

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de un sistema de iluminación utilizando células fotovoltaicas de tercera generación para iluminar la plaza de Sullana

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Marcoantonio Barahona Morante

ASESOR

Hugo Walter Mundaca Guerra

<https://orcid.org/0000-0002-8210-9581>

Chiclayo, 2025

**Diseño de un sistema de iluminación utilizando células fotovoltaicas
de tercera generación para iluminar la plaza de Sullana**

PRESENTADA POR

Marcoantonio Barahona Morante

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazan
PRESIDENTE

Jhony Villalobos Cabrera
SECRETARIO

Hugo Walter Mundaca Guerra
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, Sandra y William, por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de mi carrera, sin su ejemplo, no habría llegado hasta aquí; y a mi hermana, Anggie, por haberme impulsado a dar lo mejor de mí en todo momento.

Del mismo modo, a toda mi familia por guiarme y aconsejarme en los momentos más difíciles.

Agradecimientos

Al Ing. Hugo Walter Mundaca Guerra, por guiarme y compartir sus conocimientos durante la realización de este trabajo. De igual manera, a nuestros docentes, quienes con sus enseñanzas han contribuido con nuestra formación profesional.

INFORMETESIS_BARAHONAMORANTE_MARCOANTONIO.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 3 | pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | www.coursehero.com Fuente de Internet | 1% |
| 6 | renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 9 | tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet | 1% |

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | 9 |
| Abstract | 10 |
| 1. Introducción..... | 11 |
| 2. Metodología | 14 |
| 2.1. Tipo de investigación..... | 14 |
| 2.2. Tipo de proyecto | 14 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos..... | 14 |
| 3. Marco teórico..... | 19 |
| 3.1. Antecedentes | 19 |
| 3.2. Bases teóricas | 21 |
| 4. Resultados y discusión | 29 |
| 4.1. Determinación de radiación solar en la zona de estudio | 29 |
| 4.2. Selección de la lámpara | 31 |
| 4.3. Diseño del sistema de iluminación | 37 |
| 4.3.1. Energía consumida anual por la luminaria convencional..... | 37 |
| 4.3.2. Celdas fotovoltaicas | 38 |
| 4.3.3. Demanda energética | 38 |
| 4.3.4. Capacidad de potencia de paneles | 39 |
| 4.3.5. Numero de paneles fotovoltaicos | 39 |
| 4.3.6. Potencia de batería..... | 40 |
| 4.3.7. Capacidad de la batería..... | 41 |
| 4.3.8. Número de baterías..... | 41 |
| 4.3.9. Requerimientos de la instalación..... | 42 |
| 4.3.9.2. Instalación del diseño..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.10. Planos de la estructura soporte..... | 43 |
| 4.4. Factibilidad económica de instalar un sistema de iluminación fotovoltaica..... | 45 |
| 4.4.1. Análisis de costos unitarios del retiro de la luminaria de vapor de sodio..... | 45 |
| 5. Conclusiones | 52 |
| 6. Recomendaciones | 53 |
| Referencias..... | 54 |
| Anexos | 56 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Técnicas e instrumentos | 14 |
| Tabla 2. Variables | 17 |
| Tabla 3. Matriz de consistencia..... | 18 |
| Tabla 4. Comparación entre generaciones | 23 |
| Tabla 5. Importes por facturar del A.P..... | 25 |
| Tabla 6. Coordenadas UTM..... | 29 |
| Tabla 7. Comparación de radiación solar..... | 30 |
| Tabla 8. Descripción de la luminaria LED..... | 34 |
| Tabla 9. Coordenadas bidimensionales del montaje | 36 |
| Tabla 10. Consumo energético de luminaria vapor de sodio | 37 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo | 16 |
| Figura 2. Gráfico de eficiencia vs Costo | 22 |
| Figura 3. Ángulo de montaje del panel | 26 |
| Figura 4. Índice de radiación ultravioleta..... | 27 |
| Figura 5. Plaza de armas de Sullana – Piura | 29 |
| Figura 6. Luminaria actual de vapor de sodio | 31 |
| Figura 7. Luminaria de vapor de sodio | 32 |
| Figura 8. Vista aérea de Poechos I..... | 32 |
| Figura 9. Luminaria LED de 53 W | 33 |
| Figura 10. Diagrama de emisión de luz..... | 33 |
| Figura 11. Imagen referencial de AP. LED..... | 34 |

Resumen

En la actualidad, la ausencia de suficiente iluminación en los espacios públicos promueve situaciones de inseguridad en distintas áreas de la región, especialmente en las zonas urbanas, donde también se evidencia una escasez de policías y personal de seguridad. En consecuencia, el propósito principal de la presente investigación es diseñar e implementar un sistema de iluminación autosuficiente utilizando células fotovoltaicas de tercera generación para generar la energía suficiente para iluminar uno de los espacios más importantes de la ciudad de Sullana, puesto a que, cuenta con una radiación aproximada de $4,95 \text{ KWh/m}^2$ día.

Se realizará la selección de los componentes del diseño, como paneles fotovoltaicos, controlador, baterías (calculada en un día de operación autónomo), lámpara LED que cumpla con la normativa de alumbrado de la zona y accesorios de instalación correspondientes. Asimismo, se realizó cálculos y simulaciones en softwares de ingeniería para dimensionar correctamente los elementos del sistema, garantizando una iluminación uniforme en toda la plaza. A su vez, se estudia la rentabilidad del proyecto analizando los costos del retiro, instalación, mantenimiento y beneficios a largo plazo.

Se concluye, que se necesitara contar con una inversión de S/ 55 149,43 y se estima recuperarla en un periodo de 5 años con 7 meses.

Palabras clave: Paneles fotovoltaicos, tercera generación, rentabilidad

Abstract

Currently, the lack of sufficient lighting in public spaces promotes situations of insecurity in different areas of the region, especially in urban areas, where there is also a shortage of police and security personnel. Consequently, the main purpose of this research is to design and implement a self-sufficient lighting system using third-generation photovoltaic cells to generate enough energy to illuminate one of the most important spaces in the city of Sullana, since it has an approximate radiation of $4,95 \text{ KWh/m}^2$ day.

The design components will be selected, such as photovoltaic panels, controller, batteries (calculated on a day of autonomous operation), LED lamp that complies with the lighting regulations of the area and corresponding installation accessories. Likewise, calculations and simulations were carried out in engineering software to correctly size the elements of the system, guaranteeing uniform lighting throughout the square. In turn, the profitability of the project is studied by analyzing the costs of removal, installation, maintenance and long-term benefits. It is concluded that an investment of S/ 55,149.43 will be needed and it is estimated that it will be recovered in a period of 5 years and 7 months.

Keywords: Photovoltaic panels, third generation, profitability

1. Introducción

El mundo enfrenta un desafiante panorama en términos energéticos: por un lado, la demanda de energía sigue creciendo constantemente, por otro lado, la mayoría de las fuentes de energía actuales dependen de recursos finitos y su utilización conlleva consecuencias ambientales no deseables. El aumento en la población y el desarrollo económico a nivel mundial conlleva un mayor consumo de energía, y los métodos convencionales de generación de energía, en su mayoría basados en combustibles fósiles, implican efectos significativos, que en gran parte son perjudiciales a nivel global, en el bienestar humano. Debido a esta razón, cada vez más empresas están buscando implementar infraestructuras que utilicen fuentes de energía renovable.

Esto se hace con el objetivo de establecer un sistema energético sostenible a largo plazo en contraposición a los sistemas tradicionales. Por consiguiente, se realiza una revisión de las células fotovoltaicas de tercera generación, donde plasman un avance notable en eficiencia y costo, creando nuevas posibilidades para su integración en proyectos de alumbrado público en otras ciudades de la región. La plaza de Sullana – Piura, un lugar emblemático para la ciudad, confronta un consumo energético elevado debido al uso de lámparas de vapor de sodio, por lo tanto, se requiere modernizar la infraestructura de alumbrado, aprovechando la alta radiación local.

El estudio comprende desde la evaluación de la radiación en la zona y dimensionamiento de los componentes del sistema a implementar, tales como los paneles solares, controladores, baterías y luminarias de tecnología LED. Simultáneamente, se llevan a cabo simulaciones en softwares de ingeniería, donde se garantiza una iluminación eficiente e igual en la plaza; así pues, se consideran tanto aspectos económicos como viables, analizando sus costos de retiro, instalación, mantenimiento con relación a un costo – beneficio.

El resultado esperado es un diseño de iluminación que no solo cumpla con la normativa de alumbrado en espacios públicos, sino que, fomente la adopción de tecnologías limpias, demostrando una solución viable y eficaz para la iluminación pública, asimismo, contribuyendo también con el desarrollo sostenible.

1.1. Realidad o problemática

1.1.1. Realidad del problema

La plaza de armas de Sullana actualmente cuenta con un alumbrado público compuesto por lámparas de vapor de sodio que funcionan con fuentes provenientes de energía convencionales, como la red eléctrica nacional. Este sistema, aparte de ser costoso para la municipalidad de Sullana, de sufrir fallos en el suministro eléctrico, conlleva un alto impacto ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. En tal caso, la investigación actual busca ofrecer una solución innovadora y viable para ser frente a los problemas mencionados.

1.1.2. Pregunta de investigación

¿El diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico de tercera generación permitirá iluminar la plaza de Sullana?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaico para el alumbrado público de Sullana

1.2.2. Específicos

- Evaluar la radiación solar en la zona de estudio.
- Definir la lámpara que cumpla con las normas de alumbrado público en la zona para calcular la demanda diaria de electricidad necesaria para la iluminación.
- Diseñar un sistema de iluminación utilizando paneles solares de tercera generación.
- Evaluar la factibilidad económica de instalar un sistema de iluminación fotovoltaica.

2. Metodología

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada – cuantitativa, utilizando software de ingeniería para dar una solución práctica y eficiente que incorpore tecnologías avanzadas, con el objetivo de iluminar la plaza de Sullana con energía renovable.

2.2. Tipo de proyecto

El estudio tiene como finalidad diseñar un sistema de iluminación fotovoltaica que permita iluminar de forma eficiente y uniforme, para ello, se emplea diversos programas que puedan validar el diseño propuesto y la elaboración de los planos.

2.3. Técnicas e instrumentos

Se realiza una recolección de datos climáticos obtenidos del por la base de datos de la NASA y RETScreen Expert para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Tabla 1. Técnicas e instrumentos

| Técnica | Instrumento |
|----------------------|------------------------|
| Recolección de datos | Software de ingeniería |
| Observación | Ficha de observación |

Fuente: Elaboración propia

2.4. Población y Muestra

2.4.1. Población

La población abarca todas las luminarias públicas en el Perú, por ello, se llevó a cabo un análisis del consumo energético actual para compararlo con los valores asociados a la nueva luminaria LED, según la información proporcionada por OSINERGMIN.

2.4.2. Muestra

Siendo la muestra la luminaria pública de vapor de sodio de la plaza de Sullana – Piura.

2.5. Métodos y diseño de la investigación

Se aplica el método de análisis de datos, obteniendo valores que permitan verificar si la radiación en la zona de estudio es ideal para el uso de celdas fotovoltaicas.

Durante el procedimiento, se emplea el programa DIALux para simular la plaza con luminarias LED, buscando optimizar la potencia del sistema de iluminación y verificar su cumplimiento con los estándares de la normativa de alumbrado público en plazas.

Además, se emplea el método deductivo, para el diseño del sistema fotovoltaico con paneles de tercera generación. Este proceso inicia con el cálculo del consumo energético anual del alumbrado público convencional, extrayendo los parámetros necesarios del pliego tarifario de Osinergmin. Posteriormente, se procede al cálculo del ángulo de inclinación óptimo para los módulos fotovoltaicos, empleando algoritmos y modelos matemáticos que consideran la latitud geográfica y las variaciones estacionales de la radiación solar. El dimensionamiento del sistema se realiza mediante la aplicación de principios teóricos, que abarcan, la determinación de la capacidad fotovoltaica, el cálculo de la capacidad de almacenamiento energético requerido, especificación de los parámetros operativos del controlador. Este método permite determinar los componentes necesarios y definir los parámetros de instalación, culminando en el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo que maximiza la eficiencia y confiabilidad operativa.

Finalmente, se utiliza el método de análisis costo – beneficio, para evaluar la rentabilidad económica de adoptar la iluminación LED con energía solar en lugar de la iluminación convencional.

2.6. Diagrama de Flujo

La operacionalización de variables es un proceso crucial en esta investigación, porque implica transformar conceptos abstractos en indicadores que sean observables y medibles. Este proceso permite definir con precisión las variables de estudio, lo que facilita tanto la recolección de datos y el análisis.

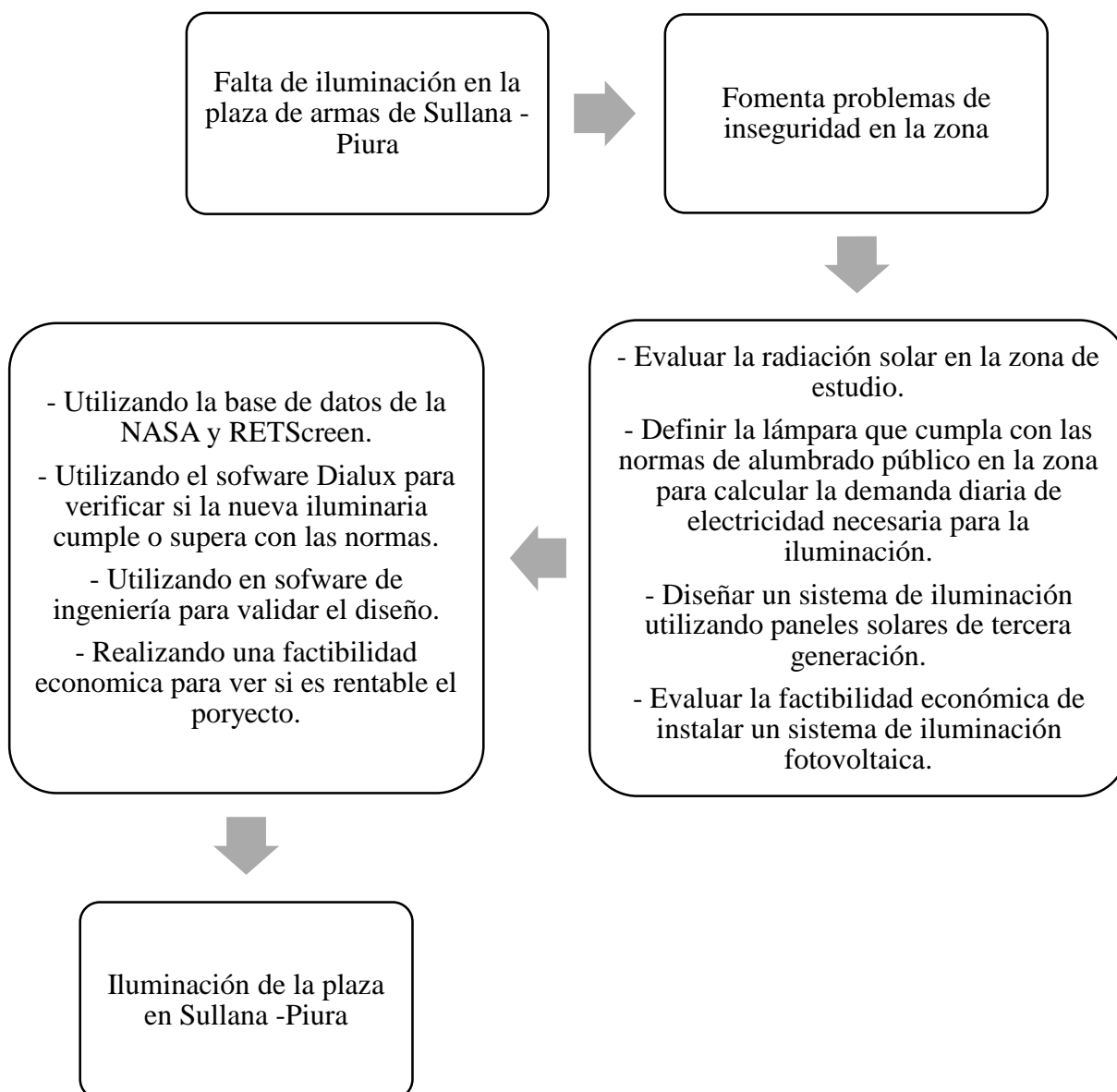


Figura 1. Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS |
|--|--|--|---|--------------------|--------------------|
| Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaica de tercera generación | El diseño implica el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para aprovechar la energía solar y proporcionar iluminación eficiente y sostenible para las calles de la ciudad de Sullana. | Para el desarrollo del diseño se medirán la radiación solar, la potencia requerida y la cantidad de horas de funcionamiento. | DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO | RADIACIÓN SOLAR | kWh/m ² |
| | | | | POTENCIA | kW |
| | | | | TIEMPO | h |
| VARIABLE DEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS |
| Iluminación de las calles de Sullana | Es un al conjunto de instalaciones y sistemas diseñados para proporcionar la iluminación adecuada para brindar una mejor visibilidad, aumentar la seguridad y facilitar la orientación de los peatones y conductores durante las horas de oscuridad. | Se medirá el flujo luminoso necesario para la iluminación, lo que permitirá determinar la luminancia requerida para asegurar niveles de luz adecuados para las personas que transiten por las calles de Sullana. | ILUMINACIÓN | LUMINANCIA | cd/m ² |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Matriz de consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|---|---|--|--|--|
| ¿El diseño de un sistema fotovoltaico de tercera generación permitirá iluminar la plaza de Sullana? | GENERAL | GENERAL | VARIABLE INDEPENDIENTE | DISEÑO DE INVESTIGACIÓN |
| | Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaico para el alumbrado público de Sullana. | Si se realiza el diseño de un sistema de iluminación fotovoltaica, entonces, se iluminarán las calles de las ciudades de Sullana. | Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaica de tercera generación | Tipo aplicada-cuantitativa con utilización de software de ingeniería. |
| | ESPECÍFICOS | ESPECÍFICAS | INDICADORES | TÉCNICA: RECOLECCIÓN DE DATOS |
| | Evaluar la radiación solar en la zona de estudio. | Si se evalúa la radiación con el uso de los softwares RETScreen Expert y base de datos de la NASA, entonces, se podrá validar si la zona es ideal para usar los paneles fotovoltaicos. | RADIACIÓN SOLAR POTENCIA SOLAR PICO | Se utilizará los datos climáticos obtenidos del por la base de datos de la NASA para llevar a cabo este proyecto de investigación. |
| | Definir la lámpara que cumpla con las normas de alumbrado público en la zona para calcular la demanda diaria de electricidad necesaria para la iluminación. | Si se obtiene la demanda de energía requerida a diario, entonces, obtendremos la cantidad de paneles para iluminar las calles de la zona de estudio. | INDICADORES | POBLACIÓN Y MUESTRA |
| | Diseñar un sistema de iluminación utilizando paneles solares de tercera generación. | Si se realiza el diseño del sistema de iluminación fotovoltaica con paneles de tercera generación mediante el software de ingeniería, entonces se validará el diseño. | ILUMINANCIA WATTS | La población abarca toda la luminaria pública en el Perú. La muestra sería la luminaria nueva que será utilizada para el estudio. |
| | | | VARIABLE DEPENDIENTE | |
| | Evaluar la factibilidad económica de instalar un sistema de iluminación fotovoltaica. | Si se realiza la factibilidad económica de instalar un sistema de iluminación fotovoltaica, entonces se verá si es rentable o no. | ILUMINACIÓN DE LAS CALLES DE SULLANA | |
| INDICADORES | | | | |
| | | VAN TIR PIR | | |

Fuente: Elaboración propia

3. Marco teórico

3.1. Antecedentes

A.R. Araujo Gonzales, 2022, en su estudio para la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares fotovoltaicos para la plaza las américas en el distrito de Cerro Colorado - Arequipa. Analizaron el recurso solar en un lugar de estudio variando los ángulos de inclinación utilizando información obtenida del programa PVWatts. Trabajaron con una radiación solar mínima de 5,51 kWh/m² para lograr los mejores resultados. Además, se realizó un análisis de iluminación en la plaza Las Américas mediante el software DIALux, y se calculó el tamaño adecuado de los componentes necesarios para implementar un sistema de energía solar, que incluye módulos fotovoltaicos, inversor/cargador, controlador, banco de baterías y la estructura de montaje correspondiente. En términos económicos, se estima que la inversión total asciende a S/.100 810.59, con un periodo de recuperación de la inversión de 8 años y un ciclo de vida del proyecto de 20 años. Esto se basa en una tasa de inversión del 7%. [1]

De acuerdo con J.R. García Domenique, 2017, en su investigación del diseño de un sistema de iluminación led con celdas solares autónomas para áreas externas de la U.C.S.M en la ciudad de Arequipa. Se efectuó un análisis comparativo de las lámparas disponibles en el mercado, resultando en la elección de las lámparas LED debido a su longevidad y la reducción en la necesidad de mantenimiento que ofrecen. Además, se evaluaron diversos dispositivos reguladores de carga de baterías y convertidores DC/AC. Se llevó a cabo un cálculo de iluminación utilizando el software DIALUX para verificar si las luminarias LED propuestas cumplían con los estándares requeridos, teniendo una eficiencia lumínica mayor a 90 lm/W y una eficiencia eléctrica superior a 90%. Este cálculo incluyó un total de 75 luminarias para áreas exteriores, que constan de 70 luminarias de 170W y 5 luminarias LED ya existentes, todas ellas equipadas con sensores de movimiento para activación automática. [2]

De acuerdo con J.E. Castillo Cruz, 2022, en su evaluación para el diseño de un sistema de energía renovable para el alumbrado público en la avenida Gálvez de la ciudad de Barranca 2021. El enfoque de la investigación se concentra en contrastar la iluminación LED con las fuentes convencionales de iluminación, examinando sus atributos y beneficios a través de una indagación teórica. El proyecto también examina la progresión y características del recurso solar, seleccionando un valor promedio de radiación solar de 5,25 kWh/m², alcanzando resultados de un 16,89% de eficiencia del sistema. Se han seleccionado luminarias con una potencia de 70 W, y se ha considerado la inclusión de cinco paneles solares de 300 W, una batería con una tensión de 51,2V, un controlador de carga con capacidad nominal de 80 amperios, operando a una tensión de 450 voltios en régimen de corriente continua. Adicionalmente, la configuración incluye dos dispositivos de protección termomagnética calibrados a 20 amperios cada uno, complementados por un tercero con un umbral de disparo de 10 amperios. [3]

De Y. Paucar Huaman y C.A. Huamani Rios, 2021, realizaron un estudio del plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la comunidad campesina de San José de Astobamba - Huancavelica. En este estudio se adoptó un enfoque cuantitativo y aplicado, empleando datos documentales como principal fuente de información. El enfoque de investigación utilizado fue de tipo no experimental, de naturaleza descriptiva y alcance transversal; la población estudiada fue la totalidad de residentes en una determinada comunidad, estimada en 100 personas. No obstante, debido a limitaciones de acceso y a la dispersión geográfica de la población, se optó por una muestra de 36 habitantes seleccionados mediante un método no probabilístico por cuotas. Como resultado, el sistema de alumbrado público propuesto demostró un incremento del 279% en su capacidad en relación con el consumo energético previsto y se estima que generará un ahorro de aproximadamente 13.70 toneladas anuales de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). [4]

De acuerdo con J. A. Pérez Zulueta, 2019 en su investigación del diseño de un sistema fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque central de la provincia de Jaén – Cajamarca. El proyecto se centra en implementar tecnología LED, alimentada por paneles solares. Este enfoque busca reducir el impacto ambiental en comparación con la iluminación pública convencional al disminuir las emisiones de gases contaminantes. El análisis teórico abarca las ventajas de la iluminación LED en contraposición a las luminarias tradicionales, aprovechando la tendencia hacia las energías renovables. Se evalúa una evaluación de la irradiancia solar incidente en el área de estudio, estableciendo un umbral mínimo operativo de 3,71 kWh/m² para el dimensionamiento del sistema. La configuración fotovoltaica propuesta incorpora un módulo solar con potencia pico de 130 W, acoplado a una luminaria de 67 W que opera a una tensión nominal de 12 V. El análisis de viabilidad económica proyecta una inversión inicial de S/.43 025,13 con un tiempo de amortización calculado en 7 años y 4 meses. Este cálculo considera una tasa de descuento del 10% y un horizonte temporal de 20 años para la vida útil del proyecto. [5]

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Energía solar fotovoltaica

Esta tecnología produce una corriente unidireccional mediante el efecto fotoeléctrico, que ocurre cuando materiales semiconductores son expuestos a radiación en el espectro visible. La incidencia de fotones sobre una celda fotovoltaica induce la generación de un flujo de electrones, creando así una diferencia de potencial. Este fenómeno de conversión fotoeléctrica cesa inmediatamente al interrumpirse la irradiación lumínica sobre la superficie activa del dispositivo. [6]

3.2.2. Sistemas fotovoltaicos

Se trata de sistemas que aprovechan células fotovoltaicas para transformar la energía solar en electricidad. Estos sistemas encuentran una aplicación destacada en la iluminación a distancia o móvil. Además, la energía fotovoltaica, cuando se combina con instalaciones de almacenamiento de baterías, puede ser útil para alimentar la iluminación de vallas publicitarias, espacios de uso público, estacionamientos y otros entornos similares. [7]

3.2.3. Paneles fotovoltaicos

La tecnología fotovoltaica ha experimentado una notable evolución a lo largo del tiempo, esta evolución se ha categorizado en tres generaciones de paneles solares. La primera generación comprende en células de silicio cristalino, la segunda generación, abarca tecnologías de película delgada, como el Telurio de Cadmio (CdTe) y Cobre, Indio, Galio y Selenio (CIGS). La tercera generación incluye una variedad de tecnologías emergentes, desarrolladas para superar las limitaciones de las generaciones anteriores, entre las que se encuentran las células solares de perovskita, células orgánicas y células solares de puntos cuánticos.

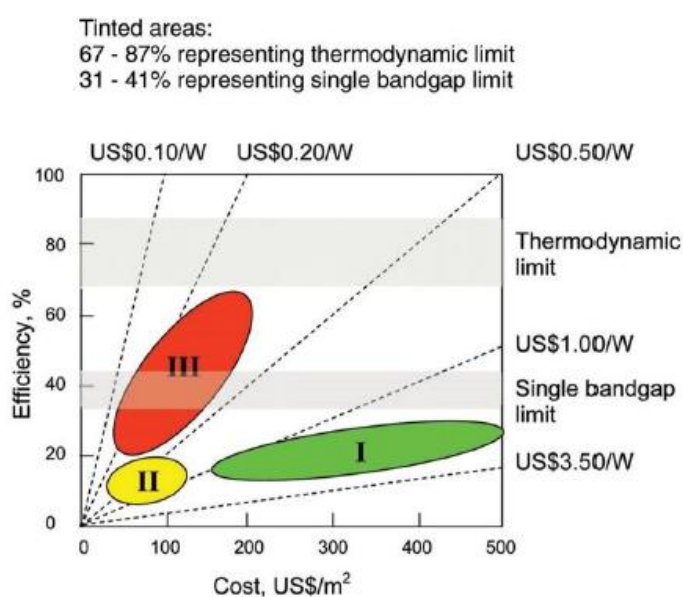


Figura 2. Gráfico de eficiencia vs Costo

Fuente: ScienceDirect 2022

3.2.3.1. Paneles de Tercera Generación

Los paneles solares de silicio cristalino, tanto monocristalinos y policristalinos, tienen una eficiencia moderada entre el 15% y el 20%. Su elevado costo de producción se atribuye principalmente a la tecnología y los materiales empleados. Estos paneles son estructuralmente rígidos y pesados, lo cual limitan las opciones de instalación. Su aplicación principal abarca desde sistemas fotovoltaicos residenciales y comerciales hasta centrales de generación a gran escala.

3.2.3.2. Paneles solares de Segunda Generación

Los paneles solares de películas delgadas basados en semiconductores de CIGS presentan una eficiencia inferior a los de primera generación, oscilando entre el 10% y el 20%. Su proceso de manufactura tiene costos reducidos en comparación con la tecnología de silicio cristalino, debido al uso de materiales más económicos y procesos de fabricación optimizados. Ofrecen mayor flexibilidad para la instalación en superficies no convencionales. Sin embargo, tienen una menor durabilidad y vida útil en comparación con los de la generación anterior. Adicionalmente, es pertinente mencionar que algunas variantes de esta tecnología, como los módulos de Telurio de Cadmio (CdTe), incorporan elementos tóxicos, lo cual suscita consideraciones ambientales.

3.2.3.3. Paneles solares de Tercera Generación

Los paneles solares Perovskita que emplean una estructura cristalina de perovskita; presentan el potencial de revolucionar el sector de energía fotovoltaica, gracias a su alta eficiencia, que supera el umbral del 20% y ofrecen una fabricación económicamente ventajosa en comparación con las anteriores generaciones. La versatilidad estructural de estos materiales facilita una gran flexibilidad en el diseño, permitiendo su integración en distintas aplicaciones. Esta combinación de alto rendimiento, potencial económico y adaptabilidad posiciona a la tecnología de perovskita como un candidato prometedor para futuras innovaciones en el campo fotovoltaico.

Tabla 4. Comparación entre generaciones

| | Primera | Segunda | Tercera |
|---------------------|----------------|----------------|---|
| Eficiencia | Alta | Moderada | Alta |
| Costo | Elevados | Bajos | Bajos |
| Aplicaciones | Fijas | Curvas | Fijas, curvas, integradas y portátiles |

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Alumbrado público

El servicio de alumbrado público se basa proporcionar iluminación en vías, parques, calles y áreas de acceso público por parte de las municipalidades. Esto contribuye a que los conductores y peatones puedan reconocer de manera más efectiva a los objetos durante la noche, lo que a su vez aumenta la seguridad en las calles y reduce los accidentes automovilísticos. [8]

3.2.5. Alumbrado LED

Es un dispositivo que incluye un material semiconductor en su interior, que cuando se le suministra corriente eléctrica de baja intensidad, genera luz. La luz producida por este dispositivo no genera calor, a diferencia de muchos otros dispositivos convencionales emisores de luz que sí provocan un aumento de temperatura. [9]

3.2.6. Base legal para el alumbrado público

Para realizar esta investigación, es fundamental tener conocimiento acerca de la legislación vigente, que incluye el Decreto Ley N° 25844, conocido como la Ley de Concesiones Eléctricas (Artículo 94°), el Decreto Supremo N° 009-93-EM, que establece el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (Artículos 184° y 201°), así como el Decreto Supremo N° 020-97-EM, que aborda la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, junto con sus modificaciones; así como el Decreto Supremo No. 004-95-MTC. [10]

3.2.7. Forma actual de facturación para el alumbrado público en el Perú

El costo de alumbrado público se distribuye entre todos los usuarios a través de una alícuota. Es un reparto proporcional, ya que la cantidad que cada hogar paga por el alumbrado público guarda una relación indirecta con su consumo mensual de energía en el hogar. aquellos que consumen más energía eléctrica pagan una cantidad mayor, mientras que quienes consumen menos pagan menos.

Tabla 5. Importes por facturar del A.P.

| Importes resultantes por facturar | | |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Escalas de consumo | Factores de proporción | Importes fact. A.P. (S/.) |
| ≤ 30 kWh | 1 | 0,78 |
| > 30 kWh a 100 kWh | 7 | 5,47 |
| > 100 kWh a 150 kWh | 12 | 9,37 |
| > 150 kWh a 300 kWh | 25 | 19,53 |
| > 300 kWh a 500 kWh | 35 | 27,34 |
| > 500 kWh a 750 kWh | 70 | 54,67 |
| > 750 kWh a 1000 kWh | 80 | 62,48 |
| > 1000 kWh a 1500 kWh | 120 | 93,72 |
| > 1500 kWh a 3000 kWh | 140 | 109,34 |
| > 3000 kWh a 5000 kWh | 150 | 117,15 |
| > 5000 kWh a 7500 kWh | 250 | 195,25 |
| > 7500 kWh a 10000 kWh | 300 | 234,30 |
| > 10000 kWh a 12500 kWh | 400 | 312,40 |
| > 12500 kWh a 15000 kWh | 500 | 390,50 |
| > 15000 kWh a 17500 kWh | 700 | 456,70 |
| > 17500 kWh a 20000 kWh | 900 | 702,90 |
| > 20000 kWh a 25000 kWh | 1,100 | 859,10 |
| > 25000 kWh a 30000 kWh | 1,125 | 976,25 |
| > 30000 kWh a 50000 kWh | 1,500 | 1,171.50 |
| > 50000 kWh a 75000 kWh | 1,750 | 1,366.75 |
| > 75000 kWh a 100000 kWh | 2,000 | 1,562.00 |
| > 100000 kWh a 200000 kWh | 3,000 | 2343.00 |
| > 200000 kWh a 400000 kWh | 4,000 | 2760.00 |
| > 400000 a más kWh | 5,000 | 2760.00 |

Fuente: Osinergmin, 2024

3.2.8. Mantenimiento del alumbrado público

El mantenimiento del alumbrado público en Perú incluye llevar a cabo una limpieza periódica de luminarias y equipos con el objetivo de asegurar un rendimiento óptimo. Asimismo, implica la revisión de las conexiones eléctricas y la corrección de posibles fallos antes de que estos se transformen en problemas más significativos; asegurando de esta manera el correcto funcionamiento de las instalaciones de iluminación en áreas públicas.

3.2.9. Ángulo de instalación

El ángulo de montaje de los paneles solares se puede modificar con el fin de orientarlos hacia el sol y aumenten la eficiencia de carga al máximo.



Figura 3. Ángulo de montaje del panel

3.3. Conceptos básicos

3.3.1. Célula solar

Este dispositivo realiza la conversión de energía lumínica en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, donde los fotones de luz son absorbidos por el material semiconductor, los transforma en protones, así induciendo un flujo de corriente eléctrica.

[11]

3.3.2. Radiación solar

La radiación se emplea para describir la acción de un cuerpo que emite esta energía, mientras que irradiación se utiliza para señalar al objeto o superficie expuesta a esta radiación. Normalmente, las medidas de radiación se representan mediante los conceptos de irradiancia o irradiación. [12]

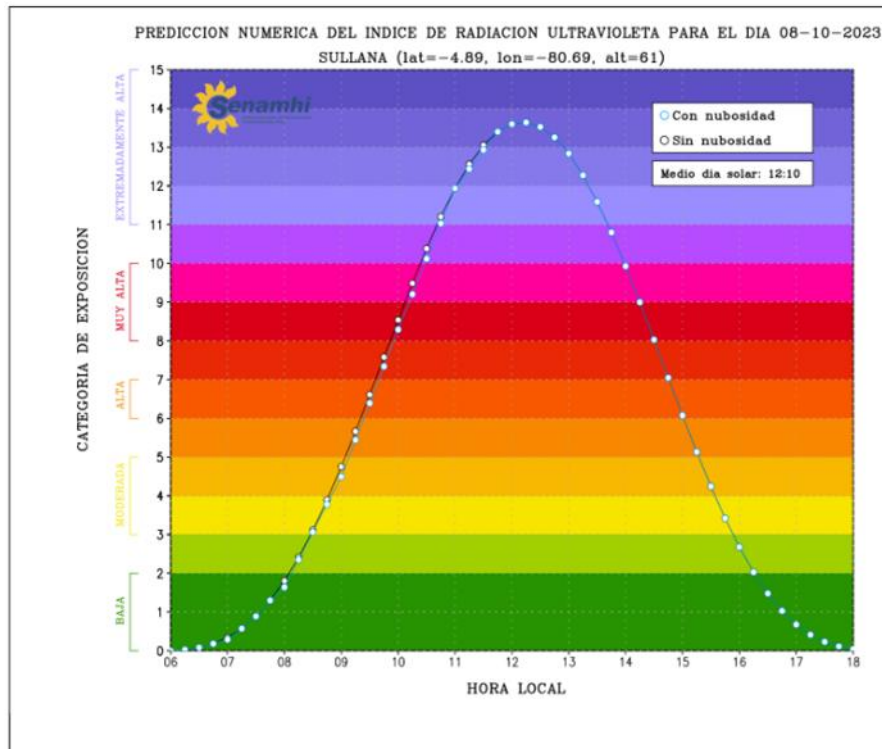


Figura 4. Índice de radiación ultravioleta

3.3.3. Regulador

Tienen la finalidad de salvaguardar la batería en sistemas fotovoltaicos que la incluyan. Esto se logra al regular el voltaje proveniente del sistema y al proteger la batería contra sobrecargas y descargas profundas. [11]

3.3.4. Alicuota

La alícuota de alumbrado público puede cambiar dependiendo de la ubicación y la entidad responsable del mantenimiento del sistema de iluminación pública y de su gestión. Normalmente, se destina a financiar los costos relacionados con la electricidad, la conservación y el arreglo de las luminarias, además de contribuir a la expansión y el perfeccionamiento del sistema de iluminación en vías y espacios públicos.

4. Resultados y discusión

4.1. Determinación de radiación solar en la zona de estudio

Zona de estudio

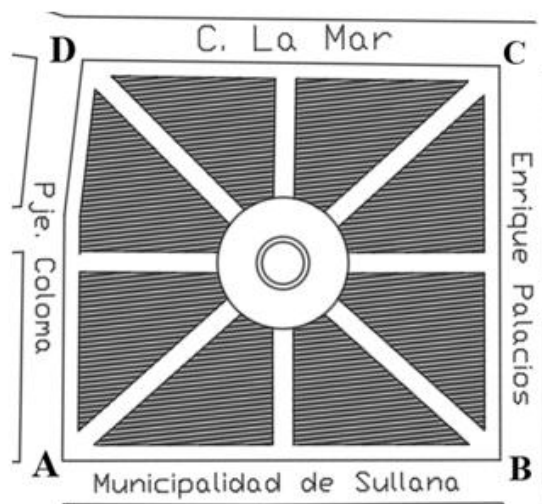
La plaza de armas de Sullana es nuestro lugar de estudio, durante todo el año tiene altos índices de radiación como también un cielo despejado, estas ventajas son favorables para nuestro presente estudio de implementación de alumbrado público aislado de la red mediante paneles solares de tercera generación.

Ubicación

La plaza de armas de Sullana se encuentra en la región de Piura, en la provincia de Sullana y distrito de Sullana.



Fuente: Google Maps, 2023



Fuente: Propia

Figura 5. Plaza de armas de Sullana – Piura

Tabla 6. Coordenadas UTM

| Punto | Lado | Distancia | Este | Norte |
|-------|------|-----------|-----------|------------|
| A | A-B | 80,76 m | 534652,30 | 9459428,10 |
| B | B-C | 72,75 m | 534714,80 | 9459478,90 |
| C | C-D | 77,22 m | 534669,20 | 9459534,70 |
| D | D-A | 74,27 m | 534608,10 | 9459487,40 |

Fuente: Coordenadas de Google Maps, 2023.

Perímetro total: 305 m

Área total del parque: 5 875,37 m²

Datos de radiación solar en Sullana

Se utilizarán dos plataformas para poder comparar los datos de radiación solar en la ciudad de Sullana, una de ellas será el software canadiense de gestión de energía limpia RETScreen Expert, una versión premium avanzada del software, que está disponible en modo Visor de forma totalmente gratuita. Por otro lado, se utilizará la base de datos la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, más conocida como NASA

En las plataformas indicadas se han recaudado información sobre la radiación de la ciudad de Sullana – Piura, desde el mes de enero a diciembre del año 2022.

Tabla 7. Comparación de radiación solar

| Mes | Radiación solar (kWh/m ²) | |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| | NASA | RETScreen |
| Enero | 4,95 | 5,54 |
| Febrero | 4,97 | 5,31 |
| Marzo | 5,47 | 5,66 |
| Abril | 5,50 | 5,41 |
| Mayo | 5,12 | 5,13 |
| Junio | 5,04 | 5,15 |
| Julio | 5,34 | 5,15 |
| Agosto | 5,82 | 5,62 |
| Septiembre | 6,16 | 6,01 |
| Octubre | 6,47 | 6,15 |
| Noviembre | 6,46 | 6,16 |
| Diciembre | 5,62 | 5,91 |

Fuente: NASA & RETScreen, 2022

Se tendrán en cuenta los datos emitidos por la base de datos de la NASA por ser una fuente confiable, reconocida mundialmente y por tener unos datos menores a los de la plataforma RETScreen.

Se escoge el mes de enero, porque se caracteriza por tener la menor cantidad de radiación solar, donde Sullana anota un registro de 4,95 kWh/m².

4.2. Selección de la lámpara

Para un sistema de iluminación pública que funcione con energía solar, es fundamental elegir un LED con eficiencia elevada y consumo energético reducido, ya que el consumo de energía del alumbrado público es constante.

La selección del tipo de luminaria se realizará en estricta conformidad con las ordenanzas municipales de Sullana referentes al alumbrado público. Dicha normativa prescribe los niveles de iluminancia y uniformidad en función de la clasificación vial, el volumen de tráfico vehicular y peatonal, así como los límites de velocidad establecidos. En este proyecto, se adopta la categoría de alumbrado tipo V, la cual establece parámetros fotométricos que aseguran una iluminación óptima en términos de intensidad, distribución y eficiencia energética.

4.2.1. Iluminación actual

Actualmente, las luminarias están conectadas a la red eléctrica, lo que conlleva un gasto de electricidad, y funcionan con lámparas vapor de sodio de 150 W, alimentadas por una tensión de 220 V.



Figura 6. Luminaria actual de vapor de sodio

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Luminaria de vapor de sodio

Fuente: Elaboración propia

La zona de estudio recibe suministro eléctrico a través de la subestación Sullana 60 kV. Esta se encuentra interconectada al sistema de generación hidroeléctrico conformado por las centrales Pochos I y II, las cuales aprovechan el recurso hídrico del Valle de Chira para la producción de energía eléctrica. Dicha infraestructura energética se ubica en la provincial de Sullana, perteneciente del departamento de Piura.



Figura 8. Vista aérea de Pochos I

Fuente: SINERSAPERU, 2024

4.2.2. Iluminación LED por utilizar

La selección de dicha luminaria se fundamenta en sus características fotométricas y energéticas, presentando una potencia nominal de 53 Watts, un flujo luminoso de 9000 lúmenes y una protección contra el ingreso de polvo y agua. Estos parámetros satisfacen los requerimientos estipulados en la normativa local de iluminación. La validación de su rendimiento lumínico se efectuó mediante simulaciones fotométricas utilizando el software especializado DIALux, corroborando así su conformidad con los estándares establecidos.

BGP760 PHILIPS



Figura 9. Luminaria LED de 53 W

Fuente: Philips, 2023

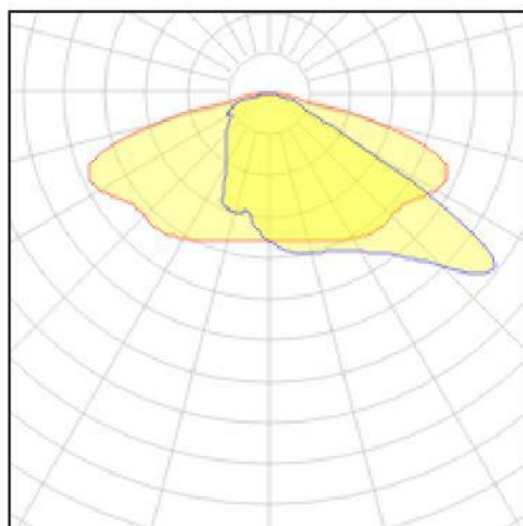


Figura 10. Diagrama de emisión de luz

Fuente: Philips, 2023

Tabla 8. Descripción de la luminaria LED

| Luminaria BGP761 LED90-/740 II DW10 DGR 62 | | |
|---|-------------|---|
| Flujo luminoso | 8100 | lm |
| Índice de producción del color (IRC) | 70 | |
| Consumo de energía | 53 | W |
| Factor de potencia (Fracción) | 0.97 | |
| Código de protección de ingreso | IP66 | (Protección contra el ingreso de polvo, a prueba de chorro de agua) |
| Dimensiones | 107x236x860 | mm |
| Espiga para un diámetro | 62 | mm |

Fuente: Philips, 2023



Figura 11. Imagen referencial de AP. LED

Fuente: ENSA, 2019

4.2.3. Estudio en DIALux

Los resultados obtenidos mediante el software especializado DIALux corroboran que los parámetros de luminancia cumplen con las especificaciones normativas establecidas para la zona de estudio, superando en todos los espacios los 20 lx.

Proyecto

DIALux

Terreno Parque (Escena de luz 1)

Objetos de cálculo

Superficie de cálculo

| Propiedades | \bar{E} | E_{min} | E_{max} | $U_0 (g_1)$ | g_2 | Índice |
|--|-----------|-----------|-----------|-------------|-------|--------|
| Camino Peatonal Principal Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 31.1 lx | 2.85 lx | 46.6 lx | 0.092 | 0.061 | CG1 |
| Camino Peatonal Secundario Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 22.8 lx | 14.1 lx | 36.0 lx | 0.62 | 0.39 | CG2 |
| Camino Peatonal Secundario 2 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 24.8 lx | 6.96 lx | 36.4 lx | 0.28 | 0.19 | CG3 |
| Camino Peatonal Secundario 3 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 24.0 lx | 3.16 lx | 32.0 lx | 0.13 | 0.099 | CG4 |
| Camino Peatonal Secundario 6 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 23.2 lx | 2.07 lx | 37.8 lx | 0.089 | 0.055 | CG7 |
| Camino Peatonal Secundario 7 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 20.1 lx | 0.86 lx | 34.3 lx | 0.043 | 0.025 | CG8 |

El análisis fotométrico detallado presenta las siguientes características, la altura del montaje de la luminaria, número de la luminaria y su ubicación en un sistema de coordenadas bidimensional (x,y).

Tabla 9. Coordenadas bidimensionales del montaje

| Luminaria | X | Y | Altura de montaje |
|-----------|----------|----------|-------------------|
| 1 | 72.100 m | 0.900 m | 8.000 m |
| 2 | 14.600 m | 75.100m | 8.000 m |
| 3 | 42.712 m | 74.700 m | 8.000 m |
| 4 | 28.300 m | 74.000 m | 8.000 m |
| 5 | 73.229 m | 74.000 m | 8.000 m |
| 6 | 60.791 m | 73.400 m | 8.000 m |
| 7 | 3.900 m | 68.526 m | 8.000 m |
| 8 | 43.700 m | 66.287 m | 8.000 m |
| 9 | 82.400 m | 64.571 m | 8.000 m |
| 10 | 41.700m | 57.465 m | 8.000 m |
| 11 | 3.600 m | 55.638 m | 8.000 m |
| 12 | 81.500 m | 53.119m | 8.000 m |
| 13 | 34.992 m | 45522 m | 8.000 m |
| 14 | 50.092 m | 44622 m | 8.000 m |
| 15 | 21.884 m | 38.800 m | 8.000 m |
| 16 | 71.291 m | 38.600 m | 8.000 m |
| 17 | 2.500 m | 37.933 m | 8.000 m |
| 18 | 82.400 m | 37.596 m | 8.000 m |
| 19 | 11.774m | 36.800 m | 8.000 m |
| 20 | 61.478 m | 36.400 m | 8.000 m |
| 21 | 49.692 m | 30.022 m | 8.000 m |
| 22 | 34.600 m | 29.900 m | 8.000 m |
| 23 | 1.700m | 26.000 m | 8.000 m |
| 24 | 81.600 m | 23.400 m | 8.000 m |
| 25 | 43.100m | 18.665 m | 8.000 m |
| 26 | 1.500m | 11.500 m | 8.000 m |
| 27 | 82.500 m | 10.336 m | 8.000 m |
| 28 | 41.100 m | 10.038 m | 8.000 m |
| 29 | 22.923 m | 2.100 m | 8.000 m |
| 30 | 57.100 m | 2.065 m | 8.000 m |
| 31 | 10.058 m | 0,900 m | 8.000 m |
| 32 | 42.100 m | 0.900 m | 8.000 m |

Fuente: DIALux

4.3. Diseño del sistema de iluminación

Una vez seleccionada el tipo de luminaria que cumpla o supere con la normativa de alumbrado público de la zona en estudio, habiendo validado su rendimiento lumínico en el software DIALux, se procede a calcular del consumo de energético del sistema propuesto. Esta evaluación energética servirá como base para el dimensionamiento y diseño del sistema de iluminación fotovoltaico autónomo.

El proceso abarca desde la selección de componentes fotovoltaicos adecuados, incluyendo paneles solares, baterías, controladores, para la determinación del diseño óptimo del sistema. Este diseño debe garantizar la generación, almacenamiento y suministro de energía suficiente para mantener la operatividad de las luminarias durante las 12 horas de funcionamiento, considerando las condiciones meteorológicas locales y las variaciones en la irradiación solar.

4.3.1. Energía consumida anual por la luminaria convencional

Este cálculo de energía consumida anualmente proporciona una base cuantitativa para la comparación con sistemas de iluminación alternativos y para la evaluación de la eficiencia energética de la infraestructura de alumbrado público existente.

Tabla 10. Consumo energético de luminaria vapor de sodio

| Sistema | Consumo (W) | Cantidad | P. Energía en barras (S/. kWh) | Horas diarias | Días | Total anual |
|----------------|--------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| Tradicional | 150 | 72 | 0,2367 | 12 | 365 | S/ 11 196,86 |

Fuente: Osinergmin 2024

4.3.2. Celdas fotovoltaicas

Inclinación óptima de los paneles

Se determina la inclinación ideal del generador fotovoltaico, la cual asegura la máxima captación de energía solar a lo largo del año y está influenciada por la latitud del sitio donde se ubica el proyecto es de $-4,890050$, y se calcula según la ecuación 1.

$$B_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi| \quad (1)$$

$$B_{opt} = 3,7 + 0,69|-4,890050|$$

$$B_{opt} = 7,074^\circ$$

Donde:

B_{opt} es el ángulo de inclinación óptimo en grados

$|\phi|$ es la latitud de la plaza de armas de Sullana en grados.

4.3.3. Demanda energética

Se calculará la demanda de energía requerida, es decir, el consumo que se experimentará durante el funcionamiento. Se tomará en cuenta 1 unidades de iluminación por cada poste.

$$D_e = P_t \cdot N_t \cdot t \quad (2)$$

$$D_e = 53W \cdot 1 \cdot \frac{12h}{dia}$$

$$D_e = 636 \frac{Wh}{dia}$$

Donde:

D_e es la demanda de energía requerida

P_t es la potencia de la luminaria

N_t es la cantidad de luminarias por poste

t es el tiempo de uso

4.3.4. Capacidad de potencia de paneles

Calcular la capacidad de potencia total que la celda fotovoltaica pueda generar para una captación más eficiente de energía solar.

$$P_t = \frac{F_{cp} \cdot D_e}{I_s} \quad (3)$$

$$P_t = \frac{0,9 \cdot 636}{4,95}$$

$$P_t = 115,64 \text{ W}$$

$$P_t \approx 150 \text{ W}$$

Donde:

P_t es la capacidad de potencia del panel

F_{cp} es el factor de compensación de perdidas

D_e es la demanda requerida

I_s es la irradiación solar

4.3.5. Numero de paneles fotovoltaicos

Estos cálculos variarán en función del nivel de demanda que la carga conectada vaya a generar.

$$N_{pfv} = \frac{E}{0,9 \cdot (P_t \cdot I_s)} \quad (4)$$

$$N_{pfv} = \frac{636}{0,9 (150 \cdot 4,95)}$$

$$N_{pfv} = 0,95$$

$$N_{pfv} \approx 1$$

Donde:

N_{pfv} es el número de paneles fotovoltaicos

E es la energía total

P_t es la potencia del panel

I_s es la irradiación

4.3.6. Potencia de batería

Para la potencia de la batería a utilizar, es esencial tener en cuenta el tiempo de funcionamiento autónomo (Aut), considerando el número de días en los que las celdas solares no proporcionarán energía para cargar la batería. Además, se debe considerar la descarga máxima (Dm) en términos de porcentaje. Este dimensionamiento es fundamental para garantizar la confiabilidad operativa del sistema fotovoltaico.

$$P_{bat} = \frac{Aut \cdot De}{Eb \cdot Dm}$$

$$P_{bat} = \frac{1 \cdot 636}{99\% \cdot 60\%}$$

$$P_{bat} = 1070,70 \frac{Wh}{dia}$$

$$P_{bat} \approx 1200 \frac{Wh}{dia}$$

Donde:

P_{bat} es la potencia total de la batería

Aut es la autonomía

De es la demanda energética

Eb es la eficiencia de la batería

Dm es la descarga máxima

4.3.7. Capacidad de la batería

La determinación de la capacidad del banco de baterías se deriva del cálculo previo de la potencia total requerida. Es imperativo considerar el nivel de tensión nominal del sistema (V_s), el cual debe ser seleccionado en función de los requerimientos de voltaje de la carga.

$$C_t = \frac{P_{bat}}{V_s}$$

$$C_t = \frac{1070,70 \frac{Wh}{dia}}{12 V}$$

$$C_t = 89,23 \frac{Ah}{dia}$$

$$C_t \approx 100 \frac{Ah}{dia}$$

Donde:

C_t es la capacidad total

V_s es voltaje de la batería

4.3.8. Número de baterías

Es fundamental determinar el número exacto de baterías requeridas en el sistema fotovoltaico, para garantizar la autonomía del sistema durante períodos de baja irradiación solar o condiciones meteorológicas adversas.

$$N_b = \frac{C_t}{C_b}$$

$$N_b = \frac{89,23 \frac{Ah}{dia}}{100 \frac{Ah}{dia}}$$

$$N_b = 0,89 \approx 1$$

Donde:

N_b es la cantidad de baterías

C_t es la capacidad total

C_b es la capacidad de la batería

4.3.9. Requerimientos de la instalación

En la implementación del diseño de iluminación fotovoltaicas propuesto, es necesario considerar los siguientes factores técnicos.

4.3.9.1. Ubicación de las luminarias

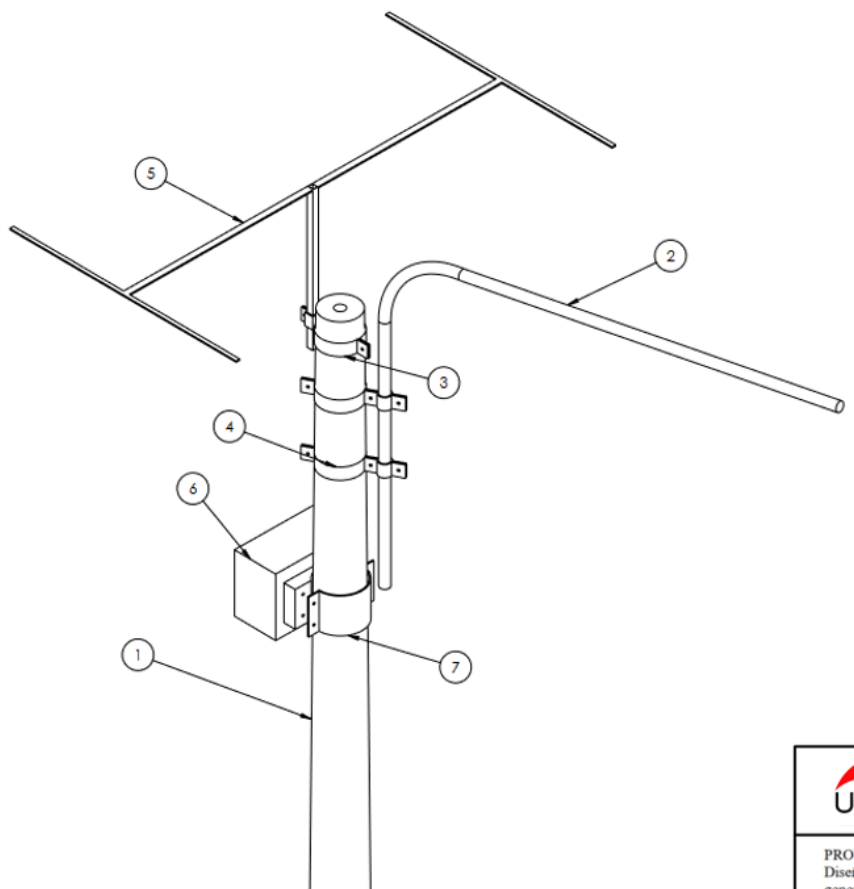
La instalación del nuevo sistema de iluminación se efectuará mediante la reutilización de la infraestructura existente, específicamente los postes de acero ubicados en la plaza de armas de Sullana – Piura. Esta estrategia de aprovechamiento de recursos in situ optimiza la eficiencia económica del proyecto y minimiza el impacto en la configuración urbana actual.

4.3.9.2. Instalación del diseño


Los componentes se caracterizan por su alta durabilidad y propiedades anticorrosivas, destacando el uso de acero galvanizado como material principal debido a su resistencia a la oxidación.

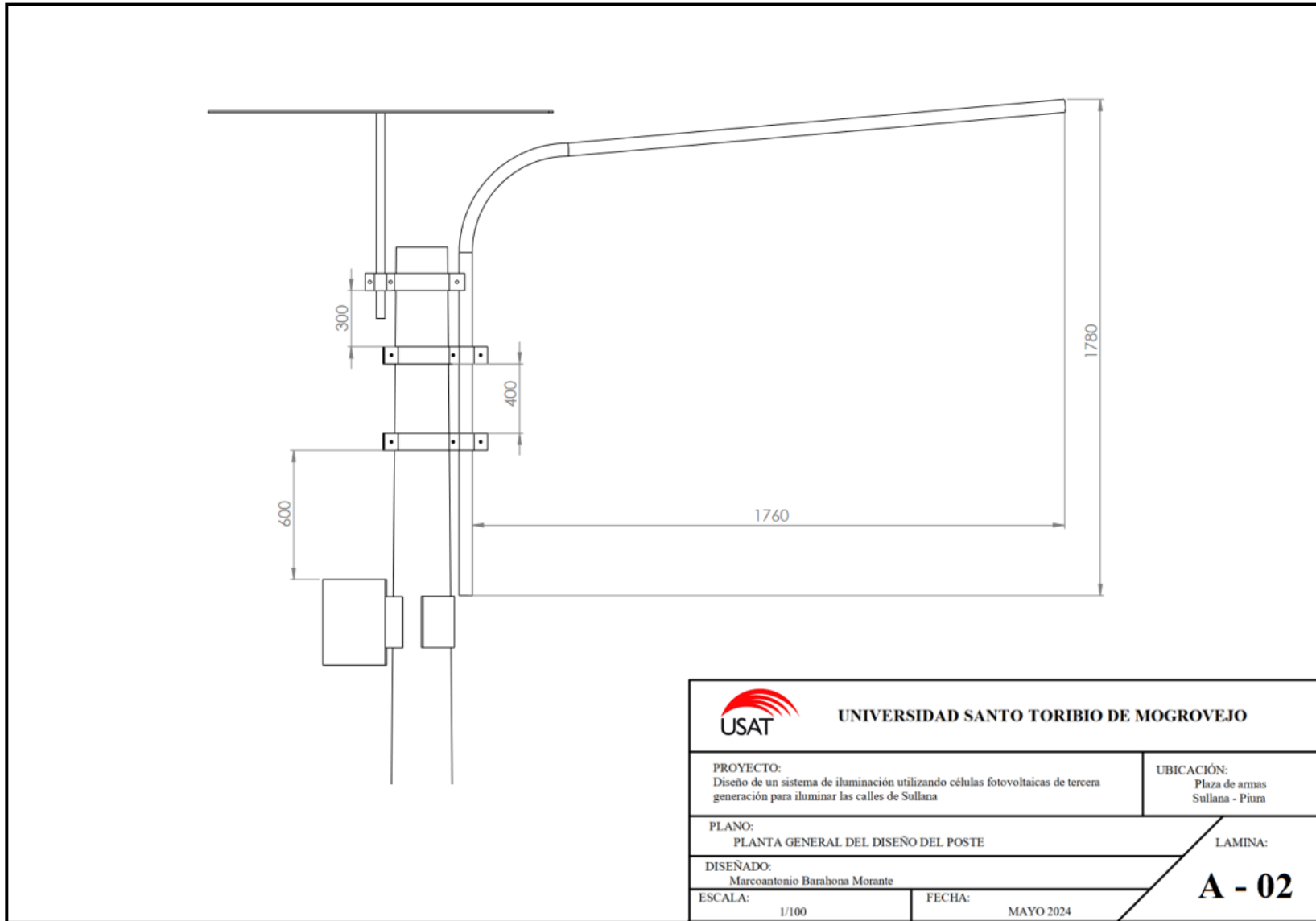
El proceso de instalación se inicia con la remoción del alumbrado público preexistente. Posteriormente, se procede al montaje del sistema fotovoltaico, empleando elementos de fijación como abrazaderas, pernos y tuercas para asegurar la estructura al poste. Una vez anclado y asegurado el panel solar, se instala el brazo de soporte que alberga la luminaria LED previamente seleccionada. La fase final comprende la colocación del caja que alojará la batería y el controlador de carga.

4.3.10. Planos de la estructura soporte



| Ítem | Descripción | Cantidad |
|------|--------------------------------------|----------|
| 1 | POSTE DE C.A.C 8 m | 1 |
| 2 | PASTORAL 1.78m / 1.76m / 38.1mm ø | 1 |
| 3 | ABRAZADERA PARA ESTRUCTURA | 1 |
| 4 | ABRAZADERA PARA PASTORAL | 2 |
| 5 | ESTRUCTURA PARA PANEL | 1 |
| 6 | CAJA PARA BATERIA Y REGULADOR | 1 |
| 7 | ABRAZADERA PARA CAJA | 1 |

| | |
|---|---|
|  UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO | |
| PROYECTO: Diseño de un sistema de iluminación utilizando células fotovoltaicas de tercera generación para iluminar las calles de Sullana | UBICACIÓN: Plaza de armas Sullana - Piura |
| PLANO: PLANTA GENERAL DEL DISEÑO DEL POSTE | LAMINA: A - 01 |
| DISEÑADO: Marcoantonio Barahona Morante | |
| ESCALA: 1/100 | FECHA: MAYO 2024 |



4.4. Factibilidad económica de instalar un sistema de iluminación fotovoltaica

La evaluación de la viabilidad económica de implementar un sistema de iluminación fotovoltaica implica un análisis que abarca diversos parámetros financieros y técnicos. Este estudio de factibilidad requiere la consideración de los siguientes aspectos, facilitando la toma de decisiones sobre la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica.

4.4.1. Análisis de costos unitarios del retiro de la luminaria de vapor de sodio.

El estudio del análisis de costos unitarios para el proceso de retiro de luminarias de vapor de sodio permitirá determinar con precisión el costo por cada luminaria desinstalada, facilitando la proyección presupuestaria para la renovación de infraestructura de iluminación pública.

| | | | | | |
|---|--------|--|----------------|-------------------|---------------------------------|
| Proyecto : | | Retiro de iluminaria vapor de sodio | | | |
| Ubicación : | | Plaza de armas Sullana - Piura | | | |
| Cuadrilla : | | 1 operario + 1 peón | | | |
| Rendimiento : | | 32 postes / día | | | |
| Unidad : | | Postes | Fecha : | 20/05/2024 | Costo unitario : S/ 6,78 |
| Mano de obra | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Operario | hh | 1 | 0,25 | S/ 24,54 | S/ 6,13 |
| Peón | hh | 0,1 | 0,03 | S/ 17,93 | S/ 0,45 |
| COSTO DE LA MANO DE OBRA | | | | | S/ 6,58 |
| Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| - | - | - | - | - | - |
| COSTO DE MATERIALES | | | | | S/ 0,00 |
| Maquinaria, equipos y herramientas | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Herramientas | %mo | - | 3% | S/ 6,58 | S/ 0,20 |
| COSTO DE LA MAQUINARIA, EQUIPOS Y HERRAMINETAS | | | | | S/ 0,20 |

4.4.2. Análisis de costos unitarios de la instalación de luminaria LED con paneles solares

El estudio del análisis de costos unitarios de la instalación del moderno alumbrado público permitirá determinar con precisión el costo por luminaria LED con sistema fotovoltaico instalado, facilitando la elaboración de presupuestos precisos y la evaluación comparativa con sistemas de iluminación convencionales.

| | | | | | |
|---|--------|-----------|----------|-----------|----------------|
| Proyecto : Instalación de iluminaria LED con paneles solares | | | | | |
| Ubicación : Plaza de armas Sullana - Piura | | | | | |
| Cuadrilla : 1 operario + 1 oficial + 1 peón | | | | | |
| Rendimiento : 6 postes / día | | | | | |
| Unidad : Postes Fecha : 4/11/2024 Costo unitario : S/ 1 370,64 | | | | | |
| Mano de obra | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Operario | hh | 1 | 1,33 | S/ 24,54 | S/ 32,72 |
| Oficial | hh | 0,3 | 0,40 | S/ 19,82 | S/ 7,93 |
| Peón | hh | 0,1 | 0,13 | S/ 17,93 | S/ 2,39 |
| COSTO DE LA MANO DE OBRA | | | | | S/ 43,04 |
| Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Panel Perovskita 300 W | und | - | 1 | S/ 569,99 | S/ 569,99 |
| Battery Lithium LiFePO4 12V 24AH | und | - | 1 | S/ 139,85 | S/ 139,85 |
| Controlador Smart MPPT lot AC/DC | und | - | 1 | S/ 125,72 | S/ 125,72 |
| Estructura | und | - | 1 | S/ 75,00 | S/ 75,00 |
| Conector hembra - macho | und | - | 2 | S/ 14,90 | S/ 29,80 |
| Luminaria LED 53W | und | - | 1 | S/ 379,55 | S/ 379,55 |
| Tornillos | und | - | 8 | S/ 0,50 | S/ 4,00 |
| Tuercas | und | - | 8 | S/ 0,30 | S/ 2,40 |
| COSTO DE MATERIALES | | | | | S/ 1 326,31 |
| Maquinaria, equipos y herramientas | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Herramientas | %mo | - | 3% | S/ 43,04 | S/ 1,29 |
| COSTO DE LA MAQUINARIA, EQUIPOS Y HERRAMINETAS | | | | | S/ 1,29 |

4.4.3. Costo total del proyecto

A estos costos directos se aplica un factor del 5% por concepto de costos generales, que abarca gastos administrativos y de supervisión del proyecto. Por otro lado, se incorpora el Impuesto General a las Ventas (IGV) del 18% sobre el subtotal, para obtener el costo total del proyecto.

Esta estructura de costos permite una evaluación comprehensiva de la inversión requerida, facilitando el análisis de viabilidad económica y la comparación con alternativas convencionales de alumbrado público.

| | | |
|-----------------------------|--------|--------------|
| Costo de Retiro | | S/ 650,89 |
| Costo de Instalación | | S/ 43 860,35 |
| Costo Directo | | S/ 44 511,25 |
| Gastos generales | 5,00% | S/ 2 225,56 |
| Subtotal | | S/ 46 736,81 |
| I.G.V. | 18,00% | S/ 8 412,63 |
| Costo total | | S/ 55 149,43 |

4.4.4. Análisis de costos unitarios del mantenimiento preventivo de la luminaria LED con paneles solares

El estudio del análisis de costos unitarios del mantenimiento preventivo de nuestro diseño permite establecer un costo unitario preciso por sesión de mantenimiento preventivo, facilitando la proyección presupuestaria a largo plazo y la optimización de la vida útil del sistema de iluminación fotovoltaica.

| | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|-----------|-----------------|
| Proyecto : Mantenimiento preventivo de iluminaria LED con paneles solares | | | | | |
| Ubicación : Plaza de armas Sullana - Piura | | | | | |
| Cuadrilla : 1 operario + 1 peón | | | | | |
| Rendimiento : 18 postes / día | | | | | |
| Unidad : Postes Fecha : 1/03/2024 Costo unitario : S/ 14,80 | | | | | |
| Mano de obra | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Operario | hh | 1 | 0,44 | S/ 24,54 | S/ 10,91 |
| Peón | hh | 0,1 | 0,04 | S/ 17,93 | S/ 0,80 |
| COSTO DE LA MANO DE OBRA | | | | | S/ 11,70 |
| Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Agua | litros | | 1 | S/ 1,50 | S/ 1,50 |
| Líquido para batería | litros | | 0.5 | S/ 2,50 | S/ 1,25 |
| COSTO DE MATERIALES | | | | | S/ 2,75 |
| Maquinaria, equipos y herramientas | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio U. | Precio Parcial |
| Herramientas | %mo | - | 3% | S/ 11,70 | S/ 0,35 |
| COSTO DE LA MAQUINARIA, EQUIPOS Y HERRAMINETAS | | | | | S/ 0,35 |

4.4.5. Flujo de caja

Este proceso implica la proyección detallada de ingresos y egresos a lo largo de los 20 años de vida útil del diseño, para que nos faciliten la toma de decisiones sobre la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica de tercera generación.

| Descripción | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Ingresos [S/.] | | | | | | | | | |
| Ahorro de energía | 0 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 |
| Total ingresos [S/.] | 0 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 |
| Gastos [S/.] | | | | | | | | | |
| Rep. Luminarias LED | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rep. Paneles fotovoltaicos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rep. Batería | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 475,2 | 0 | 0 | 0 |
| Rep. Controlador | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rep. Conectores | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mantenimiento de suministros | 0 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 |
| Total gastos [S/.] | 0 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 4 948,91 | 473,71 | 473,71 | 473,71 |
| Margen (M = I - G) [S/.] | 0 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | 6 247,94 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 |
| Inversión (In) [S/.] | 55 149,43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de caja libre [S/.] | -55 149,43 | -44 426,29 | -33 703,15 | -22 980,01 | -12 256,86 | -6 008,92 | 4 714,22 | 15 437,36 | 26 160,50 |

| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 |
| 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 | 11 196,86 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 145,6 |
| 0 | 18 239,68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 239,68 |
| 0 | 4 475,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 475,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 475,2 |
| 0 | 4 023,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 023,04 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 476,80 |
| 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 |
| 473,71 | 27 211,63 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 4 948,91 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 473,71 | 39 834,03 |
| 10 723,14 | -16 014,78 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | 6 247,94 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | 10 723,14 | -28 637,18 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 883,65 | 20 868,87 | 31 592,01 | 42 315,15 | 53 038,30 | 63 761,44 | 70 009,38 | 80 732,52 | 91 455,67 | 102 178,81 | 112 901,95 | 84 264,77 |

Tiempo de vida

- Luminaria LED: 20 años
- Paneles fotovoltaicos de tercera generación: 10 años
- Baterías: 05 años
- Controlador: 10 años
- Conectores: 20 años

VAN, TIR Y PIR

Los indicadores Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Recuperación de la Inversión (PIR) son herramientas fundamentales para evaluar la viabilidad económica de proyectos de iluminación fotovoltaica.

Con una tasa de descuento del 12%

TIR: 15,071%

VAN: S/ 7 946,67

PIR: 5 años y 6 meses

5. Conclusiones

La evaluación de la radiación solar en Sullana revela un considerable potencial solar, crucial para el éxito del proyecto de iluminación fotovoltaica; los valores recopilados indican niveles adecuados de irradiancia solar a lo largo del año, lo que confirma la idoneidad de la región para la instalación de paneles solares.

Las lámparas elegidas no solo cumplen con los requisitos de iluminación en términos de intensidad y cobertura, sino que también destacan por su eficiencia en el consumo energético.

El diseño de un sistema de iluminación que utiliza paneles solares de tercera generación presenta avances notables en eficiencia y durabilidad. Estos paneles incorporan una tecnología avanzada que prolonga la vida útil y reduce las necesidades de mantenimiento.

El análisis de costos y beneficios muestra que, el TIR del 15.07% supera la tasa de descuento del 12%, lo que implica que el proyecto ofrece un rendimiento superior al costo de capital, esto refuerza la viabilidad financiera del proyecto. El VAN de 7,946.67 soles indica que la inversión es financieramente viable y rentable. PIR de 5 años y 6 meses, la inversión inicial se recuperará en un plazo relativamente razonable. La diferencia entre la TIR (15.07%) y la tasa de descuento (12%) proporciona un margen de seguridad del 3.07%, lo que ofrece cierta protección contra posibles fluctuaciones en el mercado o en las proyecciones.

6. Recomendaciones

Se recomienda la evaluación de un diseño integrado que incorpore todos los componentes del sistema fotovoltaico en una unidad compacta, optimizando así la eficiencia de instalación y reduciendo los tiempos de implementación. Esta configuración debe incluir la luminaria LED, el módulo fotovoltaico, el sistema de almacenamiento de energía y el controlador de carga en un solo conjunto cohesivo.

Adicionalmente, se sugiere la incorporación de un sistema de mantenimiento automatizado, específicamente un mecanismo de autolimpieza para los paneles solares. Este sistema debe emplear tecnología de limpieza robótica o hidráulica programable, activada periódicamente según algoritmos que consideren factores ambientales y de rendimiento. El objetivo es mantener la eficiencia óptima de captación solar mediante la eliminación autónoma de partículas de polvo y otros contaminantes superficiales, minimizando así la necesidad de intervenciones manuales y maximizando el rendimiento energético a lo largo del tiempo.

Esta incorporación al diseño no solo simplificaría los procesos de instalación y mantenimiento, sino que también contribuiría significativamente a la longevidad y eficacia del sistema de iluminación fotovoltaica en su conjunto.

Referencias

- [1] A. R. Araujo Gonzales, «Estudio para la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares fotovoltaicos para la plaza las américas en el distrito de cerro colorado,» 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d82ecafb-c1a2-4417-a9fb-1fb566b1f03a/content>.
- [2] J. R. García Domenique, «Diseño de un sistema de iluminación LED con celdas solares autónomas para áreas externas de la U.C.S.M.,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/6071/4A.0239.IM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [3] J. E. Castillo Cruz, «Diseño de un sistema de energia renovable para el alumbrado público en la avenida Galvez de la ciudad de Barranca 2021,» 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6946/TESIS%20CASTILLO%20CRUZ%20JUAN%20EMILIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] Y. Paucar Huaman y C. A. Huamani Rios, «Plan de gestión del sistema eléctrico de alumbrado público con energía solar fotovoltaica en la comunidad campesina de San José de Astobamba,» 2021. [En línea]. Available: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11476/1/IV_FIN_107_TE_Huamani_Paucar_2021.pdf.
- [5] J. A. Pérez Zulueta, Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el parque central de la provincia de Jaén, Jaén, 2019.
- [6] C. O. d. I. d. Telecomunicación, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid, 2002.
- [7] iTechene, «ILUMINACION AUTONOMA - SOLAR,» [En línea]. Available: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/Iluminacion%20autonoma%20solar>.
- [8] E. Perú, «¿Que es el alumbrado público?,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.enelx.com/pe/es/preguntas-y-respuestas/que-es-el-alumbrado-publico-y-cuales-son-las-ventajas-de-la->

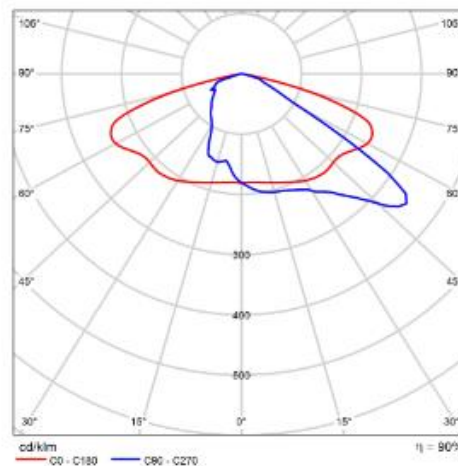
Anexos

Ficha técnica de la iluminaria LED

Philips - BGP761 T25 1 xLED90-4S/740 DW10



| | |
|--------------------------------------|------------|
| P | 53.0 W |
| P _{Alumbrado de emergencia} | 53.0 W |
| $\Phi_{Lámpara}$ | 9000 lm |
| $\Phi_{Luminaria}$ | 8097 lm |
| $\Phi_{Alumbrado de emergencia}$ | 8097 lm |
| η | 89.97 % |
| Rendimiento lumínico | 152.8 lm/W |
| CCT | 4000 K |
| CRI | 70 |
| ELF | 100 % |



CDL polar

Get your city ready for the future with DigiStreet. Developed with the aim to become your long term partner, the system ready architecture of DigiStreet enables you to enjoy the benefits of connected lighting systems today and also gets the city ready for the innovations to come! Its two sockets enable you to connect directly to the Philips CityTouch system and is also prepared to connect you to the future innovations of IoT. Next to this, each individual luminaire is uniquely identifiable, thanks to the Philips Service tag application. With a simple scan of a QR code, placed on the inside of the mast door, you gain instant access to the luminaire configuration, making maintenance and programming operations faster and easier, no matter what stage of the luminaire's lifetime. DigiStreet is also equipped with dedicated light recipes that: 1) maintain an optimal ecosystems for bats or 2) preserve a dark night sky.

y C0° C90° C0°-C360°

Ficha técnica del panel solar



PRODUCT FEATURE

Bypass diode minimizes the power drop by shade.

Open Circuit Voltage Temperature Coefficient %/°C
: (0.065±0.015)%/°C

Short Circuit Current Temperature Coefficient %/°C
: - (160±10)mA%/°C

Maximum Power Temperature Coefficient %/°C
: -(0.5±0.05)%/°C

5400 Pa snow load, 2400 Pa wind load.

: 50psf (2400 pascals)

PRODUCT SPECIFICATION

| Type Of Module | SM-FLEXIBLE-150W |
|----------------------------|---------------------|
| Maximum Power (W) | 150 |
| Tolerance (%) | ± 3% |
| Open Circuit Voltage (V) | 20.74 |
| Short Circuit Current (A) | 9.22 |
| Maximum Power Voltage (V) | 17.00 |
| Maximum Power Current (A) | 8.82 |
| Module Efficiency (%)) | 49.60 |
| Series Fuse Rating (A) | 10A |
| Terminal Box | IP65 |
| Maximum system voltage (V) | DC1000 |
| Operating Temperature(°C) | -40°C --85°C |
| Dimension | 1325*670*2.5MM |
| Weight | 1.9KG/PCS |
| Packing | 1 pcs in one carton |

Ficha técnica del controlador de carga MPPT AC/DC



| Models | MEH160 | MEH200 | EH120 | EH120-ES | EL2415 | Parameters adjustable | |
|--|---|--------------------|--|----------|----------------------------------|-----------------------|-------|
| Zero load loss | R: <10mA/12V; <7mA/24V W: <30mA/12V; <15mA/24V | | R:<10mA/12V; <15mA/24V W:<35mA/12V; <40mA/24V | | | | |
| System voltage | 12V/24V | | | | | √ | Lead |
| Max load power | 80W/12V ;160W/24V | 100W/12V ;200W/24V | 60W/12V ;120W/24V 180W/12V ;360W/24V | | | | |
| Load output voltage | 15V~75V | | 15V~60V; 30V~60V/24V | | | | |
| Load periods | 9 periods + predawn | | | | always on mode 9 load working | | |
| Maximum charging current | 15A | 20A | 15A | | | | |
| Solar power max input efficiency | 200W/12V;400W/24V | 260W/12V;520W/24V | 225W/12V;450W/24V | | | | |
| Load circuit voltage drop (EL Series) | / | | / | | ≤500mV | | |
| Solar panel input voltage | ≤95V | | ≤55V | | | | |
| Load conversion efficiency | 90% ~ 96% | | | | | | |
| Load current accuracy | < 3% | | | | | | |
| Over-voltage | Lead-acid battery:16V; Lithium battery:charge voltage+2V; x2/24V | | | | | | |
| Equalizing charge voltage | Lead-acid battery:14.6V; Lithium battery:No equalizing charge;x 2/24V | | | | | | |
| Equalizing charge interval | 30 days | | | | | | |
| Boost charge voltage (Lead-acid) | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 14.4V |
| Charging voltage(lithium battery) | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 14.4V |
| Floating charge voltage(Lead-acid) | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 13.8V |
| Charge return voltage(lithium battery) | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 13.8V |
| over discharge voltage | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 11.0V |
| Over discharge return voltage | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 12.6V |
| Switching voltage | 7.50V ~ 17.00V settable; x2/24V | | | | | √ | 11.5V |
| DC voltage input range | 10 ~ 14V/12V system; 20~ 28V/24V system | | | | | | |
| Light control voltage | 3V ~ 11V ; x2/24V | | | | | √ | 5V |
| Temperature compensation coefficient | Lead-acid battery:-3.0MV/°C/2V; Lithium battery:No temperature compensation | | | | | | |
| Light control delay | 5s ~ 60s/2min ~ 60min | | | | | √ | 10s |
| High temperature work | 40°C~+90°C | | | | | √ | 65°C |
| Low temperature charging | 0°C~-35°C | | | | | √ | -35°C |
| Operating temperature | -35°C ~ +65°C | | | | | | |
| IPrating | IP67 | | | | | | |

Ficha técnica de la Battery LiFePO4 12V 24AH

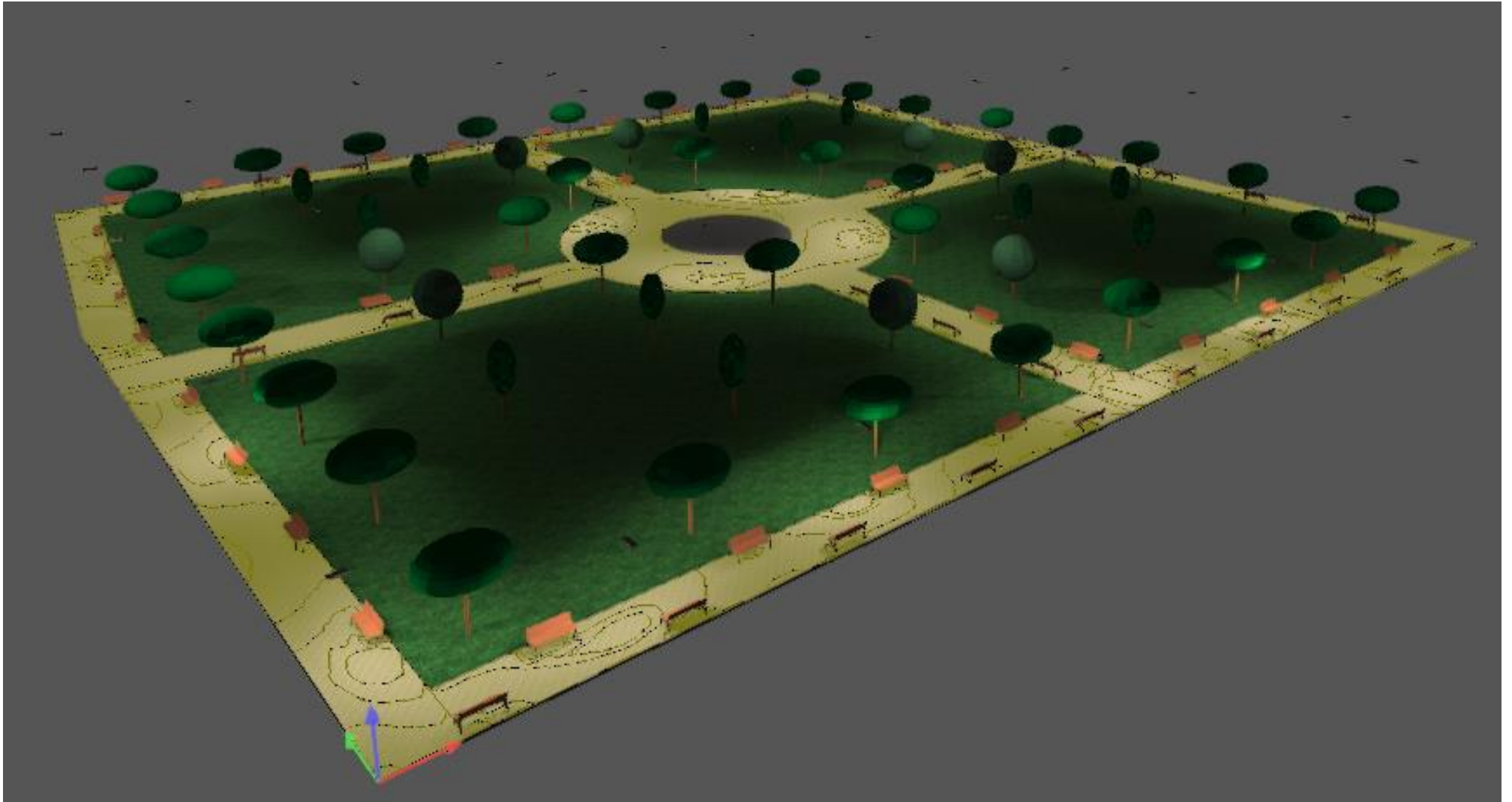
Battery Lithium LiFePO4 12V 100 ah



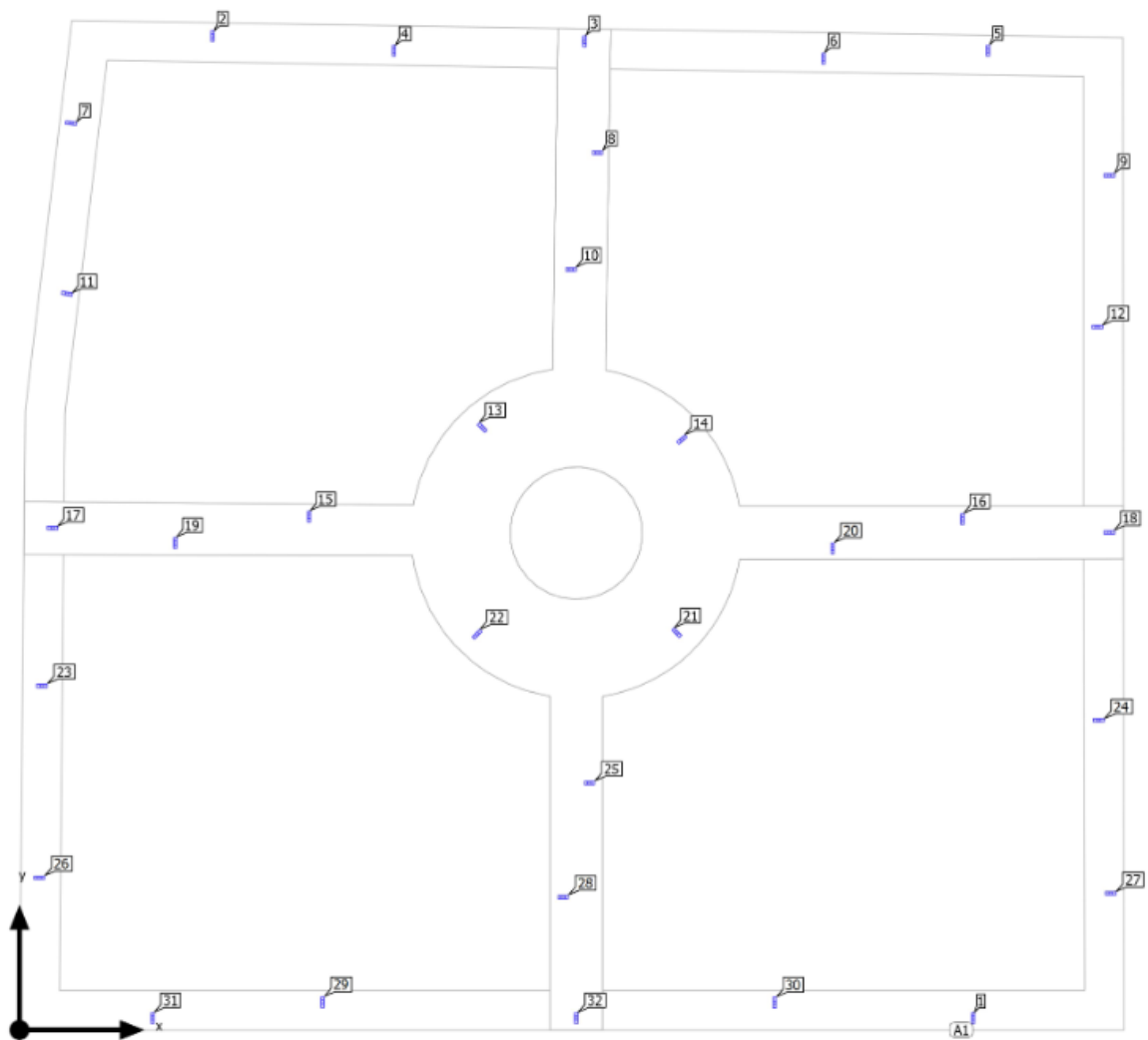
Specific attributes

| | |
|-------------------|-----------------|
| Brand Name | Battery Lithium |
| Model Number | LiFePO4 |
| Battery Size | 12V 100Ah |
| Place of Origin | China |
| Weight | 1.2 Kgs |
| Capacity | 12V 110Ah |
| Material | LiFePO4 Battery |
| Warranty | 1 Year |
| Charge Current | 0.2C |
| Discharge Current | 0.5C |

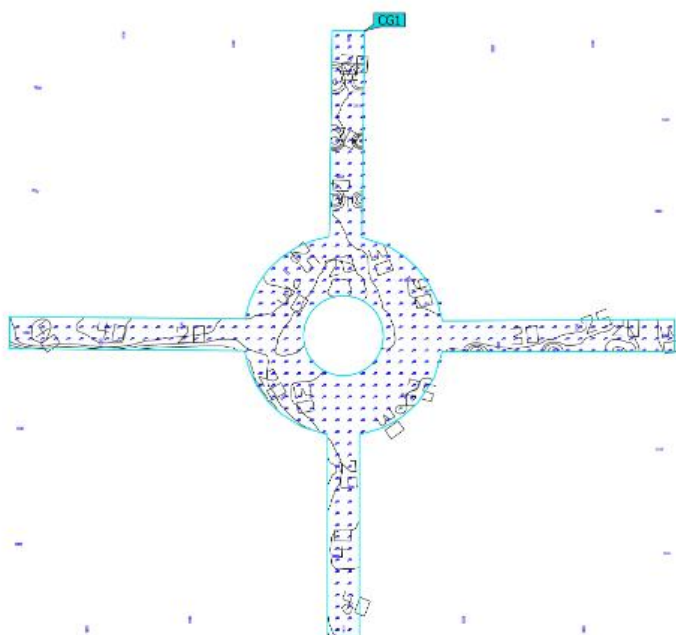
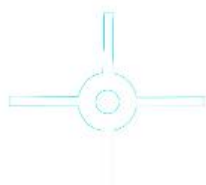
Simulación en 3D de la plaza de Sullana – Piura en el software DIALux



Plano de situación de Luminarias

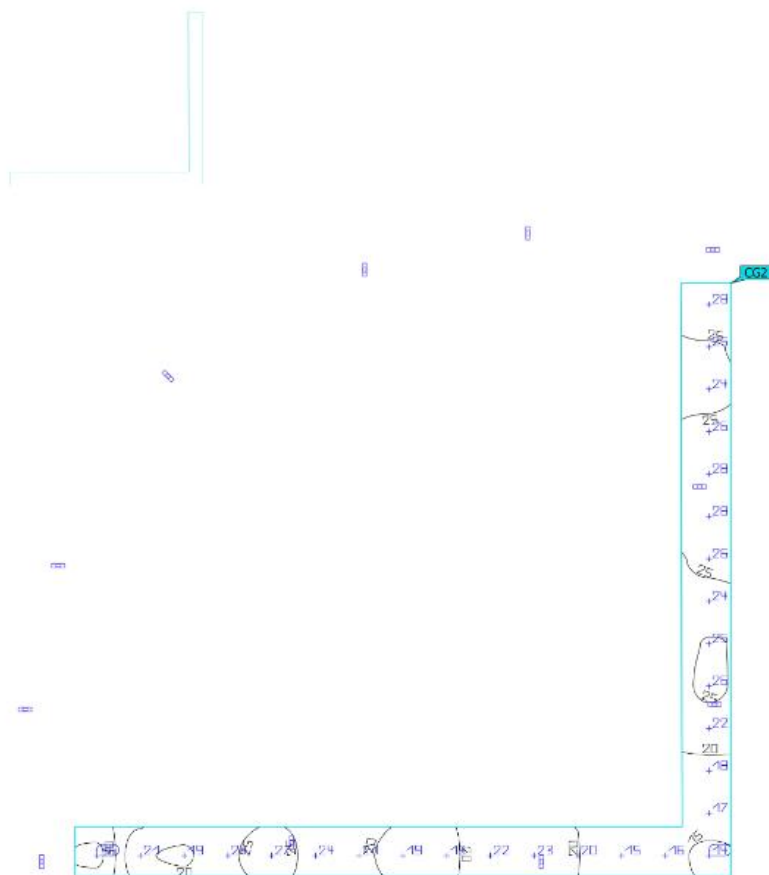


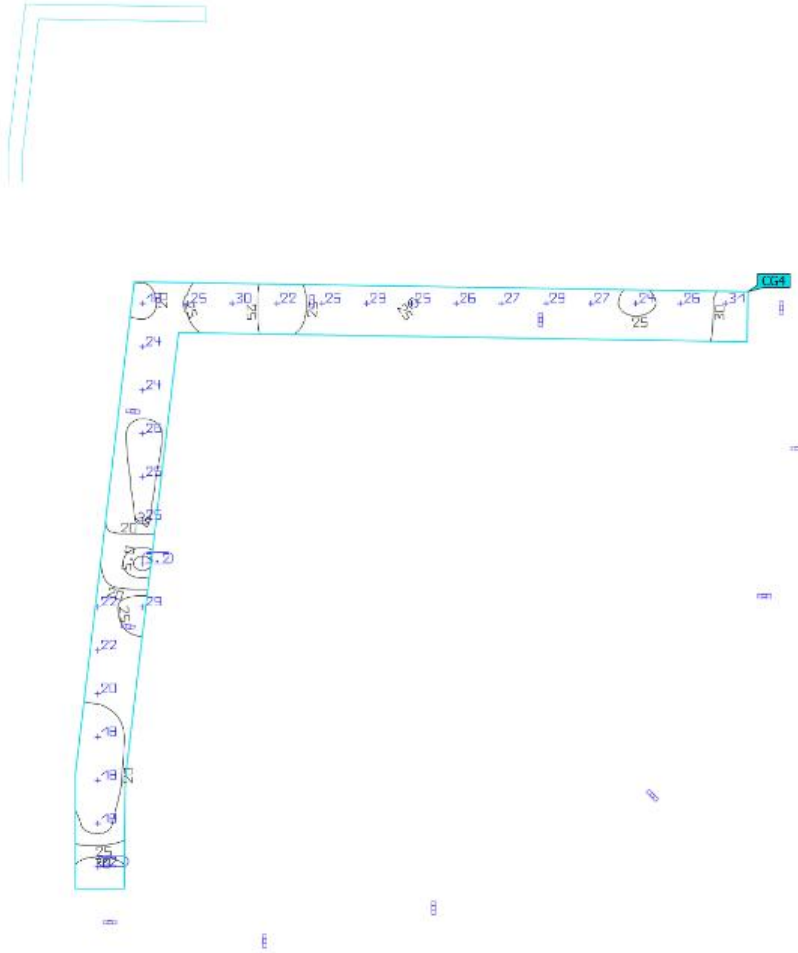
Estudio en camino peatonal principal



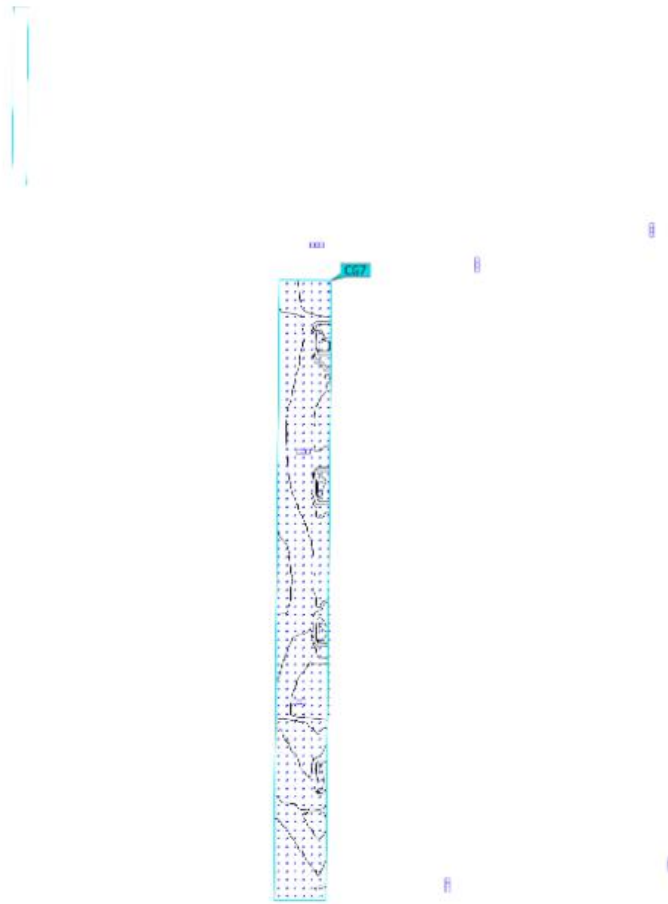
| Propiedades | \bar{E} | E_{\min} | E_{\max} | $U_0 (g_1)$ | g_z | Índice |
|---|-----------|------------|------------|-------------|-------|--------|
| Camino Peatonal Principal Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 31.1 lx | 2.85 lx | 46.6 lx | 0.092 | 0.061 | CG1 |

Estudio en camino peatonal secundarios



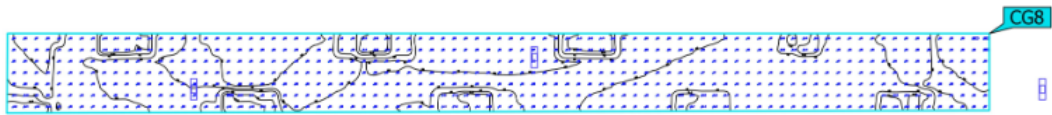


| Propiedades | \bar{E} | E_{\min} | E_{\max} | $U_0 (g_1)$ | g_2 | Índice |
|--|-----------|------------|------------|-------------|-------|--------|
| Camino Peatonal Secundario 3 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 24.0 lx | 3.16 lx | 32.0 lx | 0.13 | 0.099 | CG4 |



| Propiedades | \bar{E} | E_{\min} | E_{\max} | $U_0 (g_1)$ | g_z | Índice |
|--|-----------|------------|------------|-------------|-------|--------|
| Camino Peatonal Secundario 6 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 23.2 lx | 2.07 lx | 37.8 lx | 0.089 | 0.055 | CG7 |

Iluminación de Caminos Peatonales



| Propiedades | E | E _{min} | E _{máx} | U ₀ (g ₁) | g ₂ | Índice |
|--|---------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------|--------|
| Camino Peatonal Secundario 7 Iluminancia perpendicular Altura: 0.050 m | 20.1 lx | 0.86 lx | 34.3 lx | 0.043 | 0.025 | CG8 |