

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN
CON TECNOLOGÍA TIMER EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO
PÚBLICO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA
PLAZA DE ARMAS DE SAN ANTONIO DE PUTINA”**

Bach. Roxana Surco Mamani

**Tesis para optar el título de:
Ingeniero en Energías Renovables**

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros



JULIACA - 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍAS RENOVABLES**



**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN
CON TECNOLOGÍA TIMER EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO
PÚBLICO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA
PLAZA DE ARMAS DE SAN ANTONIO DE PUTINA”**

Bach. Roxana Surco Mamani

**Tesis para optar el título de:
Ingeniero en Energías Renovables**

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros



Juliaca – 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA
ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA TIMER EN EL SISTEMA DE
ALUMBRADO PÚBLICO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
EN LA PLAZA DE ARMAS DE SAN ANTONIO DE PUTINA”**

Autor:

Bach. Roxana Surco Mamani

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

Juliaca – 2024

Ficha Catalográfica

SURCO, R. (2024). *Análisis de la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

AUTOR: Roxana Surco Mamani

TÍTULO: Análisis de la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (107 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000023-02/S95

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dr. Henry Pizarro Viveros

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética, alumbrado público, energía solar, tecnología timer, iluminación solar.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA TIMER EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA PLAZA DE ARMAS DE SAN ANTONIO DE PUTINA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentada por:

Bach. Roxana Surco Mamani

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

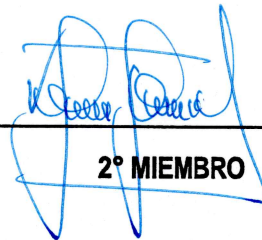
M.sc Jhon Eduardo Abarca Suca

PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Uriel Quispe Mamani

JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

Dr. Elmer Rodrigo Aquino Larico

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA A TIMER EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA PLAZA DE ARMAS DE SAN ANTONIO DE PUTINA

AUTOR

Bach. Roxana Surco Mamani

RECUENTO DE PALABRAS

22048 Words

RECUENTO DE CARACTERES

121241 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

102 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.2MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 15, 2024 9:03 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 15, 2024 9:04 PM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante en cada paso de mi desarrollo personal y profesional, guiándome por el camino del éxito.

A mis padres paulino y Genoveva por confiar en mí y siempre apoyarme en todo el momento. A mi hermano y hermanas donde estuvieron apoyándome y creyendo en mí, impulsándome para que todo esto se hiciera realidad, por enseñarme que todo se puede, que a pesar de las dificultades siempre habrá luz.

Dedico este trabajo a mi familia que ha sido mi impulso y el pilar principal para la culminación de mi tesis, agradezco infinitamente por el apoyo constante y el amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento A mi asesor de tesis Dr. Henry Pizarro Viveros. Por su guía y apoyo en mi proyecto de tesis. siempre estuvo dispuesto a escuchar, y brindarme su tiempo durante todo el desarrollo de mi proyecto de investigación.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, por las enseñanzas impartidas y experiencias compartidas durante los cinco años de mi formación académica.

A mi querida alma mater universidad nacional de Juliaca, por abrirme las puertas para poder realizar mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Indice de tablas	xi
Indice de figuras.....	xii
Lista de anexos.....	xiii
Lista de abreviaturas.....	xiv
Resumen	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	xvii
CAPÍTULO I.....	20
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1 Descripción del problema.....	20
1.2 Formulación del problema.....	21
1.2.1 Formulación del problema general.....	21
1.2.2 Formulación de los problemas específicos	22
1.3 Objetivos de la investigación	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 Justificación	23
1.4.1 Justificación social.....	23
1.4.2 Justificación técnica.....	23
1.4.3 Justificación económica.....	23
CAPÍTULO II	24
REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
2.1 Antecedentes de la investigación	24
2.1.1 Antecedentes internacionales	24
2.1.2 Antecedentes nacionales	28
2.2 Antecedentes regionales	29
2.3 Bases teóricas.....	29
2.3.1 Sistema de iluminación fotovoltaica.....	29

2.3.2	Componentes de un sistema de iluminación fotovoltaico.....	31
2.3.3	Dimensionamiento de la iluminación fotovoltaica.....	34
2.3.4	Inclinación optima de los paneles.....	34
2.3.5	Alumbrado público con luminarias LED.....	34
2.3.6	Iluminación publica en el Perú.....	35
2.3.7	Normativa de alumbrado publico.....	35
2.3.8	Eficiencia energética del sistema de iluminación fotovoltaica.....	36
2.4	Marco conceptual.....	36
2.4.1	Flujo lumínico.....	36
2.4.2	Iluminación o iluminancia.....	37
2.4.3	Temperatura del color.....	37
2.4.4	Sistema fotovoltaico.....	38
2.4.5	Energía solar.....	38
2.4.6	Radiación solar.....	39
2.4.7	Irradiación.....	39
2.4.8	Diagrama unifilar de la iluminación fotoeléctrica.....	40
2.4.9	Vida útil.....	40
CAPÍTULO III.....		41
MATERIALES Y MÉTODOS.....		41
3.1	Formulación de la hipótesis.....	41
3.1.1	Hipótesis general.....	41
3.1.2	Hipótesis específicas.....	41
3.2	Metodología.....	41
3.2.1	Ámbito del proyecto.....	41
3.2.2	Población.....	41
3.2.3	Muestra.....	41
3.2.4	Diagrama unifilar.....	42
3.3	Materiales.....	43
3.3.1	Modulo fotovoltaico.....	43
3.3.2	Batería.....	44
3.3.3	Controlador de carga y timer.....	46
3.3.4	Luminaria.....	48
3.4	Instrumentos.....	49

3.4.1	Plc	49
3.4.2	Módulo de expansión.....	51
3.4.3	Sensor de corriente	52
3.4.4	Sensor de voltaje.....	53
3.4.5	Memoria SD	54
3.4.6	DIALux	54
3.5	Determinación de la demanda lumínica	55
3.5.1	Plano de situación de luminarias.....	55
3.5.2	Objeto de resultado de superficie 9	59
3.5.3	Objeto de resultado de superficie 10	61
3.5.4	Objeto de resultado de superficie 23	64
3.5.5	Objeto de resultado de superficie 27	67
3.6	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	69
3.6.1	Cálculo de potencia máxima de la luminaria	69
3.6.2	Cálculo de consumo máximo	70
3.6.3	Rendimiento global.....	70
3.6.4	Cálculo de batería.....	71
3.6.5	Cálculo del módulo solar	71
3.6.6	Cálculo del controlador de carga.....	72
3.6.7	Calculo para la selección de conductores	73
3.7	Cálculo de viabilidad económica	75
3.7.1	Energía total generada mensual del sistema de iluminación solar	76
3.7.2	Ahorro económico por consumo de energía anual	78
3.7.3	Cálculo de VAN	80
3.7.4	Cálculo de TIR	80
3.7.5	Cálculo de beneficio costo	80
3.7.6	Cálculo del punto de equilibrio	81
CAPÍTULO IV		82
RESULTADOS Y DISCUSION		82
4.1	Resultados.....	82
4.1.1	Demanda lumínica.....	82
4.1.2	Demanda energética.....	83
4.1.3	Viabilidad económica	85

4.2	Discusión	86
CAPÍTULO V	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
5.1.	Conclusiones	88
5.2.	Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores de iluminación.....	37
Tabla 2.	Especificaciones técnicas panel solar 100w 12v momo cristalino.....	44
Tabla 3.	Especificaciones técnicas de la batería Ritar DG (Gel) 12V 100Ah.....	45
Tabla 4.	Especificaciones técnicas del controlador PWM pro 12V 10A Victron.	47
Tabla 5.	Especificaciones técnicas del controlador programable (PLC S7- 1200).	50
Tabla 6.	Especificaciones técnicas del sensor de corriente de 12v 5A.....	53
Tabla 7.	Especificaciones técnicas del sensor de voltaje 12v 5A.....	54
Tabla 8.	Coordenadas de las luminarias.....	58
Tabla 9.	Objeto de resultado de superficies 9.....	60
Tabla 10.	Objeto de resultado de superficies 10.....	63
Tabla 11.	Objeto de resultado de superficies 23.....	65
Tabla 12.	Objeto de resultado de superficies 27.....	68
Tabla 13.	Cálculo de potencia máxima de la luminaria.....	69
Tabla 14.	Características técnicas de los conductores a utilizar.....	75
Tabla 15.	Inversión del sistema de iluminación solar fotovoltaico.	75
Tabla 16.	Inversión de sistema de iluminación convencional.....	76
Tabla 17.	Costo de energía anual del sistema.....	77
Tabla 18.	Costo de energía del sistema solar fotovoltaico por luminaria.....	78
Tabla 19.	cuadro de Flujo de caja.....	79
Tabla 20	Demanda lumínica.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Iluminación fotovoltaica..	30
Figura 2. Orientación del panel fotovoltaico ángulo de inclinación, incidencia e azimut. .	40
Figura 3. Diagrama unifilar del sistema de iluminación fotovoltaica.	42
Figura 4. Modulo fotovoltaico de 100 Watts 12 voltios.....	43
Figura 5. Batería ritar DG (Gel) 12v 100Ah gel	45
Figura 6. Controlador PWM pro 12v10A.....	47
Figura 7. Luminaria lexington HID/LED	48
Figura 8. Controlador programable (PLC S7-1200).....	50
Figura 9 Módulo de expansión para tener más entradas analógicas	52
Figura 10. Sensor de corriente de 12v 5A.....	52
Figura 11. Sensor de voltaje 12v 5A	53
Figura 12. Memoria SD	54
Figura 13. Planes DIALux	55
Figura 14. Tipo de luminaria para la implementar en la plaza de Putina	55
Figura 15. Plano de ubicación de luminarias en la plaza de Putina	56
Figura 16. Análisis de objetos RS9	59
Figura 17. Análisis de objetos RS10	62
Figura 18. Análisis de objetos RS23	65
Figura 19. Análisis de objetos RS27	67
Figura 20. Comparación valores teóricos y prácticos.....	83
Figura 21 cuadro de funcionamiento del timer con luminaria en sistema fotovoltaica.....	84
Figura 22 cuadro de funcionamiento de la luminaria sin timer en sistema fotovoltaico	84
Figura 23. Punto de equilibrio.....	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Prueba de funcionamiento de la iluminación solar.	95
Anexo 2 Perspectiva inferior del módulo fotovoltaico.....	96
Anexo 3 Perspectiva superior del módulo fotovoltaico.....	96
Anexo 4 Ajuste del módulo fotovoltaico.....	97
Anexo 5 Vista superior de la luminaria.....	97
Anexo 6 Módulo de medición que consta de sensores de voltaje corriente y PLC	98
Anexo 7 Modulo controlador programable para encendido apagado y batería. Tipo gel	99
Anexo 8 Vista general del sistema de iluminación fotovoltaica.....	99
Anexo 9 Luxómetro digital. para prueba de iluminación.....	100
Anexo 10 ficha técnica de la batería de 12v 100ah tipo gel	101
Anexo 11 ficha técnica del panel solar utilizado de tipo monocristalino	103
Anexo 12 ficha técnica del controlador timer utilizado en el sistema.....	105
Anexo 13 ficha técnica del PLC para la adquisición de datos	106
Anexo 14 ficha técnica del módulo de expansión del PLC	107

LISTA DE ABREVIATURAS

A	: Amperios, unidad de intensidad de corriente eléctrica
Ah	: Amperio-hora, unidad de carga eléctrica
DC	: Corriente continua
EM-010	: Código de Norma Técnica de Alumbrado de Exteriores del RNE
H	: horas
K	: Kelvin, unidad de temperatura de color
KWh	: KiloWatio-hora, unidad de energía
LED	: Diodo emisor de luz
Lm	: Lumen, unidad de flujo luminoso
lúmenes/W	: Unidad de eficiencia luminosa
lux	: Unidad de iluminancia
lx	: Lux, unidad de iluminancia
m	: metros
mm²	: milímetros cuadrados, unidad de área de cables
PWM	: Modulación por ancho de Pulso
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
V	: Voltios, unidad de fuerza electromotriz
W	: Watios, unidad de potencia
Wh	: Vatio-hora, unidad de energía
Wp	: Vatio pico, unidad de potencia de módulos fotovoltaicos

RESUMEN

Esta investigación abordó el análisis de la eficiencia energética de un sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la Plaza de Armas de San Antonio de Putina, Puno, Perú. El actual sistema de iluminación de la plaza consta de 28 luminarias que presentan deficiencias en su funcionamiento debido a fallas técnicas. Ante esta problemática, el objetivo general de la investigación fue analizar la eficiencia energética del sistema utilizando un módulo fotovoltaico con un controlador timer y luminarias LED de 40W. La metodología consistió en modelar la demanda lumínica del sistema actual en el software Dialux y comparar los niveles de iluminancia y uniformidad obtenidos de valores recomendados en la norma técnica peruana EM-010 de Alumbrado Exterior. Luego se realizó el dimensionamiento de la demanda energética y selección de los componentes fotovoltaicos necesarios mediante cálculos analíticos. Finalmente, se evaluó la viabilidad económica del proyecto calculando indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y relación Beneficio/Costo. Los resultados del modelado lumínico en Dialux evidenciaron una iluminancia promedio entre 18 y 22 lux en las áreas principales de la plaza, cumpliendo con los más de 10 lux mínimos reglamentarios. Sin embargo, se detectaron valores insuficientes de uniformidad lumínica en algunas zonas periféricas. El dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico resultó en la selección de un módulo de 100Wp, una batería de 100Ah/12V y un controlador de carga de 10A/12V, satisfactoriamente adaptados a la demanda eléctrica. La evaluación económica mostró un VAN positivo de S/44,258.00, una TIR de 15.4% mayor a la tasa de descuento considerada y una relación Beneficio/Costo de 1.37, confirmando la rentabilidad de implementar esta modernización del alumbrado solar. Concluyéndose que la propuesta de un sistema de iluminación pública solar con luminarias LED y controlador con timer representa una alternativa técnicamente viable y económicamente.

Palabras clave: Eficiencia energética, alumbrado público, energía solar, tecnología timer, iluminación solar.

ABSTRACT

This research addressed the analysis of the energy efficiency of a solar photovoltaic public lighting system in the Plaza de Armas of San Antonio de Putina, Puno, Peru. The current lighting system of the plaza consists of 28 luminaires that present deficiencies in their operation due to technical failures. Faced with this problem, the general objective of the research was to analyze the energy efficiency of the system using a photovoltaic module with a timer controller and 40W LED luminaires. The methodology consisted of modeling the lighting demand of the current system in the Dialux software and comparing the illuminance and uniformity levels obtained from the values recommended in the Peruvian technical standard EM-010 for Outdoor Lighting. Then, the energy demand was sized and the necessary photovoltaic components were selected through analytical calculations. Finally, the economic viability of the project was assessed by calculating financial indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Benefit/Cost ratio. The results of the lighting modeling in Dialux showed an average illuminance between 18 and 22 lux in the main areas of the square, complying with the minimum regulatory 10 lux. However, insufficient lighting uniformity values were detected in some peripheral areas. The energy sizing of the photovoltaic system resulted in the selection of a 100Wp module, a 100Ah/12V battery and a 10A/12V charge controller, satisfactorily adapted to the electrical demand. The economic evaluation showed a positive NPV of S/44,258.00, an IRR of 15.4% higher than the discount rate considered and a Benefit/Cost ratio of 1.37, confirming the profitability of implementing this modernization of solar lighting. It was concluded that the proposal for a solar public lighting system with LED luminaires and a timer controller represents a technically and economically viable alternative.

Keywords: Energy efficiency, public lighting, solar energy, timer technology, solar lighting.

INTRODUCCIÓN

La iluminación pública es un servicio esencial que brindan los gobiernos locales para garantizar la visibilidad y seguridad de los ciudadanos durante las horas nocturnas en espacios como parques, jardines y plazas (Cáceres, 2018). Este alumbrado exterior permite el tránsito seguro de peatones y vehículos, contribuyendo a la calidad de vida y al ordenamiento urbano.

Sin embargo, la Agencia Internacional de Energía (2021) advierte que los sistemas de alumbrado público tradicionales representan un consumo energético significativo para los municipios. Las luminarias de descarga como los vapores de mercurio, sodio o metal haluros implican altos costos operativos por su baja eficiencia lumínica y mayor consumo eléctrico. Además, Lumileds (2019) señala que estas luminarias convencionales tienen vida útil reducida, elevados requerimientos de mantenimiento y generan contaminación lumínica perjudicial para los ecosistemas.

Ante esta problemática, la tecnología de iluminación LED surge como una alternativa más eficiente y sostenible para la gestión del alumbrado público. De acuerdo con Philips (2017), las luminarias LED mejoran la relación lumen/vatio, durabilidad, reproducción cromática y control de la luz respecto a opciones tradicionales, reduciendo costos de energía y mantenimiento. Así mismo lo modular de los LED facilita la integración con sistemas de control y tecnologías de la información para optimizar y monitorear el uso de la iluminación.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica representa una fuente de electricidad limpia y renovable que puede abastecer sistemas de alumbrado público de forma autónoma, sin depender de la red eléctrica convencional. Según GreenMatch (2021), la generación fotovoltaica para uso exclusivo en iluminación exterior se ha expandido fuertemente en los últimos años gracias a la reducción de costos de esta tecnología. Los sistemas solares para alumbrado público ofrecen beneficios como el ahorro sustancial en el consumo eléctrico para los municipios, así como aspectos ambientales al evitar emisiones contaminantes.

Sin embargo, el diseño de sistemas de iluminación pública solar enfrenta retos particulares por la naturaleza variable e intermitente del recurso solar. Arenas y Zapata (2011) señalan que el dimensionamiento de los equipos fotovoltaicos debe realizarse cuidadosamente según la demanda energética prevista, considerando reguladores de carga, baterías y capacidad de los paneles solares. Así mismo, Narvarte (2009) destaca la importancia de modelar detalladamente las necesidades de iluminación del espacio en términos de niveles de

iluminancia, uniformidad lumínica y reproducción cromática, para luego seleccionar las luminarias LED más eficientes.

En síntesis, la transición hacia sistemas de iluminación pública que integren luminarias LED de alta eficiencia con generación solar fotovoltaica y estrategias de control representa una alternativa prometedora para mejorar la sostenibilidad y reducir costos operativos de este servicio municipal. No obstante, es indispensable abordar adecuadamente los desafíos técnicos que implica el diseño e implementación de estas soluciones de iluminación avanzada para garantizar su efectividad.

La presente investigación tiene como objetivo general analizar la eficiencia energética de la iluminación pública solar con tecnología LED y controlador con temporizador en la Plaza de Armas del distrito de San Antonio de Putina, región Puno del Perú. Actualmente este espacio público dispone de 28 luminarias que funcionan deficientemente debido a fallas técnicas, resultando en una iluminación irregular que no satisface las necesidades de visibilidad y seguridad de los transeúntes.

Mediante modelado computacional de la demanda lumínica con el software Dialux, seguido del dimensionamiento analítico del sistema fotovoltaico y la evaluación económica, se determinará la viabilidad de renovar el actual sistema de alumbrado por luminarias LED de 40W alimentadas mediante energía solar y controladas con un temporizador programable. Los resultados permitirán establecer si esta solución energéticamente eficiente aplicada al espacio público resulta técnica y económicamente factible, sentando un precedente de modernización sostenible del alumbrado para el municipio y la región.

La presente investigación está dividida en cinco capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del Problema. Se describe la problemática de deficiencias en el funcionamiento del actual sistema de alumbrado de la Plaza de Armas de San Antonio de Putina. Se formula el problema general y específicos, objetivos, hipótesis y la justificación de realizar este estudio.

Capítulo II: Revisión de Literatura. Se incluye la revisión bibliográfica de investigaciones previas relacionadas y las bases teóricas sobre energía solar fotovoltaica, luminarias LED, modelado lumínico y aspectos económicos de proyectos de alumbrado público solar.

Capítulo III: Materiales y Métodos. Detalla la metodología aplicada en esta investigación incluyendo el modelado computacional de la demanda lumínica en Dialux, el dimensionamiento analítico de los componentes del sistema solar y el análisis económico mediante indicadores como VAN, TIR y B/C. Se especifica la ubicación de la Plaza de Armas e instrumental de medición.

Capítulo IV. Resultados y Discusión. Se presentan los resultados obtenidos del modelado lumínico, dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico y la evaluación de rentabilidad económica. También se discute el contraste con estudios previos pertinentes.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones. Se resumen las conclusiones de la investigación, respondiendo a los objetivos. También se plantean recomendaciones para mejorar la eficiencia energética del alumbrado público solar en la localidad estudiada y en la región.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La iluminación de espacios públicos como plazas y parques es un servicio primordial brindado por los gobiernos locales para garantizar la visibilidad, seguridad y bienestar de los ciudadanos durante las horas nocturnas (Cáceres, 2018). Este alumbrado exterior permite la realización de actividades recreativas y el tránsito seguro de peatones y vehículos en horarios sin luz solar.

Sin embargo, un reporte de la Agencia Internacional de Energía (2021) advierte que el alumbrado público representa un considerable gasto eléctrico para las municipalidades a nivel global, llegando a constituir hasta el 40% del total de su consumo energético. A su vez, los sistemas de iluminación tradicionales basados en lámparas de descarga como vapor de mercurio, sodio o metal haluros implican costos crecientes por su limitada vida útil, baja eficiencia lumínica y elevados requerimientos de mantenimiento (Lumileds, 2019).

En esa línea, un estudio del Banco Mundial (2017) sobre la gestión del alumbrado público en el Perú identificó múltiples deficiencias, incluyendo el envejecimiento de luminarias, insuficiente mantenimiento e inexistencia de controles automatizados en la mayoría de las municipalidades evaluadas. Esta realidad repercute en un servicio de iluminación deficiente que no satisface los estándares técnicos vigentes, afectando la visibilidad nocturna y seguridad ciudadana, a la vez que se perpetúan altos costos energéticos para los municipios.

Ante este panorama, la tecnología LED surge como una alternativa de iluminación más eficiente y sostenible para espacios exteriores públicos. Según Philips (2017), las luminarias LED mejoran sustancialmente métricas como vida útil promedio (hasta 100,000 horas), reproducción cromática, encendidos/apagados, control de la luz dirigida y resistencia mecánica y ambiental en comparación a las obsoletas lámparas de descarga. Asimismo, presentan mayor eficiencia energética, llegando hasta 150 lúmenes/vatio frente a los 60-120 lum/W de opciones convencionales.

Así mismo, la integración con sistemas de control y tecnologías de información potencia las capacidades de gestión remota, regulación flexible y monitoreo en tiempo real del nuevo alumbrado LED (Philips, 2017). Esto abre posibilidades para diseñar e implementar sistemas de iluminación exterior “inteligentes”, los cuales optimizan automáticamente el uso de la luz según variaciones del entorno y patrones de tránsito peatonal en cada ubicación.

Por otra parte, la generación solar fotovoltaica representa una fuente de electricidad renovable, limpia y ampliamente disponible en la banda solar peruana, con alto potencial para iluminar de forma autónoma espacios públicos que actualmente dependen de la red eléctrica convencional (León et al., 2017). Según GreenMatch (2021), la adopción global de sistemas de alumbrado público fotovoltaico se ha expandido aceleradamente durante la última década gracias a la creciente eficiencia y competitividad de esta tecnología.

No obstante, Arenas y Zapata (2011) indican que el aprovechamiento efectivo de la energía solar en iluminación pública conlleva el reto de un adecuado dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos según la demanda eléctrica prevista. Aspectos como la capacidad y números de paneles, tipo de baterías, regulación de carga y selección de luminaria influyen decisivamente en la confiabilidad y optimización de estos sistemas.

En síntesis, la transición hacia sistemas de iluminación pública más eficientes y sostenibles, mediante la incorporación de luminaria LED, generación fotovoltaica y estrategias de control inteligente, representa una solución energética y económicamente viable para mejorar este servicio municipal. Sin embargo, son necesarios más estudios técnicos que dimensionen y modelen a profundidad esta clase de sistemas solares de iluminación bajo las condiciones locales.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del Problema General

¿Cómo se analizará la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica de la plaza de armas de San Antonio de Putina?

1.2.2 Formulación de los Problemas Específicos

¿Cómo la demanda lumínica contribuirá a la eficiencia de la iluminación del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina?

¿En qué medida se determinará la demanda energética del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina?

¿Será viable económicamente la implementación del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica con controlador timer en la plaza de armas de San Antonio de Putina?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica de la plaza de armas de San Antonio de Putina.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar la demanda lumínica para la mejora de eficiencia de la iluminación del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina.

Determinar la demanda energética del sistema de alumbrado público con tecnología timer con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina.

Evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema de alumbrado público con energía solar de la plaza de armas San Antonio de Putina.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Con el desarrollo de este proyecto esta investigación se podrá utilizar en futuros proyectos fotovoltaicos de iluminación aplicados a parques, avenidas principales, jardines, etc. que algunos municipios de la región ya están utilizando. En ese sentido, la utilización de controladores tipo timer contribuirá a la optimización del servicio, notando el trabajo del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaico la población dará más confianza a las energías renovables.

1.4.2 Justificación técnica

La presente investigación se desarrolla el análisis de la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica, logrando el óptimo rendimiento de los módulos fotovoltaicos y garantizando el funcionamiento correcto en las horas requeridas, mejorando así la eficiencia energética de la iluminación con tecnología del controlador timer. Los proyectos fotovoltaicos de iluminación pública que están funcionando o dejaron de hacerlo en municipios en la región de sistemas fotovoltaicos son cada vez más comunes en las municipalidades de la región. Sin embargo, algunos de esos proyectos presentan diversas fallas, ya sean por la mala instalación o inadecuada elección de equipos para la zona.

1.4.3 Justificación económica

Los proyectos relacionados a iluminación pública de sistemas fotovoltaicos son económicamente viables, pero en la parte de funcionamiento los equipos no trabajan según la ficha técnica indicada por lo cual se da más inversión a otro tipo de tecnologías de iluminación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

La literatura internacional muestra importantes resultados, así podemos mencionar a Jaime et al (2023) en su artículo se centra en la implementación de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones residenciales, acoplados al almacenamiento de energía basado en baterías, y evalúa su eficiencia en la generación de energía, específicamente para la iluminación en edificios. La metodología se basa en la detección de señales interarmónicas para caracterizar frecuencias potencialmente disruptivas e identificar los orígenes de diversas fallas. Se presentan múltiples estudios de caso para validar la eficacia del método, incluido uno que involucra circuitos de lámparas fluorescentes y otro que examina las variaciones en la radiación solar durante la temporada de verano. Los experimentos del mundo real se llevan a cabo en un entorno residencial y los resultados se analizan minuciosamente. Se demuestran diversos tipos de comportamientos de generación interarmónica, los cuales están influenciados por las fluctuaciones de la radiación solar y la adecuada instalación de paneles solares. Los resultados revelan que la ausencia de radiación solar por debajo de $300 W/m^2$ en un sistema fotovoltaico basado en el almacenamiento de energía afecta negativamente a los interarmónicos en las luminarias instaladas dentro de un espacio residencial.

El estudio realizado por Alcivar et al. (2023) perseguía el doble propósito de suministrar energía eléctrica y sensibilizar respecto a la importancia de disponer de fuentes de energía renovables en comunidades con escasez de servicios básicos debido a limitaciones de recursos, especialmente en aquellas zonas de complicado acceso o remotas por su geografía. El proyecto se llevó a cabo en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar, situada en la comunidad de La Masa 2, provincia de Guayas, donde la ausencia de electricidad representa un desafío significativo para la educación de niños en etapas iniciales. La implementación del proyecto no solo resolvió la cuestión de la iluminación en las aulas, extendiendo las horas disponibles para el estudio, mejorando la concentración y reduciendo la fatiga visual durante la lectura, sino que también facilitó la incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el proceso

educativo. Este trabajo incluye una descripción detallada de la comunidad de La Masa 2, proporcionando datos demográficos, el número de viviendas, actividades económicas, prácticas religiosas y métodos de generación de energía, con el objetivo de identificar las necesidades específicas de la población. La recolección de estos datos se realizó mediante investigación bibliográfica y trabajo de campo, con la intención de fundamentar futuras investigaciones que contribuyan al progreso comunitario. Como resultado final, se proporcionó a la escuela un sistema fotovoltaico aislado de 400 W, cuyo diseño se basó en un análisis detallado de la carga y la demanda energética. El proceso incluyó cálculos analíticos y simulaciones por software para determinar las necesidades del generador, baterías, controlador de carga e inversor, estableciendo un uso diario del sistema de seis horas. Adicionalmente, la Universidad Politécnica Salesiana donó un ordenador para apoyar el aprendizaje de los estudiantes, complementando así la infraestructura educativa tecnológica.

En su artículo publicado Vennila et al. (2022) menciona que el alumbrado público con energía solar es una tecnología de energía verde para reducir el costo de electricidad para iluminar las calles por la noche. La energía solar recibida durante el día se convertirá en electricidad para cargar la batería. El aspecto clave del alumbrado público es el controlador de carga adecuado para el sistema de gestión de la batería. El sistema propuesto ayuda a cargar la batería entre los límites de tensión superior e inferior, además de la comprobación continua del estado del nivel de carga de la batería. Se logra aumentando o disminuyendo la corriente de carga según los requisitos del sistema. El uso eficiente de la energía solar en el sistema de alumbrado público se logra mediante el controlador de carga solar basado en convertidor ZETA. Este controlador protege la batería de sobrecargas y descargas profundas. Dado que el convertidor ZETA está hecho para actuar como controlador de carga además del seguimiento del punto de máxima potencia, el convertidor se utiliza para optimizar el sistema de alumbrado público para reducir las pérdidas de energía y el costo. El circuito diseñado proporciona un camino alternativo a la alimentación cuando la batería está completamente cargada. Por lo tanto, en el concepto de arquitectura centralizada del sistema de alumbrado público fotovoltaico, este diseño proporciona una mejor solución alternativa.

En su publicación científica Ahmed et al (2022) nos dice que el alumbrado público solar descentralizado es una solución económica en áreas remotas. Sin embargo, las

condiciones no uniformes exigen un proceso eficiente de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Mientras tanto, es preferible implementar un algoritmo MPPT menos sofisticado en un convertidor rentable para reducir el costo del sistema. En este artículo, se propone un enfoque actual de MPPT sin sensores, basado en el modelo de espacio de estados del convertidor, que reduce el costo del controlador MPPT. Además, se compromete entre la precisión del seguimiento, el tiempo y la simplicidad de implementación debido al algoritmo de perturbación y observación de paso variable aplicado. En cuanto al convertidor MPPT, se selecciona D1 ya que supera la limitación de corriente de entrada discontinua que presentan los convertidores reductores/elevadores convencionales. En consecuencia, las fluctuaciones de potencia fotovoltaica disminuyen con un número mínimo de componentes del convertidor, lo que mejora la eficiencia del seguimiento. Además, se elimina el gran condensador de salida fotovoltaica, lo que aumenta la fiabilidad del sistema. La simulación y los resultados experimentales del prototipo desarrollado validan el enfoque sin sensores propuesto. Por último, un estudio de mercado verifica la relación coste-efectividad unitaria propuesta por el MPPT en comparación con otras en la literatura.

En su divulgación Davidovic y Kostic (2022) abordan la comparación de luminarias convencionales generalmente de sodio de alta presión (HPS) y LED en el alumbrado público no suele basarse en soluciones de iluminación fotométricamente equivalentes y/o en un análisis económico correcto, lo que puede llevar a una sobreestimación o subestimación de ahorros de cualquier tipo. Por lo tanto, este artículo presenta una metodología correcta para la determinación de indicadores reales de eficiencia energética y costos en alumbrado público / vial. Se consideraron tanto los LED de color blanco neutro (NW) como los de blanco cálido (WW), todas las clases de alumbrado público y los diseños de postes relevantes. Analizando las soluciones de iluminación óptimas, caracterizadas por la menor potencia instalada, se demostró que al considerar los efectos mesópicos el ahorro energético medio logrado comparando las soluciones de iluminación LED (NW y WW) con las HPS ascendió al 41-62% y al 29-59%, respectivamente, mientras que la relación entre los costes totales de las soluciones de iluminación LED (NW y WW) y HPS comparables perteneció a los rangos de 0.59-1.26 y 0.61-1.14 respectivamente. Un análisis de sensibilidad ampliado de los costos, realizado considerando no solo las tarifas de descuento y costo de electricidad que generalmente se toman, sino también la vida útil del paquete LED, mostró que este último solo influye

ligeramente en los costos totales. También se analizaron los efectos del uso de paquetes LED más eficientes que se esperan en un futuro próximo.

En su artículo científico Gnana et al. (2022) plantean soluciones de iluminación exterior son clave para una urbanización segura. Es importante que la evaluación de la iluminación se realice en la etapa de diseño teniendo en cuenta los parámetros cruciales como el diseño respetuoso con el medio ambiente, la contaminación lumínica y la eficiencia energética. Estos parámetros cruciales se cumplen mediante el uso meticuloso de los estándares de iluminación en todas y cada una de las etapas del diseño de iluminación. Este proceso se inclina aún más naturalmente hacia la realización de soluciones de iluminación sostenibles para las generaciones futuras. En este artículo, se considera un estudio de caso de un campus de Tecnología de la Información (TI) que requiere un sistema de iluminación exterior adecuado. La iluminación exterior es muy esencial desde el punto de vista de la seguridad y también para la circulación de personas y vehículos durante la noche. Por lo tanto, es necesario diseñar e implementar un esquema de iluminación efectivo. Para lograrlo es necesario realizar extensos cálculos y simulaciones de iluminación en la plataforma de software DIALUX.

En su publicación Naranjo et al. (2018) llevaron a cabo un análisis tecno-económico sobre la sustitución de fotocontroladores por temporizadores electrónicos en el sistema de iluminación del servicio público en Bogotá, Colombia. Previamente, las luminarias urbanas se activaban mediante fotocontroladores, dispositivos que sufrían daños continuos debido a factores ambientales adversos, vandalismo y fallos operativos, acarreando un incremento en los costos de mantenimiento. La disfunción de los fotocontroladores resultaba en que muchas luminarias permanecían encendidas ininterrumpidamente durante días, lo que provocaba un consumo energético superfluo. El estudio de Naranjo y colaboradores concluyó que la adopción de temporizadores electrónicos mejora considerablemente la eficiencia del servicio de alumbrado público. Estos dispositivos permiten una gestión energética más precisa al ajustarse a horarios preestablecidos, optimizando el uso de la energía y contribuyendo a una reducción de los gastos operativos. La investigación demostró que la transición a un sistema de control de iluminación basado en temporización electrónica no solo es viable, sino también económicamente beneficiosa y energéticamente eficiente para la ciudad.

Otro estudio mostrado por Caicedo, et al. (2017), quien implementó un sistema de iluminación temporizada mediante una tarjeta de bajo costo (Arduino) para controlar la iluminación del contorno de una capilla en una pequeña ciudad llamada cantón Jipijapa en el Ecuador. Este sistema de iluminación con control temporizado otorgó un mejor manejo energético porque el sistema encendía solamente los días y en la hora programada, finalmente este sistema también otorgó mayor seguridad y beneficios a los habitantes del sector.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En el contexto peruano, es relevante destacar la investigación efectuada por Pérez (2019), quien desarrolló un diseño de sistema de iluminación fotovoltaico basado en tecnología LED para el alumbrado de un parque en la ciudad de Jaén, región de Cajamarca. Este sistema se alimentaba mediante paneles fotovoltaicos y fue concebido como una alternativa a las luminarias convencionales. El estudio implicó una comparativa teórica entre la iluminación proporcionada por diodos emisores de luz (LED) y las opciones de iluminación tradicionales. Las unidades de iluminación LED seleccionadas para este proyecto tenían una potencia de 67 W y operaban a una tensión de 12 V, siendo alimentadas por módulos fotovoltaicos con una capacidad de 130Wp. A partir de un detallado análisis económico, Pérez concluyó que la inversión inicial requerida para la implementación de este sistema de iluminación se recuperaría en un periodo estimado de siete años, subrayando así la viabilidad económica del proyecto a largo plazo.

En un estudio realizado por Bravo y Pérez (2016), se abordó la eficiencia energética en una empresa de fabricación de bombas centrífugas en Lima, identificando que el inadecuado manejo de las luminarias contribuía a un aumento innecesario del consumo de energía y, por ende, a pérdidas económicas considerables. Para abordar esta problemática, los investigadores implementaron un sistema de control automatizado para la gestión de las luminarias, con el objetivo de asegurar que solo se activaran durante los periodos productivos. La incorporación de esta tecnología permitió evitar el funcionamiento de las lámparas en momentos en que no eran necesarias, lo que resultó en una reducción significativa del gasto energético y, por consiguiente, en una disminución del costo asociado a la factura eléctrica mensual de la empresa. La investigación resaltó la relevancia de los sistemas de control automatizado como una estrategia efectiva para optimizar el consumo energético en el sector industrial.

2.2 Antecedentes Regionales

En la esfera de investigación local, es pertinente referirse al trabajo de Cáceres (2018), quien logró disminuir el consumo eléctrico y mejoró la eficiencia lumínica en el Instituto de Informática de la Universidad Nacional del Altiplano (INFOUNA), a través de la implementación de un sistema fotovoltaico combinado con tecnología LED. El proyecto consistió en la instalación de luminarias LED de bajo consumo en diferentes áreas del instituto, lo cual resultó en una reducción significativa del gasto energético mensual. La investigación de Cáceres estableció que el sistema de iluminación no solo cumplía con los estándares de iluminancia exigidos por la normativa aplicable, sino que también era económicamente viable debido a los costos de implementación. La conclusión del estudio enfatiza la efectividad de los sistemas de iluminación basados en energía solar y LED como una solución sostenible y rentable para instituciones educativas, promoviendo así un modelo energético más sostenible en el sector académico.

Según fue mostrado en los antecedentes, esta metodología de control automático de sistemas de iluminación obtuvo buenos resultados, unido al uso adecuado de luminarias tipo LED torna a los sistemas eficientes.

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Sistema de iluminación fotovoltaica

Un sistema de iluminación está diseñado para ofrecer visibilidad óptima y cumplir con los requerimientos estéticos de un espacio y las actividades específicas que se desarrollan en él. Este diseño involucra la selección cuidadosa de luminarias y lámparas que suministren el nivel de iluminación idóneo para las tareas a realizar, minimizando los efectos del deslumbramiento directo y reflejado, y procurando siempre la eficiencia energética para reducir el coste operativo (Cáceres, 2018).

Las luminarias solares representan un tipo de sistema de iluminación autónomo que se instala en postes o paredes y opera mediante la conversión de energía solar fotovoltaica. La energía captada se almacena en baterías, lo que permite suministrar energía sostenible para el alumbrado nocturno.

Los beneficios primordiales de las lámparas y luminarias solares en el alumbrado público incluyen su costo operativo muy bajo o inexistente, ya que generan su propia energía. Además, fomentan la conciencia ambiental y el cuidado del medio ambiente (Trex, 2019).



Figura 1. Iluminación fotovoltaica. (Cáceres, 2018).

Los beneficios de la iluminación solar son múltiples:

- Reducción de costos de energía, al no requerir electricidad de la red.
- Disminución de la huella de carbono, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.
- Menos dependencia de la infraestructura de energía convencional, lo que aporta a la resiliencia de los sistemas de alumbrado frente a interrupciones eléctricas.
- Facilidad de instalación, al no necesitar cableado extenso ni conexiones a la red eléctrica.
- Mantenimiento reducido, debido a la durabilidad de las luminarias LED y a la naturaleza autónoma del sistema solar.

2.3.2 Componentes de un sistema de iluminación fotovoltaico

a. Módulo fotovoltaico (generador fotovoltaico)

Los dispositivos a los que se refiere Arenas y Zapata (2011) son módulos fotovoltaicos, cuya función primordial es captar la radiación solar y convertirla en corriente eléctrica a través del efecto fotovoltaico. La configuración de estos módulos en un sistema fotovoltaico puede ser en serie o en paralelo, dependiendo de las necesidades específicas de voltaje y corriente del sistema.

Cuando los módulos fotovoltaicos se conectan en serie, el voltaje total del arreglo es la suma de los voltajes individuales de cada módulo. Sin embargo, la corriente de salida del arreglo en serie es la misma que la corriente de un solo módulo, dado que la corriente es constante a lo largo de toda la serie.

En contraste, al conectar los módulos en paralelo, la corriente total es la suma de las corrientes de cada módulo, pero el voltaje de salida se mantiene igual al voltaje de un solo módulo. Esta configuración permite aumentar la capacidad de corriente del sistema sin cambiar el voltaje.

Por tanto, la cantidad de módulos conectados en serie define el voltaje del sistema, y la cantidad de módulos conectados en paralelo determina la corriente que el sistema puede proporcionar a una carga. La figura 6, a la que se hace referencia, probablemente ilustre la diversidad de diseños y fabricaciones de módulos fotovoltaicos disponibles, mostrando cómo estos pueden variar en términos de tamaño, forma, tipo de célula solar y otras características técnicas.

b. Baterías (acumuladores)

La intermitencia inherente a la radiación solar conlleva una producción de energía eléctrica igualmente variable, lo cual presenta un desafío particular para los sistemas fotovoltaicos que operan de manera autónoma, es decir, desconectados de la red eléctrica. Para superar este desafío, se requieren sistemas de almacenamiento de energía que garanticen un suministro continuo durante los períodos en los que la generación solar es insuficiente o nula, como durante la noche o días nublados (Cáceres, 2018).

En los sistemas fotovoltaicos, las baterías desempeñan este papel crucial de almacenamiento. La selección de la batería adecuada es un aspecto fundamental en el diseño del sistema fotovoltaico, dado que sus propiedades afectan directamente a la configuración de varios componentes del sistema. Entre las consideraciones más importantes a la hora de elegir una batería para un sistema fotovoltaico se encuentran:

- Tipos de carga: La naturaleza de los dispositivos y aplicaciones que la batería necesitará alimentar.
- Potencia total: La cantidad de energía que los dispositivos requerirán durante su funcionamiento.
- Ciclos de consumo: La frecuencia y patrón de descarga y carga que la batería experimentará, basados en el uso previsto del sistema.

La elección de la batería debe ser cuidadosa y debe tener en cuenta las necesidades específicas del sistema para asegurar tanto la eficiencia como la longevidad del sistema de almacenamiento de energía. Esto incluirá el análisis de las características técnicas de las baterías disponibles, como la capacidad, la vida útil, la profundidad de descarga, la eficiencia y la robustez ante las condiciones ambientales (Arenas y Zapata, 2011).

c. Regulador de carga:

El componente descrito por Arenas y Zapata (2011) es conocido como regulador de carga, y es esencial en cualquier sistema fotovoltaico. Su función principal es la gestión de la energía que fluye hacia y desde la batería para garantizar su operación óptima y prolongar su vida útil.

El controlador de carga realiza dos tareas críticas:

- Gestión de la Carga: Evita la sobrecarga de la batería. Cuando la batería alcanza su capacidad máxima, el controlador detiene o limita la corriente proveniente de los paneles solares, evitando así el daño por sobrecarga. Esto puede implicar el corte total del flujo de corriente o su reducción a un nivel de mantenimiento, dependiendo del tipo de controlador y de la tecnología de la batería.
- Gestión de la Descarga: Protege la batería contra descargas profundas. Cuando la batería se descarga hasta un nivel críticamente bajo, el controlador desconecta los circuitos de consumo para evitar una descarga excesiva que podría dañar la batería o

reducir drásticamente su vida útil. Esto se conoce como protección contra descarga profunda.

Los reguladores de carga modernos pueden incluir funcionalidades adicionales, como el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) para maximizar la eficiencia de los paneles solares, pantallas que muestran el estado de carga, y conexiones para sistemas de monitoreo remoto. La selección de un controlador de carga apropiado depende de las especificaciones del sistema fotovoltaico, incluyendo el tipo y tamaño de las baterías, la capacidad de los paneles solares y las demandas de carga del sistema.

d. Elementos de protección del circuito:

Los elementos mencionados por Arenas y Zapata (2011) forman parte del conjunto de medidas de protección en un sistema fotovoltaico. Estos componentes tienen la función de salvaguardar el sistema frente a condiciones adversas como las descargas eléctricas o las sobrecargas que pueden ocurrir debido a fallos o circunstancias anómalas. Entre estos elementos se incluyen:

- **Diodos de bloqueo:** Son semiconductores que permiten el flujo de corriente en una sola dirección. Su función en los sistemas fotovoltaicos es prevenir que la corriente se revierta y descargue las baterías hacia los paneles solares cuando no hay producción de energía, como durante la noche.
- **Diodos de bypass:** Están diseñados para proteger los paneles solares de las sombras parciales. Si una parte de un panel solar queda sombreada, puede actuar como una resistencia y empezar a disipar energía, lo que podría causar daños. Los diodos de bypass se activan para permitir que la corriente evite la sección sombreada, protegiendo así el panel y manteniendo la eficiencia del sistema.
- **Interruptores de desconexión:** Permiten aislar físicamente partes del sistema para realizar mantenimiento o en caso de emergencia.
- **Conexiones a tierra:** Son esenciales para la seguridad eléctrica. Aseguran que, en el caso de una fuga de corriente, ésta se dirija a la tierra, protegiendo a las personas y a otros componentes del sistema.

Todos estos dispositivos son esenciales para el funcionamiento seguro y eficiente de un sistema fotovoltaico, ya que trabajan en conjunto para proteger contra los efectos

perjudiciales que podrían reducir la eficiencia del sistema o incluso provocar daños irreparables.

2.3.3 Dimensionamiento de la iluminación fotovoltaica

Primero se realizará el cálculo de dimensionamiento de la iluminación fotovoltaica mediante tecnología de controlador timer, tomando en cuenta la potencia de la iluminación led, estableciendo los datos de la inclinación y radiación solar, para lo cual se usarán las siguientes fórmulas para calcular (Arenas y Zapata, 2011).

2.3.4 Inclinación óptima de los paneles

La inclinación óptima de los paneles solares es un factor crucial para maximizar su eficiencia y la cantidad de energía eléctrica que pueden generar. La inclinación óptima depende de varios factores, principalmente la latitud del lugar donde se instalan los paneles y la estación del año. Aquí hay algunas pautas generales: (Arenas y Zapata, 2011).

2.3.5 Alumbrado público con luminarias LED

Según Jinchuña (2020), un sistema de alumbrado LED se conceptualiza como un ensamble que integra la tecnología LED para la creación de una luminaria lista para ser utilizada. Este sistema permite la incorporación de la fuente de luz LED junto con todos los componentes necesarios para su óptimo funcionamiento y la protección de los elementos más sensibles. Asimismo, incluye circuitos auxiliares y las conexiones adecuadas para la red eléctrica. Los dispositivos que componen un sistema de alumbrado LED son:

- **Luminarias (Armazón):** Estructura que alberga los componentes de la luminaria, proporcionando soporte físico y contribuyendo a la gestión térmica y a la protección contra factores externos.
- **Tiras o módulos LED:** Conjuntos de diodos emisores de luz dispuestos en formato de tiras o módulos, que actúan como la fuente de iluminación.
- **Drivers:** Dispositivos electrónicos que regulan la potencia suministrada a los LEDs, proporcionando la corriente constante necesaria para su funcionamiento eficiente.

- Circuitos Eléctricos y Electrónicos: Conjunto de componentes electrónicos y conductores que hacen posible la operación del sistema, incluyendo la distribución de energía y el control de funciones.

2.3.6 Iluminación pública en el Perú

La iluminación pública abarca el sistema de alumbrado de calles, avenidas, parques y plazas que tiene como objetivo principal garantizar la seguridad en el tránsito de peatones y vehículos, lo que a su vez contribuye significativamente a la calidad de vida de la población.

De acuerdo con el Artículo 94° de la Ley de Concesiones Eléctricas, la gestión del servicio de Alumbrado Público recae sobre los concesionarios de distribución eléctrica, que tienen la responsabilidad de mantener el correcto funcionamiento del alumbrado en las avenidas, calles y espacios públicos.

El costo de este servicio es sufragado por todos los usuarios del sistema eléctrico y su monto se calcula según lo estipulado en el Artículo 184° del Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas. Este coste aparece reflejado en la factura de energía eléctrica de los usuarios y su recolección está supervisada por el organismo regulador Osinergmin, según su publicación del año 2013.

2.3.7 Normativa de alumbrado publico

El Artículo 94° del Decreto Legislativo N° 25844, conocido como la Ley de Concesiones Eléctricas, establece que los concesionarios de distribución eléctrica son los responsables de proporcionar el servicio de alumbrado público. Esto incluye el alumbrado de avenidas, calles, parques y plazas. Según la normativa, la factura por el consumo de energía correspondiente al alumbrado público debe ser asumida por el municipio de la jurisdicción en cuestión.

Si el municipio incurre en mora, es decir, no realiza el pago por dos meses consecutivos, el costo del servicio se repercutirá directamente a los usuarios finales, conforme al procedimiento detallado en el Reglamento. En tal escenario, el municipio estará obligado a dejar de recaudar el arbitrio que normalmente se cobraría por este servicio.

Adicionalmente, las Municipalidades tienen la facultad de realizar, por su propia cuenta y costo, instalaciones que superen los estándares establecidos en el contrato. Si optan por esta mejora, también deben cubrir los costos derivados del consumo de energía, así como los de operación y mantenimiento de estas instalaciones especiales (Osinergmin, 2018).

2.3.8 Eficiencia energética del sistema de iluminación fotovoltaica

En el ámbito de la iluminación se centra en la minimización del consumo energético, manteniendo al mismo tiempo los niveles de iluminación adecuados para las actividades previstas y favoreciendo la protección ambiental. Al diseñar sistemas de alumbrado público, particularmente en parques y jardines municipales, es crucial definir los niveles mínimos de iluminación requeridos que aseguren la seguridad y confort de los usuarios, al tiempo que se previene la contaminación lumínica, que puede tener efectos negativos tanto para la fauna como para la visibilidad nocturna del cielo estrellado.

De acuerdo con la normativa vigente, las instalaciones de alumbrado para el ambiente vial, que incluye la iluminación de parques y jardines, deben satisfacer ciertos estándares mínimos de eficiencia energética. Estos estándares están estipulados y tabulados, proporcionando guías claras para el diseño e implementación de sistemas de alumbrado que sean energéticamente eficientes y sostenibles (SinCeO2, 2018).

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Flujo lumínico

El flujo luminoso representa la cantidad total de luz emitida por una fuente de luz, siendo el lumen la unidad de medida correspondiente para cuantificar este flujo en el Sistema Internacional de Unidades. Un concepto crucial relacionado es el de "lúmenes iniciales", el cual se refiere a la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz antes de que esta complete las primeras 100 horas de funcionamiento. Este indicador es fundamental para evaluar la eficacia luminosa de una fuente de luz nueva. Es importante distinguir que cuando se habla del flujo luminoso de un luminario completo, la medida tiende a ser inferior al flujo emitido únicamente por las lámparas. Esto se debe a que el propio diseño del luminario a menudo absorbe parte de la luz generada, lo cual reduce la cantidad total de luz que efectivamente se proyecta en el espacio que se pretende iluminar (Cáceres, 2018).

2.4.2 Iluminación o iluminancia

El flujo luminoso que incide sobre una unidad de superficie se denomina "iluminancia". La unidad de medida para la iluminancia es el lux (lx), que corresponde a un lumen por metro cuadrado. En otras palabras, un lux es el flujo luminoso que ilumina de manera uniforme una superficie de un metro cuadrado con un lumen de luz. Esta medida es esencial para determinar cuánta luz está siendo efectivamente recibida en una superficie, lo cual es crítico para diseñar sistemas de iluminación adecuados para espacios de trabajo, viviendas, áreas públicas, entre otros.: donde: $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$. (León, 2007) ver tabla 1.

Tabla 1.

Valores de iluminación

Escenario	Iluminancia	
Una noche sin luz	0.01	Lux
Una noche con luna llena	0.2	Lux
Una noche con alumbrado público en las calles	5 - 20	Lux
Una oficina con buena iluminación	500	Lux
Un aparato bien iluminado	3000	Lux
un día claro con cielo nebuloso	20000	Lux
Un día de verano a pleno sol	100000	Lux

Nota. Adaptado de León (2007)

2.4.3 Temperatura del color

La temperatura de color de una luminaria es una característica que describe la percepción de la tonalidad de la luz emitida y cómo esta influye en el aspecto visual del entorno iluminado. Esta temperatura se mide en kelvin (K) y se basa en el principio del cuerpo negro, un objeto ideal que irradia luz cuya coloración depende exclusivamente de la temperatura a la que está sometido. (Jinchuña Illa, 2020).

Para determinar la temperatura de color de una fuente de luz, se compara la tonalidad de la luz emitida por la luminaria con la luz emitida por un cuerpo negro a diferentes temperaturas. Cuando la tonalidad de la luz de la luminaria coincide con la del cuerpo negro, la temperatura a la cual el cuerpo negro emite esa tonalidad se toma como la temperatura de color de la luminaria (Jinchuña Illa, 2020).

Los colores emitidos por las luminarias se clasifican según su temperatura de color en:

- Colores fríos: Incluyen el azul y el violeta, con temperaturas de color superiores a 5000 K. Estas tonalidades suelen asociarse con una luz diurna o con la luz de un cielo despejado y sin nubes.
- Colores intermedios: Comprenden colores como el amarillo y algunas tonalidades de verde, con temperaturas de color entre 3300 K y 5000 K. Estos colores son percibidos como neutros y se asocian a menudo con la luz del sol al mediodía.
- Colores cálidos: Incluyen el rojo y el naranja, con temperaturas de color inferiores a 3300 K. Estos colores evocan la luz de un atardecer o la luz de las velas y suelen crear un ambiente acogedor y relajante.

La elección de la temperatura de color adecuada es fundamental en el diseño de iluminación para crear el ambiente deseado y puede influir en varios aspectos psicológicos y funcionales del entorno iluminado.

2.4.4 Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico se compone de una serie de componentes eléctricos cuya función es transformar la energía lumínica del sol en energía eléctrica utilizando el efecto fotovoltaico. La escala de estos sistemas puede oscilar significativamente, abarcando desde configuraciones pequeñas y autónomas, ideales para aplicaciones individuales o residenciales, hasta instalaciones de gran envergadura utilizadas en proyectos comerciales de producción de energía a gran escala (SinCeO2, 2018).

2.4.5 Energía solar

La energía solar, una forma de energía renovable obtenida a partir de las radiaciones emitidas por el Sol, aprovecha tanto la luz como el calor solar. Esta fuente de energía es una de las más explotadas y desarrolladas alrededor del mundo debido a su abundancia y disponibilidad.

La Tierra recibe una cantidad de energía solar que es muchas veces superior al consumo energético global anual, lo que evidencia su vasto potencial. La energía solar ofrece un amplio espectro de aplicaciones en diversos sectores debido a su amplia disponibilidad.

La radiación solar que puede ser efectivamente utilizada es la radiación directa, es decir, la que llega sin ser refractada por la atmósfera terrestre. A través de la energía solar, es posible generar diferentes formas de energía (León y Miranda, 2013).

2.4.6 Radiación solar

El Sol es una fuente de energía masiva que produce energía a través de procesos de fusión nuclear en su núcleo. La energía resultante de estas reacciones nucleares se libera en el espacio como radiación solar. Esta radiación es una forma de energía electromagnética que viaja a través del espacio y llega a la atmósfera terrestre. Según Castejón y Santamaría (2010), el espectro de radiación solar que alcanza nuestro planeta abarca longitudes de onda que van desde aproximadamente 0.15 micrómetros hasta 4 micrómetros.

Este espectro incluye varias bandas de radiación, como los rayos ultravioletas, la luz visible y la radiación infrarroja, cada una con diferentes longitudes de onda y, por tanto, distintas cantidades de energía. La capacidad de aprovechar esta radiación para generar energía eléctrica o térmica es la base de tecnologías como la solar fotovoltaica y la solar térmica, que transforman la energía del sol en formas de energía útiles para el consumo humano.

2.4.7 Irradiación

La integración de las irradiancias sobre un periodo de tiempo específico se refiere a la suma total de la energía solar irradiada en una superficie por unidad de tiempo. Esta cantidad de energía se mide en julios por metro cuadrado (J/m^2) y puede ser evaluada en diferentes intervalos temporales, tales como por hora, día, semana, mes o año, dependiendo del contexto del análisis.

En el contexto de la energía solar y su conversión a energía eléctrica, es común utilizar el Watt-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) como la unidad de medida. Esta unidad representa la energía producida o consumida a una tasa constante de un Watt durante una hora, distribuida sobre un metro cuadrado. Para aplicaciones prácticas, especialmente en la evaluación de sistemas fotovoltaicos a gran escala, se utilizan unidades más grandes, como el kilowatt-hora por metro cuadrado (kWh/m^2) y el megawatt-hora por metro cuadrado (MWh/m^2), que son múltiplos del Watt-hora y facilitan el manejo de cifras más grandes asociadas con la generación de energía (Castejón y Santamaría, 2010).

2.4.8 Diagrama unifilar de la iluminación fotoeléctrica

Un diagrama unifilar, también conocido como diagrama unilineal o esquema unifilar, es una representación simplificada de un sistema o una red eléctricos. En este diagrama, todos los conductores de un circuito multi conductor se representan con una sola línea, de ahí el término "unifilar" o "unilineal". Los diagramas unifilares son herramientas esenciales en la ingeniería eléctrica para representar visualmente la distribución de la energía eléctrica en un nivel alto. Se utilizan para la planificación y el diseño de sistemas eléctricos, así como para fines de documentación y solución de problemas.

2.4.9 Vida útil

La orientación adecuada de los paneles solares es crucial para maximizar su eficiencia en la captación de energía solar. En el hemisferio sur, donde se sitúa la zona de estudio mencionada por Dávalos Pongo (2019), al suroeste del meridiano de Greenwich, la orientación óptima para los paneles solares es hacia el norte. Esta orientación norte se recomienda porque el sol en el hemisferio sur se desplaza por el cielo en una trayectoria que está al norte del observador. Por tanto, al orientar los paneles hacia el norte, se asegura una exposición solar más directa y prolongada durante el día, lo cual es esencial para un rendimiento energético óptimo de la instalación fotovoltaica.

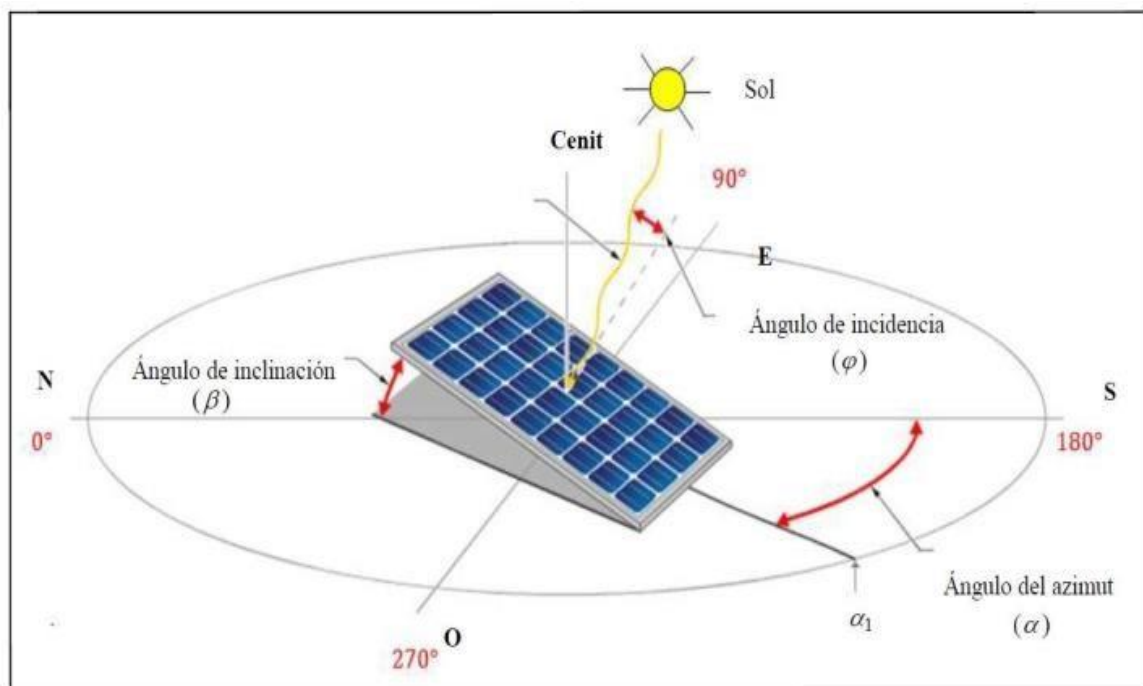


Figura 2. Orientación del panel fotovoltaico ángulo de inclinación, incidencia e azimut. (Davalos, 2019)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de la hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El análisis de la eficiencia energética de la iluminación con tecnología timer mostrara el aumento de la iluminación en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica de la plaza de armas de san Antonio de Putina.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La potencia lumínica determina el consumo de energía del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la plaza de armas de San Antonio de Putina.
- El dimensionamiento adecuado de la demanda energética del sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaico permite el funcionamiento óptimo de los equipos en la plaza de armas de San Antonio de Putina.
- La iluminación con tecnología timer en el sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica es viable económicamente de la plaza de armas de San Antonio de Putina.

3.2 Metodología

3.2.1 Ámbito del proyecto

La investigación se realizó en el marco - geográfico del distrito de Putina provincia san Antonio de Putina, departamento de puno, que geográficamente se encuentra ubicado en la latitud: 14° 52' 02" y longitud: 69° 52' 06" W y altitud 3861 m.s.n.m. en la plaza de armas de san Antonio de Putina.

3.2.2 Población

La población consta de 28 luminarias instaladas en la plaza de armas del distrito de Putina.

3.2.3 Muestra

La muestra es una luminaria instalada en la plaza de armas del distrito de Putina.

3.2.4 Diagrama unifilar

La figura 3 representa el esquema eléctrico de funcionamiento para la iluminación fotovoltaica mediante tecnología del controlador timer para la plaza de armas ciudad san Antonio de Putina. se realizó el montaje de los equipos considerando la inclinación, orientación, conexión del sistema y programación del controlador timer.

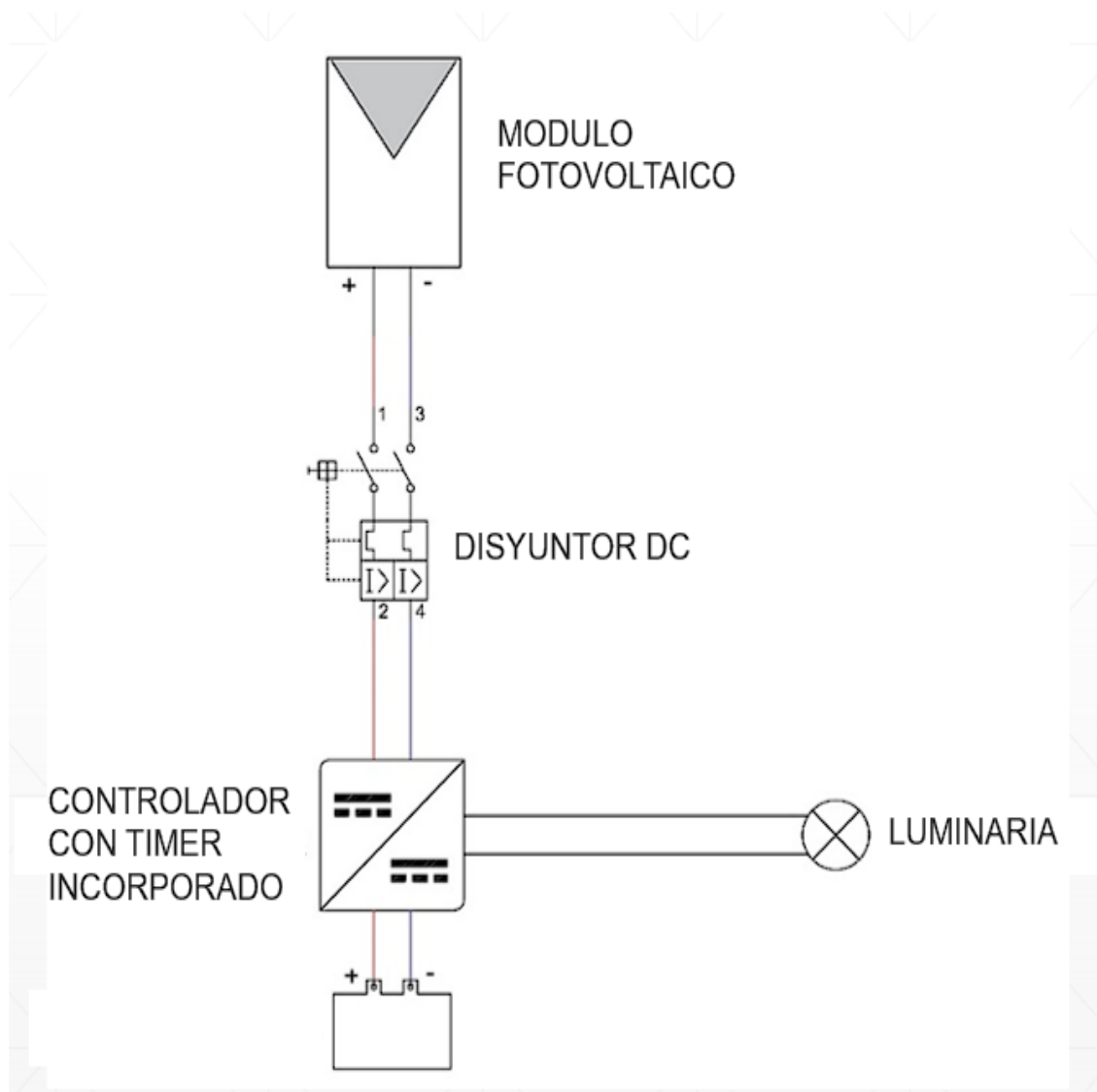


Figura 3. Diagrama unifilar del sistema de iluminación fotovoltaica.

3.3 Materiales

3.3.1 Modulo fotovoltaico

El funcionamiento de un módulo solar se basa en el efecto fotovoltaico. Reinjiang (2022) destaca que, bajo la influencia de la radiación solar, estos materiales semiconductores, comúnmente hechos de silicio, absorben los fotones de luz y liberan electrones. Estos electrones liberados, debido a la estructura interna del semiconductor y la creación de un campo eléctrico dentro del módulo, se movilizan en una dirección preferente, creando así una corriente eléctrica.

Este flujo de electrones es capturado y dirigido por contactos eléctricos dispuestos en la superficie del módulo solar, permitiendo que la electricidad sea extraída para su uso en circuitos externos. Los módulos solares, por lo tanto, convierten la energía de la luz directamente en energía eléctrica.



Figura 4. *Modulo fotovoltaico de 100 Watts 12 voltios (Reinjiang, 2022)*

Tabla 2.*Especificaciones técnicas panel solar 100w 12v mono cristalino.*

Tipo De Familia	100W 12V 36 Celdas			
PMP(W)				
Tolerancia de calificación [%]: ± 3	WS	Isc [A]	Vmp[V]	Imp. [A]
RJ100M5-36	21.59	6.17	17.6	5.68
Principales parámetros técnico				
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.38% $^{\circ}$ C	Condiciones de prueba de estándar		1000W/m;25 $^{\circ}$ C; AM1.5
Coefficiente de temperatura de Isc	+0.04% $^{\circ}$ C	clasificación máxima de fusibles en serie (A)		10
Coefficiente de temperatura de potencia	-0.047% $^{\circ}$ C	peso (kg)		9.1
Noche	45 \pm 3 $^{\circ}$ C	dimensiones (LxWxH)(mm)		11 30*66*3.5
Rango de temperatura de trabajo	- 40 $^{\circ}$ C~+85 $^{\circ}$ C	la forma de embalaje		1 pcs/
Voltaje máximo del sistema (V)	600	40 HQ carga capacidad de container		...

Nota: Estos datos fueron extraídos de Reinjiang (2022)

3.3.2 Batería

La batería RITAR 12V 100Ah RA es un dispositivo de almacenamiento de energía que integra seis células por unidad, y está diseñada para trabajar en un amplio rango de temperaturas, desde -20 $^{\circ}$ C hasta 60 $^{\circ}$ C, lo que la hace adecuada para operar en condiciones ambientales extremas. Con un peso de 30 kg y dimensiones de 328 x 172 x 222 mm, esta batería se presenta como una opción robusta y compacta para una variedad de aplicaciones.

Las aplicaciones ideales para esta batería incluyen sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), telecomunicaciones, sistemas de seguridad y prevención de incendios, y como componente de control en sistemas solares. La batería monoblock de 12V y 100Ah proporciona una solución de almacenamiento de energía fiable y sin necesidad de mantenimiento regular, lo que minimiza el tiempo y el costo asociados con el mantenimiento de los niveles de ácido internos.

Dada su vida útil prolongada y su favorable relación entre calidad y precio, esta batería se destaca en el mercado. Además, la marca RITAR es reconocida por su reputación en

la fabricación de baterías, lo que añade un valor de confianza para los consumidores al considerar esta batería para sus necesidades de energía de respaldo y almacenamiento.



Figura 5. Batería Ritar DG (Gel) 12v 100Ah gel (Shibiling, 2022)

Tabla 3.

Especificaciones técnicas de la batería Ritar DG (Gel) 12V 100Ah.

Especificaciones	Valores
Células por unidad	6
Voltaje por unidad	12
Capacidad	100Ah
Peso	Aprox. 29.0kg (tolerancia $\pm 3.0\%$)
Resistencia interna	Aprox. 7.5 M ω
Terminal	F12
Máxima capacidad de corriente	1000A
Vida útil	15 años (carga flotante)
Máxima carga de corriente	20.0A
Referencia de capacidad	C3 68.4 Ah
	C5 77.0 Ah
	C10 88.0 Ah
	C20 100.0 Ah
carga flotante de voltaje	13.6 V~13.8 V @ 25°C
	Compensación de temperatura: - 3mV/°C/celda

Continuación

	13.6 V~13.8 V @ 25°C
voltaje de uso del ciclo	Temperatura Compensativo: - 4mV/°C/Cell
temperatura	Descarga: -40°C~60°C Carga: -20°C~50°C Almacenamiento: -40°C~60°C
temperatura normal	25°C±5°C
Auto descarga	Las baterías de ácido de plomo reguladas por válvula (VRLA) de RITAR pueden ser almacenado por hasta 6 meses a 25°C, y luego recargar es recomendado. La tasa de auto descarga mensual es menor del 2 % a 20 °C. Cargue las baterías antes de usarlas.

Nota. Esta tabla muestra la especificación del tipo de batería utilizado (shibiling, 2022)

3.3.3 Controlador de carga y Timer

El Regulador Victron 10A PWM-Light 12/24V es un controlador de carga solar diseñado para gestionar la energía en sistemas fotovoltaicos aislados de la red. Este dispositivo ajusta la corriente de carga proveniente de los paneles solares para optimizar el proceso de carga de la batería y garantizar su longevidad. La línea BlueSolar PWM Pro ofrece una experiencia de uso simplificada con configuraciones preestablecidas, pero también permite una personalización detallada a través de varios métodos:

- Programación por Computadora y Software: Permite una configuración detallada del controlador para adaptarse a las especificaciones de los paneles solares y las baterías.
- Panel Remoto Dedicado BlueSolar Pro: Facilita la programación y la monitorización del estado de carga de la batería sin necesidad de una computadora.
- Carga de Batería en Tres Etapas: Incluye las fases de carga de volumen, absorción y flotación, las cuales son completamente programables para ajustarse a los requerimientos de carga específicos de la batería.
- Monitor de Batería: Ofrece la posibilidad de seguir el estado de carga de la batería, aunque requiere del panel remoto para su visualización.

- Desconexión de Baja Tensión: Incorpora una salida de carga con desconexión automática en caso de baja tensión para proteger la batería, además de permitir un control manual.
- Sensor de Temperatura Externo: Opcional para realizar ajustes de carga basados en las variaciones de la temperatura ambiente.
- Protección de Salida de Carga: Incluye medidas contra sobrecargas y cortocircuitos para proteger los dispositivos conectados.
- Protección contra Polaridad Inversa: Asegura que ni los paneles solares ni la batería sufran daños en caso de una conexión incorrecta.

Este regulador de Victron Energy resalta por su flexibilidad y las múltiples capas de protección que ofrece, lo que lo convierte en una opción sólida para una amplia gama de aplicaciones solares que requieren un controlador de carga fiable y adaptable (Victron, 2022).



Figura 6. Controlador PWM pro 12v10A (Victron, 2022)

Tabla 4.

Especificaciones técnicas del controlador PWM pro 12v 10A

Blue Solar PWM- controlador de carga profesional 12/24 V			
Voltaje De Batería		12/24	
Clasificación de corriente de carga	5A/10 ^a	20A	30A
Automatización de carga desconectada		SI	
Tensión solar máxima		28V/55V (1)	
Autoconsumo		8mA	
Caja y Medio Ambiente			
Temperatura sensorial de la batería		Opcional	
Compensación de batería		si el sensor y temperatura está instalado	
Temperatura de funcionamiento		-35°C A +50°C	
Enfriamiento		convección natural	
Humedad		95% (sin condensación)	
Recinto		IP30	
Toma de tierra		Toma de tierra positivo	

Nota: Estos datos fueron extraídos de Victron (2022)

3.3.4 Luminaria

La luminaria LED para exteriores Lexington del fabricante Cooper Lighting modelo LXF/LXT Lexington HID/LED, tiene un estilo de la iluminación tradicional tipo farol, que realza cualquier entorno con un estilo distintivo. Como luminaria decorativa, Lexington LED complementa con buen gusto el diseño arquitectónico y ambiental de parques y carreteras. Su tecnología patentada AccuLED Optics™ ofrece una iluminación uniforme y eficiente para aplicaciones de peatones y carreteras. Tiene una potencia de 40W, una luminaria de 4,202 lm.



Figura 7. *Luminaria Lexington HID/LED*

La luminaria tiene las siguientes características:

- Potencia de 40W, característica de luminarias LED de alta eficiencia energética, que permiten iluminar áreas públicas con un bajo consumo eléctrico.
- Flujo luminoso de 4202 lúmenes. Esta alta producción de luz permite cumplir con niveles adecuados de iluminancia para peatones con un número reducido de luminarias.
- Eficiencia de 105.1 lúmenes/W. Esto ratifica las cualidades de alta eficiencia de la tecnología LED para alumbrado exterior.
- Temperatura de color de 2722 K, en el rango de luz cálida, similar a lámparas de vapor de sodio, adecuada para no distorsionar colores en áreas públicas.
- Índice de reproducción cromática (CRI) de 70, que categoriza estas luminarias como aptas para distinguir la mayoría de los colores en exteriores.

- Vida útil de 60,000 horas al 90% del flujo inicial, equivalente a 10 años funcionando 12 horas diarias. Esto minimiza costos de mantenimiento.
- Hermeticidad IP66, que permite instalación a la intemperie y resistencia a salpicaduras de agua.
- Cuerpo de aluminio resistente a la corrosión y con disipador térmico para LED. Apta para soportar condiciones ambientales externas.
- Fotometría de tipo IV, con distribución de luz amplia y simétrica, bien dirigida hacia el plano inferior para iluminar superficies.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Plc

El PLC (Programmable Logic Controller) SIEMENS S7-1200 es un componente central en el ámbito de la automatización industrial. Este dispositivo actúa como una computadora especializada en la automatización de procesos, siendo capaz de supervisar y controlar una gran variedad de operaciones industriales y maquinaria. Su funcionalidad se extiende a diversos sectores de la producción, incluyendo, pero no limitado a, procesos electromecánicos, electroneumáticos y electrohidráulicos.

El S7-1200 de SIEMENS está diseñado para ser flexible y eficiente, ofreciendo soluciones a medida para los requisitos de control de automatización de pequeña a mediana escala. Este PLC se puede programar utilizando el software TIA Portal de SIEMENS, el cual proporciona un entorno de desarrollo integral para la configuración, programación, prueba y diagnóstico de las tareas de automatización.

Las principales características que definen al PLC SIEMENS S7-1200 incluyen:

- **Facilidad de uso:** Con una interfaz de usuario intuitiva y opciones de programación simplificadas, reduce la curva de aprendizaje y facilita su implementación.
- **Escalabilidad:** Permite la expansión de su funcionalidad y adaptación a sistemas más complejos a medida que cambian las necesidades de automatización.
- **Comunicación Integrada:** Cuenta con capacidades de comunicación para interactuar con otros sistemas de control, dispositivos de operador y redes de comunicación industrial.

- Compacto y Robusto: Diseñado para soportar las duras condiciones industriales y ocupar un espacio mínimo en el panel de control.

Versatilidad: Apto para una amplia gama de aplicaciones industriales, desde simples tareas de control hasta operaciones integradas con sistemas más amplios.

El PLC SIEMENS S7-1200, por lo tanto, es una solución robusta y confiable para la automatización de procesos industriales que buscan optimizar la eficiencia, flexibilidad y rendimiento (Siemens, 2019).



Figura 8. Controlador programable (PLC S7-1200) (Siemens, 2019)

Tabla 5.

Especificaciones técnicas del controlador programable (PLC S7- 1200).

Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)		90x100x75		110X100X75
Memoria de usuario	trabajo	50 KB	75 KB	100KB
	carga	1 MB	2MB	4 MB
E/ S locales integradas	Permanente	10KB		
	digital	6 entradas/	8 entradas/	14 entradas/
	analógico	4 salidas	6 salidas	10 salidas
Tamaño de la memoria de imagen	entradas (I)	1024 bytes		

Continuación

de proceso	salidas (Q)	1024 bytes		
		4096 bytes		8192 bytes
		ninguna	2	8
			1 total	
Contadores rápidos				

Nota: Adaptado de Siemens (2019).

3.4.2 Módulo de expansión.

Los módulos de expansión son componentes de hardware adicionales que se pueden conectar a un PLC (Controlador Lógico Programable) para extender sus capacidades y adaptarlo a una mayor gama de aplicaciones. Estos módulos se utilizan cuando las necesidades de un sistema de control exceden las capacidades del PLC base. Siemens, por ejemplo, ofrece una variedad de módulos de expansión para su serie de PLC S7-1200, que permiten personalizar y escalar el sistema para satisfacer las necesidades específicas de control. (Siemens, 2019).

Los módulos de expansión comúnmente incluyen:

- Entradas Digitales: Para conectar sensores e interruptores que tienen dos estados, como encendido/apagado.
- Entradas Analógicas: Para conectar sensores que miden y envían valores en un rango, como temperatura, presión, etc.
- Salidas Digitales: Para controlar actuadores, luces indicadoras y otros dispositivos que operan en dos estados.
- Salidas Analógicas: Para controlar dispositivos que requieren ajustes precisos, como la regulación de velocidad de un motor.
- Salidas Tipo Relé: Para controlar cargas de mayor potencia y proporcionar aislamiento eléctrico entre el PLC y la carga controlada.

Cada uno de estos módulos está diseñado para conectarse de manera fácil y segura al PLC base, permitiendo una integración fluida y una expansión del sistema de control sin la necesidad de realizar una renovación completa del mismo. La capacidad de agregar o reconfigurar módulos según sea necesario brinda a los ingenieros y técnicos una

flexibilidad significativa para adaptarse a los cambios en los procesos de producción o a la introducción de nuevas tecnologías



Figura 9 Módulo de expansión para tener más entradas analógicas (Siemens, 2019)

3.4.3 Sensor de corriente

Los sensores de corriente son instrumentos esenciales en el ámbito de la ingeniería eléctrica y la automatización industrial. Estos dispositivos se encargan de medir la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de un conductor y convertir esa información en una señal que puede ser medida, monitoreada o utilizada para controlar otros dispositivos dentro de un circuito eléctrico. Los sensores de corriente se conocen también como transductores de corriente, en referencia a su capacidad para transformar la corriente eléctrica en una señal de naturaleza distinta, generalmente una señal de voltaje proporcional que es más fácil de medir y procesar (Caicedo et al, 2017).

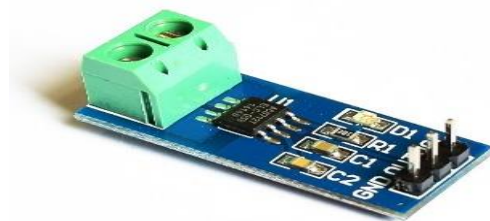


Figura 10. Sensor de corriente de 12v 5A. (Caicedo et al., 2017)

Tabla 6.*Especificaciones técnicas del sensor de corriente de 12v 5^a*

Sensor de corriente de Arduino	
Voltaje de salida	Analógico output 66 mV/A
Voltaje de operación	4.5V ~5.5V
salida de voltaje sin corriente	VVC/2
Dimensiones PCB	31 (mm) x 14(mm)
Error total de salida	1.5% at TA =25°C
Resistencia interna	2.1KVRMS
Sensibilidad de salida	66to 185 mV/A

Nota. Adaptado de Caicedo et al (2017)

3.4.4 Sensor de voltaje

El módulo de tensión descrito por Arriete (2019) es capaz de medir voltajes de hasta 25V DC, resultando idóneo para su integración con plataformas de microcontroladores tipo Arduino. Este módulo trabaja con una entrada analógica estándar de 5V, aunque en sistemas que operan a 3.3V, la tensión máxima admisible disminuye a 16.5V. Emplea una tecnología AVR de Microchip con una resolución de 10 bits ADC, proporcionando una resolución de aproximadamente 0.00489V, lo que implica que la menor tensión detectable es de 0.02445V. Este nivel de precisión lo hace útil para monitorear el estado de baterías o verificar el suministro eléctrico en dispositivos de 12V o 24V, incluyendo tiras de LEDs, electroimanes, ventiladores o celdas de Peltier.



Figura 11. Sensor de voltaje 12v 5A (Arriete, 2019)

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del sensor de voltaje 12v 5A.

Sensor de voltaje para Arduino	
Voltaje de entrada	0V - 25V DC
Voltaje de detección	25V (5V x 5 = 25V)
Entrada máxima	16V (3.3V x 5 = 16.5)
Rango de detección de voltaje	24.41mV - 25V
Resolución analógica de tensión	0.00489Vdc
Voltaje de detección de entrada mínima	24.45mV (4.89mV x 5 = 24.45mV)

Nota. Adaptado de Arriete (2019)

3.4.5 Memoria SD

Arriete (2019) describe la memoria SD (Secure Digital) como un medio de almacenamiento de datos no volátil que se emplea en dispositivos electrónicos. En el contexto mencionado, se utiliza específicamente para registrar y almacenar los datos recolectados por un PLC, lo que sugiere su aplicación en la recopilación y conservación de información en sistemas de control automatizado.

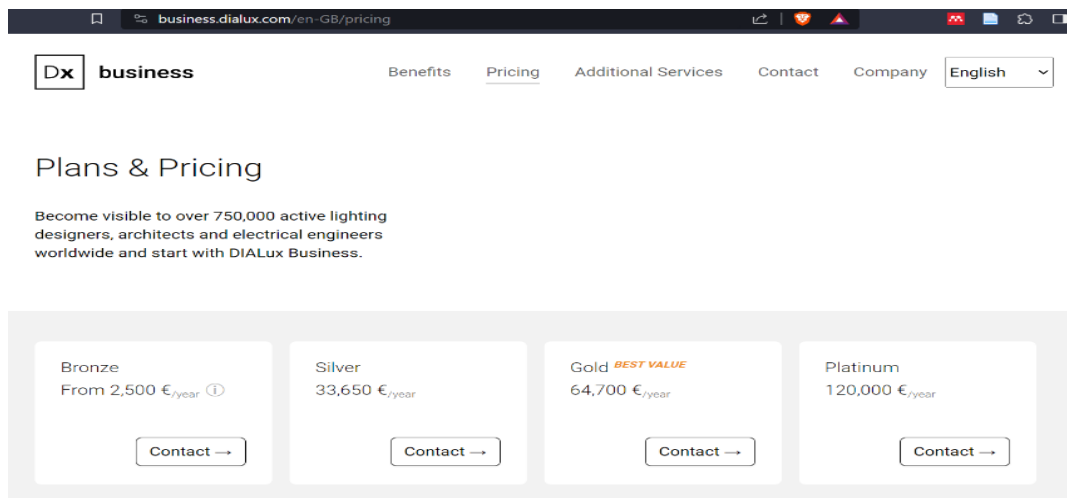


Figura 12. Memoria SD (Arriete, 2019)

3.4.6 DIALux

DIALux es un programa gratuito desarrollado por la empresa alemana DIAL GmbH. Este software de diseño gráfico y modelado 3D te permite planear y visualizar la iluminación tanto para las zonas exteriores como las interiores, desde habitaciones, galerías de arte, edificios residenciales, instalaciones deportivas y oficinas, hasta parques, carreteras, iluminaciones de emergencia, entre otros. Con DIALux, puedes simular un edificio completo, interior o exterior, para validar la implantación de luminarias en función de las diferentes normas o necesidades. Es este trabajo de investigación se usó la versión 7.0

evo sin costo; sin embargo, también tiene versiones de paga para empresas con los siguientes planes:



Plan	Price (€/year)
Bronze	From 2,500
Silver	33,650
Gold <i>BEST VALUE</i>	64,700
Platinum	120,000

Figura 13. Planes DIALux (Dialux, 2023)

3.5 Determinación de la demanda lumínica

3.5.1 Plano de situación de luminarias.

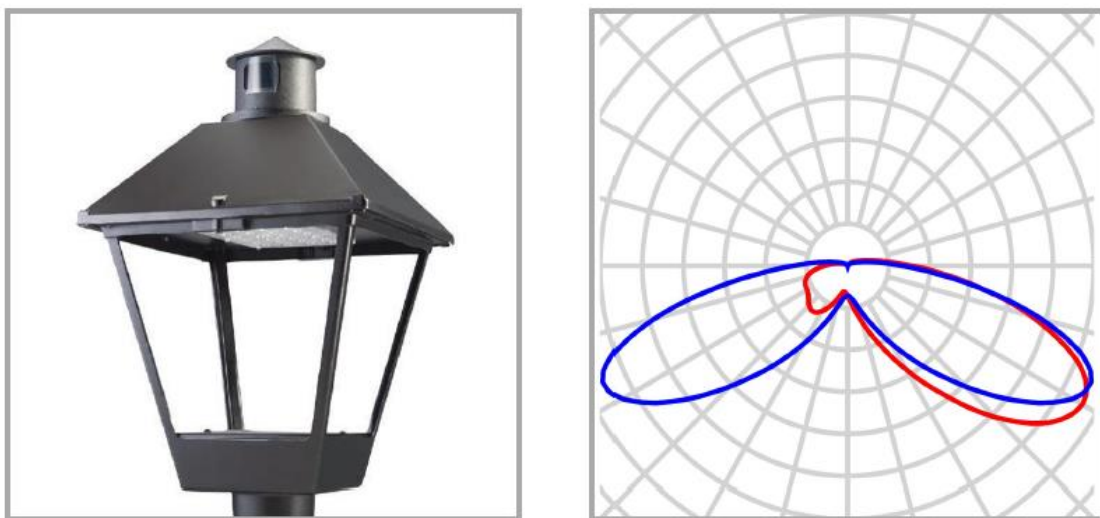


Figura 14. Tipo de luminaria para la implementar en la plaza de Putina

En la figura 14 muestra el tipo de luminaria instalada para fines de realizar la distribución en la plaza de armar de San Antonio de Putina, así como también para saber la potencia de la luminaria, establecer el dimensionamiento para su funcionamiento mediante la energía solar fotovoltaica.

En la Figura 15 corresponde al plano de ubicación de las luminarias en la Plaza de Armas de San Antonio de Putina, el cual fue modelado con el software Dialux para el análisis de

iluminación, este plano muestra la disposición de las 28 luminarias existentes en la plaza, identificadas con el número del 1 al 28. Podemos observar que las luminarias están distribuidas alrededor de toda el área de la plaza, sobre columnas de alumbrado público.

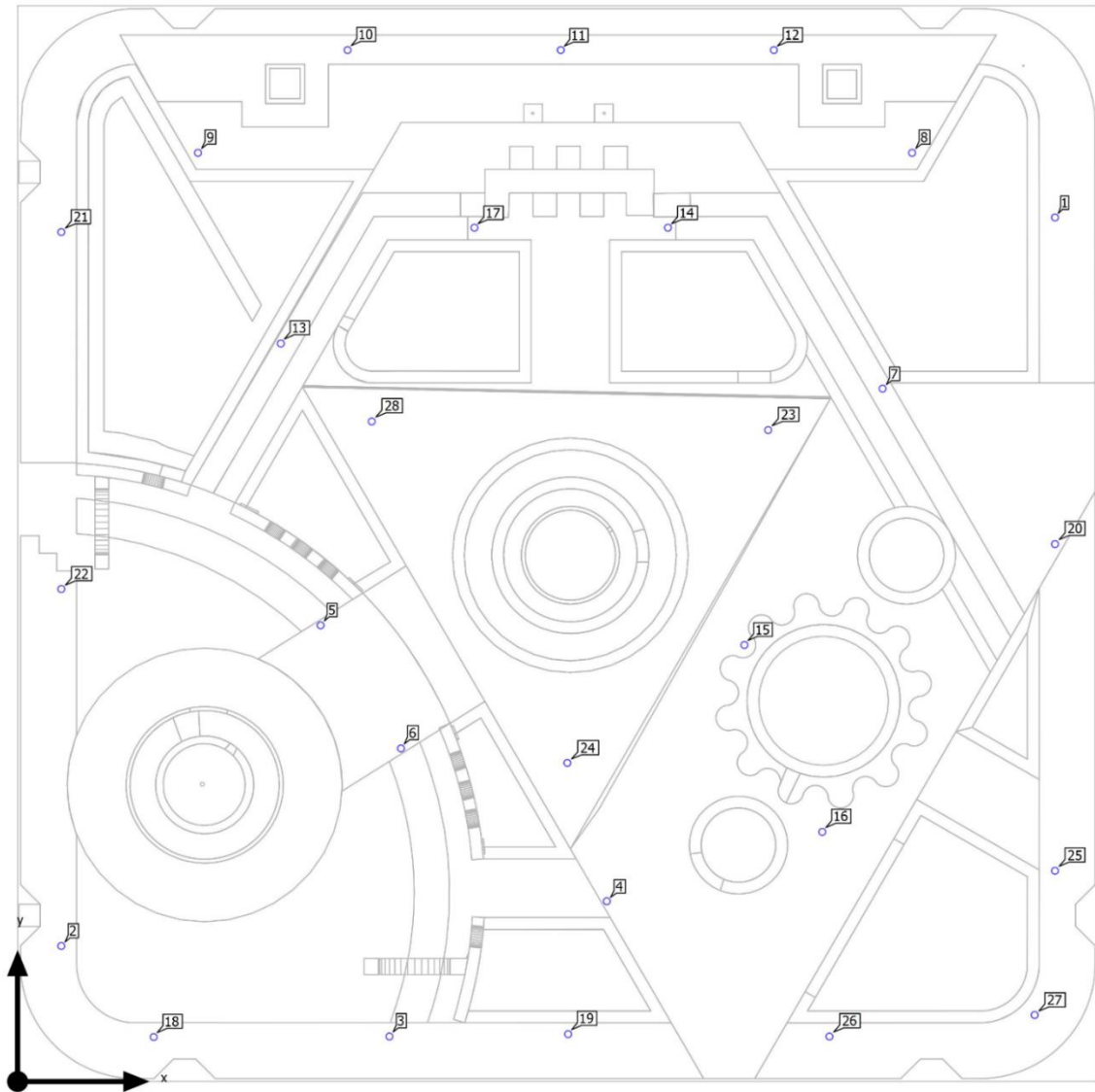


Figura 15. Plano de ubicación de luminarias en la plaza de Putina

La Plaza de Armas presenta una forma irregular, con dimensiones aproximadas de 65 metros de largo en el eje norte-sur, y un ancho variable entre 25 y 52 metros en el eje este-oeste. Esta área pública es contigua con vías de circulación vehicular por los lados norte, este y oeste; las luminarias están ubicadas estratégicamente cerca de las veredas, zonas de descanso con bancas y dos piletas ornamentales existentes en la plaza. La mayor densidad de luminarias se observa en estas áreas de tránsito y reunión peatonal al interior de la plaza.

Mediante la modelación computacional en Dialux, este plano de distribución de luminarias permitió simular distintos escenarios de iluminación y analizar parámetros como los niveles de iluminancia promedio sobre el plano de trabajo, uniformidad de la luz, índice de deslumbramiento, entre otros.

La Tabla 8 del documento detalla las coordenadas X, Y y altura de montaje de cada una de las 28 luminarias modeladas en el proyecto de alumbrado público solar para la Plaza de Armas de San Antonio de Putina.

Estos datos de posicionamiento de las luminarias fueron levantados en campo mediante la toma física de medidas respecto a puntos de referencia en la plaza utilizando cinta métrica. Las coordenadas se expresan en metros.

Posteriormente fueron ingresados en el software Dialux para la simulación computacional de diferentes escenarios de iluminación. El modelo permite distribuir virtualmente distintos tipos de luminarias, probar variaciones en su orientación, regulación de intensidad luminosa y otros parámetros, generando como resultado mapas de isolux y datos cuantitativos sobre métricas de interés como iluminancia promedio, uniformidad, deslumbramiento, entre otros.

En la tabla se diferencian 2 alturas de montaje de las columnas de alumbrado: 4.05 m y 4.3 m. Se decidió mantener las columnas y luminarias existentes modelando sus reales ubicaciones y alturas, para así evaluar el desempeño lumínico del sistema actual antes de proponer mejoras o cambios de distribución.

Esta información georreferenciada de los puntos de luz es esencial para lograr una representación fiel de la realidad en la simulación virtual y así obtener resultados de iluminación confiables que permitan un diagnóstico preciso de la situación actual y sustenten adecuadamente las recomendaciones de mejora en el sistema de alumbrado público de la Plaza de Armas.

Los datos de coordenadas X, Y y Z de las 28 luminarias en la Tabla 8 constituyen los inputs esenciales ingresados en Dialux para la obtención realista de parámetros lumínicos modelados para diferentes secciones de interés en la plaza según los objetos de resultado ya analizados.

Tabla 8.*Coordenadas de las luminarias*

N° Luminaria	X metros	Y metros	Altura montaje metros
1	52.805	44.175	4.05
2	2.225	6.928	4.05
3	18.925	2.3	4.05
4	29.992	9.215	4.05
5	15.422	23.322	4.05
6	19.515	17.028	4.05
7	44.032	35.423	4.05
8	45.532	47.478	4.05
9	9.182	47.478	4.05
10	16.797	52.734	4.05
11	27.647	52.734	4.05
12	38.497	52.734	4.05
13	13.397	37.731	4.05
14	33.105	43.654	4.05
15	36.998	22.32	4.05
16	40.959	12.758	4.05
17	23.255	43.654	4.05
18	6.925	2.271	4.05
19	28.022	2.422	4.05
20	52.805	27.475	4.05
21	2.225	43.428	4.05
22	2.225	25.178	4.05
23	38.206	33.302	4.3
24	27.982	16.287	4.3
25	52.805	10.775	4.05
26	41.325	2.3	4.05
27	51.768	3.398	4.05
28	18.028	33.743	4.3

3.5.2 Objeto de resultado de superficie 9

La Figura 16 corresponde al análisis de objetos en el software Dialux para la superficie identificada como "Objeto de Resultado 9" (RS9) en el modelo de iluminación de la Plaza de Armas de San Antonio de Putina, específicamente, este gráfico muestra la distribución de los niveles de iluminancia en lux sobre el plano de trabajo o superficie de RS9. Se puede observar que la zona central presenta los mayores niveles de iluminancia, cercanos a los 30 lux, hacia los bordes se aprecia una disminución gradual de los niveles de iluminación, alcanzando un mínimo de 1 lux en algunos puntos periféricos. Esto se debe probablemente a que el área de RS9 se encuentra parcialmente fuera del alcance directo de algunas luminarias según su orientación y distribución en la plaza, con la leyenda de colores se identifican rápidamente las zonas con mayor y menor iluminancia dentro de RS9. Los tonos rojizos indican los niveles más elevados y los azulados los más bajos.

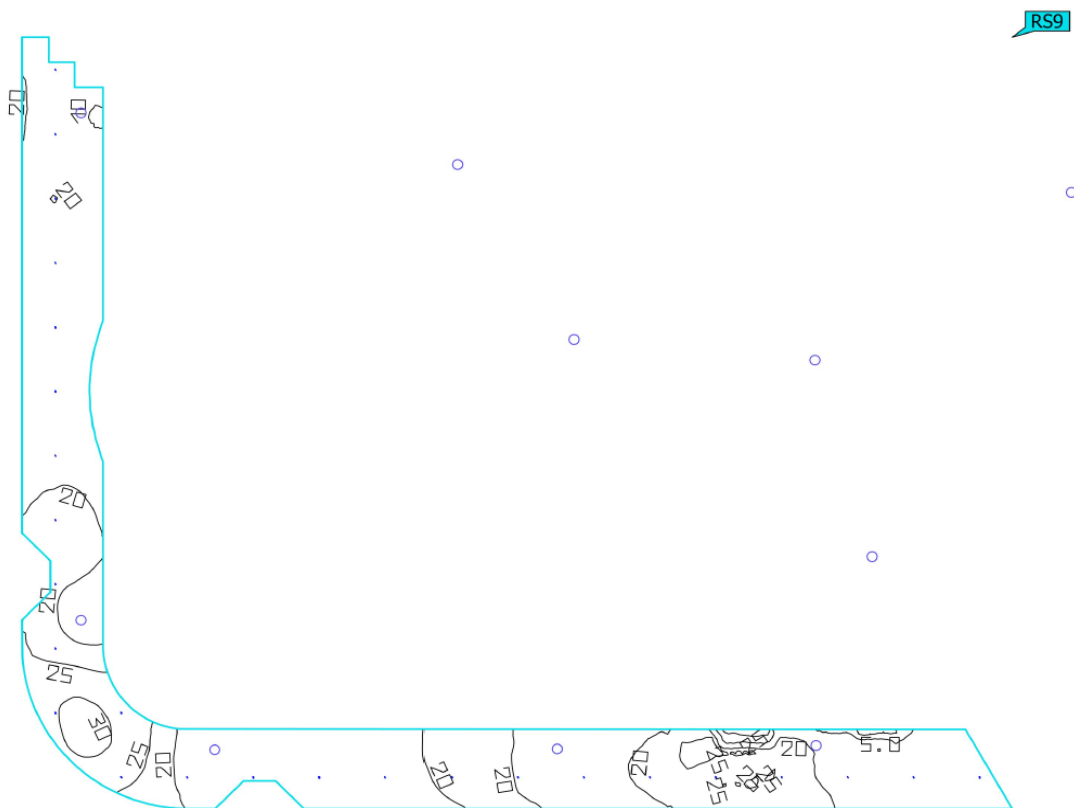


Figura 16. Análisis de objetos RS9

En base a este mapa de iluminancias, se realizó luego un análisis cuantitativo, detallado en la Tabla 9, que muestra valores integrados de toda la superficie como la iluminancia

promedio ($E_{\text{prom}} = 18.3 \text{ lux}$), iluminancia mínima ($E_{\text{min}} = 1.59 \text{ lux}$) e iluminancia máxima ($E_{\text{max}} = 31.5 \text{ lux}$).

Asimismo, se obtienen índices de uniformidad de iluminación como g_1 y g_2 , resultado de relacionar los valores extremos de iluminancia con la media. Finalmente, estos parámetros lumínicos se comparan con los niveles referenciales que exige la norma técnica de alumbrado público vigente.

Cuando se utiliza el software Dialux para modelar y simular la iluminación de un espacio, éste permite definir distintas superficies o áreas de interés dentro de la escena para evaluar los resultados lumínicos. A estas superficies de análisis las denomina "Objetos de Resultado" (Resulting Objects o RO en inglés).

Tabla 9.

Objeto de resultado de superficies 9

Propiedades	\bar{E}	$E_{\text{mín}}$	$E_{\text{máx}}$	g_1	g_2	Índice
Objeto de resultado de superficies 9 Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.050 m	18.3 lx	1.59 lx	31.6 lx	0.087	0.05	RS9

Interpretación

- El objeto RS9 tiene una iluminancia promedio de 18.3 lx. Este es un nivel de iluminancia adecuado para áreas peatonales exteriores según las recomendaciones.
- La iluminancia mínima es de 1.59 lx, ubicada posiblemente en una zona periférica. Aunque es un valor bajo, puede ser aceptable para este tipo de aplicaciones.
- La máxima es de 31.6 lx. La relación entre máxima y mínima indica una razonable uniformidad.
- El índice de uniformidad g_1 ($E_{\text{mín}}/E_{\text{prom}}$) es 0.087. Este valor cumple con el rango recomendado que es $g_1 > 0.2$.
- El índice g_2 ($E_{\text{mín}}/E_{\text{máx}}$) es 0.05. También cumple el rango recomendado que es $g_2 > 0.1$.
- En conjunto, los índices de uniformidad indican que la iluminación es relativamente uniforme en este objeto. No se tienen valores excesivamente altos o bajos.

- El perfil de uso declarado es para áreas peatonales y tránsito exterior. Los niveles obtenidos son apropiados para este fin.
- Se podría mejorar aumentando levemente la iluminancia mínima, pero en general el objeto RS9 presenta niveles y uniformidad adecuados para el uso peatonal previsto en el proyecto.

Contraste con la norma EM-010 instalaciones de alumbrado exterior del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú:

- La norma recomienda una iluminancia promedio de 10 lux para áreas peatonales y aceras en zonas comerciales. El valor de 18.3 lx en RS9 cumple sobradamente.
- Para uniformidad, la norma solicita $g_1 \geq 0.2$ y $g_2 \geq 0.1$. Los valores de 0.087 y 0.05 en RS9 cumplen estos requisitos.
- En cuanto a deslumbramiento, la norma pide un GR máximo de 55. Al usar luminarias LED bien apantalladas es razonable cumplir este requisito.
- Sobre el modelo de alumbrado, la disposición de columnas y altura de 4 metros en el proyecto se ajusta a lo típico para áreas peatonales.
- Las luminarias especificadas de 40W LED son adecuadas para este tipo de aplicación.

En conclusión, los parámetros de iluminancia y uniformidad del objeto RS9 cumplen holgadamente con los valores recomendados por la norma EM-010 RNE para áreas peatonales y exteriores. El proyecto parece alinearse bien a las directrices de la normativa peruana.

3.5.3 Objeto de resultado de superficie 10

La Figura 17 corresponde al análisis de objetos en Dialux para la superficie identificada como "Objeto de Resultado 10" (RS10) del modelo de iluminación de la Plaza de Armas de San Antonio de Putina; al igual que en el caso de RS9 explicado previamente, este gráfico muestra la distribución de los niveles de iluminancia en lux sobre la superficie de RS10. La zona central presenta valores cercanos a los 30 lux, mientras que en los bordes se aprecia una disminución gradual de iluminancia, llegando a un mínimo de aproximadamente 4 lux; la leyenda de colores permite identificar rápidamente que la zona de valores máximos de iluminancia (tonos rojizos) es menor que en el objeto RS9,

abarcando una fracción central de la superficie analizada. Asimismo, la zona de mínima iluminancia (tonos azulados) ocupa proporcionalmente más área dentro del objeto RS10.

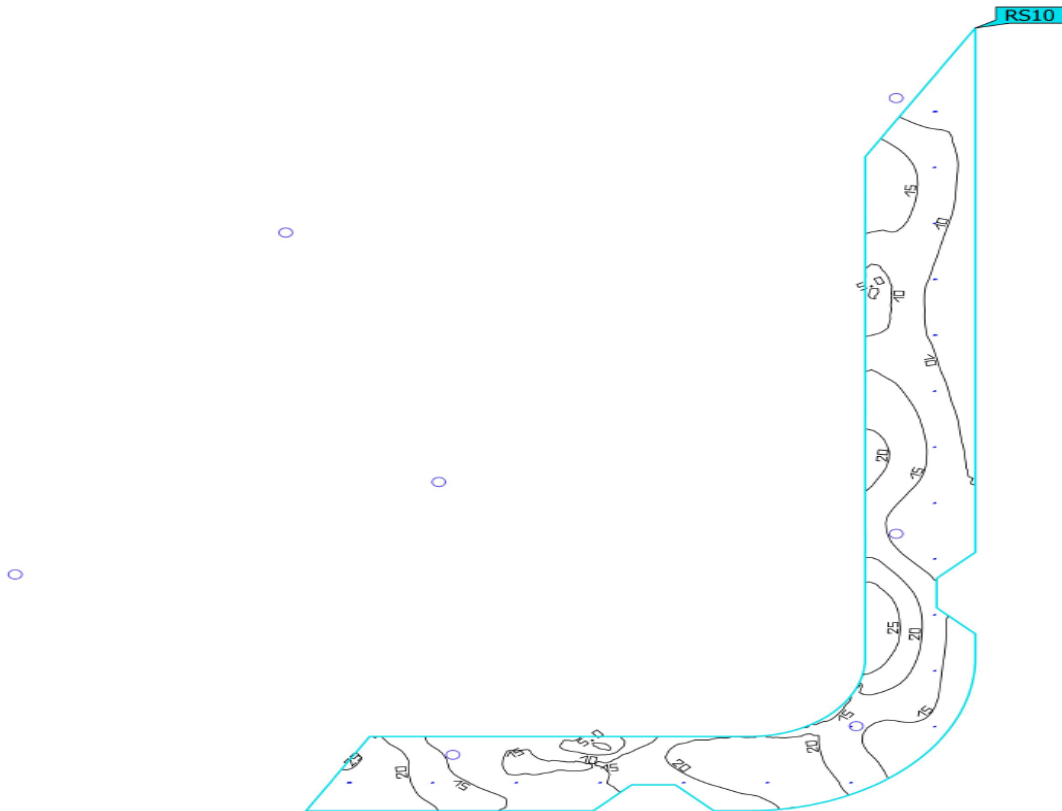


Figura 17. Análisis de objetos RS10

En la Tabla 10 se cuantifican los diferentes parámetros lumínicos para este Objeto de Resultado 10, incluyendo una iluminancia promedio de 15.3 lux, iluminancia mínima de 3.71 lux e iluminancia máxima de 29.1 lux.

También se calculan índices de uniformidad de iluminación como $g_1 = 0.24$ y $g_2 = 0.13$. En la discusión se menciona que la uniformidad es inferior en comparación a RS9, debido sobre todo al menor valor de iluminancia mínima, indicando zonas con deficiencia de luz.

Al igual que para otros objetos de resultado, estos parámetros se contrastan posteriormente con los niveles y rangos recomendados en la normativa técnica de alumbrado público vigente.

Tabla 10.*Objeto de resultado de superficies 10*

Propiedades	\bar{E}	$E_{mín}$	$E_{máx}$	$g1$	$g2$	Índice
Objeto de resultado de superficies 10 Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.050 m	15.3 lx	3.71 lx	29.1lx	0.24	0.13	RS10

Interpretación:

- La iluminancia promedio es de 15.3 lx. Este valor es algo inferior al de 0...RS9, pero sigue siendo aceptable para áreas peatonales exteriores.
- La iluminancia mínima de 3.71 lx es baja, probablemente indicando una zona periférica o poco iluminada dentro del objeto.
- La máxima es de 29.1 lx, una relación de casi 1:8 con la mínima. Esto indica cierta falta de uniformidad.
- El índice $g1$ es 0.24, aún dentro del rango recomendado de $g1 > 0.2$. Pero se acerca al límite inferior.
- El índice $g2$ es 0.13, cumpliendo el rango $g2 > 0.1$.
- En conjunto, la uniformidad es inferior a la de RS9. La zona de iluminancia mínima de 3.71 lx podría mejorarse aumentando luminarias o potencia.
- La iluminancia promedio de 15.3 lx sigue siendo suficiente para tránsito peatonal exterior. Pero la uniformidad es justa.
- Comparando con la norma EM-010 RNE, cumple los valores mínimos de iluminancia y uniformidad. Pero tiene menor holgura que RS9.
- En resumen, RS10 cumple con los requerimientos básicos, pero su iluminancia es más baja y uniformidad peor que RS9 para un mismo uso. Podría mejorarse en una futura optimización.

Contraste con la norma EM-010 instalaciones de alumbrado exterior del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú:

Esta norma establece para áreas peatonales y aceras:

- Iluminancia promedio mínima: 10 lux.
- Uniformidad $g1$ ($E_{mín}/E_{prom}$): ≥ 0.2 .

- Uniformidad g2 (Emin/Emax): ≥ 0.1 .

Comparando los valores del objeto RS10:

- Iluminancia promedio: 15.3 lx, cumple la norma.
- g1: 0.24 cumple la norma.
- g2: 0.13 cumple la norma.

En cuanto a deslumbramiento, la norma exige un GR máximo de 55. Si se usan luminarias LED adecuadas se puede cumplir este requisito.

Con respecto al modelo de alumbrado, la disposición de columnas y altura de 4 m es típica en áreas peatonales.

En conclusión, los parámetros de RS10 cumplen los valores mínimos de la norma EM.010 RNE para iluminación de áreas peatonales exteriores, las luminarias LED de 40W especificadas son aptas para este uso.

3.5.4 Objeto de resultado de superficie 23

La Figura 18 muestra el análisis de objetos en Dialux para la superficie identificada como Objeto de Resultado 23 (RS23) en el modelo de iluminación de la Plaza de Armas de San Antonio de Putina; este mapa de isolíneas representa la distribución de los niveles de iluminancia sobre la superficie de RS23. La zona central alcanza valores cercanos a los 35 lux, mientras que en los bordes se observa una caída acusada de los niveles de iluminación, llegando a un mínimo de aproximadamente 2 lux según la escala de colores; comparando visualmente con los objetos RS9 y RS10 analizados previamente, se aprecia que la superficie con valores máximos de iluminancia (tonos rojizos) es aún menor en RS23, abarcando solo una pequeña porción central. Adicionalmente, la transición desde la zona de máxima hacia los bordes con mínima iluminación es muy abrupta, denotando problemas de uniformidad.

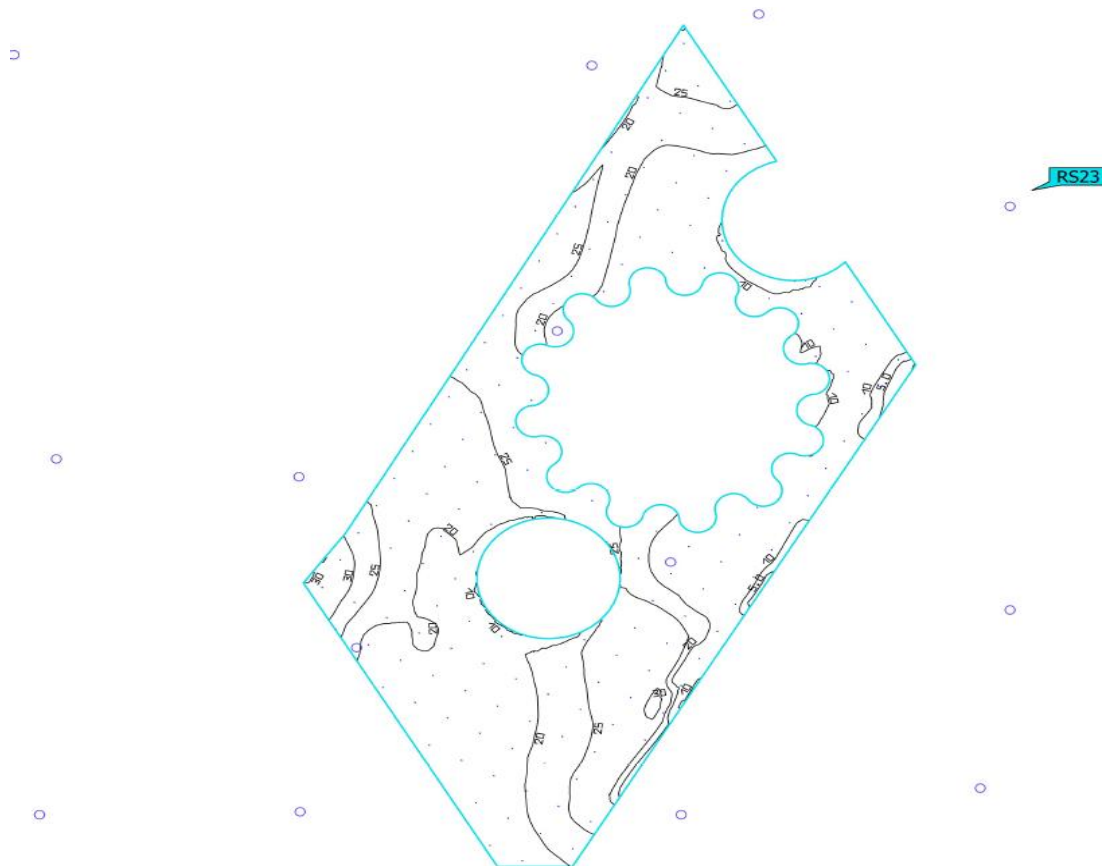


Figura 18. Análisis de objetos RS23

Los valores cuantificados en la Tabla 11 confirman estos aspectos, reportando una iluminancia promedio de 20.1 lux, una mínima de 2.34 lux y una máxima de 34.5 lux. También se obtienen los índices de uniformidad $g1 = 0.12$ y $g2 = 0.068$, significativamente por debajo de los rangos recomendados.

Así, el análisis de este Objeto de Resultado 23 es igualmente útil para diagnosticar falencias locales en el sistema actual, caracterizando la calidad de la iluminación obtenida en diferentes zonas de interés dentro del modelo completo de la Plaza de Armas, permitiendo así un rediseño informado y optimizado.

Tabla 11.

Objeto de resultado de superficies 23

Propiedades	\bar{E}	$E_{mín}$	$E_{máx}$	$g1$	$g2$	Índice
Objeto de resultado de superficies 23 Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.050 m	20.1 lx	2.34 lx	34.5 lx	0.12	0.068	RS23

Interpretación:

- RS23 tiene una iluminancia promedio de 20.1 lx, un nivel adecuado para áreas peatonales exteriores.
- La iluminancia mínima es de 2.34 lx, es un valor bajo en comparación con los otros objetos analizados.
- La máxima es de 34.5 lx. La relación entre máxima y mínima es alta, de casi 1:15.
- Los índices de uniformidad g1 y g2 son 0.12 y 0.068, los más bajos de todos los objetos. Indican poca uniformidad.
- La zona de iluminancia mínima de 2.34 lx. Podría mejorarse aumentando luminarias o potencia en esa área específica.
- El resto de los parámetros de RS23 como perfil de uso y altura de medición coinciden con los otros objetos examinados.

Contraste con la norma EM-010 instalaciones de alumbrado exterior del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú:

La norma EM-010 RNE de Alumbrado Exterior, establece para áreas peatonales los siguientes parámetros:

- Iluminancia promedio mínima: 10 lx.
- Uniformidad g1 (E_{min}/E_{prom}): ≥ 0.2 .
- Uniformidad g2 (E_{min}/E_{max}): ≥ 0.1 .

Comparando los valores de RS23:

- Iluminancia promedio: 20.1 lx, cumple ampliamente el mínimo normativo.
- Iluminancia mínima: 2.34 lx, es un valor bajo.
- Índice g1: 0.12, no cumple el requisito mínimo de 0.2.
- Índice g2: 0.068, tampoco cumple el mínimo de 0.1.
- Los índices g1 y g2 evidencian problemas de uniformidad en RS23.

En conclusión, si bien la iluminancia promedio cumple la norma EM-010, la uniformidad de RS23 no logra los valores mínimos requeridos para áreas peatonales exteriores. Esto confirma que es necesario reforzar la iluminación en las zonas de mínima detectadas en este objeto, para así cumplir los estándares normativos de uniformidad.

3.5.5 Objeto de resultado de superficie 27

La Figura 19 corresponde al análisis de objetos en Dialux para la superficie identificada como Objeto de Resultado 27 (RS27) en el modelo de iluminación de la Plaza de Armas de San Antonio de Putina; este mapa de isolíneas representa la distribución de los niveles de iluminancia sobre la superficie de RS27. A diferencia de los objetos analizados previamente, se distingue una mayor área con los valores más altos de iluminancia (zonas rojizas), abarcando la mayor parte central de RS27; hacia los bordes se presenta una transición más gradual hacia los valores mínimos de iluminancia (zonas azuladas), llegando a un mínimo de aproximadamente 13 lux. Esto denota una mejor distribución de luz que cubre más uniformemente toda la superficie de análisis RS27.

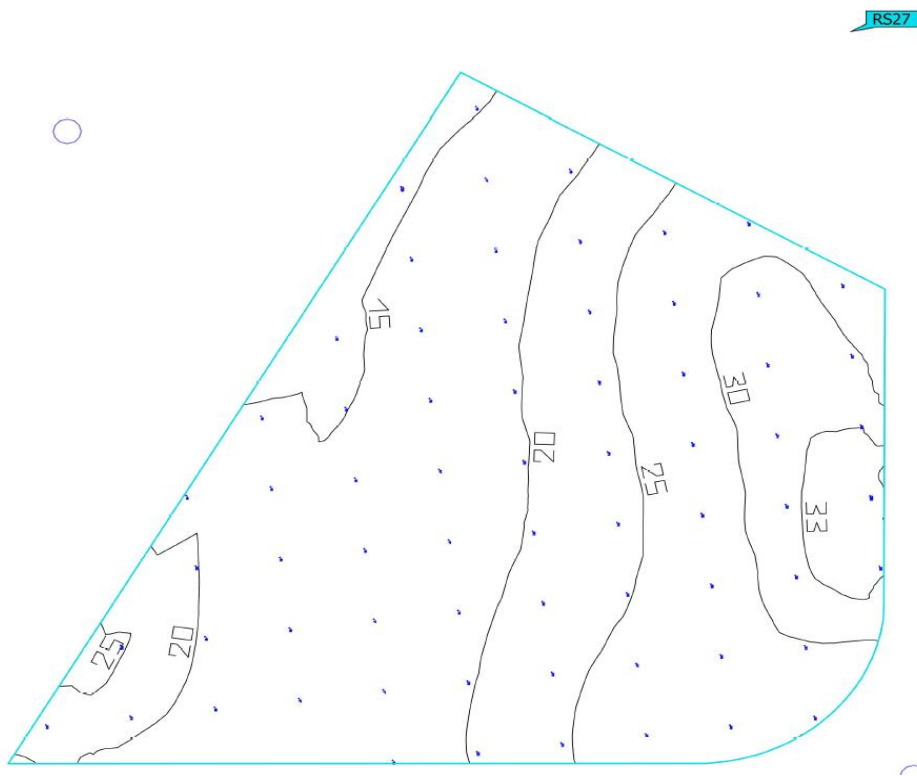


Figura 19. Análisis de objetos RS27

Los valores cuantificados en la Tabla 12 confirman estas observaciones, reportando una iluminancia promedio de 22.3 lux, una mínima de 12.9 lux y una máxima de 34.3 lux. También se obtienen los mejores índices de uniformidad entre todos los objetos analizados, con $g1 = 0.587$ y $g2 = 0.38$, dentro de los rangos recomendados.

Tabla 12.*Objeto de resultado de superficies 27*

Propiedades	\bar{E}	$E_{mín}$	$E_{máx}$	$g1$	$g2$	Índice
Objeto de resultado de superficies 27 Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.180 m	22.3 lx	12.9 lx	34.3 lx	0.587	0.38	RS27

Interpretación:

- La iluminancia promedio es de 22.3 lx, un valor alto que denota un nivel de iluminación muy adecuado para áreas peatonales exteriores.
- La iluminancia mínima de 12.9 lx también es relativamente alta. Esto indica que no hay zonas excesivamente oscuras dentro del objeto.
- La máxima iluminancia es de 34.3 lx. La relación de 2.7:1 con la mínima demuestra una distribución uniforme de luz.
- El índice de uniformidad $g1$ de 0.58 es muy bueno, cumpliendo holgadamente el mínimo recomendado de 0.2.
- El índice $g2$ de 0.38 también indica una uniformidad superior a la mínima recomendada de 0.1.
- En conjunto, los índices $g1$ y $g2$ muestran que hay una distribución uniforme de la iluminación en este objeto. No hay zonas excesivamente oscuras ni brillantes.
- Esto se traduce en una iluminación de calidad para los peatones, sin cambios bruscos de luminancia al transitar el área.

Contraste con la norma EM-010 instalaciones de alumbrado exterior del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú:

- Iluminancia promedio de RS27: 22.3 lx. Cumple sobradamente la norma (mínimo 10 lx).
- Iluminancia mínima de 12.9 lx. Es un valor alto, proporcionando buena uniformidad.
- Iluminancia máxima de 34.3 lx. Relación 2.7:1 con la mínima.
- Índice $g1$ de 0.58, cumple con creces el requisito de $g1 \geq 0.2$.
- Índice $g2$ de 0.38, también cumple holgadamente $g2 \geq 0.1$.

- Los índices de uniformidad son muy buenos, con una distribución uniforme de luminancia.
- En cuanto a deslumbramiento y modelo de alumbrado, similar a los otros objetos analizados.
- Las luminarias LED de 40W son adecuadas para este uso peatonal.

En conclusión, el objeto RS27 tiene niveles de iluminancia y uniformidad que cumplen ampliamente con los valores mínimos establecidos en la norma EM.010 RNE para alumbrado de áreas peatonales exteriores. La calidad de la iluminación es muy apropiada para el uso previsto.

3.6 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

3.6.1 Cálculo de potencia máxima de la luminaria

La potencia de la luminaria solar según el diseño del Dialux nos indica de 40w.

entonces obtenemos la potencia máxima con la ecuación:

$$P_{\max} = P_l \times T \quad (1)$$

Donde:

P_{\max} es potencia máxima (W),

P_l es potencia de la luminaria (W),

T es tiempo de consumo (h).

Tabla 13.

Cálculo de potencia máxima de la luminaria

Ítem	Potencia (W)	Horas de trabajo	Potencia máxima (W)
Luminaria led	40	12	480+
Controlador timer	0.096	24	2.3
Potencia máxima (Wh/día)			482.3

3.6.2 Cálculo de consumo máximo

$$I_{\max} = P_{\max} / V_B \quad (2)$$

Donde;

I_{\max} es la corriente máxima (Ah/día),

P_{\max} es la potencia máxima (Wh/día),

V_B voltaje de la batería (V).

$$I_{\max} = 40.19(\text{Ah/día}).$$

Para dimensionar el consumo máximo de la luminaria se realizó el cálculo del consumo máximo mediante la ecuación (3).

$$C_{\max} = \frac{I_{\max}}{R} \quad (3)$$

Donde;

C_{\max} es consumo máximo,

I_{\max} corriente máxima,

R es rendimiento global de instalación.

3.6.3 Rendimiento global

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d} \right) \quad (4)$$

Donde;

K_b Coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías,

K_a Coeficiente de por auto descarga diario de las baterías,

K_c Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el inversor,

K_v Coeficiente de perdidas varias,

P_d Profundidad de descarga de las baterías.

Remplazando en la Ecuación, tenemos (4):

$$R = (1 - 0.05 - 0 - 0.05) * \left(1 - \frac{0.005 * 1}{0.6} \right) \quad (5)$$

$$+ R = 0.99$$

Obteniendo el rendimiento global remplazamos a la Ecuación (3).

$$C_{max} = 40.60$$

3.6.4 Cálculo de batería.

$$C_n = \frac{C_{max} * N}{P_D} \quad (6)$$

$$C_n = 81.2Ah$$

Dónde:

C_n = Capacidad total de baterías.

(Ah) C_{max} = Consumo máximo (Ah/día),

N autonomía (días),

P_D = Factor de descarga de batería (50%).

3.6.5 Cálculo del módulo solar

$$P_{min} = \frac{E_l}{HSP * R} \quad (7)$$

Donde:

P_{min} = Potencia mínima del generador (Wh/día),

E_l = Energía de la luminaria (Wh/día),

HSP = Horas sol pico,

R = Rendimiento global de instalación.

$$P_{\min} = \frac{480}{5.45 \times 0.99}$$

$$P_{\min} = 88.96 \frac{Wh}{dia}$$

3.6.6 Cálculo del controlador de carga

$$I_{SCgenerator} = N_{pfv} \times I_{scpanel} \quad (8)$$

Donde:

$I_{sc\ generator}$ = Corriente de cortocircuito generador (A),

N_{pfv} = Número de paneles fotovoltaicos,

$I_{sc\ panel}$ = Corriente de cortocircuito panel (A).

$$I_{SCgenerator} = 1 \times 6.57$$

$$I_{SCgenerator} = 6.57A$$

Por lo tanto, se aplica el factor de seguridad del 25% la corriente de cortocircuito del generador de campo es:

$$I_{SCgenerator} = 1.25 \times 6.57A$$

$$I_{SCgenerator} = 8.21A$$

Entonces; la corriente que consume la luminaria se determina en la siguiente ecuación:

$$I_l = N_l \times \left(\frac{P_l}{V_s} \right) \quad (9)$$

Donde;

I_l corriente que consume la luminaria (A),

N_l número de luminarias,

V_s voltaje de sistema,

P_l potencia de la lámpara (W).

Remplazando la ecuación 9

$$I_i = 1 \times \frac{40}{12}$$

$$I_i = 3.33A$$

$$I_i = 1.25 \times 3.33A$$

$$I_i = 4.16A$$

3.6.7 Calculo para la selección de conductores

Se realizó la selección de cable para los siguientes conductores. (Delgado y Ventura, 2020).

- Cable del módulo solar - controlador timer.
- Cable del controlador timer - batería.
- Cable del controlador timer – luminaria.

Para el cálculo de selección de conductores se calcula aplicando la siguiente ecuación.

$$s = \frac{2 \times L \times I}{\delta \times \Delta V} \quad (10)$$

Donde;

S selección del conductor (mm²),

L longitud total del conductor (m),

I intensidad de corriente (A),

ΔV caída de tensión (V),

δ conductividad del cobre para una temperatura de 20°C es 56. (Roldan Vilorio, 2010).

- Módulo solar - Regulador: 3%.
- Regulador - batería: 1%.
- Regulador - Carga: 2%.

Distancia de los equipos de sistema fotovoltaico se encuentran a:

- Longitud máxima del módulo solar – controlador timer: 2m.
- Longitud máxima del controlador timer - batería: 1m.
- Longitud máxima del controlador timer - carga (luminaria): 2m.

Por lo tanto, calculamos la caída de tensión de los conductores.

Módulo solar – controlador timer a una tensión de 12V:

$$\Delta V = \frac{3 \times 12}{100} \quad (11)$$

$$\Delta V = 0.36v$$

Controlador timer - Batería a una tensión de 12V:

$$\Delta V = \frac{1 \times 12}{100} \quad (12)$$

$$\Delta V = 0.12v$$

b. Controlador timer - carga (luminaria) a una tensión de 12V:

$$\Delta V = \frac{2 \times 12}{100} \quad (13)$$

$$\Delta V = 0.24v$$

Reemplazando estos valores en la ecuación, obtenemos los siguientes resultados:

Cálculo de la sección del conductor de módulo solar - controlador timer:

$$S = \frac{2 \times 2 \times 6.57}{56 \times 0.36} \quad (14)$$

$$S = 1.30mm^2$$

Cálculo de la sección del conductor de controlador timer - batería:

$$S = \frac{2 \times 1 \times 6.57}{56 \times 0.12}$$

$$S = 1.95 \text{mm}^2$$

Cálculo de la sección del conductor de controlador Timer - carga (luminaria):

$$S = \frac{2 \times 2 \times 4.16}{56 \times 0.24} \quad (15)$$

$$S = 1.23 \text{mm}^2$$

Tabla 14.

Características técnicas de los conductores a utilizar

Cable	V	L (m)	(A)	(mm)	Cable
Modulo fotovoltaico-controlador	0.36	2	8.21	1.3	14
Controlador- batería	0.12	1	8.21	1.95	14
Batería- carga	0.24	2	5.2	1.23	16

3.7 Cálculo de viabilidad económica

El uso de temporizadores en la tecnología de iluminación pública solar fotovoltaica nos proporciona datos para evaluar su sostenibilidad a largo plazo, lo cual es esencial para decidir correctamente. Para determinar esto, estimaremos el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Periodo de Recuperación Simple (PRS) y la relación Beneficio/Costo (B/C), todos basados en la inversión inicial del sistema.

Tabla 15.

Inversión del sistema de iluminación solar fotovoltaico.

Ítem	Descripción	Und.	Cant.	Precio unitario S/.	Precio de costo S/.
1 Materiales					
1.1	Modulo solar 100W 12V	unid	1	300.00	300.00
1.2	Batería 100Ah 12V RI	unid	1	600.00	600.00
1.3	Controlador timer 10Ah 12V	unid	1	220.00	220.00

Continuación

1.4	Luminaria led 40W 12V	unid	1	70.00	70.00
1.5	Gabinete metálico	unid	1	130.00	130.00
1.6	Estructura del módulo solar	unid	1	100.00	100.00
	Poste ornamental de fierro				
1.7	fundido	unid	1	1180.00	1180.00
	Faros ornamentales de fierro				
1.8	fundido	unid	1	300.00	300.00
1.9	Cable 14mm2	unid	2	5.00	10
1.10	Cable 16mm2	unid	2	4.00	08
2 Servicios					
	Mano de obra de la				
2.1	Instalación	unid		30.00	30
2.2	Otros	unid		100.00	100
				subtotal	3048.00
				IGV 0.18%	548.64
				total, Unitario	3596.64
				Costo total 28 luminarias	100,705.92

Tabla 16.

Inversión de sistema de iluminación convencional.

Ítem	Descripción	Und.	Cant.	Precio unitario S/.	Precio de costo S/.
1 Materiales					
1.1	luminaria de vapor de sodio	unid	1	210.00	210.00
1.2	Foto célula	unid	1	95.00	95.00
1.3	Interruptor termo magnético	unid	1	15.00	15.00
1.4	Cable	unid	5	14.00	70.00
1.5	Tubería	unid	3	6.00	18.00
1.6	Curvos	unid	2	2.00	4.00
1.7	Poste ornamental de fierro fundido	unid	1	1,165.00	1,165.00
1.8	Faros ornamentales de fierro fundido	unid		300.00	300
2 Servicios					
	Mano de obra de la				
2.1	Instalación	unid		40.00	40
2.2	Otros	unid		80.00	80
				subtotal	1997.00
				IGV 0.18%	359.46
				Total, unitario	2356.46
				Costo total 28	65980.88

3.7.1 Energía total generada mensual del sistema de iluminación solar

$$ET_{mes} = n_1 \times P_{max} \times 30 \quad (16)$$

$$ET_{mes} = 1x402.3x30$$

$$ET_{mes} = 402.3x30$$

$$ET_{mes} = 12069Wh / mes$$

Donde;

ET_{mes} energía total generada al mes (Wh/día),

nl número de luminarias,

P_{max} potencia máxima (Wh/día).

Tabla 17.

Costo de energía anual del sistema

Pliego tarifario para clientes finales con vigencia desde el 04 de noviembre de 2022		
Resolución tarifaria de gerencia comercial N° 018-2022-ELPU/GC		Azángaro
Incluye FOSE, incluye MCTR, no incluye I.G.V.	Unidad	14
tarifa para suministro en media tensión		
bt5b medición simple de energía activa		
a) Residencial con consumo menor o igual a 30 kWh por mes		3
cargo fijo 1: lectura mensual	S/. /cliente	4.12
cargo fijo 2: lectura mensual	S/. /cliente	
cargo de energía activa	cents/. /kWh	33.60
b) Residencial con consumo mayor a 30 y menor o igual a 140kWh por mes		
cargo fijo 1: lectura mensual	S/. /cliente	
cargo fijo 2: lectura mensual	S/. /cliente	
cargo por energía activa - primeros 30kWh	cents/. /kWh	10.08
cargo por energía activa - excesos de 30kWh		84.00
c) residencial con consumo mayor a 140 kWh por mes		
cargo fijo 1: lectura mensual	S/. /cliente	4.32
cargo fijo 2: lectura mensual	S/. /cliente	
cargo de energía activa	cents/. /kWh	88.12
d) no residencial		
cargo fijo 1: lectura mensual	S/. /cliente	5.07
cargo fijo 2: lectura mensual	S/. /cliente	
cargo de energía activa	cents/. /kWh	97.21

3.7.2 Ahorro económico por consumo de energía anual

$$CE_{asSFV} = ET_{mes} \times CP_{kWh} \quad (15)$$

Donde;

CE_{asSFV} es el costo de energía anual,

ET_{mes} es la energía total mensual,

CP_{kWh} es el precio de energía.

Los cálculos se obtuvieron en la Tabla 18.

Tabla 18.

Costo de energía del sistema solar fotovoltaico por luminaria

	Costo unitario kWh(S/.)	Energía kW/mes	Total, de energía
Energía eléctrica	0.84	18.069	S/ 12.01
		IGV (18%)	S/ 2.16
		Mensual	S/ 14.18
		Anual unitario	S/ 170.12
		Anual 28 luminarias	4,763.36

Costo de energía del sistema convencional x luminaria

	Costo unitario kWh(S/.)	Energía kWh/mes	Total, de energía
Energía eléctrica	0.84	54.00	S/ 45.36
		IGV (18%)	S/ 8.16
		Mensual	S/ 53.52
		Anual unitario	S/ 642.29
		Anual 28 luminarias	17,984.12

Costo de mantenimiento asociado a la energía fotovoltaica

El costo de mantenimiento será el 2% anual del monto total de la inversión inicial que para este caso es

$$M_{\text{costo manual}} = \text{Costo total inversion} \times 2\%$$

$$M_{\text{costo manual}} = 100702.72 \times 2\%$$

$$M_{\text{costo manual}} = 2014.05$$

Análisis de rentabilidad

Flujo de caja a un periodo de 25 años que es lo que se garantiza que duran los paneles sin perder su eficiencia.

Tabla 19.

cuadro de Flujo de caja

Año	Inversión	Ingresos (ahorro de energía)	Egresos (mantenimiento)	Flujo de caja
0	-100,702.72			-100,702.72
1		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
2		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
3		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
4		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
5		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
6		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
7		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
8		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
9		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
10		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
11		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
12		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
13		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
14		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
15		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
16		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
17		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
18		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
19		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
20		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
21		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
22		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
23		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
24		17,984.12	-2,014.05	15,970.07
25		17,984.12	-2,014.05	15,970.07

Se procede a evaluar la propuesta con los indicadores VAN, TIR, CB, PE.

3.7.3 Cálculo de VAN

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (18)$$

Donde:

FC_t es el flujo de caja en el tiempo t ,

r es la tasa de descuento,

n es el número de periodos.

$$VAN = S / .44258.24$$

El VAN se ha calculado en 44,258.24. soles, esto significa que, descontando los flujos de caja futuros a una tasa del 10%, el proyecto genera un valor de 44,258.24 soles por encima de la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto es financieramente viable y que se espera que genere más dinero del que cuesta a lo largo del tiempo.

3.7.4 Cálculo de TIR

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (19)$$

Donde

FC_t es el flujo de caja en el tiempo t ,

r es la tasa de descuento,

n es el número de periodos.

$$TIR = 15.42\%$$

La TIR es del 15.42%. significa que el proyecto tiene una tasa de rendimiento anual del 15.42%, que es mayor que la tasa de descuento del 10%. Una TIR que excede la tasa de descuento sugiere que el proyecto es una buena inversión.

3.7.5 Cálculo de Beneficio Costo

$$BC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (20)$$

Donde:

B_t son los beneficios en el tiempo t ,

C_t son los costos en el tiempo t .

$$BC = 1.37$$

El BC de 1.37 indica que, por cada sol invertido, se espera recibir un retorno de 1.37 soles.

El BC mayor a 1 es generalmente considerado positivo y justifica la inversión.

3.7.6 Cálculo del Punto de equilibrio

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{inversion inicial}}{\text{flujo de caja neto anual}} \quad (21)$$

$$\text{Punto de equilibrio} = 6.3$$

El punto de equilibrio en términos de flujo de caja se alcanza cuando los ingresos totales igualan a los costos totales. En este caso, es de 6.3 lo que indica que a partir del 1er trimestre del sexto año se habría recuperado la inversión inicial.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados

4.1.1 Demanda lumínica

Para la determinación de la demanda lumínica se utilizó el software DiaLux y los resultados fueron cotejados con lo que pide la Norma EM0.10 Instalaciones de Alumbrado Exterior del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Tabla 20

Demanda lumínica del sistema fotovoltaico.

Zona Analizada	Modelo de Luminaria	Iluminancia Promedio	Uniformidad	Cumplimiento de Normativa
Áreas Principales (RS9, RS27)	LXF/LXT Lexington 40W	Adecuada	Aceptable	Cumple
Zonas Secundarias (RS10, RS23)	LXF/LXT Lexington 40W	Suficiente	Aceptable	Cumple

De acuerdo con todo el análisis realizado de los objetos de prueba RS9, RS10, RS23 y RS27 para el proyecto de alumbrado público con luminarias LED en la Plaza de Armas, se arriba a la siguiente conclusión:

El modelo de luminaria LED LXF/LXT Lexington de 40W propuesto cumple en términos generales con los requerimientos de demanda lumínica para el ambiente peatonal planteado, de acuerdo con la comparación con la normativa peruana EM-010 RNE para alumbrado exterior.

Los objetos RS9 y RS27, que representan las zonas principales de tránsito y estancia de la plaza, presentan niveles de iluminancia promedio sobre los 20 lux, sobrepasando holgadamente el mínimo normativo de 10 lux, además de tener una aceptable uniformidad con índices g_1 y g_2 dentro de los rangos recomendados de 0.2 y 0.1 respectivamente.

En contraste, los objetos RS10 y RS23, que representan zonas secundarias o periféricas, no logran cumplir los requisitos mínimos de uniformidad g_1 y g_2 a pesar de tener

iluminancia promedio suficiente. Esto se debe a valores muy bajos de iluminancia mínima detectados en algunas zonas localizadas.

Por tanto, la solución lumínica cumple la demanda en las áreas principales de la plaza, pero requiere refuerzos localizados en algunos puntos específicos mediante mayor densidad o potencia de luminarias. Esto permitiría equalizar la iluminación en todo el espacio y así cumplir cabalmente con la normativa para el uso peatonal nocturno previsto.

En conclusión, el modelo de luminaria LED propuesto es adecuado para satisfacer la demanda lumínica en la Plaza de Armas. Optimizando su distribución se lograría una iluminación óptima y energéticamente eficiente en todo este ambiente exterior peatonal.

4.1.2 Demanda energética

La determinación de los componentes del sistema fotovoltaico para el alumbrado público se representa a continuación junto con los valores prácticos o comerciales.

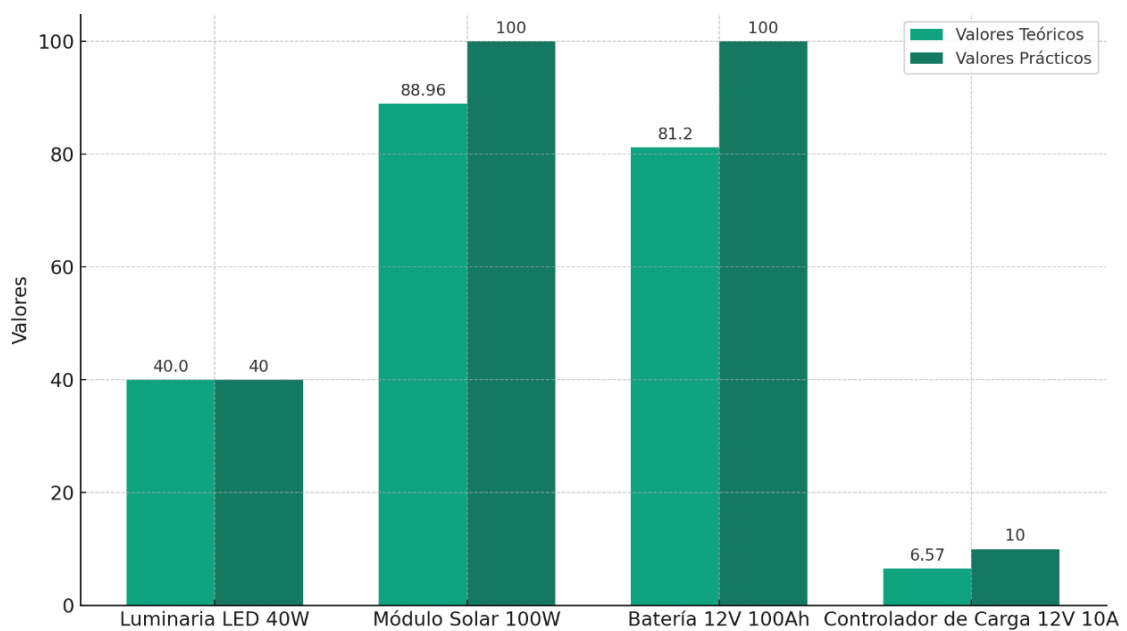


Figura 20. Comparación valores teóricos y prácticos

En consecuencia, para tener encendida la luminaria Led de 40W por 12 horas diarias y considerando que la evaluación energética para el módulo solar ha resultado en una potencia de 88.96W, se aconseja la selección de un módulo de 100W, atendiendo a la disponibilidad comercial estándar de dichos módulos. En cuanto a la batería, se propone una unidad de 12V y 100Ah, la cual se ajusta más estrechamente al valor teórico obtenido de 81.2Ah. En lo que respecta al controlador de carga, se recomienda optar por un

dispositivo de 12V y 10A, incorporado con timer de para su encendido apagado, por ser este el más cercano al valor calculado de 6.57A, garantizando así una adecuada regulación y funcionamiento de la energía con un margen seguro de operación.

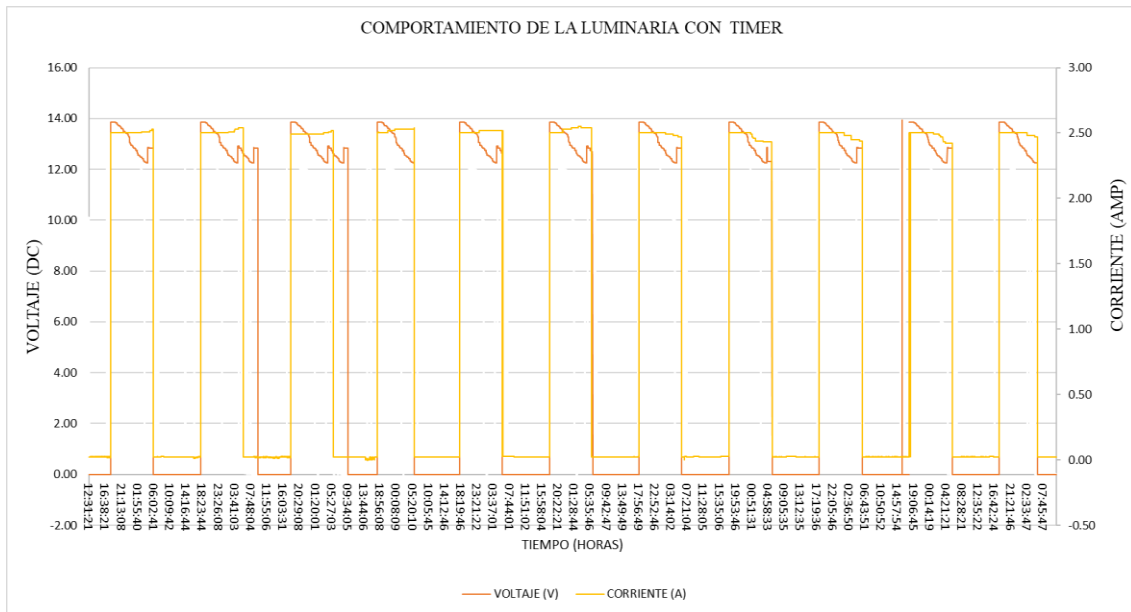


Figura 22 cuadro de funcionamiento del timer con luminaria en sistema fotovoltaica

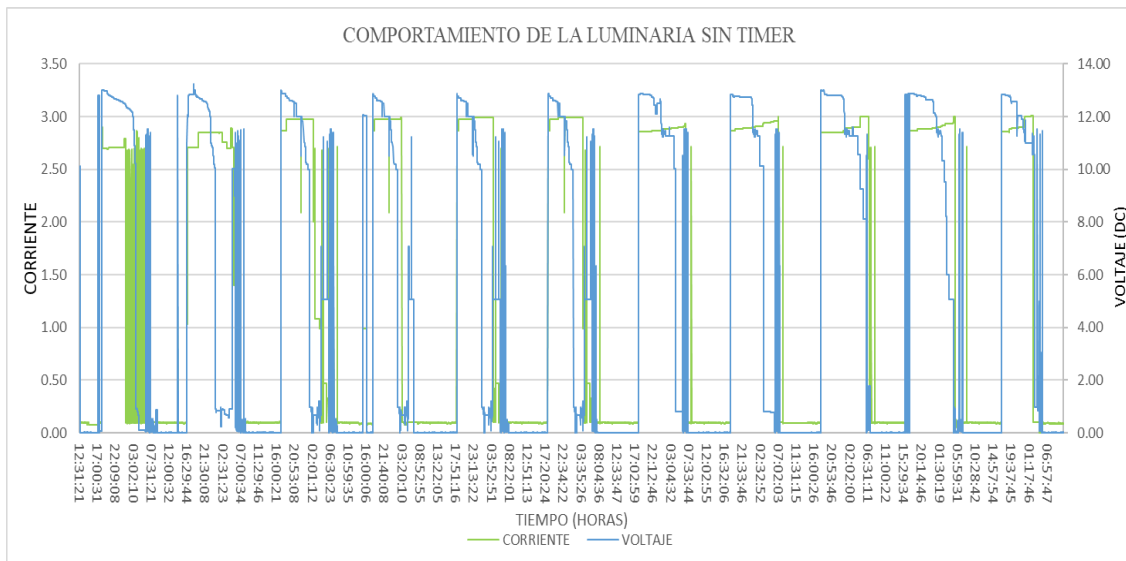


Figura 21 cuadro de funcionamiento de la luminaria sin timer en sistema fotovoltaico

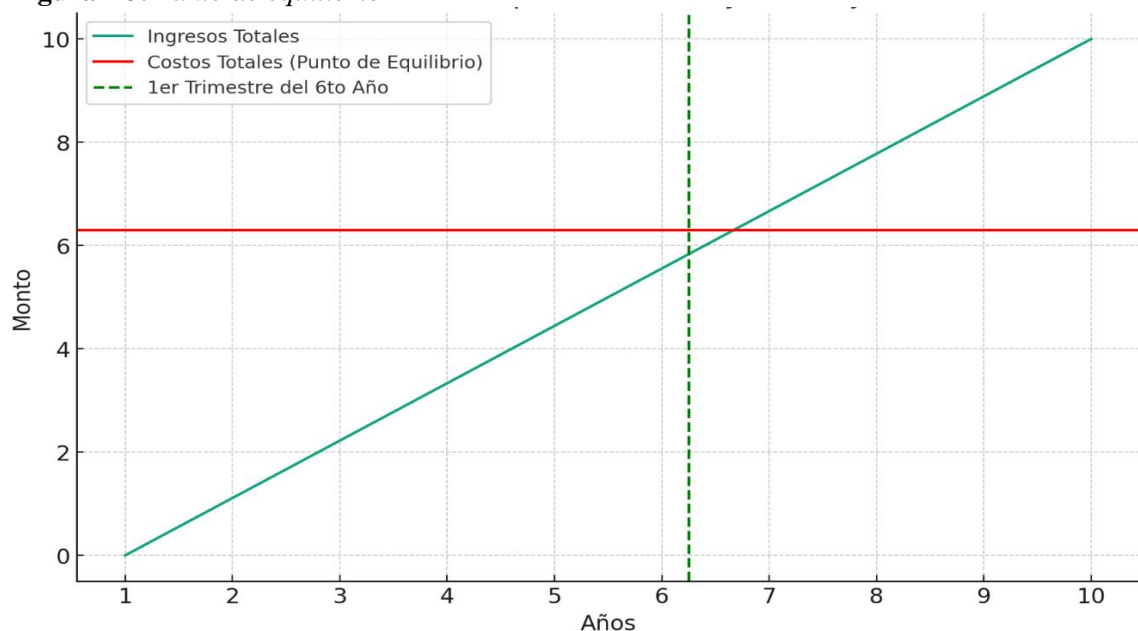
En la figura 21 de muestra Cuadro de comportamiento de la carga efectuada mediante una luminaria de 40 W en la plaza de armas de San Antonio de Putina que empieza a descargarse desde los 13.8 Vdc hasta un 12.2 Vdc y con una corriente constante de 2.5 A de forma constante, el cual representa un consumo de un 50% del total de la capacidad de la batería en una noche de descarga por lo tanto se demuestra que existe una autonomía y bajo estrés en el trabajo de la batería dimensionada sin embargo en la figura22 es la luminaria sin timer que su voltaje inicial es de 12.8 Vdc pero estando a 23

horas el voltaje cae a cero y la corriente es inestable esto demuestra que la luminaria sin timer no tiene una buena eficiencia en el sistema fotovoltaico el cual está trabajando a un 40% de su eficiencia sin embargo con el sistema dimensionado ya con timer inteligente se opta de ganar un 60% más de su eficiencia en funcionamiento.

4.1.3 Viabilidad económica

EL proyecto subraya su viabilidad financiera y eficiencia económica. Un VAN positivo, una TIR que supera la tasa de descuento, una relación de beneficio-costo superior a 1, y un punto de equilibrio alcanzable dentro de un periodo razonable, todos apuntan a un proyecto bien concebido y ejecutado que no solo es sostenible económicamente, sino también potencialmente lucrativo para las inversiones y beneficioso para la comunidad.

Figura 23. *Punto de equilibrio*



La figura 21 muestra que el punto de equilibrio se alcanza en el primer trimestre del sexto año, lo que significa que todos los costos iniciales y operativos se recuperarían en este periodo. Esto es crucial para la sostenibilidad financiera a largo plazo del proyecto. Un punto de equilibrio en este marco temporal indica que, aunque la inversión inicial es significativa, los flujos de caja positivos generados por el proyecto permiten recuperar esta inversión en un periodo razonable, esto es respaldado por un VAN positivo de 44,258.24 soles, un TIR de 15.42% y con una relación de costo beneficio de 1.37, asegurando la viabilidad financiera a medio y largo plazo.

4.2 Discusión

La demanda lumínica coincide con la recomendación de Cáceres (2018) sobre diseñar sistemas de iluminación eficientes, el modelado realizado en Dialux permitió diagnosticar áreas con iluminancia insuficiente en la Plaza de Armas, pese a obtener valores adecuados en zonas principales. El estudio de Caicedo y García (2017) también utilizó mediciones lumínicas sobre luminarias solares para identificar mejoras, resaltando la utilidad de software especializado como Dialux para modelar la demanda y predecir resultados lumínicos. Una diferencia con Caicedo y García es que su medición fue sobre el sistema ya implementado, mientras esta investigación se basa en valores modelados en Dialux previo a la ejecución. No obstante, ambos casos resaltan la utilidad de la simulación computacional para el diagnóstico lumínico. En contraste con la mayoría estudios previos, el alcance del modelado lumínico específico mediante Dialux para caracterizar la demanda de iluminación en la Plaza de Armas, previo a la selección y diseño del sistema solar, constituye un aporte original de este trabajo, cubriendo un vacío metodológico identificado en la revisión bibliográfica.

Respecto de la determinación de demanda energética, en línea con Arenas y Zapata (2011) precisa la importancia de un correcto dimensionamiento fotovoltaico, este estudio calculó 482.3 Wh/día y 2 días de autonomía para seleccionar apropiadamente módulo, batería y controlador, coincidiendo con Pérez (2019) en evitar sub o sobredimensionamientos en aras de eficiencia. Así mismo, el estudio de Naranjo et al. (2018) reportó mejoras con temporizadores para alumbrado público, cuyo potencial se evidencia también en la propuesta de controlador timer para el sistema solar planteado. Nuevamente, la consideración de este componente de control como parte integral del sistema fotovoltaico a dimensionar, más allá de las luminarias LED, es un aspecto innovador destacable de este análisis. Por otro lado, Cáceres (2018) propone e implementa luminarias solares, pero no detalla cálculos del dimensionamiento como los abordados en este objetivo específico. Tampoco Caicedo y García (2017) profundizan en aspectos energéticos de su sistema solar. En contraste, el estudio integral de demanda energética mediante métodos analíticos representa un valor agregado de esta investigación.

Con relación a la viabilidad financiera, al igual que el estudio de Pérez (2019), se aplicaron indicadores financieros como VAN y TIR para determinar rentabilidad de la propuesta. Los resultados positivos de tales indicadores, sumados al ahorro proyectado

respecto al sistema convencional según el modelo de Bravo y Pérez (2016), justifican la ejecución del proyecto solar con luminarias LED y controlador timer planteado. Cáceres (2018) recomienda complementar este análisis cuantitativo de viabilidad económica con evaluación cualitativa de impactos ambientales positivos del alumbrado solar. Esta integración de factores tangibles e intangibles para una valoración integral de beneficios constituye una mejora a implementar en futuros estudios. Una limitación en común con el trabajo de Pérez (2019) es que la evaluación económica se basa en costos de equipos e indicadores proyectados, no en mediciones reales de ahorro operativo respecto al sistema previo de iluminación. Por tanto, la validación efectiva de estas estimaciones mediante mediciones en campo posterior a la implementación es un aspecto pendiente.

En consecuencia, la determinación de demanda lumínica y energética, así como la evaluación económica realizadas, proveen una sólida base técnica y financiera para justificar la mejora del alumbrado público solar en la Plaza de Armas, citando fundamentos de investigaciones previas. El uso de metodologías validadas, como las empleadas, refuerza la propuesta y sus probabilidades de éxito.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En relación con el objetivo de determinar la demanda lumínica para mejorar la eficiencia del sistema de alumbrado público solar fotovoltaico, el modelado realizado con software Dialux para las 28 luminarias LED de 40W en la Plaza de Armas evidenció una iluminancia promedio de 18 a 22 lux en las zonas principales, cumpliendo los 10 lux mínimos reglamentarios, así como valores de uniformidad de 0.087 a 0.38 acordes a la norma EM-010 de alumbrado público.

Respecto al objetivo de dimensionar la demanda energética del sistema de alumbrado público solar, los cálculos analíticos determinaron un consumo diario de 482.3 Wh/día y una autonomía de 2 días; en base a estos requerimientos modelados y considerando equipos disponibles comercialmente, se sugiere la selección de un panel solar fotovoltaico de 100 Wp, una batería de ciclo profundo de 12 V y 100 Ah, y un controlador de carga de 10 A a 12 V con tecnología pwm, cuyas especificaciones presentan una adecuada correspondencia con la demanda previamente caracterizada de 480 Wh/día, permitiendo asegurar un dimensionamiento óptimo del sistema que evita problemas de déficit o exceso de capacidad; asimismo, la incorporación de un controlador programable timer representa una innovación para potenciar la programación del encendido y apagado de la luminaria a tal como se muestra en las figuras 21 y 22 que hay una deferencia de eficiencia a un 60%, garantizando en conclusión el funcionamiento confiable y optimizado del sistema de iluminación solar para la Plaza de Armas mediante un riguroso dimensionamiento energético y la selección apropiada de sus equipos constitutivos con controlador de carga inteligente.

En cuanto a la evaluación de viabilidad económica, los indicadores calculados de VAN de S/44,258.00 TIR de 15.4%, relación beneficio/costo de 1.37, y periodo de retorno de la inversión de 6.3 años para el sistema fotovoltaico de S/100,705 demuestran que la implementación del sistema solar con controlador y luminarias LED representa una alternativa rentable.

Finalmente, la incorporación de un sistema de iluminación pública solar compuesto por 28 luminarias LED de 40W y el controlador timer en la Plaza de Armas de San Antonio de Putina, resulta técnicamente viable para satisfacer los requerimientos lumínicos reglamentarios modelados, así como económicamente rentable según los indicadores financieros calculados. Cabe recalcar que, si bien por las características del espacio público se utilizó una muestra constituida por una sola luminaria para el análisis lumínico y energético, la evaluación económica consideró la implementación completa de las 28 luminarias que forman parte del sistema de alumbrado existente, sobre la base de una inversión inicial de S/ 100,705.00. Asimismo, por ubicarse las luminarias en un mismo entorno geográfico con iguales requisitos de operación e idénticas condiciones de radiación solar, los resultados del modelado energético y lumínico realizado resultan extrapolables al conjunto de luminarias reemplazadas por la solución solar propuesta. En consecuencia, la modernización planteada representa una alternativa óptima y financieramente justificable para mejorar la eficiencia y confiabilidad del alumbrado público solar en la Plaza de Armas, asentando un antecedente replicable en otras áreas prioritarias del distrito y la ciudad.

5.2 Recomendaciones

- Implementar 4 luminarias LED adicionales de 40W en los puntos específicos de la Plaza de Armas donde se detectaron niveles insuficientes de iluminación, de modo que se igualen los parámetros de uniformidad lumínica en todo el espacio según la normativa vigente.
- Instalar el sistema solar fotovoltaico dimensionado, constituido por un módulo solar de 100W, una batería de 100Ah / 12V, un controlador de carga de 10A / 12V y 32 luminarias LED de 40W, para satisfacer la demanda energética modelada y maximizar la eficiencia.
- Configurar adecuadamente los parámetros del controlador con temporizador según los horarios de uso de la plaza, aprovechando la capacidad de programación para optimizar el consumo eléctrico diario del sistema de iluminación.
- Realizar mediciones periódicas de los niveles lumínicos mediante luxómetro, así como del consumo eléctrico y estado de los equipos, para monitorizar el desempeño del sistema e identificar mejoras.
- Capacitar al personal municipal en operación, mantenimiento preventivo y detección temprana de fallas del sistema solar, para maximizar su tiempo de servicio óptimo.
- Evaluar la posibilidad presupuestaria de extender la implementación del alumbrado público solar con luminarias LED y controlador a otras plazas y parques de la localidad, dada su viabilidad técnica y rentabilidad demostradas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía. (2021). Lighting Analytical Report. <https://www.iea.org/reports/lighting>
- Alcívar, L., Villegas, E., & Ampuño, G. (2023). Design and implementation of a photovoltaic system for the Simón Bolívar basic education school in the community la Masa 2, Puna gulf island. En *Intelligent Technologies: Design and Applications for Society* (pp. 312-321). Springer Nature Switzerland.
- Arenas Sánchez, P.D. y Zapata Castaño, H. (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Banco Mundial. (2017). From Few to Many: Ten Years of Public Lighting Management in Peru. <http://documents.worldbank.org/curated/en/194391510920167953/From-few-to-many-ten-years-of-public-lighting-management-in-Peru>
- Bravo Benavides, A., & Pérez Paucar, E. (2016). Automatización de un sistema de iluminación para optimizar el consumo de energía eléctrica en una empresa productora de bombas centrífugas. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10798>
- Bricos. (2020). Bricos. Obtenido de Bricos: <https://bricos.com/2012/11/temporizadores-clasesy-funcionamiento/>
- Cáceres Uscca, O. (2018). Ahorro de energía eléctrica en iluminación LED en el Instituto de Informática de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, 2018. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10275>
- Caicedo Plua, C., & García Ríos, T. (2017). Implementación de un sistema de iluminación temporizada para el contorno de la capilla María Auxiliadora del cantón Jipijapa [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Institucional UNEFM. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1010>
- Castejon Oliva, A., & Santamaria Herranz, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaicas.

- Davalos, Pongo Javier. (2019). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío La Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca, repositorio <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/71?mode=simple>
- Davidovic, M., & Kostic, M. (2022). Comparison of energy efficiency and costs related to conventional and LED road lighting installations. *Energy (Oxford, England)*, 254(124299), 124299. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124299>
- Energetica, S. c. (02 de Enero de 2018). Sinceo2. Obtenido de Sinceo2: <https://www.sinceo2.com/alumbrado-eficiente-parques-jardines/>
- GreenMatch. (2021). The Growth of Solar Powered Street Lighting. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2021/10/the-growth-of-solar-powered-street-lighting>
- Integra. (2016). Integra. Recuperado el 14 de 07 de 2020, de Integra: <https://www.productosintegra.com/producto/reloj-timer-digital-sica>
- Jalomo-Cuevas, J., Colmenero Fonseca, F., Cárcel-Carrasco, J., Pérez, S. S., & Gudiño-Ochoa, A. (2023). Impact of solar radiation on luminaires and energy efficiency in isolated residential photovoltaic systems. *Buildings*, 13(10), 2655. <https://doi.org/10.3390/buildings13102655>
- Javier Leon, L. (2007). Registrocdt. Obtenido de Registrocdt:
- Jinchuña Illa, J. (16 de 01 de 2020). Repositorio UNA - PUNO. Obtenido de Repositorio UNA - PUNO: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13696>
- Khamis, A. K., Zakzouk, N. E., & Abdelsalam, A. K. (2022). Generalized cost-effective converter for solar street lighting featuring averaged state-space model-based sensorless MPPT. *Computers & Electrical Engineering: An International Journal*, 101(108004), 108004. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108004>
- Leon Caminate, A., Ipanaque Hauyon, C., & Miranda Zambrano, S. (2013). Alumbrado Público con Energia Renovable en la Universidad de Piura. Piura.
- León, A., Ipanaque, C. y Miranda, S. (2017). Alumbrado Público con Energía Renovable en la Universidad de Piura. Universidad de Piura.

- Lumileds. (2019). The Importance of Quality and Efficiency in Conventional Street Lighting. <https://www.lumileds.com/uploads/564/LpS-0002-whitepaper-EMEA-R02.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma EM.010 Instalaciones de Alumbrado Exterior. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/alumbrado-publico/docs/EM010%20INSTALACIONES%20DE%20ALUMBRADO%20EXTERIOR.pdf>
- Naranjo, M., Rodríguez, H. & Rosal, C. (2018). Estudio tecno-económico del cambio de temporizadores electrónicos en las luminarias de la red de servicio público que administra Condensa. (Trabajo de grado). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Bogotá - Colombia: <http://hdl.handle.net/10656/6665>
- Narvarte, L. (2009). Sistemas Fotovoltaicos. Ediciones Paraninfo.
- O.V. Gnana Swathika, K. Karthikeyan, Umashankar Subramaniam, K.T.M. (Ed.). (2022). Energy Efficient Outdoor Lighting System Design: Case Study of IT Campus. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012029>
- Osinermin. (08 de 05 de 2018). Osinermin. Obtenido de Osinermin:
- Pérez Zulueta, J. (2019). Evaluación técnico-económica de un sistema de iluminación con tecnología led y paneles solares fotovoltaicos aplicado a zonas públicas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/122>
- Philips. (2017). The benefits of connected outdoor LED lighting systems. <https://www.lighting.philips.com/main/systems/connected-lighting>
- Trex. (2019). Obtenido de trex: <https://trex.com.pe/soluciones/iluminacion-solar-exterior>
- Vennila, C., Suganya, M., & Vijayaraj, M. (s/f). Implementation of solar powered street lighting system. <https://doi.org/10.37896/pd91.5/91527>

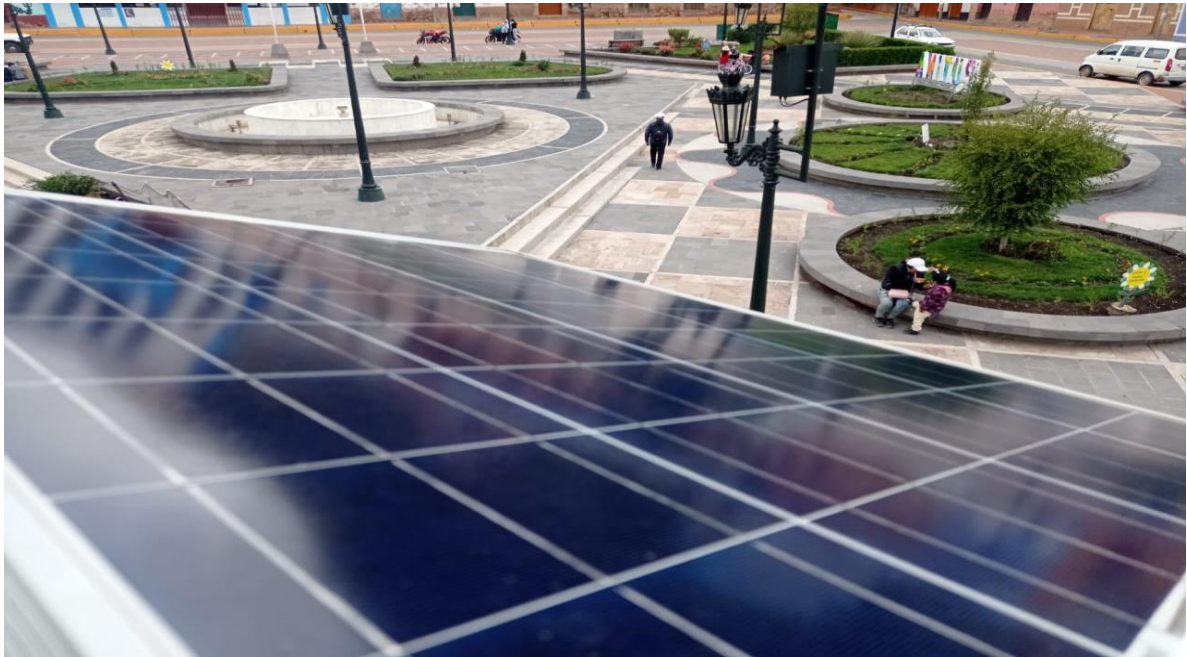
ANEXOS

Anexo 1 *Prueba de funcionamiento de la iluminación solar*



Nota: Prueba de funcionamiento de luminaria Led alimentado por un sistema fotovoltaico y acumulador instalado en la plaza de armas del distrito de Putina, estos ensayos fueron realizados durante la noche.

Anexo 2 *Perspectiva superior del módulo fotovoltaico.*



Nota: figura que muestra la perspectiva superior del panel fotovoltaico instalado y que recoge la energía solar a fin de cargar el acumulador del sistema de iluminación solar con timer.

Anexo 3 *Perspectiva inferior del módulo fotovoltaico*



Nota: vista desde la perspectiva inferior del panel fotovoltaico instalado y que recoge la energía solar a fin de cargar el acumulador del sistema de iluminación solar con timer.

Anexo 2 *Ajuste del módulo fotovoltaico*



Nota: figura que muestra el ajuste del módulo fotovoltaico al soporte que sostiene todo el sistema de iluminación fotovoltaica.

Anexo 3 *Vista superior de la luminaria.*



Nota: la figura muestra la vista superior de la luminaria Led instalada en la plaza de armas del distrito de Putina

Anexo 4 Módulo de medición que consta de sensores de voltaje corriente y PLC



Nota: módulo de medición y circuito de protección del sistema de iluminación instalado en el gabinete para su protección.

Anexo 5 *Modulo controlador programable para encendido apagado y batería. Tipo gel*



Nota: gabinete en el cual está instalado el controlador y batería que alimenta el sistema de iluminación fotovoltaica instalado en la plaza de armas del distrito de Putina.

Anexo 6 *Vista general del sistema de iluminación fotovoltaica.*

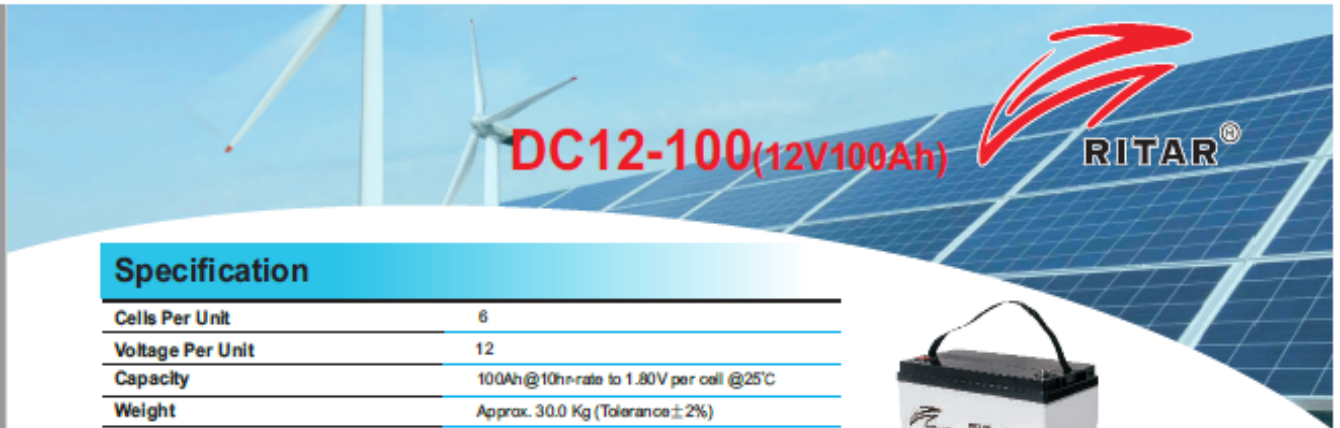


Nota: vista de la instalación del sistema de iluminación led alimentado por un módulo fotovoltaico y respaldado por un batería y controlador.

Anexo 7 *Luxómetro digital. Para prueba de iluminación*



Nota: medición y comprobación manual de la luminosidad con un Luxómetro digital marca UNI-T, realizado en la plaza de armas del distrito de Putina.



Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 30.0 Kg (Tolerance±2%)
Internal Resistance	Approx. 5 mΩ
Terminal	F12(M8)/F5(M8)
Max. Discharge Current	1000A (5 sec)
Design Life	12 years (floating charge)
Maximum Charging Current	30.0 A
Reference Capacity	C3 78.3AH C5 88.0AH C10 100.0AH C20 105.2AH
Float Charging Voltage	13.6 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.6 V~14.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ±5°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 3% at 25°C. Please charge batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



DC (Deep Cycle) series batteries provide superior high integrity and reliability. It is specially designed for frequent cyclic charge and discharge. By using strong grids, thick plate and specially active material are designed for repeated deep-discharge applications. The DC series batteries offers 30% more cyclic life than the standby series. It is suitable for solar and wind renewable energy storage, mobility and medical equipment, RV, telecom, broadband and cable TV, UPS systems etc.



Dimensions

Length	328mm (12.9 inches)
Width	172mm (6.77 inches)
Height	215mm (8.48 inches)
Total Height	220mm (8.68 inches)
Terminal	Value
M5	8-7 N/m
M6	8-10 N/m
M8	10-12 N/m

Unit mm

Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	237.2	182.8	106.0	62.4	37.4	27.8	22.0	18.6	12.7	10.7	5.47
1.65V	229.3	177.4	103.8	61.2	36.7	27.4	21.7	18.3	12.5	10.6	5.42
1.70V	219.0	170.2	100.8	59.7	35.9	26.9	21.3	18.0	12.3	10.5	5.35
1.75V	205.2	160.5	96.8	57.5	34.7	26.1	20.8	17.6	12.1	10.3	5.26
1.80V	186.8	147.5	91.3	54.6	33.1	25.0	20.0	17.0	11.7	10.0	5.13
1.85V	161.5	129.6	83.6	50.4	30.9	23.5	18.9	16.2	11.2	9.60	4.95

Constant Power Discharge Characteristics : WPC(25°C)

F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	403	320	193	117	70.8	53.2	42.3	35.8	24.7	21.1	10.8
1.65V	400	317	191	116	70.1	52.7	41.9	35.5	24.5	20.9	10.7
1.70V	386	306	187	113	68.7	51.7	41.2	35.0	24.2	20.7	10.6
1.75V	369	293	181	110	66.8	50.5	40.3	34.3	23.7	20.3	10.4
1.80V	341	273	173	105	64.1	48.6	39.0	33.3	23.1	19.8	10.2
1.85V	300	244	160	97.2	60.0	45.8	36.9	31.7	22.1	19.0	9.80

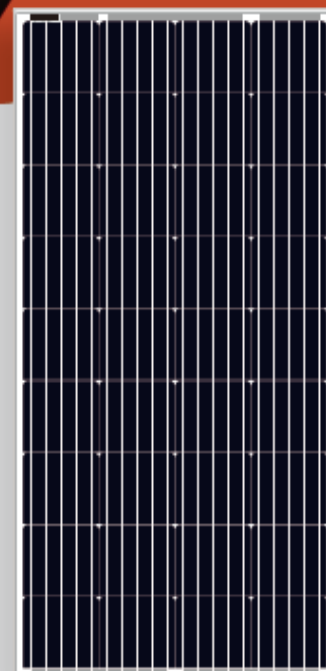


Quality Maker





**JIANGXI RENJIANG
TECHNOLOGY**

Mass Customization | Personalized Service.

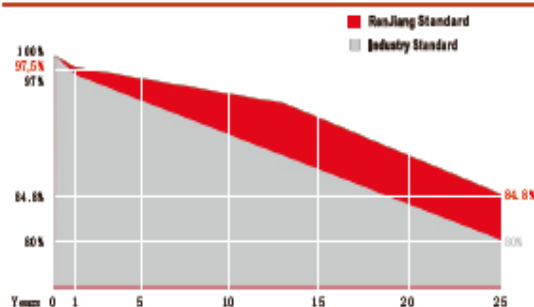
100-130W Mono
156.75mm Cell . 36 - Cell Layout



Product advantage

-  Panel products are controlled according to the quality system quality of large components.
-  Appearance 100%EL twice detection.
-  Before packing, 100% final inspection and visual inspection should be made to prevent the components from running out due to insufficient power and virtual welding.
-  The incoming material through 100% single-cell power testing and 100% single-cell EL screening to prevent the mixed use of different power cells and black.

Linear performance Warranty



Comprehensive Certificates

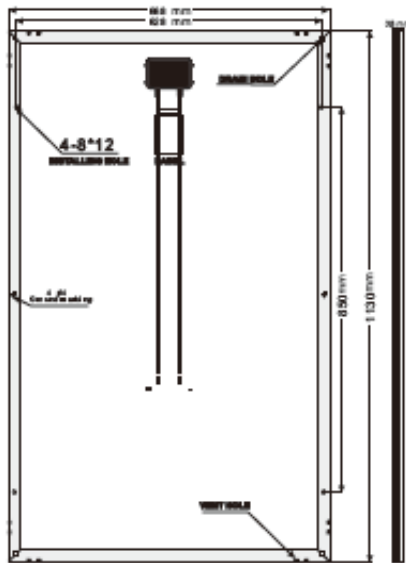
- ISO9001:2015 QMS
- ISO14001:2015 EMS
- ISO45001:2018 OHSMS
- IEC61215/IEC61730 Standard quality

Renjiang Technology Co., Ltd

Address : Zone D 3-268,Ceramics Industry Park, Xiangdong Zone,
Pingxiang City,Jiangxi Province, China.
Website : www.cnrenjiang.com
E-mail : info@renjiangkj.com



Product assembly drawing



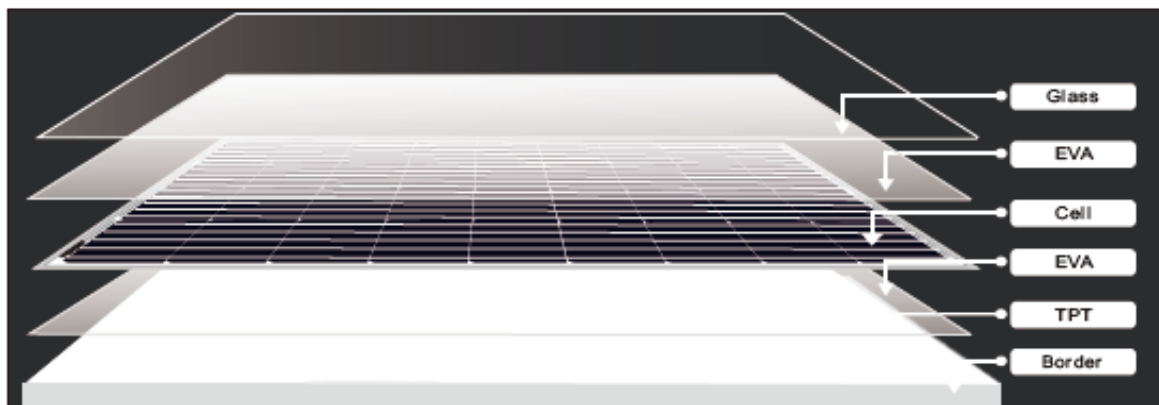
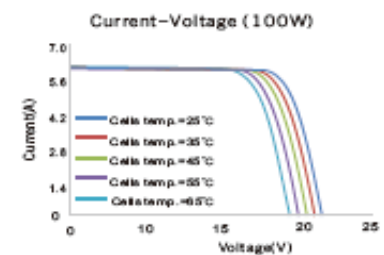
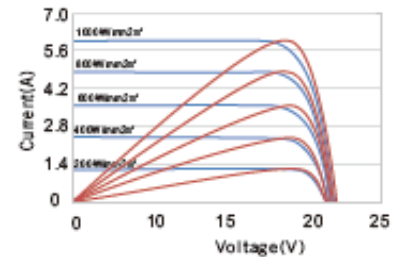
back view



cross-section view

Diagram

Current-Voltage curves (100W)



Electrical performance parameters

Type family:	xxxM5(xxx=100, in steps of 36cells			
Pmp [W]	Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]
RJ100M5-36	21.59	6.17	17.60	5.68

Main technical parameters

Temperature Coefficient of Voc	-0.38%/°C	Standard Test Conditions	1000W/m ² ;25°C;AM1.5
Temperature Coefficient of Isc	+0.04%/°C	Maximum Series Fuse Rating (A)	10
Temperature Coefficient of Power	-0.47%/°C	Weight(kg)	9.1
NOCT	45±3°C	Dimensions(LxWxH)(mm)	1130x668x35
Working Temperature Range	-40°C~ + 85°C	The packing way	1 pcs/包
Maximum System Voltage(V)	600	40HQ Container Loading Capacity	---片

Controladores de carga BlueSolar PWM Pro

www.victronenergy.com



BlueSolar PWM-Pro 10 A



Panel remoto BlueSolar Pro

Programable

La serie BlueSolar PWM-Pro viene lista para su uso con los ajustes por defecto.

También es totalmente programable:

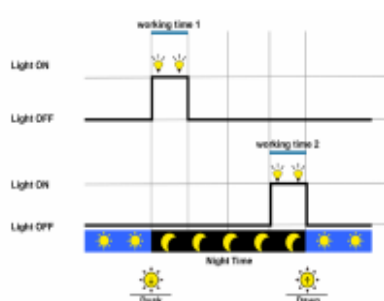
- Mediante un ordenador y un programa informático (disponible gratuitamente en nuestra web)
- Mediante el exclusivo panel remoto BlueSolar-Pro (ver características a continuación).

Características

- Función de control de iluminación, totalmente programable.
- Carga de las baterías de tres etapas (Inicial, absorción y flotación), totalmente programable.
- Función de control de batería integrado (se necesita el panel remoto para ver el estado de la carga).
- Desconexión de la salida de carga por baja tensión y control manual (ajuste por defecto).
- Sensor de temperatura externa opcional.
- Salida de carga protegida contra sobrecarga y cortocircuitos.
- Protegido contra la polaridad inversa de los paneles solares y/o de la batería.

Opciones de temporizador día/noche

Consulte el manual del panel remoto para más detalles.



Blue Solar PWM-Pro	12/24-5	12/24-10	12/24-20	12/24-30
Tensión de la batería	12/24V con detección automática de la tensión de entrada			
Corriente de carga nominal	5 A	10 A	20 A	30 A
Desconexión automática de la carga	Sí			
Tensión solar máxima	28 V/55 V (1)			
Autoconsumo	< 10 mA			
Salida de carga	Control manual + desconexión por baja tensión			
Protección	Inversión de la polaridad de la batería (fusible) Cortocircuito de salida Sobretemperatura			
Sensor de temperatura de la batería	Opcional (artículo SCC940100100)			
Compensación de temperatura	-30 mV / °C, -60 mV / °C resp. (si tiene el sensor de temperatura instalado)			
Panel remoto	Opcional (artículo SCC900300000)			
Puesta a tierra	Positivo común			
Rango de temp. de funcionamiento	-20 a +50°C			
Humedad (sin condensación)	Máx. 98 %			
VALORES PREDETERMINADOS				
Carga de absorción (2)	14,4 V/28,8 V			
Carga de flotación (2)	13,8 V/27,6 V			
Carga de equalización (2)	14,6 V/29,2 V			
Desconexión de carga por baja tensión	11,1 V/22,2 V			
Reconexión de carga por baja tensión	12,6 V/25,2 V			
CARCASA				
Tamaño de los terminales	4 mm²	4 mm²	10 mm²	10 mm²
Tipo de protección	IP30			
Peso	0,13 kg	0,13 kg	0,3 kg	0,5 kg
Dimensiones (al x an x p)	138x70x37 mm 5,4x2,7x1,4 pulgadas	138x70x37 mm 5,4x2,7x1,4 pulgadas	160x82x48 mm 6,3x3,2x1,9 pulgadas	200x100x57 mm 7,9x4,0x2,3 pulgadas
ESTÁNDARES				
Seguridad	IEC 62109-1			
Emisiones	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, ISO 7637-2			
1) Para 12V utilice paneles solares de 36 celdas Para 24V utilice paneles solares de 72 celdas				

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7212-1BE40-0XB0



Figura similar

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU compacta AC/DC/relé, E/S INTEGRADAS: 8 DI DC 24V; 6 DO, relé 2 A; 2 AI 0-10V DC, alimentación: AC 85-264 V AC con 47-63 Hz, Memoria de programas/datos 75 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1212C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.5
Ingeniería con	
• Paquete de programación	STEP 7 V17 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
• 120 V AC	SI
• 230 V AC	SI
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
• Rango admisible, límite inferior	47 Hz
• Rango admisible, límite superior	63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	80 mA con 120 V AC; 40 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	240 mA con 120 V AC; 120 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
It	0,8 A ² ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 000 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
• 24 V	20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	11 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
• Integrada	75 kbyte
• ampliable	No
Memoria de carga	
• Integrada	2 Mbyte
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
• existente	SI
• libre de mantenimiento	SI
• sin pila	SI

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7231-5PD32-0XB0



SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas, SM 1231 RTD, 4xAI
módulo RTD

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1231, AI 4x16 bit RTD
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Intensidad de entrada	
Consumo, tip.	40 mA
de bus de fondo 5 V DC, tip.	80 mA
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	1,5 W
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	4; Termoresistencias
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	±35 V
Unidad técnica ajustable para medición de temperatura	Grados Celsius/grados Fahrenheit
Rangos de entrada	
<ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Intensidad • Termopar • Termoresistencias • Resistencia 	<p>No</p> <p>No</p> <p>No</p> <p>SI; Sensores resistivos: Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, NI100, NI120, NI200, NI500, NI1000, Cu10, Cu50, Cu 100 y LG-NI1000</p> <p>SI; 150 Ω, 300 Ω y 600 Ω</p>
Rangos de entrada (valores nominales), termoresistencias	
<ul style="list-style-type: none"> • Cu 10 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (Cu 10) • NI 100 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 100) • NI 1000 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 1000) • LG-NI 1000 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (LG-NI 1000) • NI 120 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 120) • NI 200 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 200) • NI 500 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (NI 500) • Pt 100 <ul style="list-style-type: none"> — Resistencia de entrada (Pt 100) 	<p>SI</p> <p>10 Ω</p> <p>SI</p> <p>100 Ω</p> <p>SI</p> <p>1 000 Ω</p> <p>SI</p> <p>1 000 Ω</p> <p>SI</p> <p>120 Ω</p> <p>SI</p> <p>200 Ω</p> <p>SI</p> <p>500 Ω</p> <p>SI</p> <p>100 Ω</p>

UWU

UW