumo diario del sistema de iluminación.

Las Horas Sol Pico representan el número de horas equivalentes durante las cuales la radiación solar disponible corresponde a una condición estándar de 1000 W/m². En el presente estudio, la radiación solar diaria se expresa en kWh/m²/día, por lo que dicho valor se adopta numéricamente como Horas Sol Pico equivalentes para el plano de captación del módulo fotovoltaico.

La relación considerada para estimar las Horas Sol Pico es:

$$\mathrm{HSP} \approx \mathrm{Ht}$$

Donde:

HSP = horas sol pico, expresadas en h/día.

Ht = radiación solar diaria sobre el plano inclinado del módulo fotovoltaico, expresada en kWh/m²/día.

Según la Tabla 3, para el mes de enero y una inclinación de 20°, la radiación solar diaria sobre el plano inclinado es de 3,95 kWh/m²/día.

Es decir:

$$\mathrm{HSP} = 3{,}95\ \mathrm{h/día}$$

Para el dimensionamiento del generador fotovoltaico, se adoptó una HSP de 3,95 h/día, correspondiente al mes crítico de enero y al ángulo de inclinación seleccionado.

2.4.3.4.Determinación de la Potencia del Generador Fotovoltaico

Una vez que se ha determinado la HSP, se puede calcular la potencia del generador fotovoltaico (PGFV) utilizando la siguiente ecuación 13:

$$P_{GFV} = \frac{E}{HSP} \tag{13}$$

Donde:

- P_{GFV}: potencia que debe suministrar el generador fotovoltaico (en vatios, W).
- E: energía efectivamente consumida por la instalación, medida en kilovatios-hora (kWh).
- HSP: horas equivalentes de radiación solar máxima disponibles por día (h/día).

Sustituyendo los valores:

$$P_{GFV1} = \frac{0.8224 \text{ kWh/día}}{3.95 \text{ h/día}} = 0.208 \text{ kW} \approx 208\text{W}$$

Tabla 10

Consumo energético por poste y dimensionamiento del generador fotovoltaico

Luminaria	Consumo teórico (E_t)	Consumo real (E)	Potencia GFV (P_GFV)
20 W + 2 luminarias de 15 W	0.607 kWh	0,822 kWh	208 W
15 W (2 por poste)	0.365 kWh	0.494 kWh	125 W
50 W (3 por poste)	1.807 kWh	2.449 kWh	620 W

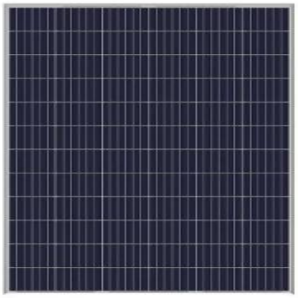
Nota. *Elaboración propia basada en el cálculo de consumo energético por poste y en la potencia necesaria del generador fotovoltaico.*

a) Selección de paneles fotovoltaicos

En la Figura 18 se presentan los principales parámetros eléctricos del panel fotovoltaico monocristalino elegido, cuya ficha técnica completa está disponible en los anexos.

Figura 18

Panel Solar 210W 12V Monocristalino



Potencia nominal: 210 W

Tensión nominal: 12 V

Tensión a potencia máxima: 20 V

Intensidad a máxima potencia: 10.47 A

Nota: *Se incluyen los parámetros más relevantes del módulo fotovoltaico monocristalino, y la información técnica completa puede consultarse en los anexos. Tomado de* AutoSolar (2026).

Figura 19

Panel solar ZY150M2C-36 de 150 W



Potencia nominal: 150 W

Tensión nominal: 12 V

Tensión a potencia máxima: 18.99 V

Intensidad a máxima potencia: 7.90 A

Nota: *La información técnica completa del módulo está disponible en los anexos. Tomado de* AutoSolar (2026)

Figura 20

Panel solar 620 W N-type i-TOPCon



Potencia nominal: 620 W

Tensión nominal: 12 V

Tensión a potencia máxima: 41.4 V

Intensidad a máxima potencia: 14.99 A

Nota: Parámetros principales del módulo N-type i-TOPCon. Ficha técnica en anexos. Tomado de AutoSolar (2026).

b) Influencia de la Temperatura en el Desempeño de Paneles Fotovoltaicos

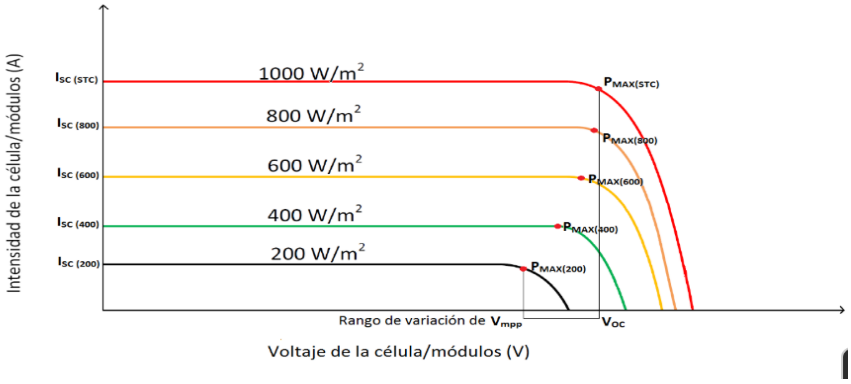
La temperatura ejerce un efecto significativo sobre el desempeño de los paneles fotovoltaicos. Conforme aumenta la temperatura de operación del panel, se observa una reducción en su eficiencia energética. Esta disminución se manifiesta principalmente en el voltaje de circuito abierto y en la potencia máxima alcanzable por el módulo. Si bien la corriente de cortocircuito también se ve afectada por las variaciones térmicas, la reducción del voltaje de circuito abierto constituye el factor más determinante en la pérdida del rendimiento global del sistema fotovoltaico.

a. Efecto de la Irradiancia

La irradiancia es un factor determinante en la eficiencia de los módulos solares, ya que afecta directamente la corriente de cortocircuito y la potencia generada por el módulo. Como se observa en la Figura 21, la intensidad de cortocircuito (Isc) aumenta linealmente a medida que se incrementa la irradiancia. Esto indica que los módulos solares producen mayor corriente cuando reciben más radiación solar. Sin embargo, el voltaje en circuito abierto permanece estable, como se evidencia en la figura, y prácticamente no varía ante los cambios en la irradiancia.

Figura 21

Influencia de la irradiancia sobre la corriente de cortocircuito y la potencia máxima de los módulos solares.



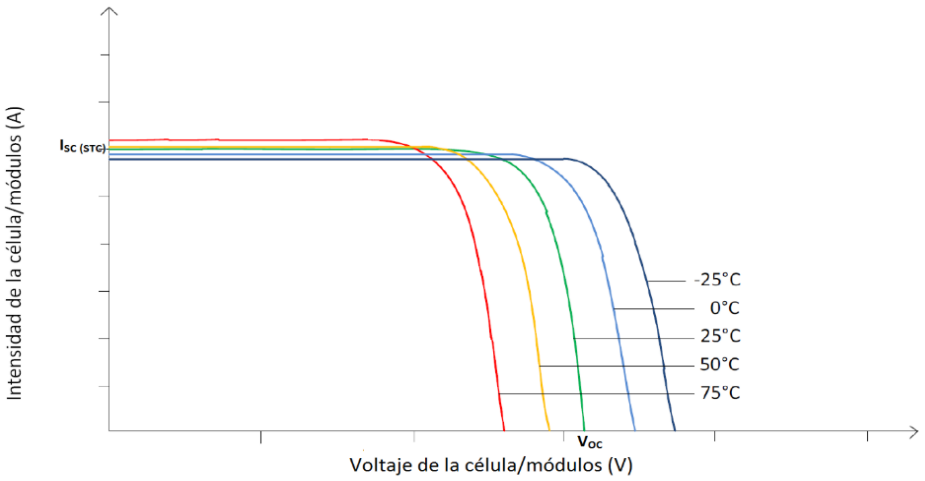
Nota: La figura ilustra la forma en que la intensidad de cortocircuito (Isc) aumenta proporcionalmente con la irradiancia, de 200 W/m² a 1000 W/m². La potencia máxima sigue la misma tendencia, alcanzando su valor máximo a 1000 W/m². El voltaje en circuito abierto permanece estable conforme la irradiancia varía. Tomado de Ingelibreblog (2014).

b. Efecto de la Temperatura

La temperatura también influye significativamente en el rendimiento de los módulos solares. Como se observa en la Figura 22, la corriente de cortocircuito (Isc) aumenta ligeramente con la temperatura, mientras que el voltaje en circuito abierto disminuye de forma notable con el incremento de la temperatura. Este comportamiento explica la caída de la potencia máxima (Pmax) cuando los módulos solares se exponen a temperaturas elevadas.

Figura 22

Efectos de la temperatura sobre la corriente de cortocircuito de los módulos solares.



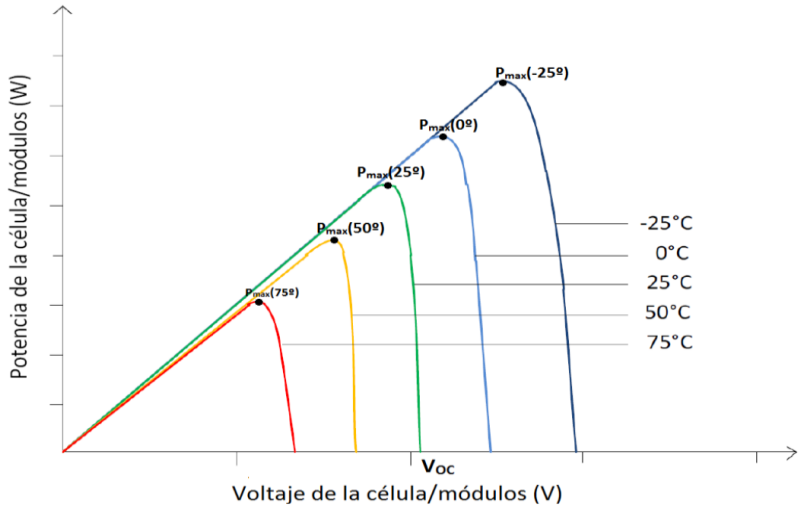
Nota: *En esta figura se observa cómo la corriente de cortocircuito (Isc) aumenta ligeramente con el aumento de la temperatura, mientras que el voltaje de circuito abierto (Voc) disminuye. Este comportamiento provoca una reducción de la potencia máxima (Pmax) entregada por el módulo, evidenciando el efecto negativo de las altas temperaturas sobre la eficiencia del sistema fotovoltaico. Tomado de Ingelibreblog* (2014).

c. Variación de la Potencia Máxima con la Temperatura

La Figura 23 ilustra cómo la potencia máxima de los módulos fotovoltaicos disminuye a medida que la temperatura de operación aumenta. El voltaje en circuito abierto y la corriente de cortocircuito provocan una disminución significativa en la potencia disponible. Este comportamiento resulta relevante al considerar los factores bajo los cuales operarán los módulos solares.

Figura 23

Variación de la potencia máxima en función de la temperatura en módulos fotovoltaicos.



Nota: *La figura muestra que la energía máxima entregada por los módulos solares disminuye conforme aumenta la temperatura de operación. Tanto el voltaje en circuito abierto como la corriente de cortocircuito se reducen con la temperatura, lo que ocasiona una disminución de* ***la*** *potencia disponible. Esta caída es más significativa a temperaturas superiores a 45 °C, indicando una pérdida de eficiencia térmica. Tomado de Ingelibreblog* (2014).

2.4.3.5.Dimensionamiento del banco de baterías

La acumulación de energía constituye un componente fundamental en los sistemas solares independientes. Los acumuladores permiten almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos y suministrarla de forma continua y estable durante los períodos sin sol, garantizando el funcionamiento adecuado de las luminarias y otros equipos del sistema.

El cálculo del banco de acumuladores se determina mediante la siguiente ecuación 14:

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{P \times t \times Días\ de\ autonomía}{V_{\text{batería}} \times Profundidad\ dedescarga} \qquad (14)$$

donde:

- P es la potencia de la luminaria en vatios (W).

- t son las horas de funcionamiento diario (h/día).
- $V_{\text{batería}}$ es el voltaje del banco de baterías (V).
- Porcentaje máximo de descarga de la batería.
- Los días de autonomía corresponde al número de días consecutivos sin sol que se desea cubrir.

- **Cálculo de la capacidad por tipo de luminaria**

  Datos del sistema:

- voltaje del conjunto de acumuladores: 12 V
- Porcentaje de descarga: 60 %
- Días de autonomía: 1,5 días

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{P \times t \times 1{,}5}{12 \times 0{,}6}$$

Es decir:

$$C = \frac{150 \times 12 \times 1.5}{12 \times 0.6} = 375Ah$$

Tabla 11

Dimensionamiento de la batería por luminaria

Luminaria por poste	Potencia (W)	Horas/día	Energía diaria (W)	Capacidad de la batería (Ah)	Número de baterías	(Ah)
1	50	12	600	125	1	150
2	30	12	360	75	1	80
3	150	12	180	375	1	380

Nota: *Dimensionamiento de la batería según luminaria, elaborado con datos del sistema.*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Batería de GEL 12V 150Ah Tensite



Nota: *Batería de gel de 12 V y 150 Ah Tensite. La información técnica detallada está disponible en los anexos. Fuente: AutoSolar Perú (2026).*

Figura 25

Batería solar 80 Ah gel 12 V sunbatt



Nota: *Batería de Gel 12 V 80 Ah SUNBATT F. Ficha técnica en anexos. La información técnica detallada está disponible en los anexos. Tomada de AutoSolar Perú (2026).*

Figura 26

Batería AGM 380Ah 12V Rolls



Nota. *La batería AGM 380 Ah 12 V Rolls está diseñada para ciclos profundos en aplicaciones de energía solar, respaldo y uso industrial.*

2.4.3.6.Selección y dimensionamiento del inversor

Para alimentar correctamente las luminarias escogidas, el sistema fotovoltaico proporciona 12 V en corriente continua (DC) desde el banco de baterías, mientras que las luminarias requieren 220 V en corriente alterna (AC). Por ello, se utiliza un inversor DC/AC, que transforma los 12 V DC en 220 V AC, integrando la función de transformador y garantizando la compatibilidad con la tensión de salida requerida. Este equipo es proporcionado por el proveedor sin costos adicionales.

La capacidad mínima del inversor se determina utilizando la ecuación (15):

$$P_{MI} = F_S \times P_{Lum} \tag{15}$$

donde:

- P_{MI}: Potencia mínima del módulo inversor (W).
- F_S: Factor de seguridad (1.25).
- P_{Lum}: Potencia total de las luminarias conectadas (W).

Cálculo del inversor

Para el sistema 50 W (2 luminarias por poste más un reflector), la potencia total de las luminarias es:

$$P_{Lum} = 50 = 50 \text{ W}$$

Aplicando el factor de seguridad:

$$P_{MI} = 1.25 \times 50 = 62.5 \text{ W}$$

Por lo tanto, la potencia mínima del inversor requerida es 62.5 W, y se selecciona un inversor comercial de 80 W, garantizando el funcionamiento estable y seguro del sistema.

Tabla 12

Dimensionamiento de inversores para los sistemas de luminarias

Sistema	Potencia luminarias (W)	Factor de seguridad	Potencia calculada (W)	Inversor comercial (W)	Tensión de entrada DC
15 W ×2+20w	50	1.25	62.5	80	12 V
15W ×2	30	1.25	37.5	50	12 V
50 W ×3	150	1.25	187.5	200	12 V

Nota: *Cálculo del inversor considerando la potencia de las luminarias y el factor de seguridad (Elaboración propia).*

Figura 27

Inversor Victron Phoenix 12 V 250 VA VE.Direct.



Nota: *Imagen del inversor Victron Phoenix 12 V 250 VA VE.Direct. tomado de Autosolar (2026)*

2.4.3.7.Selección y dimensionamiento de conductores eléctricos.

El cálculo del tamaño de los conductores eléctricos en un sistema fotovoltaico constituye un paso fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia energética y el correcto desempeño del sistema. Una selección adecuada de conductores minimiza las pérdidas de energía por caída de tensión y evita sobrecalentamientos que podrían afectar la vida útil de los componentes. Para este diseño, se consideran los siguientes tramos y longitudes máximas:

- Módulo fotovoltaico – regulador: 3 m
- Regulador – batería: 1 m
- Regulador – carga (luminaria): 3 m

Asimismo, se han definido los porcentajes máximos de caída de tensión sobre la tensión nominal (12 V):

- Módulo fotovoltaico – regulador: 2%

$$\Delta V = \frac{2 * 12}{100} = 0.24\, V$$

- Regulador – batería: 1%

$$\Delta V = \frac{1 * 12}{100} = 0.12\, V$$

- Regulador – carga (luminaria): 2%

$$\Delta V = \frac{2 * 12}{100} = 0.24\ V$$

Corrientes máximas por tipo de panel (MPPT / máxima potencia):

- *Panel 210 W 12 V: 10,47 A*
- *Panel 150 W 12 V: 7,90 A*
- *Panel 625 W 12 V: 14,99 A*

Cálculo de la sección de los conductores

La sección mínima de cada conductor se obtiene mediante la ecuación 16:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\delta \cdot \Delta V} \qquad (16)$$

donde:

- S= sección del conductor (mm²)
- L= longitud del conductor (m)
- I= corriente máxima que circulará por el conductor (A)
- ΔV= caída de tensión permitida (V)
- δ= conductividad del cobre = 56 S·m/mm² a 20 °C

cálculos de sección por tramo y tipo de panel

1. Panel 210 W 12 V (Intensidad máxima 10,47 A)

- **Módulo – regulador:**

$$S = \frac{2 \times 3 \times 10{,}47}{56 \times 0{,}24} = 4{,}66\ \text{mm}^2$$

Regulador – batería:

$$S = \frac{2 \times 1 \times 10{,}47}{56 \times 0{,}12} = 3{,}11 \text{ mm}^2$$

- **Regulador – luminaria:**

$$S = \frac{2 \times 3 \times 4{,}16}{56 \times 0{,}24} = 1{,}86 \text{ mm}^2$$

2. Panel 150 W 12 V (Intensidad máxima 7,90 A)

- **Módulo – regulador:**

$$S = \frac{2 \times 3 \times 7{,}90}{56 \times 0{,}24} = 3{,}54 \text{ mm}^2$$

- **Regulador – batería:**

$$S = \frac{2 \times 1 \times 7{,}90}{56 \times 0{,}12} = 2{,}36 \text{ mm}^2$$

- **Regulador – luminaria:**

$$S = \frac{2 \times 3 \times 3{,}0}{56 \times 0{,}24} = 1{,}34 \text{ mm}^2$$

3. Panel 625 W 12 V (Intensidad máxima 14,99 A)

- Módulo – regulador:

$$S = \frac{2 \times 3 \times 14{,}99}{56 \times 0{,}24} = 7{,}14 \text{ mm}^2$$

- Regulador – batería:

$$S = \frac{2 \times 1 \times 14{,}99}{56 \times 0{,}12} = 4{,}46 \text{ mm}^2$$

- Regulador – luminaria:

$$S = \frac{2 \times 3 \times 5{,}5}{56 \times 0{,}24} = 2{,}50 \text{ mm}^2$$

Tabla 13

Características técnicas de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico

Panel	Tramo	ΔV (V)	Longitud máxima (m)	Corriente (A)	S calculada (mm²)	Conductor AWG
210 W 12 V	Módulo – regulador	0,24	3	10,47	4,66	10
210 W 12 V	Regulador – batería	0,12	1	10,47	3,11	10
210 W 12 V	Regulador – luminaria	0,24	3	4,16	1,86	14
150 W 12 V	Módulo – regulador	0,24	3	7,90	3,54	12
150 W 12 V	Regulador – batería	0,12	1	7,90	2,36	12
150 W 12 V	Regulador – luminaria	0,24	3	3,0	1,34	14
625 W 12 V	Módulo – regulador	0,24	3	14,99	7,14	8
625 W 12 V	Regulador – batería	0,12	1	14,99	4,46	8
625 W 12 V	Regulador – luminaria	0,24	3	5,5	2,50	12

Nota. *ΔV indica la caída de tensión máxima permitida sobre 12 V. La longitud máxima es la distancia de cada tramo. La corriente máxima corresponde a la intensidad que circulará por cada conductor según el tipo de panel. La sección calculada está en mm² y el calibre AWG indica el conductor comercial seleccionado. Fuente: Elaboración propia.*

2.4.3.8. Sistemas de protección y maniobra eléctrica

Los sistemas fotovoltaicos autónomos requieren elementos de maniobra y resguardo eléctrico que garanticen la protección de los componentes frente a sobrecorrientes, cortocircuitos y posibles fallas de operación. A diferencia de las instalaciones eléctricas convencionales, los módulos fotovoltaicos pueden generar energía mientras reciben radiación solar, incluso cuando el sistema no está conectado a una carga. Por esta razón, es imprescindible incorporar dispositivos de protección en los tramos críticos del sistema: módulo fotovoltaico–regulador, regulador–batería y regulador–carga.

En esta propuesta técnica se consideran tres tipos de paneles fotovoltaicos: módulo de 210 W, módulo de 150 W y módulo de 625 W. Además, se adopta un voltaje nominal de operación de 12 V, determinado conforme al cálculo del banco de baterías y del inversor.

.

2.4.3.8.1. Protección de los paneles fotovoltaicos

Fusibles

Los fusibles se emplean para proteger conductores y equipos frente a sobreintensidades. En el tramo entre el módulo fotovoltaico y el regulador, el fusible se dimensiona considerando la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico. Para el cálculo se utiliza la ecuación 17:

$$I_{FPR} = 2 \times I_{sc} \tag{17}$$

Donde:

I_{FPR}= intensidad del fusible entre el módulo y el regulador, en amperios.

I_{sc}= corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico, en amperios.

a) Fusible entre módulo fotovoltaico y regulador

Para el panel de 210 W:

$$I_{FPR} = 2 \times 11{,}07$$

$$I_{FPR} = 22{,}14 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **25 A**.

Para el panel de 150 W:

$$I_{FPR} = 2 \times 8{,}45$$

$$I_{FPR} = 16{,}90 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **20 A**.

Para el panel de 625 W:

$$I_{FPR} = 2 \times 15{,}91$$

$$I_{FPR} = 31{,}82 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **32 A** o **35 A**, según disponibilidad comercial.

b) Fusible entre regulador y batería

Para el tramo entre el regulador y la batería, se considera un factor adicional de seguridad de 1,1. La intensidad del fusible ubicado entre el regulador y la batería se calcula mediante la ecuación 18:

$$I_{FRB} = 2 \times 1{,}1 \times I_{sc} \tag{18}$$

Donde:

I_{FRB}= intensidad del fusible ubicado entre el regulador y la batería, en amperios.

I_{sc}= corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico, en amperios.

Para el panel de 210 W:

$$I_{FRB} = 2 \times 1{,}1 \times 11{,}07$$
$$I_{FRB} = 24{,}35 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **25 A**.

Para el panel de 150 W:

$$I_{FRB} = 2 \times 1{,}1 \times 8{,}45$$

$$I_{FRB} = 18{,}59 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **20 A**.

Para el panel de 625 W:

$$I_{FRB} = 2 \times 1{,}1 \times 15{,}91$$

$$I_{FRB} = 35{,}00 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **40 A**.

c) Fusible entre regulador y luminaria

Para el tramo regulador–luminaria, la corriente se determina según la potencia de la carga y el voltaje del sistema:

$$I_{FRL} = \frac{P_{lum}}{V_s} \quad (19)$$

Donde:

I_{FRL}= corriente del fusible entre regulador y luminaria, en amperios.

P_{lum}= potencia de la luminaria, en watts.

V_s= tensión del sistema, en voltios.

Para la luminaria de 50 W:

$$I_{FRL} = \frac{50}{12}$$
$$I_{FRL} = 4{,}17 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **5 A**.

Para la luminaria de 30 W:

$$I_{FRL} = \frac{30}{12}$$

$$I_{FRL} = 2{,}50 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **3 A**.

Para la luminaria de 150 W:

$$I_{FRL} = \frac{150}{12}$$
$$I_{FRL} = 12{,}50 \text{ A}$$

Se selecciona un fusible comercial de **15 A**.

Tabla 14

Selección de fusibles

Panel	Tramo	Corriente calculada (A)	Fusible seleccionado (A)

210 W	Panel – regulador	22,14	25
150 W	Panel – regulador	16,90	20
625 W	Panel – regulador	31,82	32
210 W	Regulador – batería	24,35	25
150 W	Regulador – batería	18,59	20
625 W	Regulador – batería	35,00	40
50 W	Regulador – luminaria	4,17	5
30 W	Regulador – luminaria	2,50	3
150 W	Regulador – luminaria	12,50	15

Nota. *Valores redondeados al fusible comercial inmediato superior. Fuente: Elaboración propia.*

Interruptores termomagnéticos

Los interruptores termomagnéticos permiten realizar la maniobra y protección de los tramos eléctricos del sistema. Para su selección, la intensidad nominal del interruptor debe superar la corriente de funcionamiento del sistema, pero debe ser menor o igual a la capacidad admisible del conductor seleccionado. De esta manera, el dispositivo protege el cableado frente a sobrecargas o cortocircuitos.

Tabla 15

Selección de interruptores termomagnéticos

Panel	Tramo	Corriente operación (A)	ITM seleccionado (A)
210 W	Panel – regulador	10,47	20
210 W	Regulador – batería	10,47	20
50 W	Regulador – luminaria	4,17	10
150 W	Panel – regulador	7,90	15

150 W	Regulador – batería	7,90	15
30 W	Regulador – luminaria	2,50	10
625 W	Panel – regulador	14,99	25
625 W	Regulador – batería	14,99	25
150 W	Regulador – luminaria	12,50	15

Nota. *Corriente de operación basada en intensidad máxima o potencia de luminaria. ITM seleccionado según disponibilidad comercial. Fuente: Elaboración propia.*

2.4.3.9. Sistema de conexión a tierra

El sistema de conexión a tierra tiene como finalidad proteger a las personas, los equipos eléctricos y las estructuras metálicas frente a fallas de aislamiento, contactos indirectos, descargas atmosféricas y acumulación de cargas eléctricas. De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Utilización, Sección 060, la puesta a tierra corresponde a la conexión de un sistema eléctrico a tierra mediante un electrodo, mientras que el enlace equipotencial consiste en la unión de partes conductoras que normalmente no transportan corriente, con el propósito de mantenerlas a un potencial común y reducir los riesgos eléctricos (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

Asimismo, la Regla 060-102 señala que los sistemas de corriente continua no puestos a tierra pueden presentar tensiones flotantes, por lo que se debe limitar dicha tensión cuando sea posible. Además, la Regla 060-114 indica que los circuitos menores de 50 V pueden operar aislados; sin embargo, esta condición presenta excepciones cuando los conductores están expuestos al exterior, a posibles contactos con conductores de mayor tensión o a descargas atmosféricas (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

En el presente proyecto, el sistema fotovoltaico de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio opera principalmente a una tensión nominal de 12 V DC. No obstante, al tratarse de una instalación de alumbrado público exterior, conformada por postes metálicos, soportes de

paneles, módulos fotovoltaicos, luminarias, conductores, reguladores, baterías, inversores y gabinetes de protección expuestos a condiciones ambientales, se considera necesaria la aplicación de medidas de seguridad eléctrica complementarias.

La implementación de una conexión equipotencial y puesta a tierra de las estructuras metálicas expuestas del sistema. Esta medida permite unir eléctricamente los postes metálicos, soportes de paneles, estructuras de luminarias, gabinetes y demás elementos conductores accesibles, reduciendo diferencias de potencial entre ellos y mejorando las condiciones de seguridad para los usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

La puesta a tierra proporciona una ruta segura para la derivación de corrientes de falla o sobretensiones transitorias, contribuyendo a la protección de los equipos instalados y a la confiabilidad operativa del sistema. En consecuencia, el diseño considera conductores de protección conectados a las estructuras metálicas principales y a electrodos de puesta a tierra instalados adecuadamente, como parte de las medidas de seguridad del sistema fotovoltaico de iluminación propuesto para la Plaza de Armas de San Ignacio.

2.4.3.10. Infraestructura del sistema fotovoltaico

La infraestructura del sistema fotovoltaico LED implementado en la Plaza de Armas de San Ignacio integra postes metálicos, luminarias LED, paneles solares, brazos metálicos, cajas de control, bases de anclaje y puesta a tierra. Esta configuración garantiza estabilidad mecánica, eficiencia lumínica y seguridad eléctrica para todo el sistema.

2.4.3.10.1. Distribución de brazos y altura del sistema

Para garantizar la uniformidad de la iluminación, los brazos del poste se distribuyen angularmente a 120° entre cada uno en vista superior, y la inclinación de cada luminaria se ajusta a 15° para optimizar la dispersión de la luz y minimizar el deslumbramiento.

Figura 28

Poste metálico de 5 m con tres brazos



Nota: *Poste metálico galvanizado de 5 m de altura, equipado con tres brazos distribuidos a 120°, cada brazo soporta una luminaria SL AREA SPD XL V 150 W 765 RV35ST GY (20250 lm) inclinada 15° para evitar deslumbramiento. Esta configuración se aplica en 7 postes del sistema, asegurando cobertura uniforme de la plaza. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 29

Poste metálico de 3 m con dos brazos estándar



Nota: *Poste metálico de 3 m de altura, con dos brazos distribuidos a 180°, cada brazo equipado con una luminaria UTLD Traditionaire Decorative Post Top Luminaire. Esta configuración corresponde a 12 postes del sistema. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 30

Poste metálico de 3 m con dos brazos y luminaria adicional sobre mástil



Nota: *Poste metálico de 3 m de altura, con dos brazos distribuidos a 180°, cada brazo equipado con una luminaria UTLD Traditionaire Decorative Post Top Luminaire, y adicionalmente una luminaria FL 100 PCELL P de 20 W montada sobre el mástil para reforzar la iluminación en zonas de mayor concentración de personas. Esta configuración corresponde a 2 postes del sistema. Fuente: Elaboración propia.*

2.4.4. Análisis técnico-financiero del sistema planteado.

La evaluación económica del sistema de iluminación fotovoltaico fue realizada con la finalidad de verificar la factibilidad de implementación del proyecto, tomando en cuenta las características técnicas previamente detalladas. Los equipos y elementos necesarios para la instalación pueden adquirirse sin dificultad mediante proveedores especializados en energías renovables.

Siguiendo estudios recientes de Hudișteanu et al.(2025), el análisis económico del sistema incluye los siguientes aspectos fundamentales:

1. **Costo total inicial de la instalación:** considerando paneles solares, baterías, inversores, luminarias y todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.
2. **Vida útil de los equipos:** para estimar los gastos futuros de reposición y mantener la operatividad del sistema a lo largo de su ciclo de vida
3. **Factibilidad económica del proyecto:** evaluando la relación entre inversión inicial, costos de operación y beneficios energéticos y financieros, comparando con sistemas de alumbrado tradicionales.
4. **Periodo de recuperación de la inversión:** determinando el tiempo necesario para que los ahorros acumulados compensen la inversión inicial**,** asegurando la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Este enfoque demuestra que la implementación del sistema de iluminación fotovoltaico constituye una alternativa técnica eficiente y económicamente viable**,** con beneficios significativos en el ahorro energético y la reducción de gastos operativos en la Plaza de Armas de San Ignacio

2.4.4.1.Presupuesto referencial del sistema de iluminación fotovoltaica

En esta sección se presenta el análisis de los costos de materiales, equipos y mano de obra necesarios para la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica en la Plaza de Armas de San Ignacio. Los precios de cada componente fueron obtenidos de cotizaciones en AutoSolar Perú y proveedores especializados en energías renovables.

Pérez Zulueta (2019), el costo de mano de obra y montaje electromecánico en sistemas fotovoltaicos independientes representa aproximadamente el 30 % de la inversión inicial del proyecto. Por lo tanto, la inversión inicial se distribuye de la siguiente manera:

• Inversión inicial en soles: S/ 73'073,00

• Inversión inicial en dólares: $ 21'242,15 (El tipo de cambio es de S/. 3.44 consultado del día 21 de mayo del 2026)

Tabla 16

Presupuesto estimado para la instalación del sistema de iluminación fotovoltaica

Materiales y equipos	Precio unitario con IGV (S/.)	Cantidad (Unid.)	Total (S/.)
Panel solar de 150W	300	12	S/ 3'600,00
Panel solar de 210 W	400	2	S/ 800,00
Panel solar de 620W	600	7	S/ 4'200,00
baterías 125 Ah	700	2	S/ 1'400,00
baterías 80 Ah	400	12	S/ 4'800,00
baterías 380 W	1400	7	S/ 9'800,00
inverso 80 W	150	2	S/ 300,00
inversor 50 W	100	12	S/ 1'200,00
inversor 200 w	200	7	S/ 1'400,00
Luminaria LED de 15 W + Módulo	200	28	S/ 5'600,00
Reflector de 20 W	50	2	S/ 100,00
luminaria LED de 50W	180	21	S/ 3'780,00
Fusibles	50	51	S/ 2'550,00
Cable NH-80º Azul (rollo)	380	1	S/ 380,00
Cable NH-80º negro (Rollo)	250	1	S/ 250,00
cable NH-80, negro / rojo (rollo)	300	1	S/ 300,00
Terminales + Conectores	10	21	S/ 210,00
Kit para soporte de panel y luminarias	600	21	S/ 12'600,00
Interruptor horario	50	21	S/ 1'050,00
Interruptor termomagnético	30	63	S/ 1'890,00
		SUB TOTAL	**S/ 56'210,00**
	MANO DE OBRA 30%		**S/ 16'863,00**

	TOTAL	**S/**	**73'073,00**
	TOTAL	**€**	**21'242,15**

Nota. *La tabla presenta los costos estimados de materiales y equipos correspondientes al sistema fotovoltaico. Elaboración propia.*

2.4.4.2.Presupuesto referencial del sistema de alumbrado tradicional

Como se observa en la Tabla 16, el presupuesto inicial para la implementación de un sistema de iluminación tradicional resulta inferior en comparación con el sistema fotovoltaico. Sin embargo, dado que en el sistema fotovoltaico la energía proviene de fuentes renovables y no genera pagos mensuales por consumo eléctrico, aunque la inversión inicial sea mayor, el sistema puede resultar más rentable a mediano y largo plazo gracias a la disminución de los gastos operativos frente al alumbrado tradicional.

Tabla 17

Presupuesto estimado para sistema de iluminación tradicional

Materiales y equipos	Precio unitario (S/.)	Cantidad (Unid.)	Total (S/.)
luminaria vapor de sodio 50 W (x2)	S/ 130,00	28	S/ 3'640,00
Luminaria vapor de sodio 150 W (x3)	S/ 600,00	21	S/ 12'600,00
Conmutador de 100A	S/ 300,00	1	S/ 300,00
Botonera	S/ 10,00	3	S/ 30,00
Caja moldeada de 100A	S/ 520,00	1	S/ 520,00
Interruptor termomagnético	S/ 100,00	3	S/ 300,00
Interruptor horario	S/ 120,00	1	S/ 120,00
Cableado	S/ 650,00	6	S/ 3'900,00
Ferretería general (pernos, tuercas, etc.)	S/ 150,00	21	S/ 3'150,00

Kit de soporte	S/	500,00	14	S/	7'000,00
Base de soporte en concreto	S/	200,00	1	S/	200,00
Gabinete de fierro galvanizado	S/	500,00	1	S/	500,00
Caja derivación 30x30x15 cm	S/	80,00	21	S/	1'680,00
Conducto SAP 2” + curvas	S/	50,00	74	S/	3'700,00
Insumos varios.	S/	500,00	1	S/	500,00
poste de concreto 6m triple	S/	800,00	7	S/	5'600,00
Contactor	S/	500,00	1	S/	500,00
			Sub total	**S/**	**44'240,00**
			IGV (18%)	**S/**	**7'963,20**
			Mano de obra (30%)	**S/**	**13'272,00**
			Total	**S/**	**65'475,20**
			Total	**€**	**19'033,49**

Nota. L*a tabla presenta el costo referencial de los materiales y equipos necesarios para la instalación de un sistema de alumbrado convencional. Elaboración propia.*

2.4.4.3.Análisis comparativo de costos y eficiencia económica

La tarifa máxima vigente correspondiente al servicio eléctrico de alumbrado público, establecida al 4 de septiembre de 2024 por la empresa Electro Oriente, aplicable a las localidades de Bagua, Jaén, Pomahuaca, Pucará, San Ignacio y zonas rurales, se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18

Tarifa BT5C Alumbrado Público Especial (1E)

Clasificación tarifaria	Concepto	Unidad	Tarifa (S/.)
BT5C	Importe fijo mensual	Soles por mes	5.24
BT5C	Costo por energía consumida	Ctm. S/kWh	90.86

Nota: *La tabla presenta la tarifa aplicada por la empresa Electro Oriente en el servicio de alumbrado público especial con simple medición de energía 1E, vigente al 4 de setiembre de 2024, para las zonas de Bagua, Jaén, Pomahuaca, Pucará, San Ignacio y áreas rurales. Tomado de* Electro Oriente (2026).

- **Determinación del consumo energético y ahorro económico**

El beneficio económico anual generado por el consumo de energía se calcula utilizando la ecuación 20:

$$E_{diaria} = N_{lumi} \times P_{max} \times t \tag{20}$$

donde:

E_{diaria} *energía consumida por día en kWh/día.*

N_{lumi} *número de luminarias.*

P_{max} *potencia máxima de cada luminaria en W,*

t *tiempo de operación en horas por día.*

- ***Sistema de iluminación fotovoltaico***

Para el sistema fotovoltaico diseñado, con una potencia total instalada de 1 510 W, y un tiempo de operación de 12 horas diarias, se obtiene:

$$E_{diaria} = 1510\ W \times 12\ h = 18{,}120\ Wh/día \approx 18{,}12\ kWh/día$$

Considerando un mes estándar de 30 días:

$$E_{mes} = 18{,}12\ kWh/día \times 30\ días = 543{,}6\ kWh/mes$$

Esto indica que el sistema fotovoltaico consume diariamente 18,12 kWh y mensualmente 543,6 kWh, energía que proviene completamente de fuentes renovables, reduciendo el consumo eléctrico convencional.

- ***Sistema de iluminación convencional***

  Para el sistema convencional de 4.55 kW, operando también 12 horas diarias, se calcula:

$$E_{diaria} = 4{,}550\ W \times 12\ h = 54{,}600\ Wh/día \approx 54.6\ kWh/día$$

  La energía mensual es:

$$E_{mes} = 54.6\ kWh/día \times 30\ días = 1{,}638\ kWh/mes$$

Esto refleja que el sistema convencional consume significativamente más energía que el fotovoltaico, generando mayores costos de electricidad.

Tabla 19

Costo mensual de cada tipo de energía

Tipo de energía	***Tarifa (S/./kWh)***	***Emes (kWh/mes)***	***Subtotal (S/)***	***Total, mensual con IGV (S/)***	***Total, anual con IGV (S/)***
Fotovoltaica	*0.9086*	*543,6*	*493,91*	*582,82*	*6 993,84*
Convencional	*0.9086*	*1,638*	*1,487.66*	*1,754.63*	*21,055.56*

Nota: *La tabla compara el costo mensual y anual equivalente entre el sistema fotovoltaico propuesto y el sistema de alumbrado convencional. Para la evaluación financiera, el costo anual del sistema convencional, equivalente a S/ 21 055,56, se considera como beneficio económico*

anual o costo evitado por la implementación del sistema fotovoltaico. Este valor se emplea como ingreso anual proyectado en el flujo de caja del proyecto.

El análisis del consumo energético en periodos mensuales y anuales evidencia que el gasto asociado al suministro eléctrico convencional resulta significativamente superior al del sistema fotovoltaico en la zona de estudio. Para la evaluación financiera, el costo anual del sistema convencional, equivalente a S/ 21 055,56, se consideró como beneficio económico anual o costo evitado por la implementación del sistema fotovoltaico, lo que refleja la rentabilidad de implementar el sistema fotovoltaico. Adicionalmente, el mantenimiento anual de estas instalaciones se estima alrededor del 2 % del monto invertido inicialmente, incluyendo el reemplazo de componentes con menor vida útil, como reguladores de carga o baterías, según Pérez Zulueta (2019).

2.4.4.4.Durabilidad de los equipos y programación de reemplazos

La vida útil de los principales componentes del sistema, que es relevante para estimar los costos de futuras reposiciones, se detalla a continuación:

- Módulos fotovoltaicos: 25 años
- Controlador de carga: 15 años
- Acumuladores eléctricos: 15 años
- Cableado eléctrico: 25 años
- Dispositivos de protección: 25 años

Dado que el sistema alcanza una duración operativa máxima de 25 años, se recomienda que el horizonte de evaluación económica y el cálculo de recuperación de la inversión consideren este horizonte temporal, incorporando además los costos asociados a la reposición de aquellos equipos con menor durabilidad.

2.4.4.5.Evaluación de la factibilidad financiera del proyecto

a. Valor Presente Neto (VPN)

Cano (2021) indica que el Valor Presente Neto (VPN) es un indicador que permite calcular los excedentes o pérdidas de los flujos de efectivo de un proyecto, actualizados al valor presente. La metodología consiste en descontar los flujos de efectivo futuros utilizando una tasa de descuento, en este caso del 9 %, y posteriormente restar la inversión inicial. Matemáticamente, se expresa mediante la ecuación 21:

$$VPN = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{(1+r)^i} - I \tag{21}$$

Donde:

- Q_i= flujo de caja anual
- n= duración del proyecto en años
- I= inversión inicial
- r= tasa de descuento aplicada

b. Tasa Interna de Retorno (TIR)

De acuerdo con Cano (2021) , la Tasa Interna de Retorno (TIR) corresponde a la rentabilidad que iguala el VPN de un proyecto a cero, representando el porcentaje de ganancia o pérdida de la inversión. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace que los flujos de efectivo futuros descontados compensen exactamente la inversión inicial. La TIR se calcula mediante la ecuación 22:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{(1+TIR)^i} - I = 0 \tag{22}$$

Donde los símbolos conservan el mismo significado que en la ecuación del VPN.

Tabla 20

Flujo de caja acumulado

Año	Ingresos (S/.)	Mantenimiento (S/.)	Inversión (S/.)	Flujo de caja neto (S/.)	Factor de actualización	FCN actualizado (S/.)	Flujo acumulado (S/.)	Año de repago
0	0	0	73,073.00	-73,073.00	1.0000	-73,073.00	-73,073.00	
1	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.9091	17,799.18	-55,273.82	
2	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.8264	16,198.41	-39,075.41	
3	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.7513	14,721.12	-24,354.29	
4	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.6830	13,388.52	-10,965.77	
5	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.6209	12,171.70	1,205.93	5
6	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.5645	11,063.38	12,269.31	
7	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.5132	10,060.60	22,329.91	
8	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.4665	9,148.68	31,478.59	
9	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.4241	8,309.88	39,788.47	
10	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.3855	7,561.21	47,349.68	
11	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.3505	6,867.36	54,217.04	
12	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.3186	6,239.11	60,456.15	
13	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.2897	5,678.72	66,134.87	
14	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.2633	5,162.16	71,297.03	
15	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.2394	4,691.51	75,988.54	
16	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.2176	4,265.14	80,253.68	
17	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1978	3,879.47	84,133.15	
18	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1798	3,522.93	87,656.08	
19	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1635	3,207.18	90,863.26	
20	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1487	2,914.11	93,777.37	
21	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1352	2,652.46	96,429.83	
22	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1229	2,411.63	98,841.46	
23	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1117	2,188.55	101,030.01	
24	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.1015	1,990.71	103,020.72	
25	21,055.56	1,461.46	0	19,594.10	0.0923	1,809.77	104,830.49	

VAN (10%): S/. 104,830.49 **TIR**: 14%

Nota. *La tabla presenta el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR) del sistema fotovoltaico, considerando la inversión inicial y los ingresos anuales proyectados.*

Dado que el VAN arroja un resultado positivo, tomando en cuenta una tasa de interés del 9 %, la inversión destinada a implementar el sistema fotovoltaico en la Plaza de Armas de San Ignacio.

c. Análisis beneficio-costo (B/C)

La relación beneficio-costo (B/C) se determina mediante la ecuación:

Donde:

$VP(i)$= Valor presente de los ingresos

$VP(e)$= Valor presente de los egresos

Para el proyecto fotovoltaico en la Plaza de Armas de San Ignacio, utilizando los datos reales obtenidos:

$$VP(i) = S/.104{,}830.49; VP(e) = S/.73{,}073.00$$

Por lo tanto, la relación beneficio-costo resulta:

$$B/C = \frac{104{,}830.49}{73{,}073.00} \approx 1.43$$

.

Este valor muestra que cada sol invertido en el proyecto, se espera un beneficio de S/. 1.43, demostrando la rentabilidad económica de la instalación fotovoltaica**.**

Tabla 21

Evaluación de los ingresos y gastos

Año	Ingresos (S/.)	Egresos	Inversión (S/.)	Gastos por MTTO (S/.) 2% de I
0	0	73,073	73,073.00	0
1	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
2	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
3	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
4	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
5	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
6	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
7	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
8	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
9	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
10	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
11	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
12	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
13	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
14	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
15	21,055.56	25,045.50	23,597.18	1,461.46
16	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
17	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
18	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
19	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
20	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
21	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
22	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
23	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
24	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46
25	21,055.56	1,461.46	0.00	1,461.46

VP(i) = S/. 104,830.49

VP(e) = S/. 73,073.00

Nota: *La tabla presenta el cálculo de los ingresos y gastos asociados al proyecto fotovoltaico en la Plaza de Armas de San Ignacio. Elaboración propia.*

III. RESULTADOS

Se diseñó un sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca, considerando las condiciones reales del lugar y las necesidades de iluminación del espacio público. Para ello, se evaluó el recurso solar disponible, se realizó la simulación luminotécnica en DIALux evo, se dimensionaron los principales componentes del sistema fotovoltaico y se analizó su viabilidad técnica y económica. A partir de estos resultados, se determinó que la propuesta permite mejorar el alumbrado de la plaza, aprovechar una fuente de energía renovable y reducir la dependencia del sistema eléctrico convencional, constituyéndose en una alternativa eficiente, sostenible y aplicable para este tipo de espacios urbanos.

La evaluación del recurso solar en la Plaza de Armas de San Ignacio permitió determinar que el ángulo de inclinación de 20° presenta la mayor captación promedio anual, con un valor de 4,76 kWh/m²/día. Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se consideró el mes de enero como condición crítica de diseño, debido a que en dicho mes la radiación solar sobre el plano inclinado de 20° fue de 3,95 kWh/m²/día. Asimismo, la radiación solar global horizontal registrada en enero fue de 3,64 kWh/m²/día, correspondiente al menor valor en condición horizontal. El análisis se realizó utilizando datos satelitales del sistema NASA POWER (2024–2025) y un método empírico basado en la latitud del sitio (-5,1458°), evaluando distintos ángulos de inclinación de los módulos fotovoltaicos: 0°, 5°, 10°, 20° y 90°. Los resultados confirmaron que el ángulo de 20° ofrece la mayor captación anual de energía solar, por lo que fue seleccionado para el diseño del sistema. Asimismo, la temperatura ambiente registró valores máximos de 34,07 °C y mínimos de 14,14 °C, condiciones consideradas en el análisis del desempeño del sistema fotovoltaico. Estos resultados proporcionan una base técnica para dimensionar los paneles solares,

determinar la capacidad de almacenamiento en baterías y planificar la implementación de un sistema de iluminación LED eficiente y confiable para la plaza.

El diseño del sistema de iluminación fotovoltaica destinado a la Plaza de Armas de San Ignacio contempló un flujo luminoso total de 612 382 lm, una potencia instalada de 1 510 W y un rendimiento lumínico global de 405,55 lm/W. Se seleccionaron tres tipos de luminarias LED: UTLD-PA1-100-727-U-SL3-FR de 15 W, SL AREA SPD XL V de 50 W y FL 100 PCELL P de 20 W, distribuidas en 51 puntos de iluminación estratégicamente ubicados para garantizar una cobertura uniforme y el cumplimiento de los criterios establecidos en la Norma DGE 017-AI-1-1982. La altura de los postes se ajustó entre 3 m y 5 m, diferenciando postes altos, medianos y especiales, lo que permitió asegurar una proyección lumínica adecuada, uniformidad de iluminancia y control del deslumbramiento. La configuración del sistema permitió que cada área, incluyendo caminos peatonales, plazoletas y espacios decorativos, recibiera iluminación eficiente y uniforme, optimizando la visibilidad y la seguridad en toda la plaza.

El dimensionamiento de los componentes que componen el sistema fotovoltaico en la Plaza de Armas de San Ignacio consideró el consumo energético real de cada poste, con postes de 20 W más dos luminarias de 15 W consumiendo 0,822 kWh/día y requiriendo un generador de 208 W, postes de 15 W consumiendo 0,494 kWh/día con generador de 125 W, y postes de tres luminarias de 50 W alcanzando 2,449 kWh/día con generador de 620 W; se seleccionaron paneles solares de 210 W, 150 W y 620 W, reguladores de carga, baterías de 80 a 380 Ah según luminaria, inversores DC/AC, conductores de 4 y 2,5 mm^2, fusibles de 16 y 10 A e interruptores termomagnéticos de 20 y 10 A, considerando 3,95 Horas Solar Pico, profundidad máxima de descarga del 60% y autonomía de 1,5 días, incluyendo factores de pérdidas en acumuladores, controladores y cableado, obteniendo un consumo referencial de 2,779 kWh/día para las tres

configuraciones de postes evaluadas. Sin embargo, la demanda energética diaria total del sistema completo es de 18,12 kWh/día, calculada a partir de la potencia total instalada de 1 510 W y 12 horas de funcionamiento diario y un funcionamiento confiable, eficiente y autónomo durante todo el año.

El análisis económico del sistema fotovoltaico implementado en la Plaza de Armas de San Ignacio, basado en los datos reales obtenidos del proyecto, indica que la inversión inicial fue de S/. 73,073.00, incluyendo materiales, equipos y montaje electromecánico. El Valor Presente Neto (VAN) se calculó en S/. 104,830.49, la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó el 14%, y la relación beneficio-costo (B/C) resultó de 1,43, lo que evidencia que por cada sol invertido se proyecta un retorno equivalente. El sistema presenta un consumo diario de 18,12kWh, por un beneficio económico anual o costo evitado de S/ 21 055,56 en comparación con un sistema de alumbrado convencional, considerando un tiempo de operación de 12 horas diarias. La evaluación se proyectó a un horizonte de 25 años, incorporando la vida útil de los equipos y la planificación de futuras reposiciones. Estos resultados confirman la viabilidad económica, técnica y energética del sistema, demostrando que la implementación del alumbrado público LED fotovoltaico es rentable, sostenible y proporciona un fundamento sólido para la toma de decisiones en su ejecución.

IV. DISCUSIÓN

El diseño del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para la Plaza de Armas de San Ignacio evidencia que es posible plantear una alternativa eficiente y sostenible frente al sistema de alumbrado convencional existente. La propuesta integra el aprovechamiento del recurso solar, la simulación luminotécnica, el dimensionamiento de los componentes eléctricos y la evaluación económica, lo que permite sustentar su viabilidad técnica y financiera. En ese sentido, el estudio demuestra que el uso de energía solar fotovoltaica aplicada al alumbrado público

puede contribuir a mejorar la eficiencia energética, reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y disminuir los costos operativos de la municipalidad.

La evaluación del recurso solar permitió determinar que la zona de estudio presenta condiciones favorables para la implementación del sistema fotovoltaico. La identificación del ángulo de inclinación más adecuado demuestra la importancia de adaptar el diseño a las condiciones climáticas y geográficas del lugar, ya que una correcta captación solar influye directamente en la generación de energía y en la autonomía del sistema. Sin embargo, una limitación del estudio es que el análisis se basó en datos satelitales, por lo que futuras investigaciones podrían complementarlo con mediciones directas en campo.

La simulación realizada en DIALux evo permitió analizar previamente el comportamiento de la iluminación en la plaza, evitando un diseño empírico o poco preciso. La distribución de luminarias y postes propuesta permite mejorar la cobertura lumínica del espacio público, favoreciendo la seguridad, visibilidad y comodidad de los usuarios durante la noche. Esto confirma que el diseño de alumbrado no depende únicamente de la cantidad de luminarias, sino también de su ubicación, altura, orientación y eficiencia.

El dimensionamiento de los componentes fotovoltaicos evidencia que el funcionamiento adecuado del sistema depende del equilibrio entre la demanda energética, la generación solar y la capacidad de almacenamiento. La selección de paneles, baterías, reguladores, inversores, conductores y equipos de protección permite garantizar la operación nocturna del sistema; no obstante, su desempeño real dependerá también del mantenimiento, la vida útil de las baterías, la limpieza de los paneles y las condiciones ambientales del lugar.

El análisis económico demuestra que la propuesta presenta condiciones favorables para su implementación, debido a que los indicadores financieros evidencian rentabilidad en el horizonte

evaluado. Aunque la inversión inicial es considerable, el ahorro generado por la reducción del consumo eléctrico convencional permite compensar progresivamente el costo del sistema. No obstante, antes de su ejecución definitiva, sería necesario actualizar los precios de los equipos, costos de instalación y mantenimiento, debido a que estos pueden variar según el mercado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El diseño del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED para la Plaza de Armas de San Ignacio, Cajamarca, constituye una alternativa técnica, energética y ambientalmente viable para mejorar el servicio de alumbrado público. La propuesta integra el aprovechamiento del recurso solar, el uso de luminarias LED de alta eficiencia y el dimensionamiento de componentes fotovoltaicos adecuados, permitiendo reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y promover el uso de energías renovables en espacios públicos urbanos.

La evaluación del recurso solar permitió determinar que la zona de estudio presenta condiciones favorables para la implementación del sistema fotovoltaico. Mediante el análisis de datos satelitales NASA POWER, se obtuvo una radiación solar promedio anual de 4,76 kWh/m²/día para una inclinación de 20°, lo cual favorece la captación de energía solar y sustenta el funcionamiento nocturno del sistema de iluminación propuesto.

La simulación luminotécnica en DIALux evo validó la distribución de 51 puntos de iluminación en la Plaza de Armas de San Ignacio, obteniéndose niveles entre 20.6 lx y 94 lx, valores que corresponden al comportamiento funcional del sistema en zonas de tránsito peatonal, áreas verdes y circulación interna; estos resultados cumplen con los criterios de la Norma DGE 017-AI-1-1982, garantizando adecuada visibilidad, seguridad y confort visual en el espacio público.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico permitió seleccionar los componentes necesarios para cubrir una potencia total instalada de 1510 W durante 12 horas diarias de funcionamiento, equivalente a una demanda energética diaria de 18,12 kWh/día. Para ello, se consideraron paneles solares, baterías, reguladores de carga, inversores, conductores eléctricos y dispositivos de protección, destinados a abastecer de manera eficiente y segura los 51 puntos de iluminación propuestos.

La evaluación económica evidencia que el sistema fotovoltaico propuesto permite reducir los costos operativos asociados al consumo eléctrico convencional. Para la evaluación financiera, se consideró como beneficio económico anual el costo evitado del sistema convencional, equivalente a S/ 21 055,56. Con ello, el proyecto presenta un VAN de S/ 104 830,49, una TIR de 14 % y una relación beneficio-costo de 1,43, lo que demuestra que la propuesta es económicamente viable para la Municipalidad Provincial de San Ignacio, siempre que se garantice una adecuada instalación, operación y programación de mantenimiento preventivo.

Recomendaciones

Se recomienda a la Municipalidad Provincial de San Ignacio considerar la implementación progresiva del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED propuesto, priorizando las zonas de mayor tránsito peatonal, áreas centrales y espacios de concentración pública de la Plaza de Armas. Esta implementación permitiría mejorar la eficiencia del alumbrado público, reducir los costos operativos y promover el uso de energías renovables en la gestión municipal.

Se recomienda adjuntar y utilizar el plano de ubicación de postes y el esquema del circuito de alumbrado público de la Plaza de Armas de San Ignacio, indicando la posición de cada poste, tipo de luminaria, altura, recorrido de conductores, tablero de control, protecciones eléctricas y

sistema de puesta a tierra. Esta información permitirá facilitar la ejecución, supervisión, operación y mantenimiento del sistema propuesto.

Se recomienda complementar futuros estudios con mediciones directas de radiación solar en campo, utilizando instrumentos especializados que permitan validar los datos satelitales empleados en la investigación. Esto contribuiría a mejorar la precisión del diseño fotovoltaico, optimizar el ángulo de inclinación de los paneles, la capacidad de generación energética y la autonomía del sistema.

Se recomienda continuar empleando herramientas de simulación luminotécnica, como DIALux evo, en proyectos de alumbrado público, debido a que permiten evaluar previamente la distribución de la luz, la uniformidad lumínica, posibles zonas de sombra, el control del deslumbramiento y el cumplimiento de la normativa vigente antes de la ejecución física del proyecto.

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para los principales componentes del sistema, incluyendo paneles solares, luminarias LED, baterías, reguladores de carga, inversores, conductores eléctricos, dispositivos de protección y sistema de puesta a tierra. Dicho mantenimiento debe considerar la limpieza periódica de paneles, revisión de conexiones eléctricas, control del estado de baterías y verificación del funcionamiento de las luminarias, con el fin de conservar la eficiencia del sistema durante su vida útil.

Se recomienda actualizar el presupuesto del proyecto antes de su ejecución, considerando precios vigentes de equipos, materiales, instalación, transporte, mantenimiento y reposición de componentes. Esta actualización permitirá confirmar la viabilidad económica del sistema, debido a que los costos de los equipos fotovoltaicos pueden variar según el mercado, la disponibilidad de productos y las condiciones económicas del momento.

Se recomienda utilizar la presente propuesta como referencia para futuros proyectos de iluminación sostenible en otros espacios públicos de San Ignacio, como parques, plazuelas, alamedas y vías peatonales. La aplicación de sistemas fotovoltaicos con tecnología LED puede contribuir a mejorar la seguridad ciudadana, reducir el impacto ambiental y fortalecer una cultura de eficiencia energética en la gestión pública local.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Huamani Rios, C. A., & Paucar Huaman, Y. (2021). *Plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la comunidad campesina de San José de Astobamba - Huancavelica - 2021*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/item/acdf8391-36ed-42fb-a68e-43a14f970bde

Araujo Gonzales, A. R. (2022). *"ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL MEDIANTE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LA PLAZA LAS AMÉRICAS EN EL DISTRITO DE CERRO COLORADO-AREQUIPA"*. Obtenido de https://repositorio.unsa.edu.pe/items/a156f8ec-abf9-4227-8abd-d631163f1995

AutoSolar. (2026). Obtenido de AutoSolar Perú: https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-era-solar-320w-24v-policristalino?srsltid=AfmBOorsqWErztWMCUHFEripWEVRBDBvFE3Eaqvky4KHkA2I5K451xeN

Baldeon Yauri, C. E., & Ramos Alanya, L. A. (2025). *Propuesta de iluminación led mediante el sistema fotovoltaico en las conexiones de alumbrado público del Parque Grau de la provincia de Yauli – La Oroya, 2024*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/item/43cd1b68-c4f5-475c-bd79-5d1cb1f5662f

Cano, F. M. (2021). *Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/item/cb9cd945-6451-4327-b6ba-f3d4ac54293d

Duman, A. C., & Güler, Ö. (2019). Análisis tecnoeconómico de sistemas de iluminación vial LED fotovoltaicos fuera de la red: un estudio de caso para las regiones del norte, centro y

sur de Turquía. *Building and Environment, 156*, 37-48. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319302379?via%3Dihub

ELECTRICIDAD, M. D. (31 de 12 de 2002). *Norma Técnica DGE: Alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución*. Obtenido de OSINERG / MINEM: http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/8.Normatecnicaalumbrado.pdf

Electro Oriente. (2026). *Pliego tarifario – Alumbrado público*. Obtenido de Electro Oriente: https://www.elor.com.pe/portal_elor/ServicioCliente/IndexSC?idPagina=112

ENF Solar. (2025). *Panel solar EGE-110M-36 Monocristalino*. Obtenido de ENF Solar: https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/48371

Espinoza Robles, L. F. (2017). *Diseño de un sistema de iluminación LED alimentado por paneles solares aplicado a minería de cielo abierto*. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/items/515ae3d8-29b1-4ca6-ad58-29601008e88f

Garnacho Saucedo, G. M., Salido Vallejo, R., & Moreno Giménez. (2020). Efectos de la radiación solar y actualización sobre fotoprotección. *Anales de Pediatría (Edición en inglés), 92*(6), 377.e1 – 377.e9. doi:https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.04.014

Gómez, F. (2023). *Iluminación fotovoltaica en espacios públicos urbanos: tendencias y beneficios.*

Guevara, J. A. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Madrid.: https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf ?

Hudișteanu, V.-S., Nica, I., Verdeș, M., Hudișteanu, I., Cherecheș, N.-C., Țurcanu, F.-E., . . . Galatanu, C.-D. (2025). Technical and Economic Analysis of Sustainable Photovoltaic

Systems for Street Lighting. *Sustainability, 17*(16), 7179. Obtenido de https://www.mdpi.com/2071-1050/17/16/7179

ILLA, J. C. (2020). *Análisis técnico-económico de sistemas de telegestión para la iluminación eficiente con luminarias de tecnología LED en los principales parques céntricos de la ciudad de Puno - 2019*. Obtenido de https://repositorio.unap.edu.pe/items/0e20cab5-f94c-482b-999d-c0b9afe6094e

Ingelibreblog. (09 de Noviembre de 2014). *Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica*. Obtenido de Ingelibreblog: https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/

Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea. (2015). *La Química y las «otras luces» (I)*. Obtenido de Moléculas a reacción: https://isqch.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/06/espectro_em.png

Intesla. (2025). D*imensionamiento de sistemas fotovoltaicos ON GRID y OFF GRID con PVSYST*. Obtenido de Intesla.

Jinchuña, J. (2020). *Análisis técnico-económico de sistemas de telegestión para la iluminación eficiente con luminarias de tecnología LED en los principales parques céntricos de la ciudad de Puno - 2019*. (U. N. Altiplano, Productor)

Katzin, D, Marcelis, L. F. M., & Van Mourik, S. (2021). Ahorro energético en invernaderos mediante la transición de iluminación de sodio de alta presión a iluminación LED. *Applied Energy, 281*, 116019. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116019

Made-in-China.com. (2022). C*hinese Manufacturers Supply All Galvanized Light Poles Solar Street Lights for Road Projects*. Obtenido de https://m.made-in-

china.com/product/Chinese-Manufacturers-Supply-All-Galvanized-Light-Poles-Solar-Street-Lights-for-Road-Projects-2013261582.html

Minas, M. d. (2002). *Norma Técnica DGE "Alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución".* Dirección General de Electricidad, Lima. Obtenido de https://www.minem.gob.pe/

Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Manual de sustentación: Código Nacional de Electricidad Utilización 2006. Sección 060: Puesta a tierra y enlace equipotencial*. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas: https://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/legislacion/codigonacional/sustentacion/6.-%20Secciones%20060-Puesta%20a%20Tierra.pdf

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Política Energética Nacional del Perú 2010-2040.* Gobierno del Perú, Lima.

Moya Ramírez, J. E., & Benavides Huamán, L. E. (2024). *diseño y simulación de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología led para el parque del c.p.m. ambato tamborapa, distrito bellavista, jaén*. Obtenido de https://repositorio.unj.edu.pe/items/3f2236da-bcc3-4490-8c44-d9538cb6eff2

Muñoz Mamani, A. M. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de energía inteligente para iluminación utilizando tecnología led de bajo consumo en Villa el Sol distrito de Yarabamba*. (U. N. Arequipa, Editor) Obtenido de https://repositorio.unsa.edu.pe/items/965487e5-b13a-49f1-9c3a-05d2b8c89c5c

Pérez Zulueta, J. A. (2019). *Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico con tecnología LED para el Parque Central de la provincia de Jaén, Cajamarca.* Obtenido de https://repositorio.unj.edu.pe/items/8cf21608-07ea-4946-8595-c807b08568b6

Reinoso, L., & Ortega, J. (2020). Incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Dayang CHOK-S mediante paneles solares. *3*(2). doi:https://doi.org/10.37135/ns.01.06.03

RIVERA, G. B. (2022). *"Diseño de iluminación fotovoltaico con tecnología LED para fomentar la oferta turística del Parque Ecológico las 7 leyendas Cochas Grande Huancayo"*. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12894/8435

SFE-Solar. (s. f.). Radiación solar. Obtenido de SFE-Solar: https://endef.com/

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para seguir adelante en cada etapa de mi formación profesional; a mis padres, por su amor, esfuerzo, apoyo incondicional y por enseñarme con su ejemplo el valor de la perseverancia, la responsabilidad y la humildad; y a mi familia, por acompañarme con sus palabras de aliento, confianza y comprensión durante este proceso académico, siendo una motivación constante para culminar esta importante meta.

AGRADECIMIENTO

Estoy agradecido con Dios por brindarme la sabiduría, la salud y la fortaleza que se requieren para realizar esta investigación. Quiero expresar mi agradecimiento más sincero al Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicón, quien me asesoró y guio a lo largo de este proceso, por sus consejos valiosos, su paciencia y su orientación, que fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradezco a los profesores de la Universidad Nacional de Jaén, quienes forman parte del jurado evaluador, por sus sugerencias y observaciones que ayudaron a optimizar el enfoque y la calidad de este estudio. Gracias a todos ellos por su apoyo incondicional y su dedicación.

VII. ANEXOS

ANEXO 1. Lista de luminarias del sistema fotovoltaico LED

CALCULO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025

DIALux

Lista de luminarias

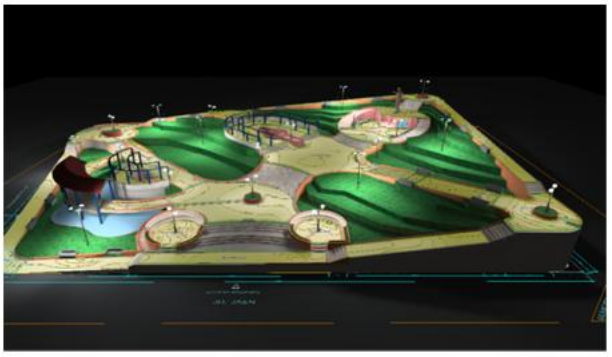
Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
28	Cooper Lighting	UTLD-PA1-100-727-U-SL3-FR	TRADITIONAIRE LED DOWNLIGHT LUMINAIRE (1) 70 CRI, 2700K, 1200mA LIGHT ENGINE WITH 24 LEDS AND TYPE III SPILL LIGHT ELIMINATOR OPTICS AND REFRACTOR PANELS	360.0 W	5969 lm	16.6 lm/W
21	LEDVANCE	4099854080036	SL AREA SPD XL V 150W 765 RV35ST GY	50.0 W	20250 lm	405.0 lm/W
2	LEDVANCE	4099854306945	FL 100 PCELL P 69W 840 10KLM PS	20.0 W	10000 lm	500.0 lm/W

Este anexo presenta el detalle de las luminarias seleccionadas para el proyecto de iluminación de la Plaza de Armas de San Ignacio, con sus características técnicas y rendimiento lumínico.

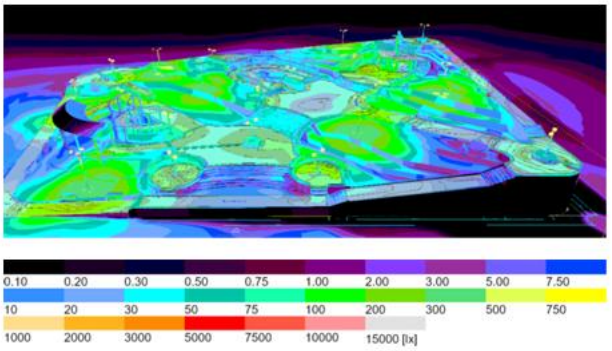
***ANEXO 2** Iluminación durante la simulación con DIALux*

Imágenes

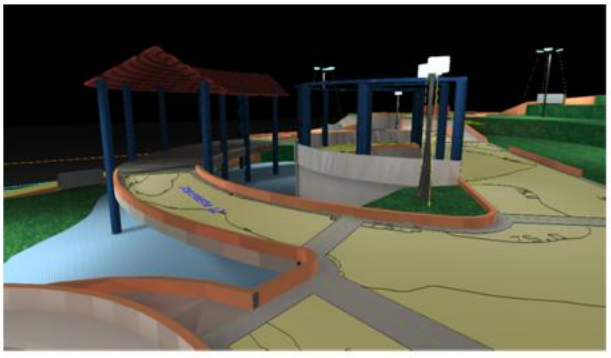
Terreno 1 (138)



Terreno 1 (139)

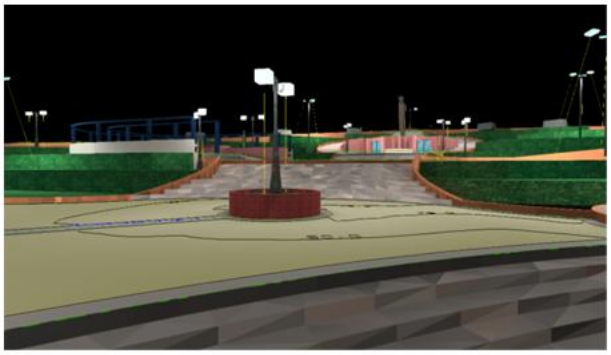


Terreno 1 (140)



Imágenes

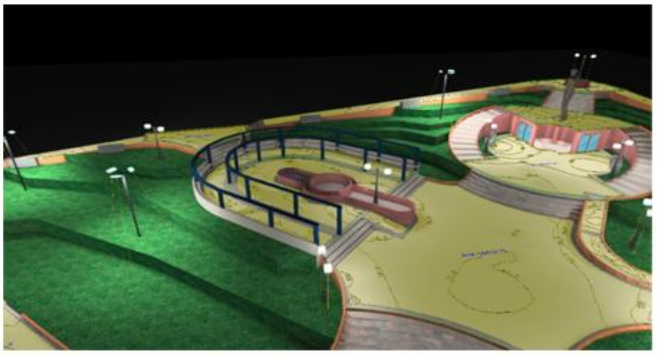
Terreno 1 (141)



Terreno 1 (142)

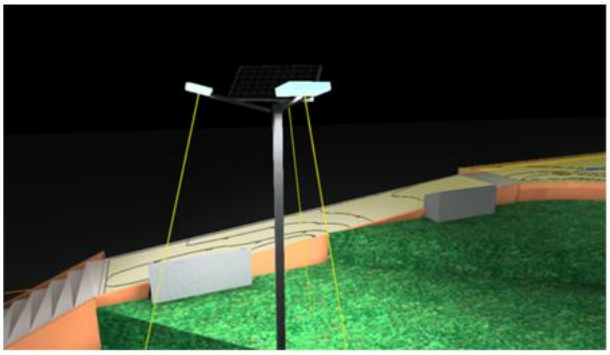


Terreno 1 (143)

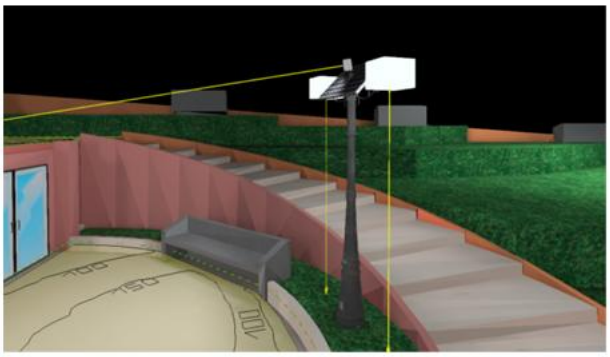


Imágenes

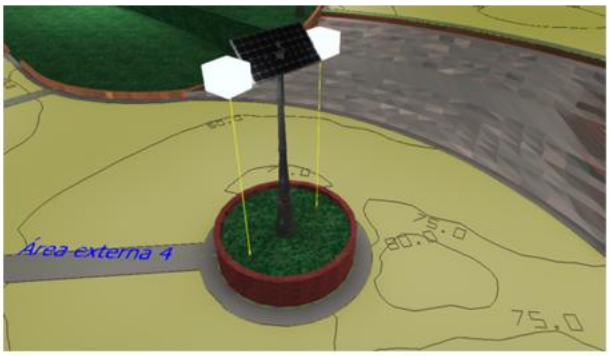
Terreno 1 (149)



Terreno 1 (150)



Terreno 1 (148)

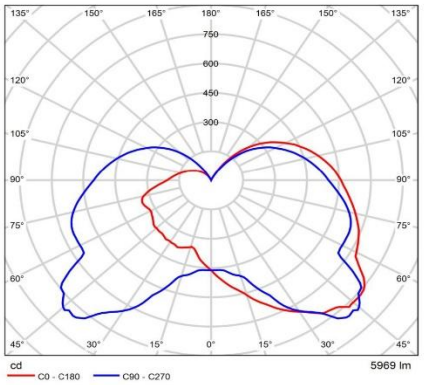


ANEXO 3. Fichas técnicas de luminarias seleccionadas

Ficha de producto

Cooper Lighting - TRADITIONAIRE LED DOWNLIGHT LUMINAIRE (1) 70 CRI, 2700K, 1200mA LIGHT ENGINE WITH 24 LEDS AND TYPE III SPILL LIGHT ELIMINATOR OPTICS AND REFRACTOR PANELS

N° de artículo	UTLD-PA1-100-727-U-SL3-FR
P	360.0 W
$\Phi_{Lámpara}$	–
$\Phi_{Luminaria}$	5969 lm
η	–
Rendimiento lumínico	16.6 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100

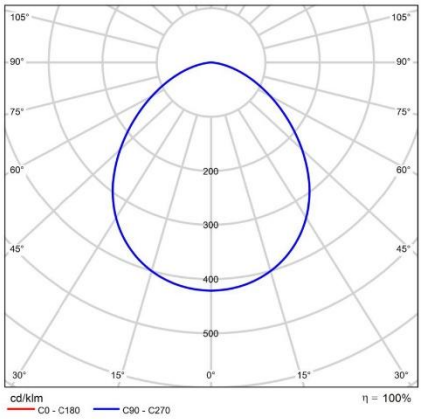


CDL polar

Ficha de producto

LEDVANCE - FL 100 PCELL P 69W 840 10KLM PS

N° de artículo	4099854306945
P	20.0 W
$\Phi_{Lámpara}$	10000 lm
$\Phi_{Luminaria}$	10000 lm
η	100.00 %
Rendimiento lumínico	500.0 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

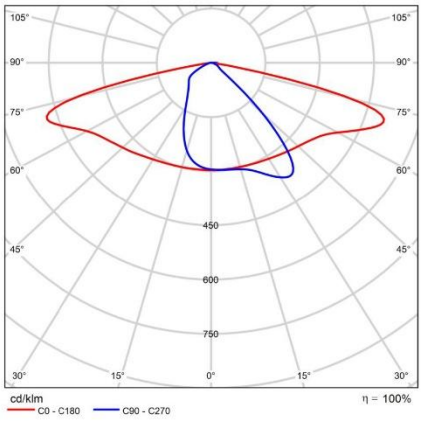
Evaluación del deslumbramiento según UGR											
ρ Techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Paredes		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	29.6	30.9	29.9	31.1	31.3	29.6	30.9	29.9	31.1	31.3
	3H	30.6	31.8	30.9	32.0	32.3	30.6	31.8	30.9	32.0	32.3
	4H	31.0	32.1	31.3	32.3	32.6	31.0	32.1	31.3	32.3	32.6
	6H	31.2	32.2	31.5	32.5	32.8	31.2	32.2	31.5	32.5	32.8
	8H	31.2	32.2	31.6	32.5	32.8	31.2	32.2	31.6	32.5	32.8
	12H	31.2	32.1	31.6	32.4	32.8	31.2	32.1	31.6	32.4	32.8
4H	2H	30.1	31.2	30.4	31.4	31.7	30.1	31.2	30.4	31.4	31.7
	3H	31.3	32.2	31.7	32.5	32.9	31.3	32.2	31.7	32.5	32.9
	4H	31.8	32.6	32.1	32.9	33.3	31.8	32.6	32.1	32.9	33.3
	6H	32.0	32.7	32.5	33.1	33.5	32.0	32.7	32.5	33.1	33.5
	8H	32.1	32.8	32.5	33.1	33.6	32.1	32.8	32.5	33.1	33.6
	12H	32.1	32.7	32.6	33.1	33.6	32.1	32.7	32.6	33.1	33.6
8H	4H	31.9	32.6	32.3	33.0	33.4	31.9	32.6	32.3	33.0	33.4
	6H	32.3	32.8	32.7	33.2	33.7	32.3	32.8	32.7	33.2	33.7
	8H	32.4	32.9	32.9	33.3	33.8	32.4	32.9	32.9	33.3	33.8
	12H	32.4	32.8	32.9	33.3	33.8	32.4	32.8	32.9	33.3	33.8
12H	4H	31.9	32.5	32.3	32.9	33.3	31.9	32.5	32.3	32.9	33.3
	6H	32.3	32.8	32.8	33.2	33.7	32.3	32.8	32.8	33.2	33.7
	8H	32.4	32.8	32.9	33.3	33.8	32.4	32.8	32.9	33.3	33.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+0.2 / -0.3					+0.2 / -0.3				
S = 1.5H		+0.4 / -0.7					+0.4 / -0.7				
S = 2.0H		+0.8 / -1.2					+0.8 / -1.2				
Tabla estándar		BK04					BK04				
Sumando de corrección		14.9					14.9				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 10000lm Flujo luminoso total											

Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Ficha de producto

LEDVANCE - SL AREA SPD XL V 150W 765 RV35ST GY

N° de artículo	4099854080036
P	50.0 W
$\Phi_{Lámpara}$	20250 lm
$\Phi_{Luminaria}$	20250 lm
η	100.00 %
Rendimiento lumínico	405.0 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

ANEXO 4. Fichas técnicas de los paneles solares

Quality Maker®

Restarsolar, power the life

GLOBAL PROFESSIONAL PV PRODUCTS INTEGRATED SOLUTIONS SUPPLIER



RT-M

36 Cells
Mono-crystalline 9 or 12BB

210-230W
Power output

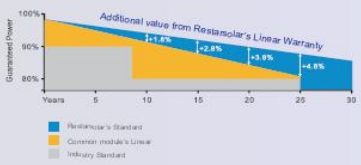
21.06%
The Highest Efficiency

0~+5W
Tolerance

RT7E-M series is produced with high efficiency multi-busbar cells, which can reduce the module internal power loss to improve its conversion efficiency, as well as lower the failure risk caused by cracks and broken busbar to enhance the module reliability.



0.5% Annual Degradation over 30 years



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 30 year Linear Power Warranty

High Reliability

Multi-busbar technology can effectively reduce the reliability risk caused by cells cracks and broken busbar.

Anti-PID Resistance

Prominent anti-PID performance reduces the power degradation, leading to higher energy yield and lower LCOE.

Durability Against Extreme Conditions

Certified to resist high salt mist and ammonia conditions.

High Efficiency

Multi-busbar technology can reduce the module internal power loss to improve the module conversion efficiency significantly.

Low-Light Performance

With high transmittance and anti-reflective 3.2mm tempered glass,the module has stronger performance under low light circumstances.

High Mechanical Strength

Certified to withstand: high wind load(2400Pa) and snow load(5400Pa).

Full range of products and certification systems

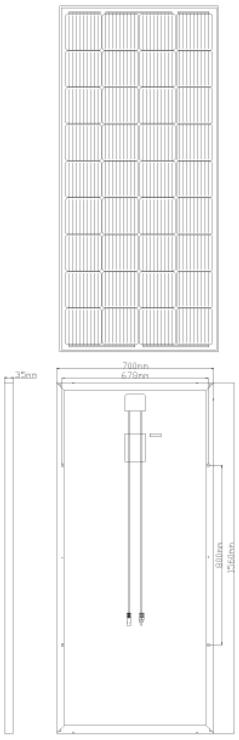
ISO9001 TUV PID-FREE CE IEC61215/61730/61701/62716

Restarsolar, power the life

GLOBAL PROFESSIONAL PV PRODUCTS INTEGRATED SOLUTIONS SUPPLIER

WWW.RESTARSOLAR.COM

Dimension of PV Modules Unit: mm



ELECTRICAL DATA(STC)

Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	210W	215W	220W	225W	230W
Open Circuit Voltage-Voc(V)	23.95V	23.99V	24.03V	24.06V	24.10V
Short Circuit Current-Isc(A)	11.07A	11.30A	11.53A	11.76A	11.99A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	20.05V	20.09V	20.12V	20.16V	20.19V
Maximum Power Current-Imp(A)	10.47A	10.70A	10.93A	11.16A	11.39A
Module Efficiency (%)	19.23%	19.69%	20.15%	20.60%	21.06%

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

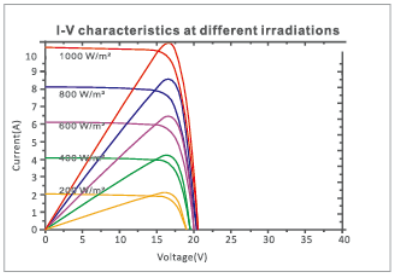
ELECTRICAL DATA(NOCT)

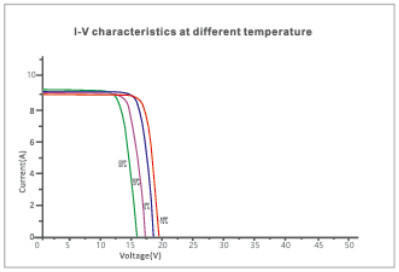
Maximum Power-Pmax (Wp)	156.8W	160.4W	164.1W	167.9W	171.6W
Open Circuit Voltage-Voc (V)	22.46V	22.50V	22.54V	22.57V	22.61V
Short Circuit Current-Isc (A)	8.95A	9.13A	9.32A	9.50A	9.69A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	18.66V	18.68V	18.71V	18.75V	18.78V
Maximum Power Current-Imp(A)	8.4A	8.58A	8.77A	8.95A	9.14A

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono-crystalline 166X166mm, 9 or 12 Bus bars
Cell configuration	36cells(4x9)
Module dimensions	1560x700x35mm
Weight	12KGS
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP67 or IP68，2 or 3 diodes
Cable	4mm2(IEC)/12AWG(UL),900mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging	2pcs/carton





TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V(IEC)/1000V(UL)
Max Series Fuse Rating	15A
Limiting Reverse Current	15A

PACKAGING CONFIGURATION

	40HQ	20GP
Number of modules per container	1452pcs	610pcs
Package	2pcs/carton	2pcs/carton
Package Number	726cartons	305cartons

Mono-crystalline Solar PV Modules

www.renepv.com

M182 150W

ZY150M2C-36

Mono Single Glass Module

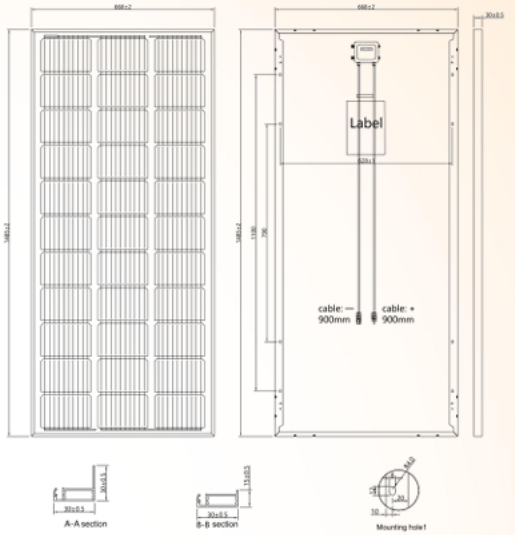
15.1%
Module efficiency

Electrical Specifications

Module Type			ZY150M2C-36
STC: AM1.5 Temperature 25°C Irradiance 1000 W/m2	Peak Power(Pmax)±3%	(W)	150
	Power Tolerance	(W)	0~+3
	Max.Power Voltage(Vmp)	(V)	18.99
	Max.Power Current(Imp)	(A)	7.90
	Open-circuit Voltage(Voc)±3%	(V)	22.42
	Short-circuit Current(Isc)+3%	(A)	8.45
NMOT: AM1.5 Temperature 20°C Wind speed 1m/s Irradiance 800 W/m2	Peak Power(Pmax)±3%	(W)	112.2
	Max.Power Voltage(Vmp)	(V)	17.66
	Max.Power Current(Imp)	(A)	6.35
	Open-circuit Voltage(Voc)	(V)	20.85
	Short-circuit Current(Isc)	(A)	6.81
Operating Temperature		(℃)	-40~+85
Max. Series Fuse Rating		(A)	15
Max. System Voltage(DC)		(V)	1000(IEC)

Dimensions of PV Module

Module Dimensions	1485(±2)*668(±2)*30mm
Module Weight	11.6 kg(±3%)



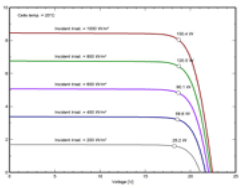
Temperature Characteristics

Temperature Coeffcient (Pmax)	δ[%/°C]	-0.35
Temperature Coefficient (Voc)	β[%/°C]	-0.30
Temperature Coefficient (Isc)	α[%/°C]	+0.046
Nominal Operating Cell Temperature	NMOT	44℃±2℃

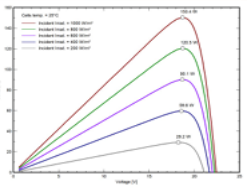
Mechanical Specifications

Solar Cells	Mono-182*120mm
Arrangement	Type-3*11
Front Glass	3.2mm tempered glass
Backsheet	Fluoride on both sides
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68, 2 diodes
Cables	2.5mm² photovoltaic cables
Connectors	MC4 compatible/IP68
Maximum Load Capacity	Snow-2400Pa/Wind-1200Pa
Safety Rate	Class II (IEC)
Fire Rate	Class C (TUV)

I-V & P-V Curves



Current-Voltage Characteristic



Power-Voltage Characteristic

Packing Configuration

Package Weight & Size	25.0Kg/carton & 1497*680*71mm		
20'GP Container	2 pcs/carton	387 cartons/20'GP	774 pcs
40'HQ Container	2 pcs/carton	955 cartons/40'HQ	1910 pcs

Configuration	Default	Choose
Frame Color	☑ Silver	☐ Black
Backsheet Color	☑ White	☐ Black
Cable Length	☑ 900mm	☐ Customization
Connectors	☑ Compatible MC4	☐ Original EVO2

@NINGBO ZHONGYI NEW ENERGY CO., LTD.

Add: No. 509, Zhengtong North Road, High-tech Industrial Development Zone, Cixi City, Zhejiang Province, China

Tel: +86-574-63097978 Fax: +86-574-63097969 E-mail: info@renepv.com

Vertex N

N-type i-TOPCon

BIFACIAL DUAL GLASS MONOCRYSTALLINE MODULE

TSM-NEG19RC.20 **595-625W**

625W / MAXIMUM POWER OUTPUT

23.1% / MAXIMUM EFFICIENCY



High customer value

- Best partner of 1P tracker, with highest utilization of tracker length
- Low voltage design with higher string power, effectively reducing BOS (Balance of System) and LCOE (Levelized Cost of Energy) by 1%~5%
- Standardized module size with higher container space utilization effectively reduces the freight cost
- Excellent compatibility with existing mainstream system components
- Certified Low-Carbon Footprint

High power up to 625W

- Up to 23.1% module efficiency , on 210 innovation platform
- Patented i-TOPCon technology with continuous efficiency upgrade, including contact resistance reduction, rear reflection enhancement and edge quality repairment

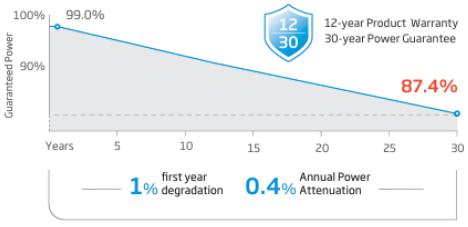
High reliability

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology and high-density packaging
- Reduced risks of hot-spot with half-cut technology
- Certified high resistance against salt, ammonia, sand, PID, LID, LeTID
- Sustainable in harsh environments and extreme weather conditions

High energy yield

- Excellent low irradiation performance, validated by 3rd party
- Lower temperature coefficient (-0.29%/°C)
- Higher bifaciality, with up to 10%~20% additional power gain from back side depending on albedo
- Reliable dual-glass structure with 30-year power guarantee

Performance Warranty



* Please refer to product warranty for details

Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730

ISO 9001: Quality Management System

ISO 14001: Environmental Management System

ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification

ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

ISO14067: Product Carbon Footprint Limited Assurance

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

© 2024 Trina Solar Co.,Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Version number: TSM_EN_2024_B

Trinasolar

Vertex N

N-type i-TOPCon BIFACIAL DUAL GLASS MONOCRYSTALLINE MODULE

ELECTRICAL DATA (STC & NOCT)

Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Peak Power Watts-PMAX(Wp)*	595	454	600	459	605	462	610	466	615	470	620	474	625	478
Power Tolerance-PMAX(Wp)*	0 ~ +5													
Maximum Power Voltage-VMPP (V)	40.0	37.6	40.3	37.9	40.5	38.1	40.8	38.3	41.1	38.6	41.4	38.8	41.7	39.1
Maximum Power Current-IMPP (A)	14.89	12.07	14.91	12.11	14.94	12.13	14.96	12.16	14.98	12.19	14.99	12.20	15.00	12.21
Open Circuit Voltage-VOC (V)	48.1	45.7	48.4	46.0	48.7	46.2	49.0	46.5	49.3	46.8	49.6	47.1	49.9	47.3
Short Circuit Current-ISC (A)	15.76	12.69	15.80	12.73	15.83	12.75	15.86	12.78	15.89	12.80	15.91	12.82	15.92	12.83
Module Efficiency ηm (%)	22.0		22.2		22.4		22.6		22.8		23.0		23.1	

STC: Irrdiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. *Measuring tolerance: ±3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)

Backside Power Gain	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Peak Power Watts-PMAX(Wp)*	625	655	630	660	635	666	641	671	646	677	651	682	656	688
Maximum Power Voltage-VMPP (V)	40.0	40.0	40.3	40.3	40.5	40.5	40.8	40.8	41.1	41.1	41.4	41.4	41.7	41.7
Maximum Power Current-IMPP (A)	15.63	16.38	15.66	16.40	15.69	16.43	15.71	16.46	15.73	16.48	15.74	16.49	15.75	16.50
Open Circuit Voltage-VOC (V)	48.1	48.1	48.4	48.4	48.7	48.7	49.0	49.0	49.3	49.3	49.6	49.6	49.9	49.9
Short Circuit Current-ISC (A)	16.55	17.34	16.59	17.38	16.62	17.41	16.65	17.45	16.68	17.48	16.71	17.50	16.72	17.51

Power Bifaciality:80±5%.

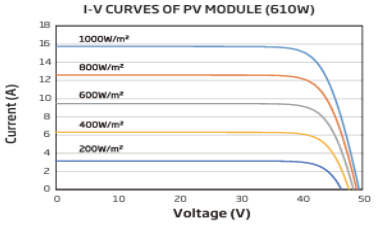
TEMPERATURE RATINGS

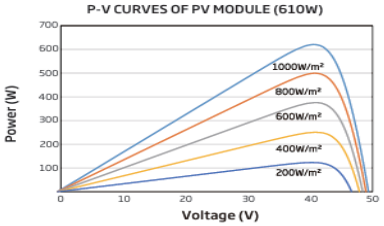
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43℃ (±2℃)
Temperature Coefficient of PMAX	- 0.29% /℃
Temperature Coefficient of VOC	- 0.24% /℃
Temperature Coefficient of ISC	0.04% /℃

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85℃
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

CURVES OF PV MODULE

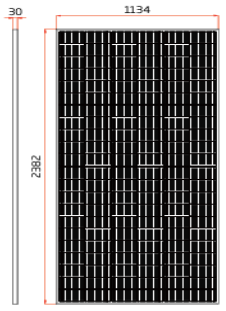




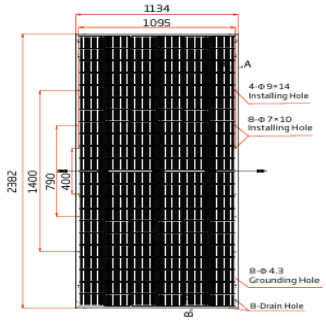
MECHANICAL DATA

Solar Cells	N-type i-TOPCon Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2382×1134×30 mm (93.78×44.65×1.18 inches)
Weight	33.0 kg (72.8 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches),High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass
Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 inches²) Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4 Plus / TS4*
Packaging	Modules per box: 36 pieces Modules per 40' container: 720 pieces

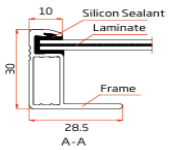
*Please refer to regional datasheet for specified connector.

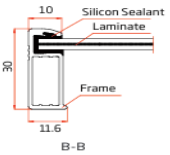


Front View



Back View





www.trinasolar.com

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2024 Trina Solar Co.,Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
Version number: TSM_EN_2024_B

Trinasolar

ANEXO 5. Fichas técnicas de las baterías

VHR 12SCG80 (12V80Ah)

Superior Cycle Gel Battery

VHR series is Superior Cycle VRLA Gel battery. By combining the newly developed nano gel electrolyte and high cyclic paste, SCG series delivers high cycle life, excellent high&low temperature performance, it is highly suited for renewable energy systems, outdoor telecom and other harsh environment require high cycle applications.

12 V	80Ah	GEL	12 years
voltage	capacity	tech	design life

TECHNICAL SPECIFICATIONS

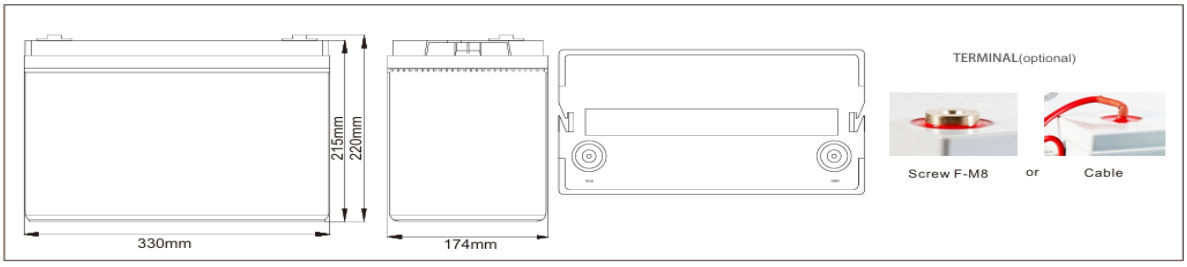
Nominal Voltage (V)	12 (6 cells per unit)
Designed Floating Life (25℃)	12 Years
Nominal Capacity (25℃)	80 Ah @ 10HR-rate (to 1.80Vpc)
Dimension (mm)	L330mm x W174mm x H220mm
Approx. Weight	25.5 kg (56.2 lbs)
Terminal Type	F-M8 or cable (torque:10~12N.m for F-M8)
Internal Resistance	Approx. 0.006 Ohm (fully charged @ 20°C)
Max. Charge Current	20A
Max. Discharge Current (5S)	700 A
Short Circuit Current	2000 A
Self Discharge	Approx. 2.5% per month @ 20°C
Ambient Temperature	Discharge: -40~60°C Charge: -20~55°C Storage: -25~45°C
Float Charge Voltage	13.5-13.62V/block @25℃ (-3mV/ cell/℃)
Equalize and cycle Use Charge Voltage	14.1-14.4V/block @25℃
Container Material	ABS (UL94-V0 optional)



Complied standards

- IEC 60896-21/22
- GB/T19638
- IEC61427
- JIS C8704
- BS6290 part 4

BATTERY DIMENSIONS



BATTERY DISCHARGE TABLE

Constant Current Discharge Characteristics: Amps (25°C)									
F.V/Time	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
1.70V	82.9	51.4	30.5	22.1	17.7	14.7	10.0	8.27	4.36
1.75V	80.0	50.4	29.9	21.8	17.5	14.5	9.88	8.16	4.28
1.80V	76.5	48.7	29.3	21.4	17.0	14.2	9.65	8.00	4.20
1.85V	72.2	46.6	28.1	20.7	16.6	13.9	9.44	7.79	4.10

Constant Power Discharge Characteristics: W/cell (25°C)									
F.V/Time	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
1.70V	155	97.1	58.0	42.4	33.9	28.4	19.5	16.2	8.60
1.75V	151	95.9	57.5	42.0	33.8	28.3	19.4	16.1	8.49
1.80V	146	93.6	56.7	41.6	33.3	27.9	19.1	15.9	8.39
1.85V	139	90.4	55.0	40.6	32.7	27.4	18.8	15.6	8.24

PARAMETERS FOR SOLAR & WIND APPLICATIONS

Long time discharge capacity for Solar & Wind applications

Capacity	C_{24} (Ah)	C_{48} (Ah)	C_{72} (Ah)	C_{100} (Ah)	C_{120} (Ah)
VHR12SCG80	85.6	90.4	92.8	96.8	100
Final Voltage	1.85V				

Solar & Wind applications parameters settings

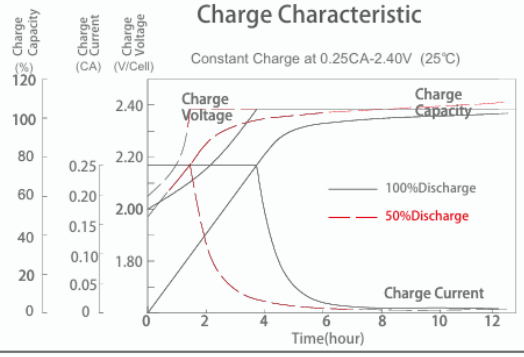
Over voltage disconnect:	2.45±0.01V/cell @ 25°C
Regulation/equalize voltage:	2.40±0.01V/cell @ 25°C
Array roconnection voltage:	2.25±0.005V/cell @ 25°C
Float voltage setting:	2.27±0.005V/cell @ 25°C
Low voltage alarm voltage:	1.95±0.005V/cell @ 25°C
Low voltage disconnect:	1.90±0.005V/cell @ 25°C
Load reconnect voltage:	2.09±0.01V/cell @ 25°C
Temp. compensate coefficienty:	-5mV/cell/°C

VHR 12V 80AH (12V80Ah)

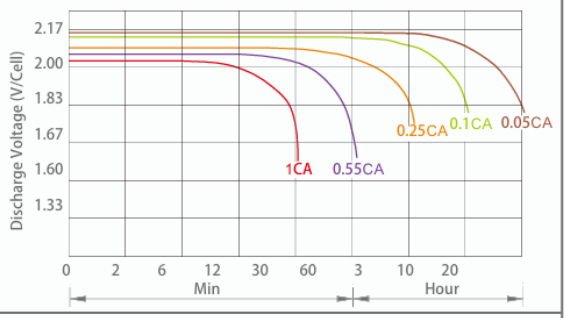
Superior Cycle Gel Battery

CHARACTERISTICS

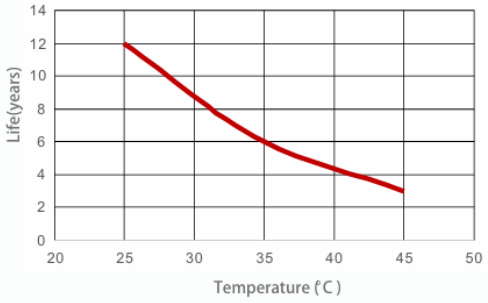
Charge Characteristic



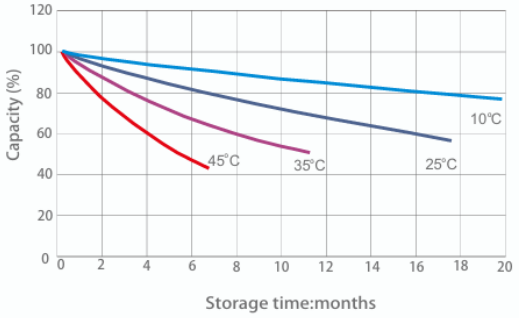
Discharge Characteristic (25℃)



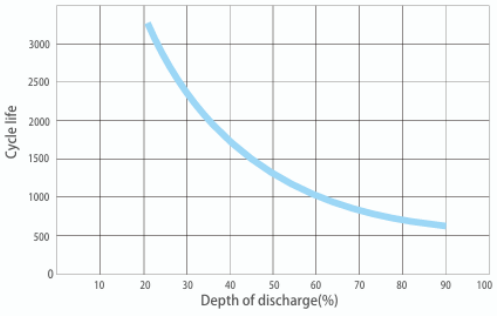
Temperature vs Float Life



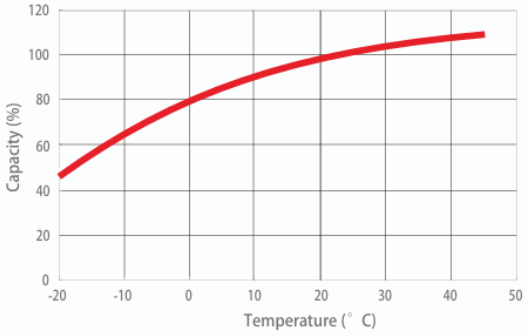
Self discharge characteristics



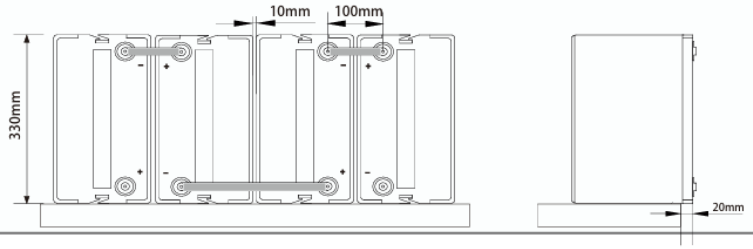
Depth of Discharge vs Cycle Life (25℃)



Capacity vs Temperature



VHR12V 80AH Horizontal Installation Drawing



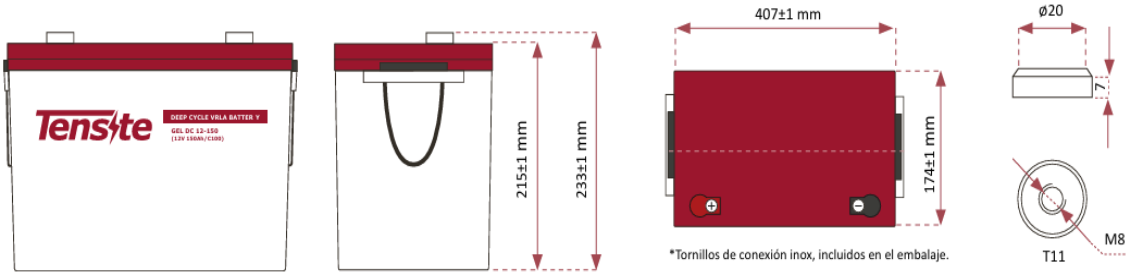
GEL 12-150



CARACTERÍSTICAS

- Tamaño compacto ideal para cualquier tipo de uso.
- Gran rendimiento debido a su ciclo de vida de descarga profunda.
- Ideado para instalaciones fotovoltaicas.

DIMENSIONES



*Tornillos de conexión inox, incluidos en el embalaje.

BATERÍA DE GEL
12V 150 AH



BATERÍA SERIE GEL

Las baterías de la serie GEL incorporan la nueva tecnología CCDR de placa estampada en laminación continua, que permite soportar aplicaciones cíclicas de carga y descarga profundas.
Las baterías utilizan gel de sílice coloidal que inmoviliza el electrolito y elimina la estratificación, diseñadas para una vida útil en flotación de 15 años a 20ºC.
Cumple con los estándares IEC, BS, JIS y Eurobat.

APLICACIÓN

- Sistema de energía de emergencia.
- Equipos de comunicación.
- Sistemas de telecomunicaciones.
- Fuentes de alimentación ininterrumpida.
- Sillas de ruedas eléctricas.
- Juguetes, coches y motos eléctricas.
- Herramientas eléctricas.
- Carros de golf y buggies.
- Equipo marino.
- Equipo médico.
- Sistema de energía solar y eólica.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Sellado de seguridad.
- Tecnología antiderrames.
- Alta densidad de potencia.
- Excelente recuperación de descarga profunda.
- Placas gruesas y materiales altamente activos.
- Mayor vida útil y diseño de baja autodescarga.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MODELO DE BATERÍA	**Voltaje nominal**		12 V	
	Capacidad nominal (100 Horas)		150 Ah	
	Celdas por batería		6	
DIMENSIONES	**Longitud**	**Ancho**	**Altura**	**Altura total**
	407 mm	174 mm	215 mm	223 mm
PESO APROXIMADO	33,6 kg ± 3%			
CAPACIDAD @ 25ºC	**10 horas**	**5 horas**	**3 horas**	**1 hora**
	120 Ah	96 Ah	87 Ah	72 Ah
CORRIENTE DE DESCARGA MÁXIMA	1200 A (5 seg.)			
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	36 A			
RESISTENCIA INTERNA	Cargado por completo a 25°C: Apróximadamente 4,0 mΩ			
CAPACIDAD VS TEMPERATURA	**40°C**	**25°C**	**0°C**	**-15°C**
	102%	100%	85%	65%
AUTODESCARGA @ 25°C	**Después de 3 meses en almacenamiento**		**Tras 6 meses**	**Tras 12 meses**
	91%		82%	64%
MÉTODO DE CARGA @ 25ºC	**Rango de Tensión de Carga uso en Ciclos (Bulk)**		**Rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float)**	
	14,30 - 14,60 V		13,60- 13,80 V	

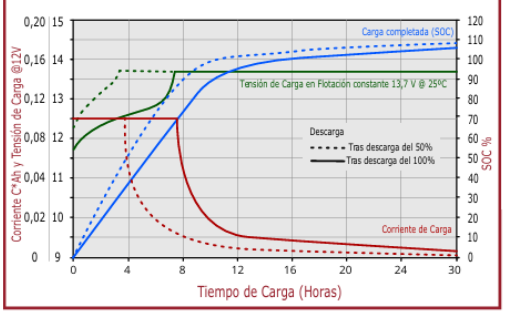
TABLA DE DESCARGA DE BATERÍA

CORRIENTE CONSTANTE (A) Y POTENCIA CONSTANTE (W) TABLA DE DESCARGA A 25ºC									
F.V / TIME		10 min	15 min	30 min	1 hr	3 hrs	5 hrs	10hrs	20 hrs
1.60	A	253.00	204.00	137.00	72.00	31.00	19.80	12.60	6.80
	W	450.66	364.83	245.16	129.66	57.16	37.51	24.25	13.18
1.70	A	228.00	192.00	131.00	68.00	30.00	19.40	12.40	6.60
	W	425.16	358.50	244.66	127.50	57.83	37.76	24.20	12.90
1.75	A	204.00	168.00	122.00	66.00	29.00	19.20	12.10	6.60
	W	387.50	319.83	234.83	126.50	56.83	37.51	23.90	13.00
1.80	A	193.00	156.00	113.00	63.00	28.50	18.70	12.00	6.50
	W	370.16	300.00	217.83	123.00	56.16	36.88	23.76	12.86
1.85	A	180.00	144.00	101.00	61.00	28.00	18.20	11.40	6.10
	W	348.33	279.83	196.50	120.00	54.66	36.28	22.93	12.36

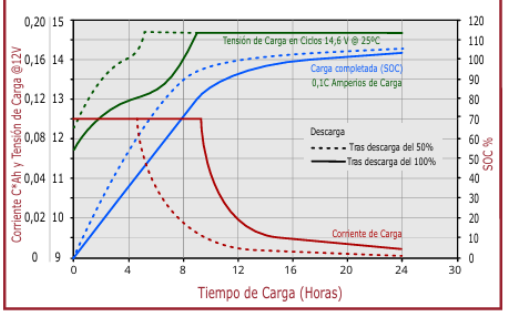
USO EN FLOTACIÓN: La batería está conectada al cargador de forma continua manteniendo la carga al 100% dispuestas para descargas en momentos puntuales. Es el caso de las alarmas, los sistemas de SAI o UPS, sistemas de respaldo, backup en telecomunicaciones.

USO EN CICLOS: La batería se carga y se descarga, repitiendo este ciclo habitualmente. Es el caso de las instalaciones fotovoltaicas de uso residencial (día/noche), los coches eléctricos y en aplicaciones que se consume cuando no hay disponibilidad de carga. El arranque de motores de combustión sería una aplicación que combina ambos tipos de uso.

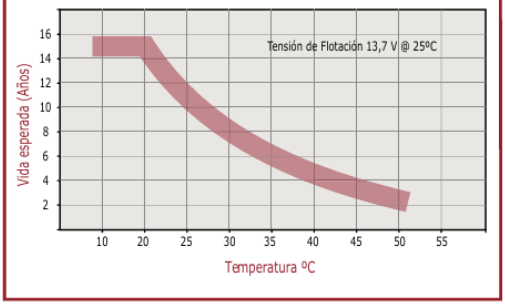
Uso en Flotación: Curvas Características de Carga



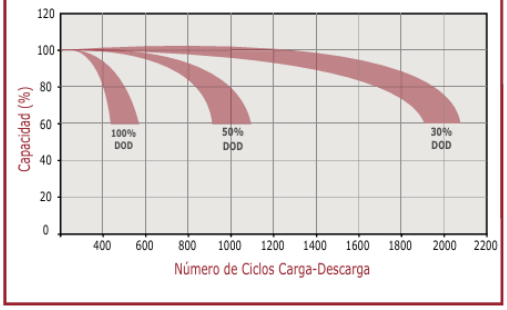
Uso en Ciclos: Curvas Características de Carga



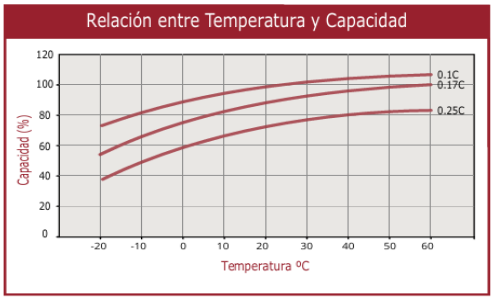
Vida esperada en Flotación y Temperatura



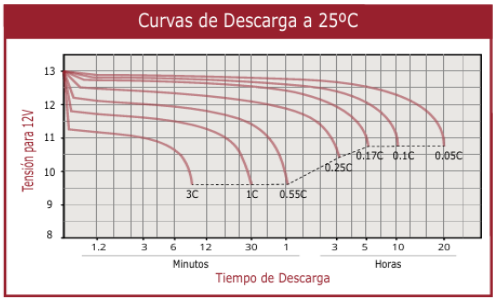
Ciclos vida útil y profundidad Descarga (DOD)



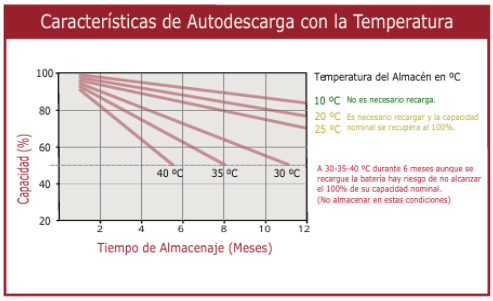
Relación entre Temperatura y Capacidad



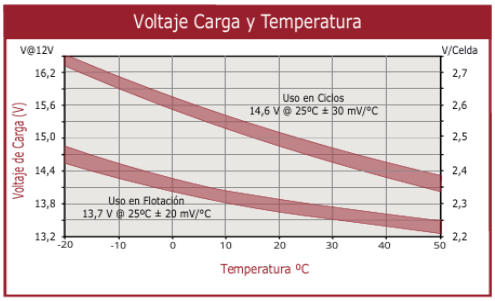
Curvas de Descarga a 25ºC



Características de Autodescarga con la Temperatura



Voltaje Carga y Temperatura



Tensite
info@tensite-energy.com
www.tensite-energy.com



Series	AGM-S	Warranty	See Warranty Terms
Volts	12	Design	8D
Cells	6		
Terminal Type		L6	

Charge | Discharge	
Charge Voltage Range	14.7V @ 25°C (77°F)
Float Voltage Range	13.8V @ 25°C (77°F)
Recommended Charge Current	60 A
Maximum Charge Current	90 A
Self-Discharge Rate	Less than 2% per month at 25°C (77°F)
Internal Resistance	3.0 mΩ

Capacity

Capacity Affect by Temperature	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	102%	100%	85%	65%

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	**380 AH**	**3.8 A**
@ 20 Hour Rate	**300 AH**	**15.0 A**
@ 10 Hour Rate	**285 AH**	**28.5 A**
@ 5 Hour Rate	**255 AH**	**51.0 A**

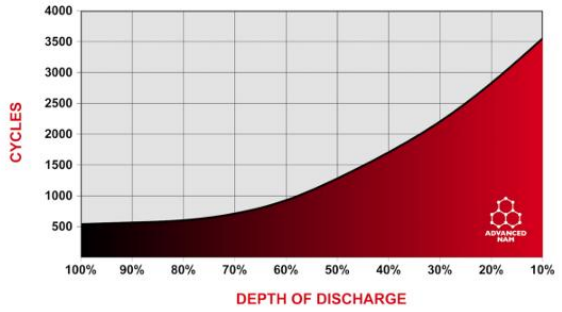
Cut Off Voltage	Constant Current Discharge					
	1 hr	2 hr	3 hr	5 hr	8 hr	10 hr
1.75 VPC	165	98.2	77.4	52.3	35.7	28.9

Specifications		
Weight	78 kg	172 lbs
Length	522 mm	20.55"
Width	269 mm	10.59"
Height Incl. Term.	248 mm	9.76"

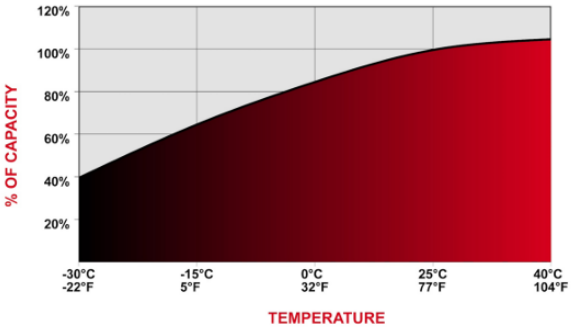
Product measurements & weights are calculated based on sample data. Individual specifications are subject to vary due to the manufacturing process & battery components.

Container	ABS
Cover	ABS
Handles	Rope

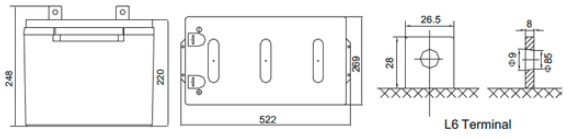
Cycle Life vs. Depth of Discharge



Capacity vs. Temperature



Detailed Illustration



Designed in compliance with applicable BCI, DIN, BS & IEC standards.
Tested in compliance to BCI & IEC standards.

ANEXO 6 Ficha técnica del inversor del sistema fotovoltaico

Inversores Phoenix

250VA – 1200VA 230V y 120V, 50Hz o 60Hz

www.victronenergy.com



Phoenix 12/375 VE.Direct



Phoenix 12/375 VE.Direct



Puerto de comunicación VE.Direct

El puerto VE.Direct puede conectarse a:

- Un ordenador (se necesita un cable de interfaz VE.Direct a USB)
- Smartphones Apple y Android, tabletas, mackbooks y demás dispositivos (se necesita una mochila VE.Direct a Bluetooth Smart)

Totalmente configurable:

- Niveles de disparo de la alarma y restablecimiento por tensión baja de la batería.
- Niveles de desconexión y reinicio por tensión baja de la batería.
- Desconexión dinámica: nivel de desconexión dependiente de la carga
- Tensión de salida 210 - 245V
- Frecuencia 50 Hz o 60 Hz
- On/off del modo ECO y sensor de nivel del modo ECO

Seguimiento:

- Tensión y corriente de entrada/salida, % de carga y alarmas

Fiabilidad probada

La topología de puente completo más transformador toroidal ha demostrado su fiabilidad a lo largo de muchos años.
Los inversores están a prueba de cortocircuitos y protegidos contra el sobrecalentamiento, ya sea debido a una sobrecarga o a una temperatura ambiente elevada.

Alta potencia de arranque

Necesaria para arrancar cargas como convertidores para lámparas LED, halógenas o herramientas eléctricas.

Modo ECO

En modo ECO, el inversor se pondrá en espera cuando la carga descienda por debajo de un valor predeterminado (carga mínima: 15W). Una vez en espera, el inversor se activará brevemente (ajustable; por defecto: cada 2,5 segundos). Si la carga excede el nivel predeterminado, el inversor permanecerá encendido.

Interruptor on/off remoto

Se puede conectar un interruptor On/Off remoto a un conector bifásico o entre el positivo de la batería y el contacto de la izquierda del conector bifásico.



Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

Para transferir la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

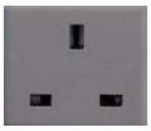
Para nuestros inversores de menor potencia recomendamos nuestro conmutador de transferencia automático Filax. El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

Disponible con tres tomas de corriente distintas

Schuko



UK



AU/NZ



EC-320
(enchufe macho incluido)



Nema 5-15R



Bornes de tornillo

No se necesitan herramientas especiales para su instalación

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga) Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	25/10/10mm² / AWG4/8/8	35/25/25 mm² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8.5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS						
On/Off remoto		Sí				
Conmutador de transferencia automático		Filax				
ESTÁNDARES						
Seguridad		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción		ECE R10-4				

1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
2) Claves de protección:
   a) cortocircuito de salida
   b) sobrecarga
   c) tensión de la batería demasiado alta
   d) tensión de la batería demasiado baja
   h) temperatura demasiado alta
   f) ondulación CC demasiado alta



Alarma de batería
Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



Monitor de baterías BMV
El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería.
El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.



Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart
(Debe pedirse por separado)

ANEXO 7. Tabla de características técnicas del conductor NH-80° fabricado por INDECO.

INDECO
empresa Nexans

TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

ANEXO 8. Conductor NH-80° – Fabricante INDECO.

INDECO
empresa Nexans

FREETOX NH-80

Usos

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados en los cuales ante un incendio, las emisiones de gases tóxicos, corrosivos y la emisión de humos oscuros, pone en peligro la vida y destruye equipos eléctricos y electrónicos, como, por ejemplo, edificios residenciales, oficinas, plantas industriales, cines, discotecas, teatros, hospitales, aeropuertos, estaciones subterráneas, etc.
En caso de incendio aumenta la posibilidad de sobre vivencia de las posibles víctimas al no respirar gases tóxicos y tener una buena visibilidad para el salvamento y escape del lugar.
Generalmente se instalan en tubos conduit.

Descripción

Conductor de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado. Aislamiento de compuesto termoplástico no halogenado HFFR.

Características

Es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libre de halógenos.

Marca

INDECO S.A. FREETOX NH-80 450/750 V <Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

Calibres

1.5 mm² - 300 mm²

Embalaje

De 1.5 a 10 mm², en rollos estándar de 100 metros.

De 16 a 300 mm², en carretes de madera.

Colores

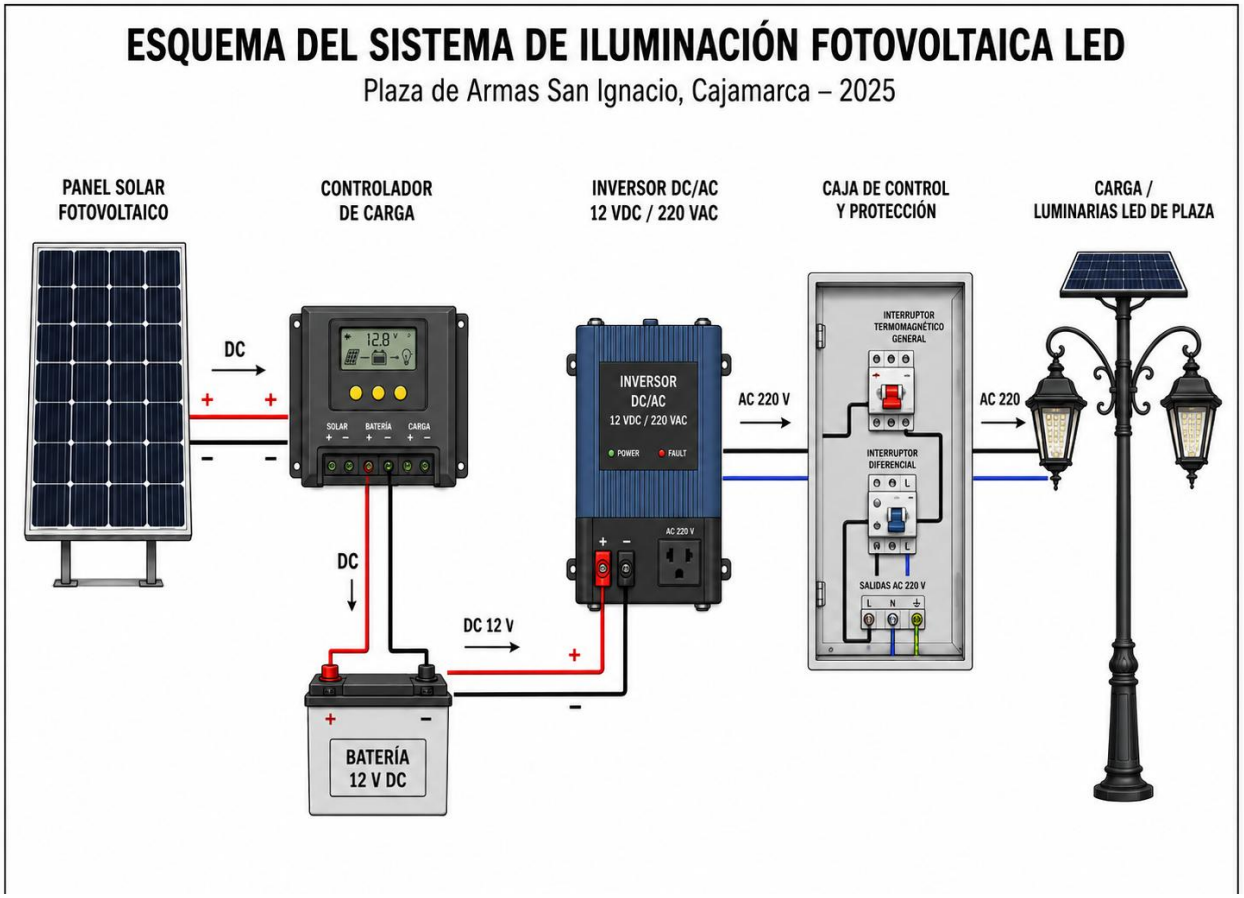
De 1.5 a 10 mm²: blanco, negro, rojo, azul, amarillo, verde y verde / amarillo.

Mayores de 10 mm² sólo en color negro (¹).



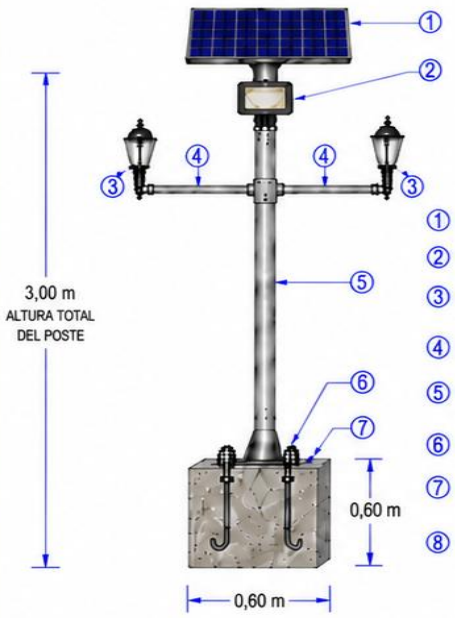
Norma(s) de Fabricación
NTP 370.252
Tensión de servicio
450/750 V
Temperatura de operación
80°C

ANEXO 9. Esquema de conexiones del sistema.



ANEXO 10. Estructuras del sistema de iluminación.

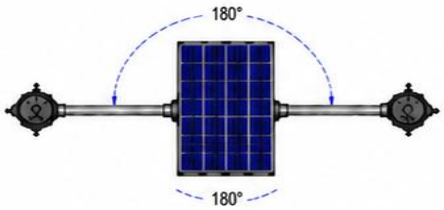
1. ELEVACIÓN FRONTAL – ESTRUCTURA COMPLETA



1. Panel fotovoltaico
2. Reflector LED superior
3. Luminaria LED decorativa tradicional
4. Brazos cortos iguales (180°)
5. Poste metálico galvanizado
6. Plinta base de acero
7. Perno de anclaje tipo "J" Ø 5/8"
8. Pernos de anclaje tipo "J" Ø 5/8"

El dado de concreto es únicamente estructural.
No se incluye ni se requiere conexión equipotencial.

2. VISTA SUPERIOR DE LOS BRAZOS



Brazos rectos iguales en línea recta (180°)

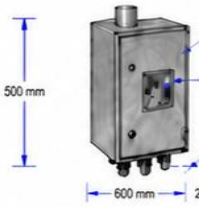
3. DETALLE DEL SOPORTE DEL PANEL SOLAR E INCLINACIÓN



1. Panel fotovoltaico
2. Perfil soporte (acero galvanizado)
3. Placa de soporte con ajuste de inclinación
4. Poste metálico galvanizado

Inclinación del panel solar: 20°
(únicamente aplicable al panel solar)

4. DETALLE DE CAJA DE CONTROL Y PROTECCIÓN (MONTADA EN POSTE)



1. Caja metálica estanca IP65
2. Interruptor termomagnético DC para sistema FV y protección de cargas LED
3. Prensacables para ingreso de cables

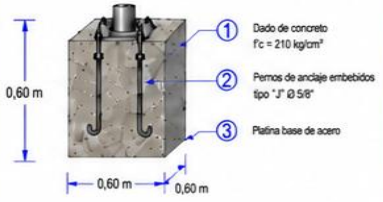
Dimensiones de la caja:
600 mm (ancho) x 500 mm (alto) x 250 mm (profundidad)
Material: Acero galvanizado e=1,5 mm

5. DETALLE DE PLATINA BASE CON PERNOS DE ANCLAJE



1. Poste metálico Ø 3"
2. Soldadura de filete perimetral
3. Platina base de acero e = 12 mm
4. Pernos de anclaje tipo "J" Ø 5/8"

6. DETALLE DEL DADO DE CONCRETO



1. Dado de concreto f'c = 210 kg/cm²
2. Pernos de anclaje embebidos tipo "J" Ø 5/8"
3. Platina base de acero

El dado de concreto es únicamente estructural.
No se incluye ni se requiere conexión equipotencial.

7. DETALLE DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL ENTRE CAJA DE CONTROL Y POSTE METÁLICO



1. Terminal / conector estándar
2. Conductor equipotencial
3. Unión entre caja de control y poste metálico

La conexión equipotencial une la caja de control con el poste metálico para igualar potenciales y seguridad de las partes metálicas.

8. RESUMEN DEL A ESTRUCTURA ESPECIAL

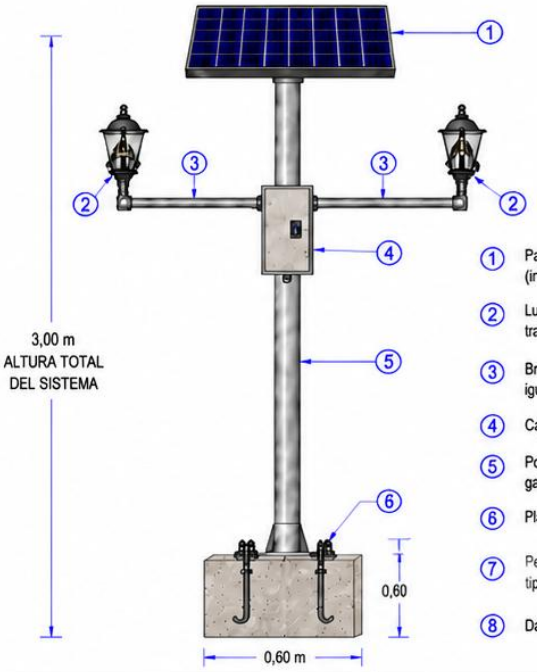
• Altura del poste (sobre nivel de piso)	3,00 m	• Diámetro del poste	Ø 3" (acero galvanizado)
• Brazos (puestas en línea recta)	2 unidades a 180° e iguales en rectos	• Platina base	200 x 200 x 12 mm
• Luminarias	2 faroles LED decorativos	• Pernos de anclaje	4 pernos tipo "J" Ø 5/8"
• Reflector LED superior	1 unidad	• Dado de concreto	0,60 x 0,60 x 0,60 m f'c = 210 kg/cm²
• Panel fotovoltaico (inclinación)	20° (sólo el panel)	• Conexión equipotencial	Entre la caja de control y el poste metálico

PLANO:	ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA LED		
Proyecto:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE LUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025.		
Propietario:	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN IGNACIO.		
Ubicación:	Distrito: SAN IGNACIO.		
	Provincia: SAN IGNACIO.		
	Departamento: CAJAMARCA		
CAD:	WILDER NEIRA VELASCO	**Fecha:**	15/05/2026
Escala:	1/100	**Lámina:**	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

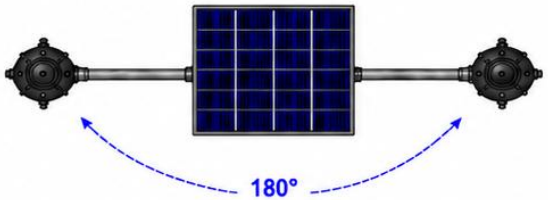
Lámina: A-01

1. ELEVACIÓN FRONTAL – ESTRUCTURA COMPLETA

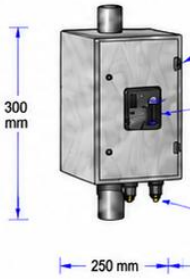


1. Panel fotovoltaico (inclinación 20°)
2. Luminaria LED decorativa tradicional
3. Brazos rectos cortos iguales (180°)
4. Caja de control
5. Poste metálico galvanizado
6. Platina base de acero
7. Pernos de anclaje tipo "J" Ø 5/8"
8. Dado de concreto

2. VISTA SUPERIOR (DISTRIBUCIÓN DE BRAZOS)

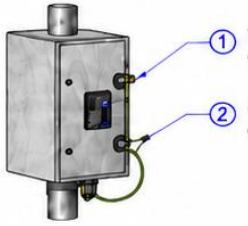


3. DETALLE DE CAJA DE CONTROL



1. Caja metálica estanca IP65
2. Interruptor termomagnético DC para sistema FV y protección de cargas LED
3. Prensacables para ingreso de cables

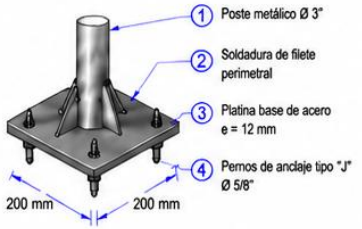
4. DETALLE DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL ENTRE CAJA DE CONTROL Y POSTE METÁLICO



1. Terminal / conector estándar
2. Conductor equipotencial

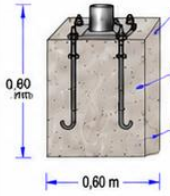
La conexión equipotencial une la caja de control con el poste metálico para igualar potenciales y seguridad de las partes metálicas.

5. DETALLE DE PLATINA BASE CON PERNOS DE ANCLAJE



1. Poste metálico Ø 3"
2. Soldadura de filete perimetral
3. Platina base de acero e = 12 mm
4. Pernos de anclaje tipo "J" Ø 5/8"

6. DETALLE DE DADO DE CONCRETO



1. Dado de concreto f'c = 210 kg/cm²
2. Pernos de anclaje tipo "J" Ø 5/8"
3. Platina base de acero

El dado de concreto es únicamente estructural. No se incluye ni se requiere conexión equipotencial.

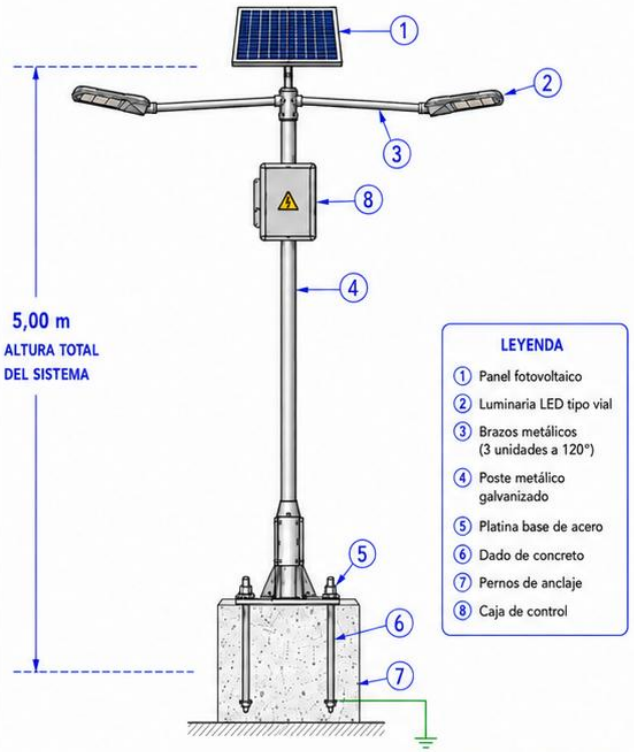
7. RESUMEN DE LA ESTRUCTURA ESPECIAL

• Altura del poste (sobre nivel de piso)	3,00 m	• Diámetro del poste	Ø 3" (acero galvanizado)
• Brazos (puestas en linea recta)	2 unidades a 180° e iguales en rectas	• Platina base	200 x 200 x 12 mm
• Luminarias	2 faroles LED decorativos	• Pernos de anclaje	4 pernos tipo "J" Ø 5/8"
• Panel fotovoltaico (inclinación)	1 unidad (20°)	• Dado de concreto	0,60 x 0,60 x 0,60 m f'c = 210 kg/cm²
• Caja de control	1 unidad (IP65)	• Conexión equipotencial	Entre la caja de control y el poste metálico

PLANO:	ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN		ESCALA: 1/100
PROYECTO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE LUMIINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO. SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025		FECHA: 15/05/2026
PROPIETARIO:	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN ISNACIO		FORMATO: A-02
UBICACIÓN:	DISTRITO:	SAN IGNACIO	LÁMINA: 01 de 01
	PROVINCIA:	SAN IGNACIO	
	DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA	
AUTOR:	WILDER NEIRA VELASCO		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

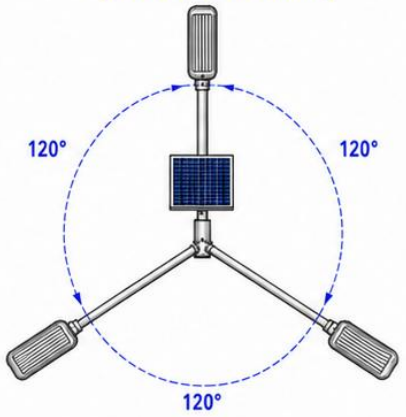
1. ELEVACIÓN FRONTAL – ESTRUCTURA COMPLETA



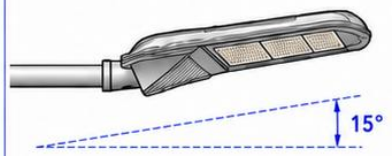
LEYENDA

1. Panel fotovoltaico
2. Luminaria LED tipo vial
3. Brazos metálicos (3 unidades a 120°)
4. Poste metálico galvanizado
5. Platina base de acero
6. Dado de concreto
7. Pernos de anclaje
8. Caja de control

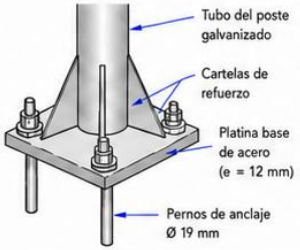
2. VISTA SUPERIOR (DISTRIBUCIÓN DE BRAZOS)



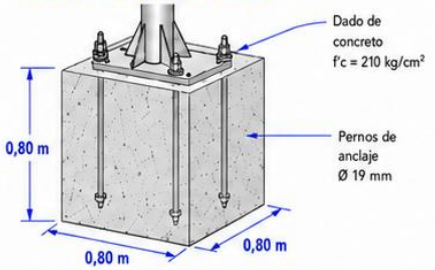
3. INCLINACIÓN DE LUMINARIA (PERFIL)



4. DETALLE DE PLATINA BASE CON PERNOS DE ANCLAJE



5. DETALLE DEL DADO DE CONCRETO



6. NOTAS

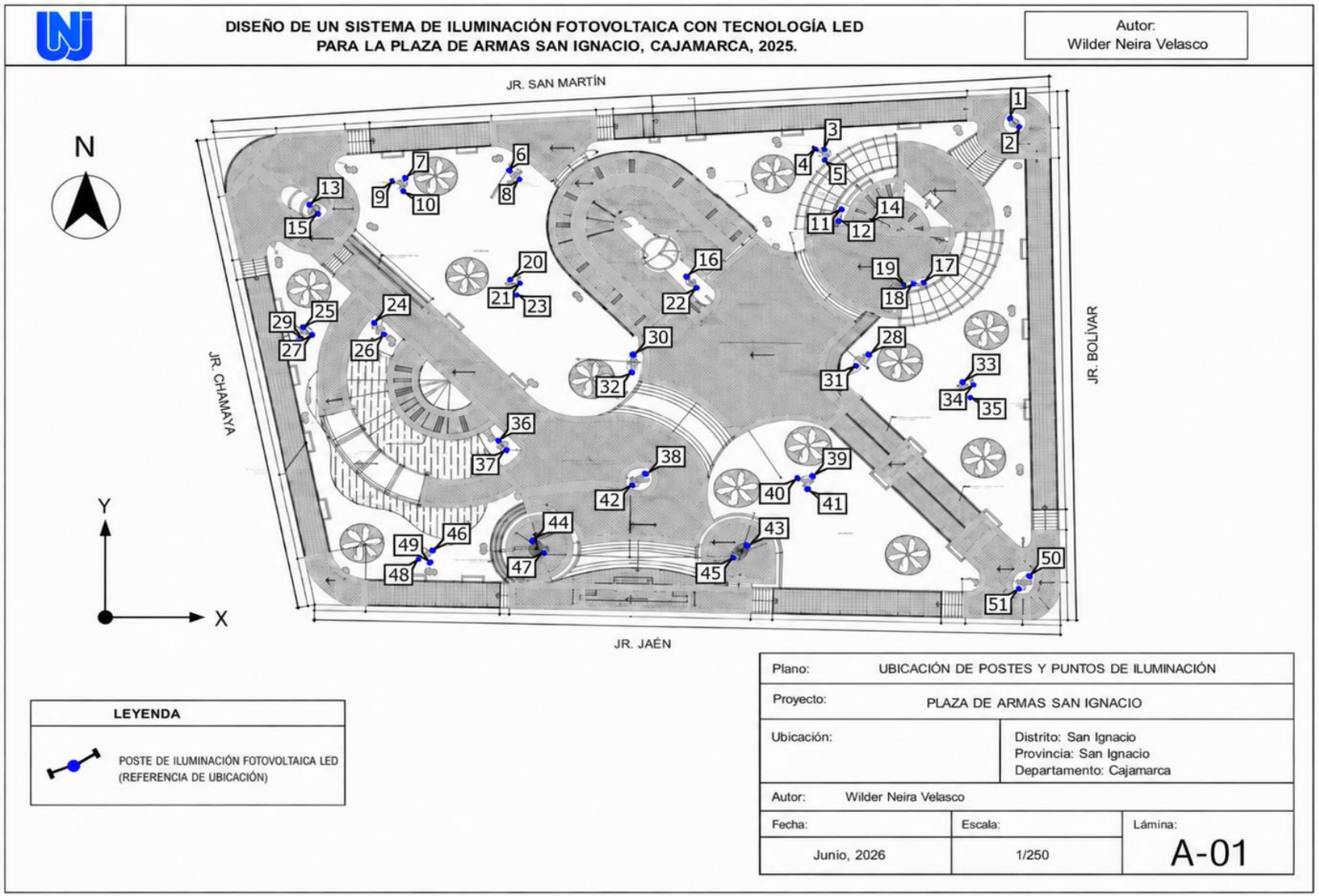
- Instalar sobre cimentación de concreto armado según cálculo estructural del proyecto.
- Verificar orientación e inclinación de las luminarias (15°) para evitar deslumbramiento.
- Conectar a puesta a tierra del poste, luminarias y sistema fotovoltaico auxiliar.
- Usar protecciones termo-magnéticas y diferenciales según norma.
- Todos los materiales metálicos deberán ser galvanizados en caliente.
- Este sistema es referencial; el cálculo definitivo debe ajustarse al diseño lumínico del proyecto.

7. RESUMEN DE LA ESTRUCTURA ESPECIAL

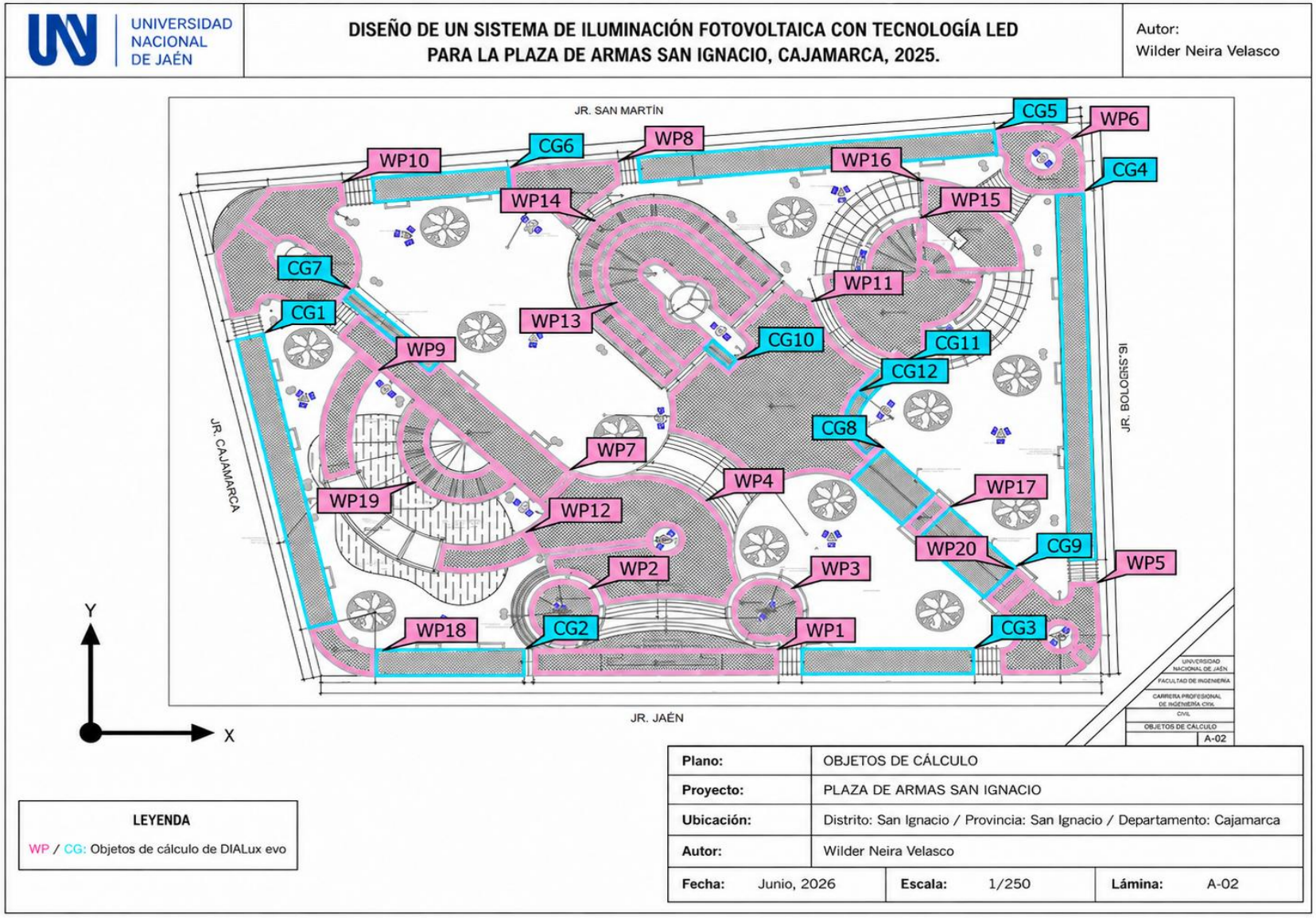
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Altura total del sistema	5,00 m
Distribución de brazos	3 brazos a 120°
Número de luminarias	3 unidades LED tipo vial
Inclinación de luminarias	15°
Número de paneles fotovoltaicos	1 unidad
Material del poste	Acero galvanizado
Platina base	Acero, espesor 12 mm
Pernos de anclaje	4 pernos Ø 19 mm
Dado de concreto	0,80 m x 0,80 m x 0,80 m (f'c = 210 kg/cm²)

PLANO:	ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN		
PROYECTO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025		
PROPIETARIO:	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN IGNACIO		
UBICACIÓN:	Distrito San Ignacio, Provincia San Ignacio, Departamento Cajamarca		
AUTOR:	Wilder Neira Velasco		
FECHA: 15/05/2026	**ESCALA:** 1/100	**FORMATO:** A03	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

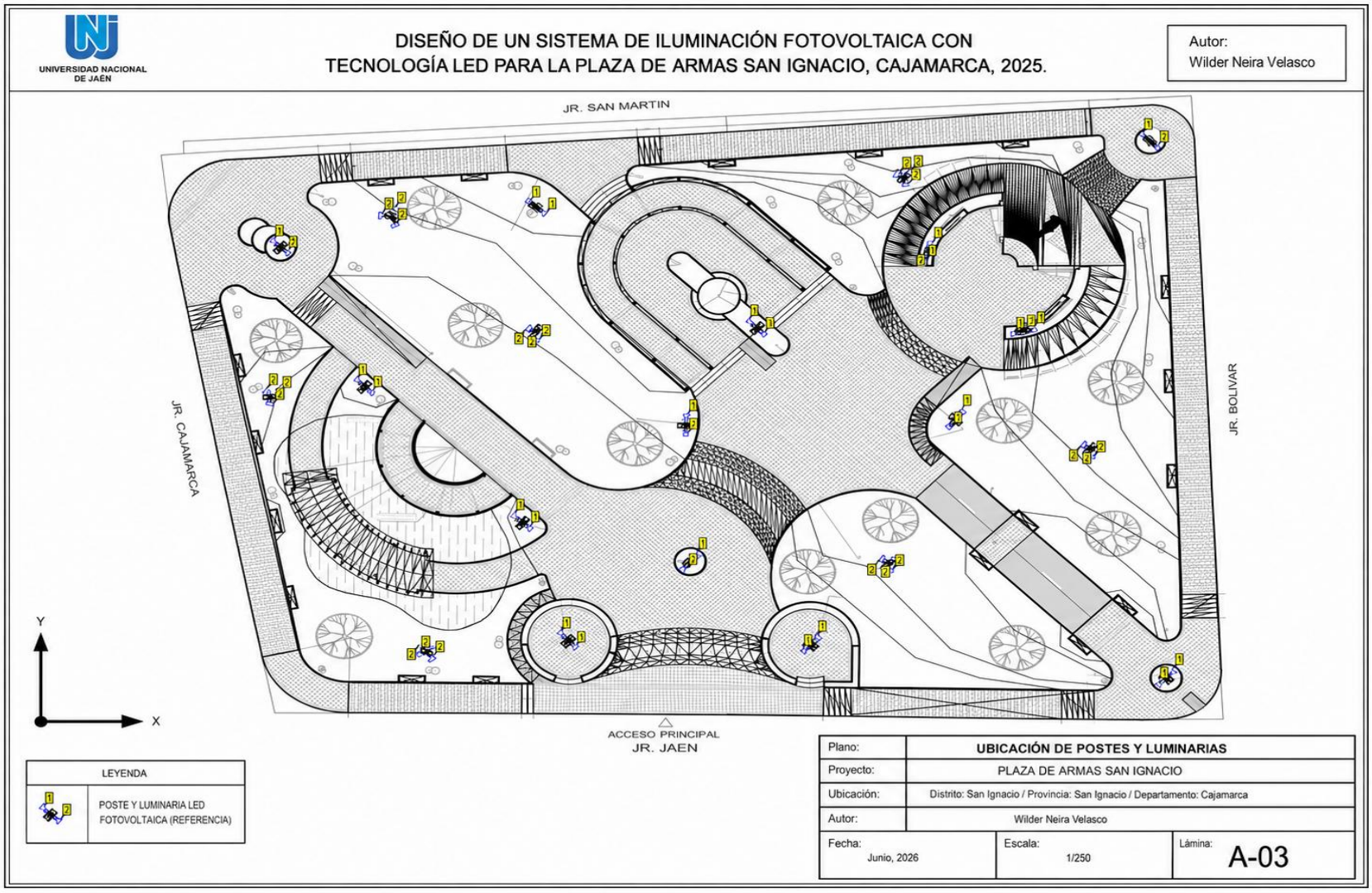
ANEXO 11. Plano del circuito de alumbrado público del sistema fotovoltaico



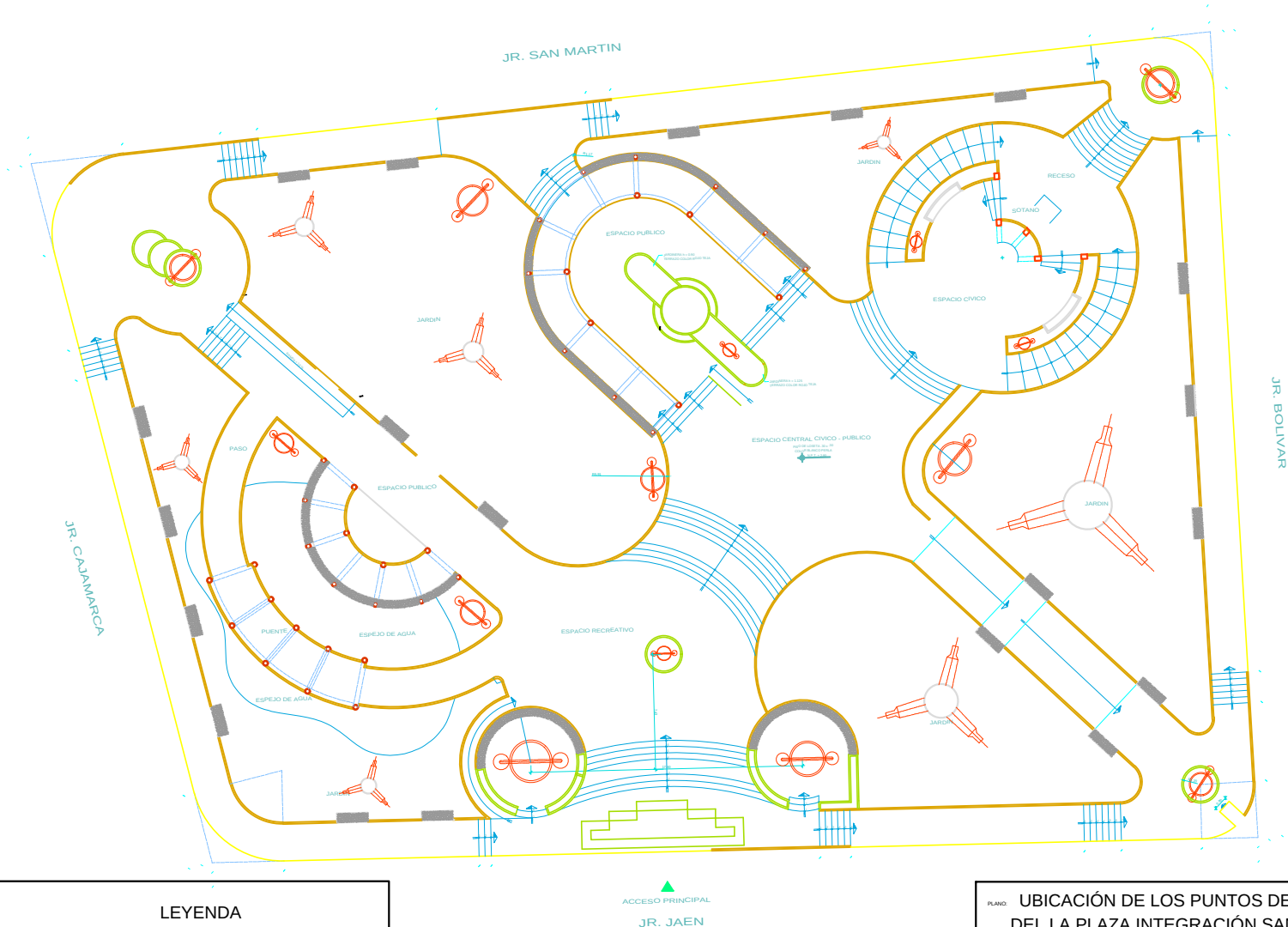
ANEXO 12. Plano de objetos de cálculo del sistema de iluminación en dialux evo



ANEXO 13. Plano de ubicación de postes y luminarias del sistema fotovoltaico



ANEXO 14. PLANO DE LA PLAZA DE ARMAS DE SAN IGNACIO



LEYENDA		
	PASTORAL TRIPLE	7
	PASTORAL DOBLE	14

PLANO: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE POSTES DEL LA PLAZA INTEGRACIÓN SAN IGNACIO

Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA CON TECNOLOGÍA LED PARA LA PLAZA DE ARMAS SAN IGNACIO, CAJAMARCA, 2025

Propietario: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN IGNACIO
SAN IGNACIO - SAN IGNACIO - CAJAMARCA

Ubicación: Distrito: SAN IGNACIO
Provincia: SAN IGNACIO
Departamento: CAJAMARCA

CAD:	FECHA:	ESCALA:
WILDER NEIRA VELASCO	15-06-2026	1-100