

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado para autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido, provincia de Cañete, Lima

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico - Electricista

Elaborado por:

Christian Alan Huertas Cavada

 [0009-0005-9662-8664](https://orcid.org/0009-0005-9662-8664)

Asesor:

Dr. Salome Gonzales Chávez

 [0000-0003-2327-4621](https://orcid.org/0000-0003-2327-4621)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Huertas, 2025)
Referencia/Reference	Huertas, C. (2025). <i>Diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado para autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido, provincia de Cañete, Lima</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres, Gladys y Teófilo, quienes me forjaron en la senda del estudio y dedicación.

A mi familia, Geraldine y Sheryll, por su aliento, sacrificio y ser mi principal motivación.

Este trabajo les pertenece tanto como a mí.

Agradecimientos

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13). Con ese fervor, agradezco a Dios por permitirme completar esta etapa en mi formación profesional.

A mi asesor, especialista, presidente y todo el equipo de la Comisión de Titulación Profesional por su orientación y disponibilidad durante todo el proceso.

A toda mi familia por el apoyo incondicional para lograr mis metas.

Resumen

Una adecuada iluminación de espacios públicos verdes ayuda a garantizar seguridad, accesibilidad y el disfrute de estos por parte de la población; sin embargo, la falta de alumbrado público, a nivel nacional e internacional es una problemática que, por falta de apoyo gubernamental y una creciente crisis energética, aún persiste y aumenta la insatisfacción de la ciudadanía en este tipo de servicio público.

Por lo que, el presente trabajo de suficiencia tuvo como objetivo el diseñar un Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada que permitiera autonomizar el Alumbrado Público del parque León Dormido ubicado en el distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región de Lima.

Este sistema se ha diseñado sobre la base de los procedimientos de dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos con exclusividad de uso para cargar en corriente continua (luminarias LED); utilizando el software de simulación y diseño de iluminación DIALux EVO, en virtud de la proyección de funcionamiento de las luminarias LED seleccionadas.

Los resultados evidencian que, luego de la recolección y procesamiento de datos de los procesos de planificación, selección, verificación y simulación del sistema propuesto, la luminaria solar LED tipo UFO solar marca Philips modelo BRC010 LED 40 permite que se cumpla (i) los niveles de iluminación requeridos ($E_m \geq E_m^* = 7.5 \text{ Lux}$), (ii) la capacidad de acumulación de la batería ($C_b = 14.4 \text{ Ah} \geq C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$), y (iii) la capacidad de generación fotovoltaica ($N_p = 0.94 \wedge N_s = 0.71 \leq 1$).

Concluyendo que el diseño del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrado propuesto ha permitido autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido.

Palabras clave: Alumbrado público, Luminaria Solar LED Integrada, Sistema Fotovoltaico Autónomo, software DIALux EVO, Nivel de Iluminación, Acumulador Electroquímico, Generador Fotovoltaico.

Abstract

Adequate lighting in green public spaces helps ensure safety, accessibility, and the public enjoyment. However, the lack of public lighting, both national and internationally, is a problem that, due to a lack of government support and growing energy crisis, persists and increases public dissatisfaction with this type of public service.

Therefore, the present sufficiency work aimed to design an Integrated Photovoltaic Lighting System that would allow the autonomous Public Lighting of the León Dormido park located in the district of San Antonio, province of Cañete, Lima region.

This system was designed based on the sizing procedures for stand-alone photovoltaic systems exclusively for direct current charging (LED luminaires), using DIALux EVO lighting design and simulation software, based on the operating projections of the selected LED luminaires.

The results show that, after data collection and processing in the planning, selection, verification and simulation processes of the proposed system, the selected Philips brand BRC010 LED 40 UFO solar LED luminaire allows to meet (i) the required lighting levels ($E_m \geq E_m^* = 7.5 \text{ Lux}$), (ii) the battery storage capacity ($C_b = 14.4 \text{ Ah} \geq C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$), and (iii) the photovoltaic generation capacity ($N_p = 0.94 \wedge N_s = 0.71 \leq 1$).

Concluding that the design of the proposed Integrated Photovoltaic Lighting System has allowed the autonomous public lighting in León Dormido Park.

Keywords: Public Lighting, Integrated LED Solar Luminaire, Autonomous Photovoltaic System, DIALux EVO software, Lighting level, Electrochemical Accumulator, Photovoltaic Generator.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiii
Capítulo I – Generalidades	1
1.1 Antecedentes de la Investigación	1
1.2 Identificación y Descripción del Problema de Investigación	3
1.3 Formulación del Problema	7
1.3.1 Problema Principal	7
1.3.2 Problemas Secundarios.....	7
1.4 Justificación e importancia de la Investigación.....	7
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo General.....	9
1.5.2 Objetivos Específicos	9
1.6 Hipótesis.....	9
1.6.1 Hipótesis General	9
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	9
1.7 Operacionalización de Variables.....	10
1.8 Metodología de la Investigación	10
1.8.1 Unidad de Análisis	10
1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación	11
1.8.3 Diseño de investigación.....	11
1.8.4 Fuentes de información	11
1.8.5 Población y Muestra	11
1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información	12
1.8.7 Análisis y procesamiento de datos.....	12

Capítulo II – Marco teórico y marco conceptual.....	13
2.1 Bases teóricas	13
2.1.1 Radiación solar.....	13
2.1.2 Generación Fotovoltaica.....	19
2.1.3 Acumulador electroquímico	24
2.1.4 La Luz	27
2.1.5 Sistema de Alumbrado LED.....	41
2.1.6 Alumbrado Urbano	43
2.1.7 Alumbrado de Parques y Jardines.....	47
2.1.8 Luminarias solares tipo UFO	50
2.1.9 Sistema de simulación y diseño de iluminación DIALux EVO	50
2.1.10 Sistemas Fotovoltaicos.....	51
2.1.11 Metodología para el diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada	58
2.2 Marco Conceptual.....	59
2.2.1 Radiación Solar	59
2.2.2 Generación Fotovoltaica.....	59
2.2.3 Acumulación Electroquímica.....	59
2.2.4 Sistema de Alumbrado LED.....	59
2.2.5 Alumbrado de Parques y Jardines.....	59
2.2.6 Luminaria Solar LED tipo UFO	60
2.2.7 Nivel de iluminación.....	60
2.2.8 Alumbrado Público Autónomo	60
2.2.9 Sistema Fotovoltaico (SF)	60
2.2.10 Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA).....	60
2.2.11 Sistema Fotovoltaico Autónomo Domestico (SFA - SHS).....	61
2.2.12 Diseño de Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada	61

Capítulo III – Desarrollo del Trabajo de Investigación	62
3.1 Diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada	62
3.2 Recolección de datos	64
3.2.1 Ubicación del lugar por iluminar.....	64
3.2.2 Registro de Radiación Solar	66
3.2.3 Selección de la luminaria.....	67
3.3 Procesamiento de información.....	69
3.3.1 Proyección del funcionamiento de la luminaria	69
3.3.2 Evaluación del consumo de luminaria.....	71
3.3.3 Evaluación de la disponibilidad de radiación solar	71
3.3.4 Simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO	73
Capítulo IV – Análisis y Discusión de Resultados	78
4.1 Resultados.....	78
4.2 Contratación de Hipótesis	83
4.2.1 Contratación de Hipótesis Especifica 1	83
4.2.2 Contratación de Hipótesis Especifica 2.....	84
4.2.3 Contratación de Hipótesis Especifica 3.....	85
4.2.4 Contratación de Hipótesis Especifica 4.....	85
4.2.5 Contratación de Hipótesis General	86
4.3 Discusión de Resultados	87
Conclusiones	91
Recomendaciones	93
Referencias	94
Anexos	96

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Listado de parques en el distrito de San Antonio - Cañete.....</i>	6
Tabla 2	<i>Operacionalización de Variables.....</i>	10
Tabla 3	<i>Diferencias entre Silicio Monocristalino y Policristalino</i>	23
Tabla 4	<i>Comparativo tipos de baterías para Sistemas Fotovoltaicos</i>	26
Tabla 5	<i>Clase de Alumbrado P para cada tipo de Vía</i>	48
Tabla 6	<i>Valor de Iluminancia para las clases de alumbrado tipo P</i>	49
Tabla 7	<i>Consumo de la luminaria, según proyección de autonomía (Wh)</i>	70
Tabla 8	<i>Iluminancia media obtenida por las simulaciones del parque León Dormido.....</i>	82

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Fotografía del parque León Dormido desde la autopista Panamericana Sur</i>	6
Figura 2	<i>Trayectoria Sol - Tierra</i>	13
Figura 3	<i>Descripción de la Esfera Celeste</i>	14
Figura 4	<i>Coordenadas del Vector Solar Unitario en la Referencia Horizontal</i>	15
Figura 5	<i>Coordenadas del Vector Solar en la Referencia Ecuatorial</i>	16
Figura 6	<i>Rango de longitudes de onda de las OEM emitidas por el Sol</i>	17
Figura 7	<i>Corriente de iluminación y corriente de diodo en una célula solar que alimenta una carga</i>	20
Figura 8	<i>Curvas corriente-tensión (línea discontinua) y potencia-tensión (línea continua) de una celda solar</i>	21
Figura 9	<i>Esquema de un Generador Fotovoltaico</i>	24
Figura 10	<i>Desglose de elementos de una batería</i>	26
Figura 11	<i>Separación de la luz blanca en un prisma</i>	27
Figura 12	<i>Representación del flujo luminoso</i>	28
Figura 13	<i>Representación de la Intensidad Luminosa</i>	28
Figura 14	<i>Representación de la Iluminancia incidente sobre una superficie</i>	29
Figura 15	<i>Representación de la Iluminancia Media</i>	29
Figura 16	<i>Valores típicos de Iluminancia en diferentes condiciones</i>	30
Figura 17	<i>Representación de Luminancia emitida desde una superficie</i>	30
Figura 18	<i>Representación de Iluminancia vs Luminancia</i>	31
Figura 19	<i>Valores típicos de Luminancia</i>	31
Figura 20	<i>Concepto de Luminosidad aplicada</i>	32
Figura 21	<i>Aplicación de la Ley de la inversa del cuadrado</i>	32
Figura 22	<i>Sección de la retina del ojo</i>	33
Figura 23	<i>Curva de sensibilidad espectral relativa de la visión fotópica y escotópica definidas por la CIE</i>	34
Figura 24	<i>Diagrama de cromaticidad de la CIE</i>	36
Figura 25	<i>Clasificación de grupos de temperatura de color</i>	36
Figura 26	<i>Clasificación de la reproducción del color</i>	37
Figura 27	<i>Índice de reproducción cromática de diferentes lámparas</i>	37
Figura 28	<i>Intervalo de niveles de iluminación en un día soleado</i>	38
Figura 29	<i>Diagramas polares de intensidad luminosa</i>	40
Figura 30	<i>Tipos de LED</i>	42
Figura 31	<i>Proceso de configuración del LED</i>	43
Figura 32	<i>Aspectos relativos a la iluminación urbana</i>	44

Figura 33	<i>Alcance (A) de una luminaria</i>	45
Figura 34	<i>Dispersión (D) de una luminaria</i>	45
Figura 35	<i>Relación separación / altura (s/h) de diferentes luminarias</i>	47
Figura 36	<i>Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas</i>	51
Figura 37	<i>Configuraciones típicas de SFA</i>	53
Figura 38	<i>Configuración de la propuesta de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada</i>	63
Figura 39	<i>Diagrama de flujo del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada</i>	63
Figura 40	<i>Imagen Satelital del Plano Horizontal del parque León Dormido</i>	64
Figura 41	<i>Medida referencial sobre la imagen satelital del plano horizontal</i>	65
Figura 42	<i>Área y perímetro sobre la imagen satelital del plano horizontal</i>	65
Figura 43	<i>Promedio Mensual de Irradiación Global Incidente en el plano horizontal en cielo despejado (Clear Sky)</i>	66
Figura 44	<i>Promedio Mensual de Irradiación Global incidente en el plano horizontal en todo el cielo (All Sky)</i>	67
Figura 45	<i>Descripción general de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2</i>	68
Figura 46	<i>Datos fotométricos de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2</i>	68
Figura 47	<i>Datos de montaje de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2</i>	69
Figura 48	<i>Datos de operación y aspectos eléctricos de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2</i>	69
Figura 49	<i>Proceso de insertado de imagen satelital en el software DIALux EVO</i>	73
Figura 50	<i>Imagen satelital del plano horizontal del parque León Dormido insertada en DIALux EVO</i>	73
Figura 51	<i>Escalado de Imagen Satelital del parque León Dormido en el software DIALux EVO</i>	74
Figura 52	<i>Modelado a escala del parque León Dormido en el software DIALux EVO</i>	74
Figura 53	<i>Simulación de 05 luminarias en el software DIALux EVO</i>	76
Figura 54	<i>Simulación de 06 luminarias en el software DIALux EVO</i>	76
Figura 55	<i>Simulación 3D de las luminarias instaladas en el parque León Dormido en el software DIALux EVO</i>	77

Introducción

En la última década, la investigación y desarrollo (I+D) de tecnologías que permitan la sostenibilidad para la generación de energía ha ganado mayor importancia no solo en el contexto nacional, sino también global debido a la crisis energética y la desidia en las políticas públicas por parte de los gobiernos jurisdiccionales.

Producto de ello, actualmente existe en el mercado una variedad de fabricantes de luminarias, así como los tipos y subtipos de ellas, la gran mayoría bajo tecnología LED de alta eficiencia y bajo consumo. Así mismo, en el campo de las simulaciones y diseño de iluminación, los fabricantes, para aumentar la fidelidad de sus clientes y ampliar sus portafolios de negocios, han ido suministrando metadatos (datos fotométricos y de montaje) que permiten realizar estos diseños conceptuales con las potenciales luminarias a escoger en la implementación de los proyectos de iluminación.

En específico, las luminarias solares LED todo en uno (All in One) vienen a ser una innovadora solución que combina el almacenamiento proveniente de la energía solar para su utilización con lámparas LED de bajo consumo; permitiendo esto una iluminación en espacios públicos verdes, tales como parques y jardines, con un mínimo impacto ambiental y alta eficiencia energética. En ese contexto, el presente Trabajo de Suficiencia Profesional aborda el diseño de un Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado que permita la verificación de los componentes de la luminaria solar LED seleccionada, y la simulación de esta en el software DIALux EVO, para demostrar la autonomía del Alumbrado Público en el parque León Dormido, ubicado en el distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región Lima.

El desarrollo de este trabajo surge de la necesidad de soluciones energéticas autónomas y sostenibles en espacios públicos verdes, particularmente en zonas donde no existe energía eléctrica convencional y la iluminación es esencial para la seguridad, accesibilidad y el disfrute de estos espacios. El parque León Dormido, como intercambio vial, al ingreso del distrito de San Antonio en la playa del mismo nombre, presenta

condiciones óptimas para verificar las condiciones de diseño de los componentes de la luminaria seleccionada.

El potencial de este trabajo radica en la contribución a la transición energética sostenible en el ámbito municipal (gobiernos locales); reduciendo la dependencia de redes eléctricas convencionales, así como la disminución de la huella de carbono.

El problema principal identificado es la falta de alumbrado público en el parque León Dormido, que afecta la seguridad, accesibilidad y el disfrute de los veraneantes y público en general. Para su abordaje se ha realizado la proyección del funcionamiento de la luminaria seleccionada, la evaluación del consumo de la luminaria y disponibilidad de la radiación solar en sitio, así como la simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO. Este procedimiento metodológico permitió no solo brindar de alumbrado público sino autonomizarlo según los diferentes requerimientos específicos y condiciones particulares que debe satisfacer el sistema propuesto.

Por lo que, el objetivo general de esta investigación es el diseñar un Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado que permita autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido, que satisfaga la capacidad de generación y almacenamiento de la luminaria seleccionada y el nivel de iluminación requerido en el espacio público verde.

La relevancia particular de este trabajo trasciende el ámbito local, constituyéndose un referente metodológico para la implementación de sistemas similares en otra categoría de espacios públicos, no solo verdes.

Capítulo I – Generalidades

1.1 Antecedentes de la Investigación

Luciano et al. (2011)¹ investigaron el desarrollo de un sistema autónomo de iluminación pública eficiente y de larga duración para zonas remotas, basándose en la necesidad de encontrar soluciones alternativas a los sistemas tradicionales que utilizan generadores Diesel para abastecer de iluminación pública en este tipo de lugares (aislados). Los investigadores propusieron un sistema que utilice energía solar como fuente principal, baterías como fuente secundaria, y diodos emisores de luz (LED) como fuente luminosa. La metodología involucra el dimensionamiento de la cantidad de Leds necesarios, considerando la sensibilidad del ojo humano en condiciones escotópicas, el diseño de los conversores estáticos para el sistema de carga de baterías y el accionamiento de los Leds, y el desarrollo de la estructura de control digital; utilizando técnicas experimentales para su validación. Los resultados muestran que el sistema tiene un alto rendimiento, con eficiencias del 94% para el accionamiento de los Leds y 86% para el cargador de baterías. En esa óptica, concluyeron que el sistema propuesto es una alternativa viable para la iluminación pública en zonas remotas; ofreciendo alta eficiencia, larga vida útil y bajo mantenimiento en comparación con los sistemas tradicionales.

Méndez (2018)² investiga el desarrollo de un sistema de iluminación solar para el ahorro de energía eléctrica en el alumbrado público de México. El problema que aborda es la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía que reduzcan el impacto ambiental, enfocándose en mejorar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos utilizados en luminarias públicas. Su estudio se justifica en la situación energética mundial y la creciente demanda de soluciones sostenibles. El objetivo principal fue diseñar un convertidor conmutado Buck-boost versátil bidireccional que mejorara el desempeño de los sistemas fotovoltaicos. La metodología de su investigación incluyó el análisis matemático,

¹ Luciano, M. et al. (2011). Sistema Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e Leds. *The Revista Eletrônica de Potência*.

² Méndez Díaz, J. (2018). *Desarrollo de un Sistema de Iluminación Solar para el Ahorro de Energía Eléctrica en el Alumbrado Público de México [Tesis Doctoral, UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI]*.

simulaciones y pruebas de laboratorio; aplicando control en modo deslizante con diferentes superficies de conmutación. Los resultados demostraron que el convertidor propuesto cumple con los requisitos de funcionamiento tanto en modo diurno como nocturno. En esa óptica, concluye que el desarrollo de un convertidor conmutado avanzado es una solución innovadora para la mejora de eficiencia energética del alumbrado público; sentando las bases para futuros trabajos que incluyan algoritmos de gestión de baterías, detección de presencia y conmutación, entre otros.

Malpartida y Fuentes (2019)³ realizaron un estudio en el cual propusieron la factibilidad de reemplazar los equipos de iluminación ornamental convencional por sistema de iluminación fotovoltaica. Los autores aplicaron el sistema de iluminación fotovoltaica al parque El Minero del distrito de Pacocha, provincia de Ilo, región Moquegua; y evaluaron su impacto en ahorro en el gasto público por consumo eléctrico y generación de beneficios sociales, ambientales y de seguridad. El trabajo se basó en una investigación aplicada experimental, analizando los aspectos técnicos como el dimensionamiento de paneles solares, baterías y reguladores, considerando las condiciones climáticas de la zona de estudio. Los resultados mostraron la viabilidad técnica y económica de este tipo de soluciones, evidenciando las mejoras en la iluminación, reducción de costos operativos y un impacto positivo en la percepción de seguridad de los usuarios. Los autores concluyeron que el reemplazo de luminarias convencionales por sistemas fotovoltaicos es una alternativa viable y sostenible para mejorar la iluminación en espacios públicos; brindando múltiples beneficios a la comunidad.

Jiménez y Proaño (2020)⁴ abordaron el estudio de la falta de iluminación exterior en el parqueadero N°01 de la Universidad Tecnológica de Cotopaxi a través del diseño de un sistema de iluminación LED alimentado por energía fotovoltaica con el objetivo de

³ Malpartida, A. & Fuentes, O. (2019). Iluminación Fotovoltaica en plazas y parques del puerto de Ilo. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*.

⁴ Jimenez, D., & Proaño, X. (2020). Diseño de un Sistema de Alumbrado LED a través de Energía Fotovoltaica para brindar niveles de calidad de iluminación en el Parqueadero N°01 de la Universidad Técnica de Cotopaxi. *Revista Técnica Energía*.

brindar niveles de calidad de iluminación que cumplan con la normativa NTE INEN 2248. La metodología empleada incluyó la evaluación de los niveles de iluminación actuales, el diseño del sistema de iluminación LED mediante el software Dialux evo y el diseño del sistema fotovoltaico autónomo. Los resultados muestran que el nuevo diseño del sistema de iluminación LED alcanza los niveles requeridos por la normativa con una densidad de potencia eléctrica de 1.88 W/m². Concluyendo que el proyecto propuesto es técnica y económicamente viable, permitiendo mejorar la calidad de iluminación del parqueadero de manera sustentable.

1.2 Identificación y Descripción del Problema de Investigación

La iluminación adecuada en los espacios públicos, como parques y jardines, es fundamental para garantizar la seguridad, accesibilidad y disfrute de estos entornos por parte de la ciudadanía. Una iluminación eficiente y bien diseñada proporciona múltiples beneficios tales como la prevención de la delincuencia, la mejora de la movilidad y la percepción de bienestar de los usuarios.

Sin embargo, a nivel internacional, se evidencia una problemática recurrente relacionada con la falta de alumbrado público. Para el país español, existe la posibilidad de una prolongación de la crisis energética en Europa; teniendo que adoptar medidas extraordinarias de política energética (Escribano, Lázaro, & Urbasos, 2023). Guillermo Redrado, vicepresidente de Operaciones de la Empresa Española ATP iluminación, señala que el 80% del gasto energético de los municipios corresponde al alumbrado público (ILUMINET, 2023). En esa óptica, el consumo energético por parte del alumbrado público, a nivel mundial es un asunto relevante por considerar.

En el contexto nacional, la problemática de la falta de alumbrado público en espacios públicos también se manifiesta de manera significativa. El Gobierno del Perú, a través de los diferentes organismos a nivel nacional, ha venido realizando acciones de supervisión de zonas inseguras por falta de alumbrado público con el objetivo de garantizar el acceso y la calidad del servicio de alumbrado público; determinando que la ausencia o insuficiencia de alumbrado público fomenta la inseguridad en diferentes zonas de la región,

y particularmente en el sector urbano – marginales más vulnerables y pueblos jóvenes (Defensoria del Pueblo, 2019). Como consecuencia, los peruanos enfrentamos desafíos relacionados con la sensación de inseguridad, las dificultades de desplazamiento y el deterioro de la calidad de vida en estos espacios.

Al analizar el contexto de la región Lima, se observa que la problemática de la falta de alumbrado público en espacios públicos es aún más pronunciada. Caso particular, vecinos del distrito de San Juan de Miraflores alertan falta de alumbrado público en túnel peatonal los cuales se exponen a ser asaltados por los delincuentes (RPP Noticias, 2023); aunado a ello, Munive y Miranda (2022) concluyen que la percepción de los residentes de Lima norte y Callao sobre su experiencia peatonal en espacios públicos es atravesada por la inseguridad ciudadana y la insatisfacción con los servicios públicos (pág. 56). Como resultado, los habitantes de Lima enfrentan problemas de seguridad, accesibilidad y subutilización de los espacios públicos.

Particularmente, en la provincia de Cañete, de un total de 19093 viviendas, el 65.49% dispone de alumbrado público y el otro 34.52% no dispone de alumbrado (INDECI, 2002); siendo la problemática de la falta de alumbrado público en espacios públicos también evidente. Las principales causas identificadas a nivel local son la limitada asignación presupuestaria para este tipo de inversiones, la falta de preparación de las autoridades municipales y la escasa incorporación de tecnologías de iluminación eficiente. Esto ha generado consecuencias como la percepción de inseguridad, el riesgo de accidentes y nuevamente la subutilización de espacios públicos verdes, por parte de los ciudadanos.

Es así como, San Antonio, perteneciente a la provincia de Cañete, región Lima, es uno de los 16 distritos que conforman la provincia de Cañete, ubicado a 70km al sur de Lima. De acuerdo con el estándar de accesibilidad a la ciudad se da a través de la Carretera Panamericana Sur, que une los distritos del Norte y Sur de la provincia de Cañete, longitudinalmente, y que permite a San Antonio una comunicación fluida con la ciudad de Lima y el distrito de Mala; siendo la vía de comunicación más importante el

intercambio vial a la playa “León Dormido” (Plan de Desarrollo Local Concertado 2020 – 2030, 2020), desde el cual, a una distancia de 2 km por el desvío del túnel, se llega al centro poblado de San Antonio.

Actualmente, solo el centro poblado cuenta con servicios básicos de (Luz, Agua y Desagüe); teniendo los lugares alejados de casco urbano con falta y/o ausencia de dichos servicios. Así mismo, el gobierno local, representado por la Municipalidad Distrital de San Antonio – Cañete, tiene la administración de todos los espacios de uso público dentro de su jurisdicción; el cual tiene la finalidad de no solo representar al vecindario, sino de promover la adecuada prestación de los servicios públicos locales (Congreso de la República, 2003) entre ellos, el alumbrado público.

En ese orden de ideas, la Municipalidad Distrital de San Antonio – Cañete, a través de la Sub Gerencia de Limpieza Pública, Playas, Parques y Jardines, tiene la responsabilidad de efectuar el mejoramiento del ornato público en el distrito, así como el mantenimiento de parques, jardines y áreas verdes del distrito (Reglamento de Organización y Funciones, 2019).

En esa óptica, la Sub Gerencia de Limpieza Pública, Playas, Parques y Jardines, como parte del Objetivo Estratégico Institucional “Promover la Gestión Ambiental en el Distrito”, tiene las Actividades Operativas Institucionales AOI30132300410 – Habilitación, implementación y recuperación de nuevas áreas verdes de uso público y AOI30132300407 – Mantenimiento y mejoramiento del ornato público (reparación, pintado y preservación de la infraestructura de uso público), los cuales no solo tienen objeto de recuperar estos espacios públicos, sino de mejorar los servicios públicos brindados a través el ornato público, entre ellos la iluminación “alumbrado público” (Plan Operativo Institucional Multianual 2024 - 2026, 2023).

Por lo que, el distrito de San Antonio, producto de las diferentes actividades de recuperación e implementación de nuevos espacios públicos, cuenta con 84 áreas verdes registradas, de las cuales solo tres (03) se encuentran catalogadas, por su tipología, como Parques, según Tabla 1:

Tabla 1
Listado de parques en el distrito de San Antonio - Cañete

N°	NOMBRE DEL AREA VERDE A INVENTARIAR	TIPOS DE AREAS VERDES *				
		Parque / Plaza / Bosque Urbano	Alameda / Malecon / Paseo / Pasaje	Separador Central	Berma Lateral	Intercambio vial, ovalo u otros
32	Parque Villa Paraíso	1	1			
80	Plaza identidad San Antoniana	1				
81	Parque León Dormido	1				1

Nota: Municipalidad Distrital de San Antonio (2024) Inventario de Áreas Verdes del distrito de San Antonio – Cañete.

Consecuentemente, se ha optado por el estudio del Parque León Dormido, por ser el único espacio público, tipo parque de los tres mencionados, que es uno de los intercambios viales de acceso al distrito de mayor relevancia; que además, no cuenta con alumbrado público, como se muestra en la figura 1:

Figura 1
Fotografía del parque León Dormido desde la autopista Panamericana Sur



Nota. Elaboración propia

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema Principal

¿De qué manera se autonomiza el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?

1.3.2 Problemas Secundarios

- I. ¿De qué manera se determina la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?
- II. ¿De qué manera se verifica la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?
- III. ¿De qué manera se verifica la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?
- IV. ¿De qué manera se verifica el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?

1.4 Justificación e importancia de la Investigación

Dada la relevancia de esta problemática a diferentes niveles (internacional, nacional, regional y local), sobre la falta de alumbrado público en espacios públicos verdes, la investigación se justifica, desde la perspectiva metodológica, en un enfoque innovador. Esta investigación aplicada incorpora técnicas analíticas – sintéticas de simplificación de información, modelado de sistemas fotovoltaicos; y selección y evaluación de luminarias solares LED todo en uno. El diseño propuesto será de gran utilidad para otros especialistas e investigadores que busquen desarrollar soluciones de iluminación pública sostenibles y replicables.

En esa vía, la investigación tiene una justificación tecnológica, debido a que el uso de tecnología LED, en conjunto con la integración de paneles solares, baterías y conmutadores puede permitir el desarrollo de un alumbrado público que se autogestiona

sin la necesidad de depender de la red eléctrica convencional; operando así de manera autónoma.

Desde el punto de vista económico, la investigación está plenamente justificada al tener antecedentes científicos que demuestran los altos costos de operación y mantenimiento asociados con los sistemas de iluminación pública convencionales sobre los Sistemas de Iluminación Solar LED, los cuales permiten reducir significativamente: (i) los gastos de electricidad al eliminar la dependencia de la red eléctrica y aprovechar la energía solar como fuente primaria y (ii) el mantenimiento y reemplazo de luminarias LED; contribuyendo al ahorro a largo plazo por las municipalidades que tienen asignado este tipo de espacios públicos, así como aumentar las posibilidades de acceder a incentivos y/o subvenciones para el uso de energías renovables, como propuestas altamente viables y rentables.

Por otro lado, y el más importante, socialmente se justifica también por la capacidad de mejorar la calidad de vida de los vecinos y veraneantes concurrentes al parque León Dormido. Un alumbrado público eficiente, sostenible y autónomo aumentará la seguridad, la accesibilidad y el atractivo del parque; fomentando un mayor uso y disfrute del mismo, así como una mayor cohesión social y sentido de pertenencia de la comunidad con sus espacios públicos verdes.

En esa óptica, la importancia de esta investigación radica en el potencial para generar un impacto significativo en la calidad de vida de los pobladores del distrito de San Antonio – Cañete, sobre todo los que radican en la zona balneario, quienes se encuentran colindantes con el parque León Dormido, al desarrollar soluciones de alumbrado público que mejoren la seguridad, accesibilidad y el atractivo del parque materia de análisis; fomentando así un mayor uso de disfrute de este espacio público.

Así mismo, la identificación de enfoques de alumbrados públicos más eficientes y sostenibles contribuirá no solo a la reducción del consumo energético, sino a la reducción de la huella de carbono; traduciéndose ello en una comunidad más segura, atractiva y respetuosa con el medio ambiente.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar un Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado para autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.

1.5.2 Objetivos Específicos

- I. Proyectar el funcionamiento de la luminaria para determinar la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.
- II. Evaluar el consumo de la luminaria para verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.
- III. Evaluar la disponibilidad de la radiación solar para verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- IV. Simular las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO para verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

El diseño del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada autonomiza el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- I. La proyección del funcionamiento de la luminaria permite determinar la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- II. La evaluación del consumo de la luminaria permite verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.

- III. La evaluación de la disponibilidad de la radiación solar permite verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- IV. La simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO permite verificar el nivel de iluminación requerido el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

1.7 Operacionalización de Variables

Tabla 2

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Operacionalización		Escala
		Dimensiones	Indicadores	
VI: Diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrado	Proceso de planificación, selección, verificación y simulación de los componentes necesarios para generar, almacenar y distribuir la energía eléctrica requerida por la luminaria seleccionada, utilizando como fuente primaria la energía solar (Perpiñán, 2023)	1. Selección de luminarias del catálogo de fabricantes en el software DIALux EVO	1.1. Potencia Luminaria (PL)	Watts (W)
			1.2. Potencia Panel Solar (Pp)	Watts (W)
			1.3. Voltaje Panel Solar (Vp)	Voltios (V)
			1.4. Voltaje batería (Vb)	Voltios (V)
			1.5. Capacidad Nominal batería (Cb)	Ampere-hora (Ah)
		2. Proyección del funcionamiento de la luminaria seleccionada	2.1. Horas de funcionamiento (Hf)	(Horas)
			2.2. Demanda de energía eléctrica de la Lámpara LED (L)	Watts-hora (Wh)
		3. Evaluación de consumo de la luminaria seleccionada	3.1. Rendimiento energético del regulador (η_r)	Porcentaje (%)
			3.2. Rendimiento promedio de la batería (η_{bat})	Porcentaje (%)
			3.3. Rendimiento energético de los cables (η_c)	Porcentaje (%)
			3.4. Demanda de energía eléctrica de la luminaria (L)	Watts-hora (Wh)
			3.5. Voltaje de trabajo (Vb)	Voltios (V)
			3.6. Carga de la Lámpara LED (QL)	Ampere-hora (Ah)
		4. Evaluación de disponibilidad de radiación solar	3.1. Irradiación Global Incidente Efectiva en el plano horizontal (G _{ef})	Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m ²)
			3.2. Irradiancia STC (G _{stc})	Watts por metro cuadrado (W/m ²)
			3.3. Corriente del generador (I _g)	Ampere (A)
		5. Simulación de luminarias seleccionadas en software DIALux EVO	4.1. Altura de montaje	Metro (m)
			4.2. Distribución de luminarias	Metro (m)
			4.3. Cantidad de luminarias	(# luminarias)
VD: Autonomía del Alumbrado Público	Sistema de iluminación destinado a vías, parques, plazas u otros espacios públicos que opera independiente de la red eléctrica convencional (Comunidad de Madrid, 2015); generando, almacenando y gestionando su propia energía eléctrica (Perpiñán, 2023) para mantener los niveles de iluminación de manera autónoma (Comunidad de Madrid, 2015)	1. Capacidad de generación	1.1. Numero de módulos $N_s = V_g/V_m$	Menor o igual a 1
			1.2. Numero de ramas $N_p = I_g/I_m$	Menor o igual a 1
		2. Capacidad de almacenamiento	2.1. Capacidad nominal de batería $C_b = C_u/P_{dmax}$	Menor o igual a la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada
		3. Nivel de iluminación	3.1 Iluminancia media	Mayor o igual a 7.5 Lux

Nota. Elaboración propia

1.8 Metodología de la Investigación

1.8.1 Unidad de Análisis

Parque León Dormido, ubicado en el ingreso a la playa León Dormido del distrito de San Antonio, en el cual se van a disponer las luminarias fotovoltaicas integradas.

1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación

1.8.2.1 Tipo de investigación

Aplicada: Al resolverse un problema de la realidad (falta de alumbrado público); aplicando conocimientos científicos y tecnológicos disponibles.

1.8.2.2 Enfoque de investigación

Cuantitativo: Al basarse en datos numéricos (mediciones objetivas) y cálculos matemáticos (simulaciones), particular al proceso estudiado, los cuales se sustentan en teorías científicas y estudios previos.

1.8.2.3 Nivel de investigación

Descriptivo – Correlacional: Al describir no solo las características importantes de las luminarias LED a ser aplicadas sobre el objeto de estudio (parque León Dormido), sino al demostrar la relación de causalidad de la variable independiente y el efecto sobre la variable dependiente; comprobando así la hipótesis.

1.8.3 Diseño de investigación

No Experimental - Transversal: Al ser un diseño no experimental el cual no va a solucionar (a priori) el problema; y transversal por ser tomada la muestra (datos relacionados a la unidad de medida) por única vez.

1.8.4 Fuentes de información

Libros, artículos científicos y normas técnicas de la Comunidad Científica Internacional de la Materia.

1.8.5 Población y Muestra

1.8.5.1 Población

La población comprende los tres (03) parques y jardines del universo de ochenta y cuatro (84) áreas verdes que se encuentran en el distrito de San Antonio - Cañete

1.8.5.2 Muestra

La muestra objeto del estudio es el parque León Dormido por ser el único que no solamente está alejado del casco urbano, sino también de una red eléctrica convencional.

1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información

- Google Earth: Para determinar la ubicación del objeto de estudio en coordenadas de latitud y longitud
- Nasa Solar Energy: Plataforma de la NASA para obtener registro de la radiación solar incidente.
- Software de diseño y simulación de sistemas de iluminación DIALUX: Para seleccionar la luminaria LED del catálogo de fabricantes con datos fotométricos incorporados.
- Fichas técnicas de luminarias seleccionadas: Para obtener los datos necesarios para los cálculos en el diseño.

1.8.7 Análisis y procesamiento de datos

- MS Excel: Para realizar cálculos de verificación y tablas de resultados.
- Wondershare EdrawMax: Para diseñar y elaborar mapa de procesos.
- Software de diseño y simulación de sistemas de iluminación DIALUX: Para simular las luminarias LED y determinar los niveles de iluminación requeridos en el parque León Dormido, en virtud de la altura, cantidad y distribución de luminarias LED.

Capítulo II – Marco teórico y marco conceptual

2.1 Bases teóricas

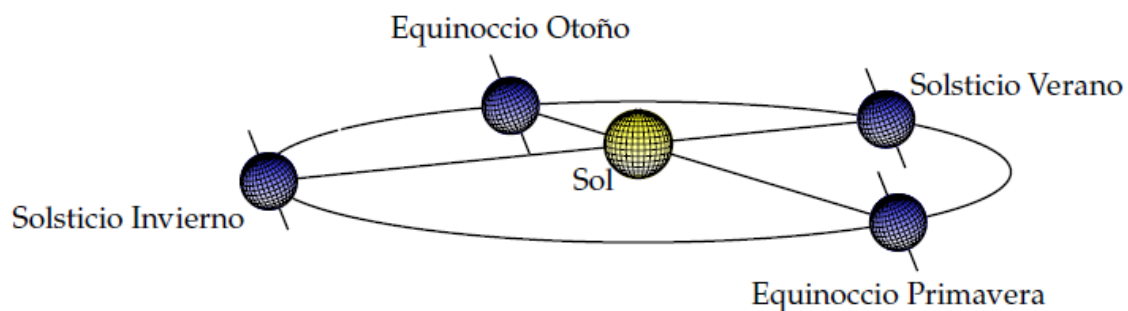
2.1.1 Radiación solar

2.1.1.1 Geometría del movimiento terrestre

Se sabe que el planeta Tierra tiene una geometría de movimiento la cual consta dos componentes: (i) de traslación alrededor del Sol, y (ii) de giro sobre su eje, llamado también rotación. Como se muestra en la figura 2, en el movimiento de traslación, la Tierra se mueve alrededor del Sol siguiendo el dibujo de una elipse de baja excentricidad en la que el Sol ocupa uno de los focos; siendo el plano que contiene este movimiento llamado eclíptica (Perpiñán, 2023).

Figura 2

Trayectoria Sol - Tierra

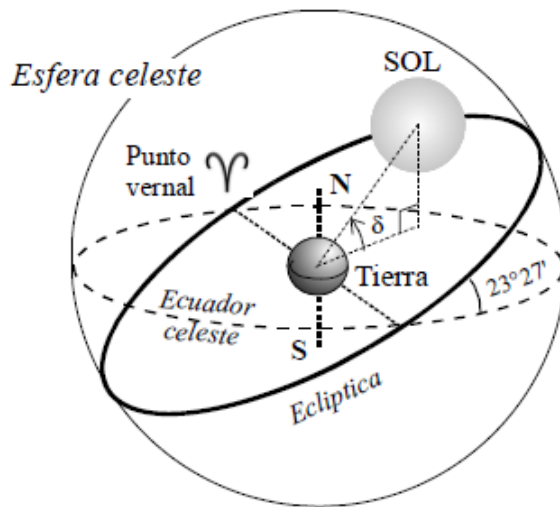


Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

Por otra parte, en el movimiento de rotación, la Tierra gira sobre si misma alrededor de su eje polar, el cual es perpendicular al plano del ecuador de la Tierra, también denominado ecuador celeste. Poniendo el observador en nuestro planeta, el Sol parece efectuar una vuelta alrededor de la Tierra, si esto se proyecta durante un año, parece que el Sol ha dibujado un círculo completo sobre el fondo de firmamento, eso es llamado Esfera Celeste, en la figura 3 vemos como el plano ecuatorial forma con la eclíptica un ángulo de $23^{\circ}27'$ (Chiron & E., 2008).

Figura 3

Descripción de la Esfera Celeste



Nota: Chiron y E. (2008) La Radiación Solar en el Sistema Tierra-Atmosfera

Finalmente, el ángulo que forma el plano ecuatorial terrestre con la línea que une la Tierra y el Sol es variable a lo largo del año, y es llamado declinación δ , la cual toma valores menores o iguales al $23^{\circ}27'$; siendo este el causante de las estaciones del año.

2.1.1.2 Movimiento aparente del Sol

Como ya se ha precisado, el concepto de la esfera celeste, con un punto de referencia sobre la Tierra nos ayuda comprender el movimiento aparente del Sol y calcular su ubicación en el firmamento; para ello, varios autores explican diferentes tipos de referencia que permiten determinar la posición del Sol en el cielo a partir de un punto fijo sobre la superficie de la Tierra. Para nuestro corpus teórico, tomaremos dos (02) referencias: (i) referencia en los ejes terrestres, o llamado ecuatorial, (ii) y la referencia en los ejes locales, o llamado horizontal (Perpiñan, 2023).

a) Referencia Horizontal

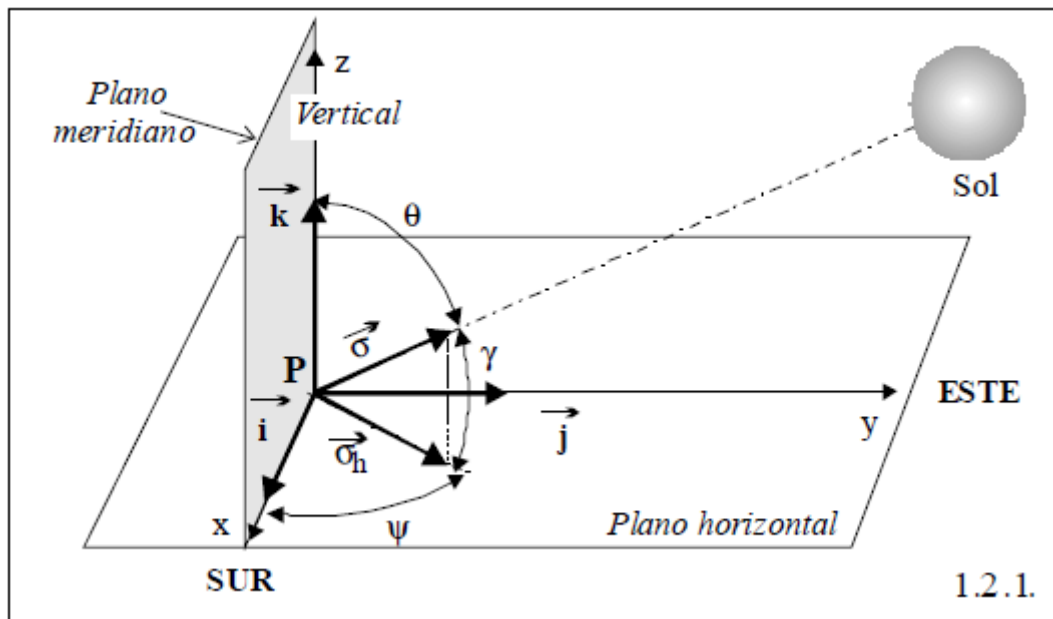
Esta referencia tiene sus ejes orientados de la siguiente forma: (i) eje $P\vec{x}$ horizontal y apunta hacia el sur geográfico, (ii) eje $P\vec{y}$ en el mismo plano horizontal, pero apuntando hacia el este, y (iii) eje $P\vec{z}$ apuntando hacia el firmamento (Chiron & E., 2008). En la figura 4 se muestra como estas coordenadas definen la dirección del Sol, las cuales son angulares y tienen la siguiente denominación: (i) Angulo azimutal o azimuth ψ es aquel

ángulo proyectado sobre el plano horizontal Pxy del vector solar unitario $\vec{\sigma}$ con el eje $P\vec{x}$, y

(ii) ángulo cenital o solar θ el cual es el ángulo entre el vector solar unitario y el plano meridiano; teniendo que la definición de altura o elevación, como ángulo complementario al cenital.

Figura 4

Coordenadas del Vector Solar Unitario en la Referencia Horizontal



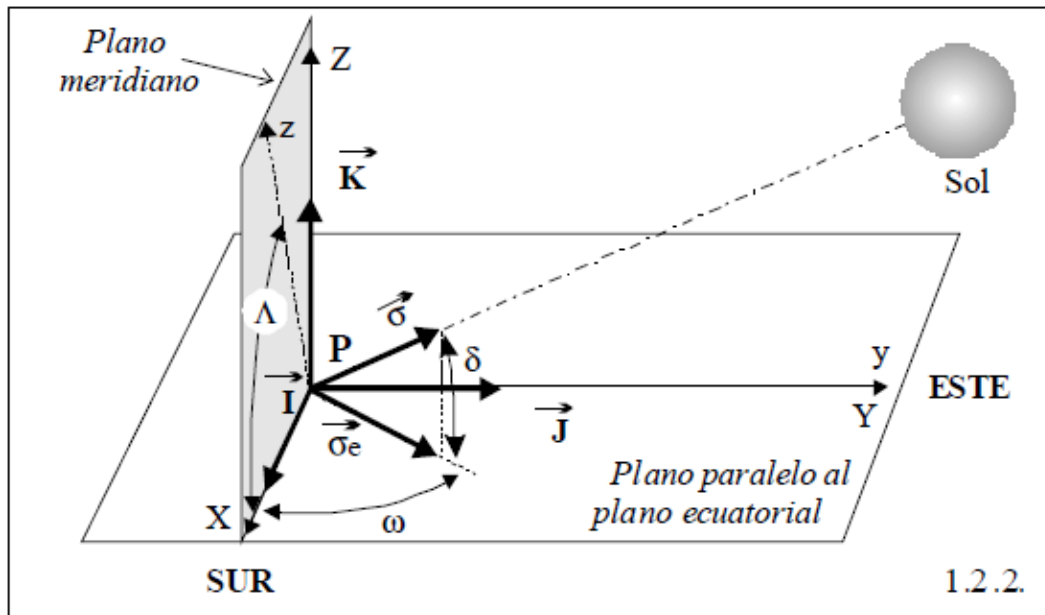
Nota: Chiron y E. (2008) La Radiación Solar en el Sistema Tierra-Atmosfera

b) Referencia Ecuatorial

Por otro lado, esta referencia es deducible de la anterior, al rotar el sistema de coordenadas $Pxyz$ alrededor del eje $P\vec{y}$; haciendo que el eje $P\vec{z}$ apunte hacia el norte paralelamente al eje de la Tierra y el plano Pxy sea paralelo al plano ecuatorial. Ahora, en la figura 5 se muestra como estas nuevas coordenadas definen la dirección del Sol, las cuales también son angulares y tienen la siguiente denominación: (i) Angulo horario ω es aquel ángulo proyectado sobre el plano Pxy del vector solar unitario $\vec{\sigma}$ con el eje $P\vec{x}$, (ii) la declinación δ el cual es el ángulo formado por el plano horizontal con el vector solar unitario, y (iii) ángulo A , el cual simboliza la latitud del punto P es el ángulo entre el plano del ecuador y el radio terrestre que proyectado termina en P .

Figura 5

Coordenadas del Vector Solar en la Referencia Ecuatorial



Nota: Chiron y E. (2008) La Radiación Solar en el Sistema Tierra-Atmosfera

Para el ejercicio de cualquier ecuación de movimiento solar respecto a generadores fotovoltaicos, es más cómodo utilizar al vector solar referenciados al sistema de coordenadas horizontal (local); por lo que, para utilizar los ángulos de las coordenadas ecuatoriales (hora solar y declinación), es necesario cambiar de ejes a través de matrices de giro.

2.1.1.3 Geometría de la radiación incidente en sistemas fotovoltaicos

Se tiene por estudiado que la potencia que puede ser entregada por un generador fotovoltaico es proporcional al nivel de radiación efectiva incidente sobre el mismo, esta radiación incluye las pérdidas por reflexión, la cual está directamente relacionado con el ángulo formado entre el vector solar y la perpendicular al plano del módulo. En ese sentido, mientras mayor es el ángulo, mayor es la radiación reflejada; por lo que siempre los diseños de los sistemas fotovoltaicos es reducir dicho ángulo a lo largo del movimiento celeste del Sol (Perpiñan, 2023).

2.1.1.4 Radiación fuera de la atmosfera terrestre

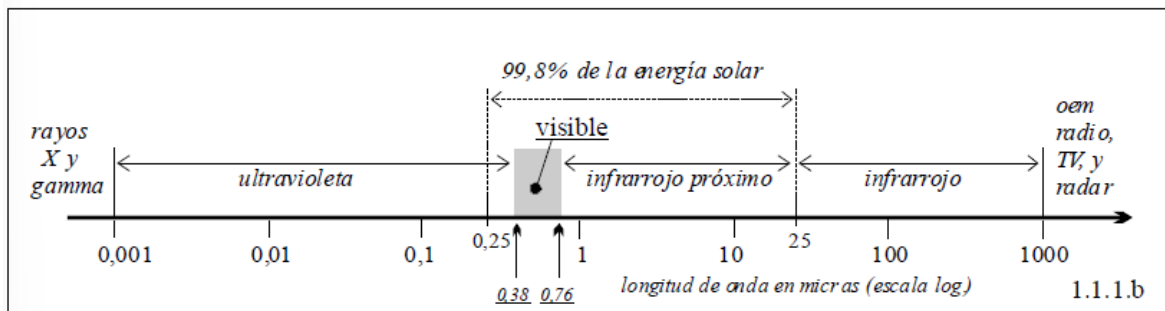
Ahora bien, el Sol como lo conocemos, es una esfera de plasma que produce reacciones termonucleares, estas reacciones vienen acompañadas de emisiones de ondas

electromagnéticas (OEM), las cuales transportan su energía en partículas sin masa llamadas fotones.

Estas OEM tienen longitudes de onda desde los $10^{-10}m$ (1 Angstrom) hasta los 10^4m , pero como se muestra en la figura 6, la mayor parte de la potencia irradiada está comprendida entre los 0.25 y 25 μm , y dentro de este campo, en un rango entre los 0.38 y 76 μm se encuentra la parte visible, emitida por la fotosfera del Sol (Chiron & E., 2008).

Figura 6

Rango de longitudes de onda de las OEM emitidas por el Sol



Nota: Chiron y E. (2008) La Radiación Solar en el Sistema Tierra-Atmosfera

Bajo ese enfoque, cuando la tierra se encuentra a una distancia del Sol de 1UA (a distancia media) la radiación (emitida por el Sol) produce sobre una superficie perpendicular al vector solar al límite superior de la atmosfera una irradiancia total B_0 denominada constante solar (Chiron & E., 2008). El valor promedio de la constante solar $B_0 = 1367 W/m^2$, propuesto por la Organización Meteorológica Mundial, es aceptado como valor representativo.

Empero, como la distancia entre la Tierra y el Sol varia a lo largo de todo el año, producto de la excentricidad de la elipse, la irradiancia sufre variaciones, Perpiñan (2023) hace un resumen y expresa irradiancia solar que alcanza la atmosfera en la ecuación 1:

$$B_0(0) = B_0 \times \epsilon_0 \times \cos \theta_{ZS} \quad \dots (1)$$

Donde:

- $B_0(0)$ es la irradiancia incidente en el plano tangente a la atmosfera en una latitud determinada, en una latitud determinada, medida en W/m^2
- ϵ_0 es la corrección debida a la excentricidad de la elipse

- θ_{zs} es el ángulo cenital solar, medida en grados (°)

Hay que tener en cuenta que la irradiancia, al solo requerir consideraciones geométricas, a través de integración se obtiene la irradiación diaria extra-atmosferica, como se muestra en la ecuación 2:

$$B_{0d}(0) = -\frac{T}{\pi} \times B_0 \times \epsilon_0 \times (\omega_s \times \sin \Phi \times \sin \delta + \cos \delta \times \cos \Phi \times \sin \omega_s) \quad \dots (2)$$

Dicha formula nos permite calcular la irradiación extra-atmosferica diaria conociendo la declinación δ , la hora solar ω_s , la latitud Φ y la duración del día T en horas. De ello, Perpiñan (2023) demuestra que el promedio mensual de esta irradiación diaria coincide numéricamente con la irradiación diaria correspondiente a los días promedios.

Por lo que, los datos de las centrales meteorológicas será nuestro marco de referencia para obtener la irradiación promedio, sin escatimar en mayor calculo numérico.

2.1.1.5 Radiación en la superficie terrestre

Cuando la radiación solar extra-atmosferica se abre camino por la atmosfera para llegar a la superficie terrestre, esta es sometida a procesos de reflexión, atenuación y difusión, que alteran sus características, debido a la nubosidad. En ese sentido, la radiación solar, luego de traspasar la atmosfera, llega como irradiancia solar global G , la cual incide sobre una superficie localizada en la corteza terrestre, como se muestra en la ecuación 3:

$$G = B + D + R \quad \dots (3)$$

Donde:

- **B - Radiación Directa:** Es la Irradiancia procedente en línea recta del Sol
- **D – Radiación Difusa:** Es la Irradiancia procedente de todo el cielo, menos del Sol (rayos dispersados)
- **R – Radiación del Albedo:** Es la fracción de Irradiancia procedente de la reflexión en el suelo

Ahora bien, para calcular dichas componentes, Lui y Jordan (1960) describieron el comportamiento estocástico de la radiación solar, proponiendo el Índice de Claridad K_{Td} la

cual relaciona la radiación global y la radiación extra-atmosférica, ambas en el plano horizontal, representada por la ecuación 4:

$$K_{Td} = \frac{G_d(0)}{B_{0d}(0)} \quad \dots (4)$$

Por otro lado, también propusieron la fracción de radiación difusa F_D siendo esta la relación entre la irradiación difusa y la irradiación global, ambas también en el plano horizontal, como sigue en la ecuación 5:

$$F_D = \frac{D(0)}{G(0)} \quad \dots (5)$$

De ello se desprende que, cuando el cielo es claro ($K_T \sim 1$) la nubosidad es poco densa y la fracción difusa debe ser baja ($F_D \sim 0$). Ante ello Page (1961) recogió una serie de datos de radiación difusa y global; comprobando la existencia de una correlación negativa entre ambos parámetros, proponiendo la ecuación 6:

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 \times K_{Tm} \quad \dots (6)$$

2.1.2 Generación Fotovoltaica

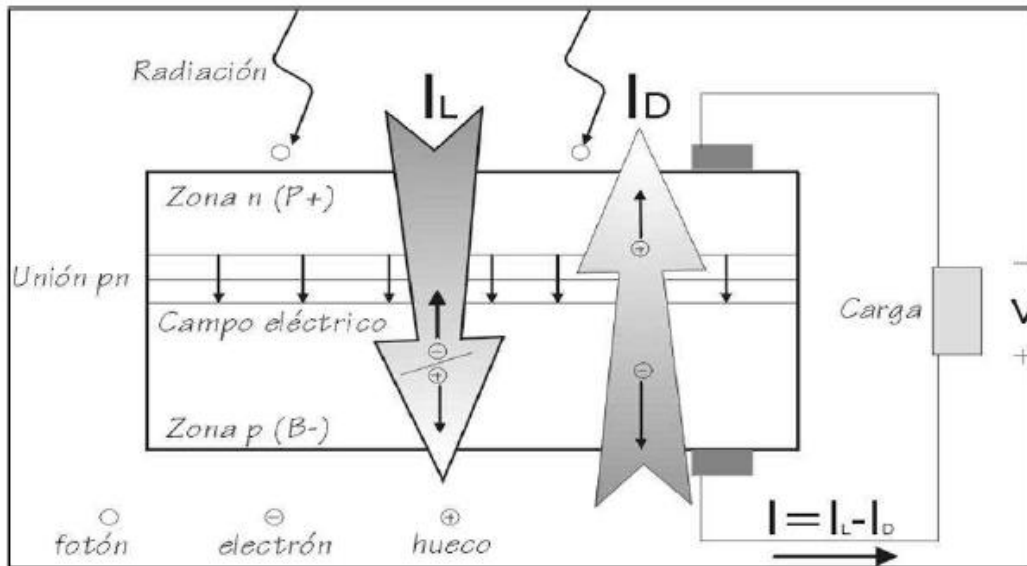
2.1.2.1 Célula solar

Una célula solar o celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte directamente la energía luminosa en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico, descubierto por Albert Einstein en 1905.

En el marco de la teoría de semiconductores, la célula solar viene a ser una unión p-n, la cual al ser iluminada hace que los electrones se desplacen a la banda de conducción, producto del aporte de energía de los fotones incidentes; generándose la corriente de iluminación, llamada fotocorriente, como se muestra en la figura 7, la cual es aprovechable por un circuito externo. Ahora, cuando esta célula es conectada a una resistencia, la presencia de la tensión en los terminales de la unión, reduce la barrera de la unión; generando la corriente del diodo, llamado corriente de oscuridad (Perpiñán, 2023).

Figura 7

Corriente de iluminación y corriente de diodo en una célula solar que alimenta una carga



Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

a) Funcionamiento de la Celda Fotovoltaica

Como se evidencia, el celular solar es un balance entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad, la cual también depende de la tensión aplicada en los terminales de la misma; siendo su funcionamiento de la siguiente manera:

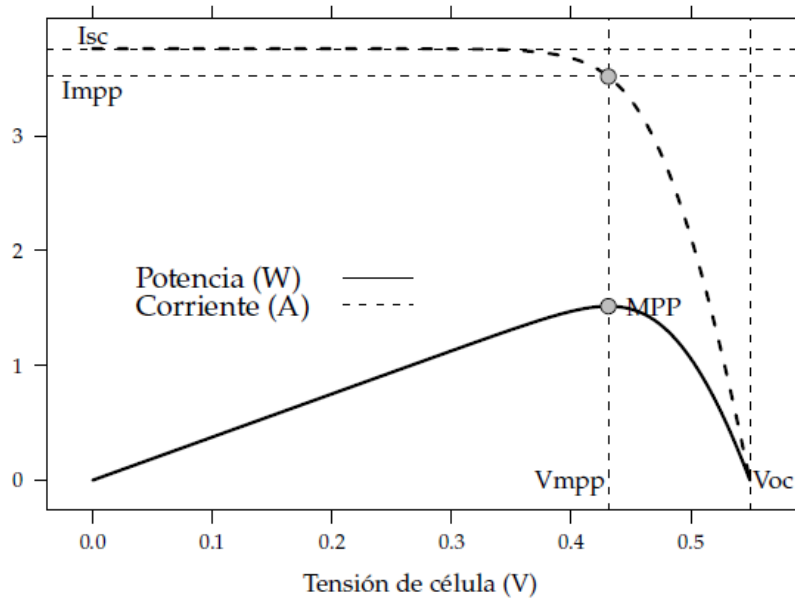
- Cuando la tensión que se aplica es nula (celda en cortocircuito), la corriente es exclusivamente la fotocorriente; manteniéndose estable hasta valores cercanos a la tensión del diodo cuando va a conducir.
- Cuando la tensión aplicada llega a la tensión del diodo para conducir, la corriente disminuye abruptamente hasta alcanzar el valor nulo (celda en circuito abierto); compensándose ambas corrientes.

Como se visualiza en la curva potencia – tensión, en la figura 8, se muestra un máximo que es denominado punto de máxima potencia – MPP, donde se cumple la condicional que la derivada de la potencia respecto al voltaje es 0, obteniendo que la potencia entregada por la celda solar, en dicho punto, será considerada como potencia

nominal $P_{mpp} = I_{mpp} \times V_{mpp}$, y la siguiente relación: $\frac{dI}{dV} = \frac{I_{mpp}}{V_{mpp}}$

Figura 8

Curvas corriente-tensión (línea discontinua) y potencia-tensión (línea continua) de una celda solar



Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

b) Factor de Forma y Eficiencia

Además, el área encerrada por el rectángulo definido por el producto de $I_{mpp} \times V_{mpp}$ es inferior a la representada por el producto de $I_{sc} \times V_{oc}$; obteniéndose así el factor de forma FF y el factor de eficiencia de conversión η , como muestran en las ecuaciones 7 y 8:

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad \dots (7)$$

$$\eta = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{P_L} \quad \dots (8)$$

Donde P_L es la potencia luminosa que incide en la celda, según en la ecuación 9:

$$P_L = A_C \times G_{ef} \quad \dots (9)$$

Donde a su vez, A_C es el área de la celda y G_{ef} es la irradiancia incidente efectiva sobre la celda.

c) Influencia de la temperatura y radiación

Por otro lado, para comprender en su amplitud el funcionamiento de la celda fotovoltaica es necesario agregar las consideraciones externas de la (i) temperatura ambiente y (ii) la iluminación incidente.

Perpiñan (2023) menciona que el aumento de la temperatura reduce la tensión del circuito abierto por el estrechamiento del salto entre banda de valencia y conducción; aumentando ligeramente la fotocorriente en condiciones de iluminación constante, que para efectos prácticos es despreciable.

Sin embargo, en caso de la iluminación, la fotocorriente es proporcional a la intensidad de radiación solar; tomando en cuenta estas características se define las condiciones de funcionamiento estándar de medida (STC), validadas para caracterizar una célula en un entorno controlado (laboratorio), donde: (i) Irradiancia con incidencia normal $G_{stc} = 1000 \text{ W/m}^2$, (ii) la temperatura de la célula $T_C^* = 25^\circ\text{C}$, y (iii) masa del aire $AM = 1.5$.

Como es sabido, los fabricantes informan los valores de las tensiones V_{OC}^* y V_{mpp}^* y las corrientes I_{SC}^* y I_{mpp}^* ; reemplazando los valores en las formulas de forma y eficiencia, estas nos quedan las ecuaciones 10 y 11:

$$FF^* = \frac{P_{mpp}^*}{I_{SC}^* \times V_{OC}^*} \quad \dots (10)$$

$$\eta^* = \frac{I_{mpp}^* \times V_{mpp}^*}{A_C \times G_{stc}} \quad \dots (11)$$

d) Fabricación

El material base para la fabricación de células solares es el silicio cristalino, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el cual es extraído de las canteras de cuarzo o de minerales similares, las cuales deben tener un nivel de pureza superior al 99% para que puedan convertir eficientemente la luz solar en energía eléctrica.

Ahora bien, existen dos (02) configuraciones de módulos, aquellos con células un único cristal de silicio, llamados monocristalino, y otros formados por células con múltiples partículas de silicio cristalizado, llamados policristalino, en la tabla 3 se enlista las diferentes diferencias entre ambos tipos.

Tabla 3

Diferencias entre Silicio Monocristalino y Policristalino

Características	Silicio Monocristalino	Silicio Policristalino
Precio	Mas costoso	Mas económico
Apariencia	Uniforme	Aspecto variado
Eficiencia	Mayor eficiencia	Eficiencia menor
Versatilidad	Difícil de procesar, pero resistente a la degradación y oxidación	Fácil de moldear y procesar
Estabilidad	Estable a lo largo de su vida útil	Menos estable

Nota: Auto solar (2023), <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>

2.1.2.2 Modulo fotovoltaico

Como se ha revisado de la literatura sobre celdas fotovoltaicas, estas son insuficientes para poder abastecer las cargas convencionales que se suelen utilizar, por lo que es necesario realizar arreglos tanto en serie como en paralelo para entregar la tensión y corriente que sean requeridas para abastecer nuestra demanda de carga.

Para Perpiñan (2023), el modelado de un módulo tiene las siguientes consideraciones:

- Los efectos de la resistencia en paralelo no son considerativos
- La resistencia en serie es independiente de las condiciones de operación
- La corriente fotogenerada I_L es igual a la corriente de cortocircuito

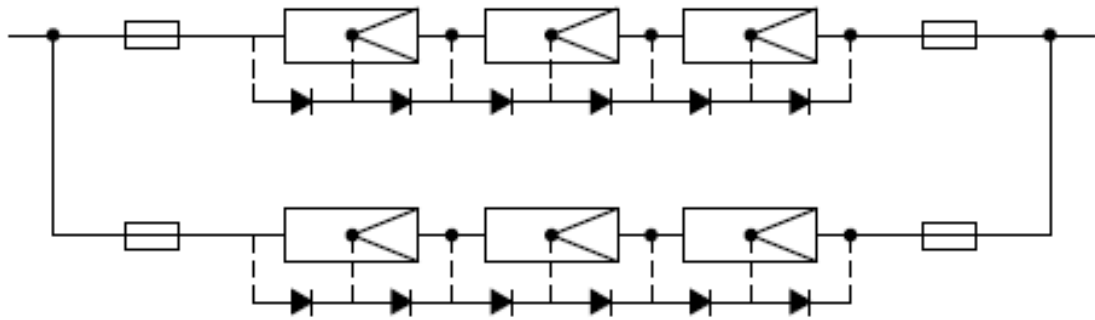
En esa óptica, los procedimientos para la localización del punto máximo de potencia, en cualquier condición de temperatura e irradiancia en células fotovoltaicas es aplicable para un módulo; solamente bajo la sustitución adecuada de valores de corriente y tensión que correspondan a las células que componen el módulo.

2.1.2.3 Generador fotovoltaico

Es la asociación eléctrica, en serie y en paralelo, de módulos fotovoltaicos la cual debe adaptarse a condiciones de funcionamiento de una determinada aplicación. La cantidad de módulos en cada rama (paralelo) viene determinado por el termino N_p , la cual es definida por la corriente del generador $I_g = N_p \times I_m$, donde I_m es la corriente del módulo. Y la cantidad de módulos en serie (por cada rama) viene determinado por el termino N_s , la cual es definida por la tensión del generador $V_g = N_s \times V_m$, donde V_m es el voltaje del módulo, como ejemplo de agrupación de módulos se muestra en la figura 9.

Figura 9

Esquema de un Generador Fotovoltaico



Nota. El esquema ejemplo esta agrupado en dos ramas, y en cada una de ellas tres módulos en serie. Fuente: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

2.1.3 Acumulador electroquímico

También llamado batería, tiene la capacidad de poder almacenar energía eléctrica a través de la transformación de energía electroquímica (enlaces químicos inestables); teniendo las siguientes características (Perpiñan, 2023):

- **Capacidad Nominal (C_b):** Carga eléctrica que puede ser extraída de la batería hasta llegar la descarga total de la misma, se mide en amperios hora (Ah).
- **Voltaje de la batería (V_b):** Es la tensión a la que trabaja la batería, así mismo es la tensión de trabajo impuesta en el SFA, se mide en voltios (V).
- **Capacidad Útil (C_U):** Carga eléctrica que puede ser extraída de la batería, cuando finaliza la descarga de esta, al igual que la carga nominal se mide en amperios hora (Ah).
- **Estado de carga (SoC):** Es la capacidad que tiene una batería la cual se encuentra parcialmente cargada, esta se calcula dividiendo dicha capacidad entre la capacidad nominal ($0 < \text{SoC} < 1$).
- **Profundidad de descarga (PD):** Es el complemento del estado de carga, cuando la batería finaliza su descarga, esta define la profundidad de descarga máxima, y consecuentemente la carga útil, definiéndose en la siguiente ecuación: $C_U = PD_{max} \times C_b$.

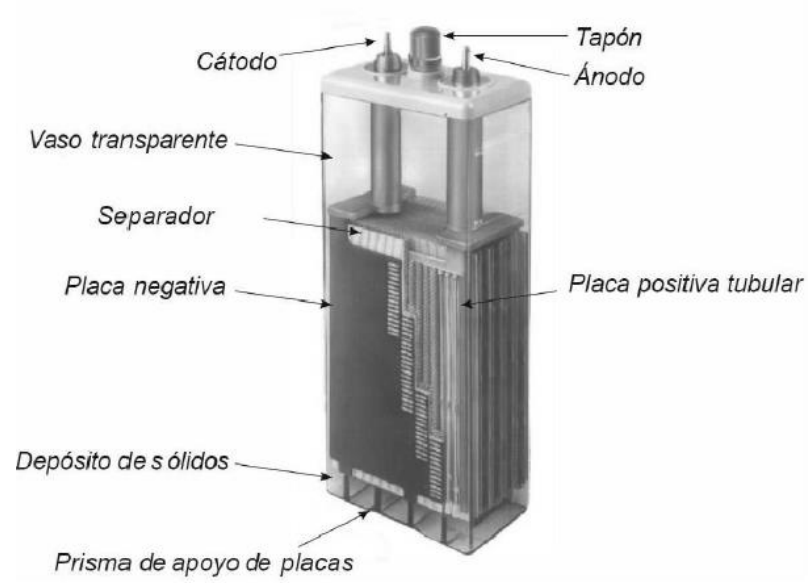
- **Ciclado:** *Es el proceso mediante el cual la batería es sometida a continuas cargas y descargas, y según dichas características, afectara la vida útil de la batería (degradación).*
- **Degradación:** *Es el proceso gradual e irreversible de la perdida de las características funcionales de la batería, producto de los cambios fisicoquímicos de esta. Los mecanismos de degradación principales asociados al ciclado son (i) perdida de material activo y (ii) la estratificación.*

Perpiñan (2023) nos explica en la figura 10 los elementos tipos de una batería, así como el proceso de carga y descarga del mismo:

- En la carga, los electrones son forzados a fluir del electrodo positivo al negativo; obteniendo ganancia de electrones en el ánodo (reducción química) y perdida de electrones en el cátodo (oxidación) y almacenamiento de la energía eléctrica en energía química potencial.
- En la descarga, producto de la inestabilidad de los enlaces químicos, al conectar una carga, espontáneamente se produce el flujo de electrones del ánodo al cátodo; obteniendo liberación de electrones en el ánodo (oxidación química) y captación de electrones en el cátodo (reducción química).

En esa óptica, se ha recopilado de la página web de la empresa Autosolar y de diferentes fabricantes de baterías sobre las características de los tipos de baterías para Sistemas Fotovoltaicos, resumidos en la tabla 4.

Figura 10
Desglose de elementos de una batería



Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

Tabla 4
Comparativo tipos de baterías para Sistemas Fotovoltaicos

Características	Plomo-Ácido Inundadas	Plomo-Ácido AGM/VRLA	Plomo-Ácido Gel	Litio-Ion (Li-ion)	Litio-Hierro-Fosfato (LiFePO ₄)	Níquel-Cadmio (NiCd)	Flujo Redox
Costo inicial	Bajo	Medio	Medio-Alto	Alto	Muy Alto	Alto	Muy Alto
Costo ciclo de vida	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
Ciclos de vida	300-500	400-700	500-1000	2000-3000	3000-7000	1500-3000	>10000
Profundidad de descarga	50%	50-70%	50-80%	80%	80-100%	80%	100%
Eficiencia	70-85%	80-90%	80-90%	95-98%	92-98%	65-80%	70-85%
Autodescarga mensual	5-15%	2-6%	1-3%	1-2%	1-2%	15-20%	<1%
Mantenimiento	Alto (adición de agua)	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Medio	Bajo
Sensibilidad temperatura	Alta	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja
Peso por kWh	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo-Medio	Alto	Muy alto
Riesgo de incendio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo-Medio	Bajo	Muy bajo
Toxicidad	Alta (plomo)	Alta (plomo)	Alta (plomo)	Baja	Baja	Muy alta (cadmio)	Variable
Compatibilidad con cargadores solares	Alta	Alta	Alta	Requiere BMS específico	Requiere BMS específico	Buena	Requiere controlador especializado
Vida útil (años)	3-7	4-8	5-10	7-10	10-15	10-15	15-20
Aplicaciones óptimas	Sistemas pequeños, bajo presupuesto	Sistemas residenciales	Temperaturas extremas	Alta densidad energética	Almacenamiento residencial	Condiciones extremas	Grandes instalaciones
Requisitos de ventilación	Altos	Bajos	Muy bajos	Bajos	Bajos	Medios	Bajos
Tiempo de carga completa	8-16h	6-12h	6-12h	1-4h	1-3h	1-2h	Variable

Nota: Elaboración propia

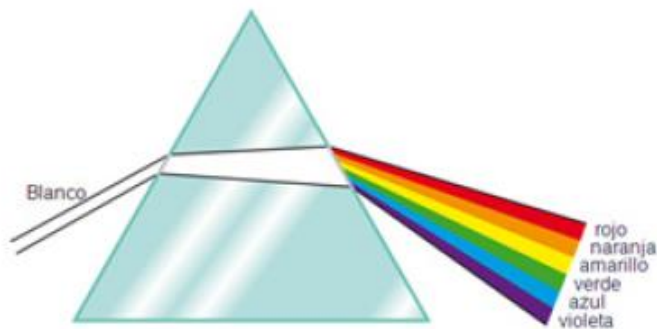
2.1.4 La Luz

En concordancia con Chiron (2008), la Luz es una radiación electromagnética (OEM) que se transmiten, desde su origen, en todas las direcciones; estando el espectro visible entre los 0.38 y 76 μm . La luz blanca, ya sea emitida por el Sol o por lámparas incandescentes, es la combinación de todas las longitudes de onda; se muestra en la figura 11 su separación:

Figura 11

Separación de la luz blanca en un prisma

Rojo	630 – 780 nm
Naranja	600 – 630 nm
Amarillo	565 – 600 nm
Verde	500 – 565 nm
Azul	435 – 500 nm
Violeta	380 – 435 nm



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

2.1.4.1 Magnitudes y unidades

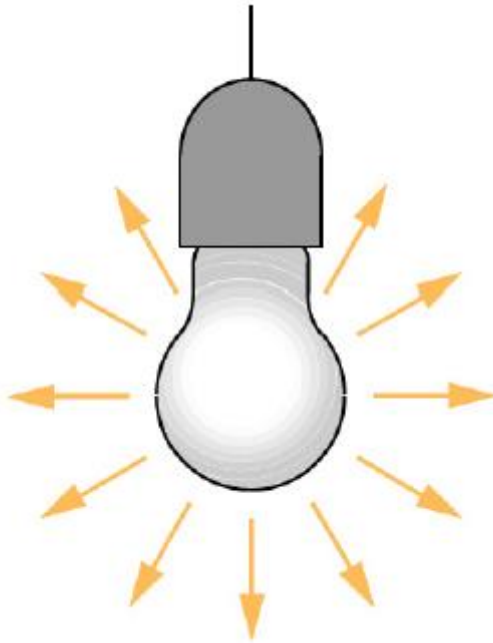
En la iluminación se adoptan una serie de conceptualizaciones y sus correspondientes medidas que mezclan la energía de la radiación y la sensibilidad del ojo humano a dicha radiación (PHILIPS, 2011).

a) Flujo luminoso

El flujo luminoso (Φ) es la cantidad de luz que emana una fuente luminosa por segundo, en todas las direcciones; siendo la unidad de medida el lumen [lm], se muestra en la figura 12 una representación del flujo luminoso:

Figura 12

Representación del flujo luminoso



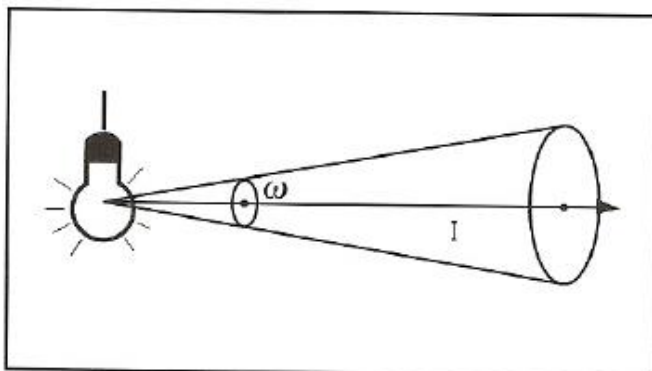
Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

b) Intensidad luminosa

La intensidad luminosa (I) es la cantidad de luz que emana una fuente luminosa por segundo, en una dirección determinada; siendo la unidad de medida la candela [cd], se muestra en la figura 13 una representación de la intensidad luminosa, como el flujo luminoso que atraviesa un cono infinitesimalmente pequeño dividido por el ángulo sólido del cono:

Figura 13

Representación de la Intensidad Luminosa



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

c) Iluminancia

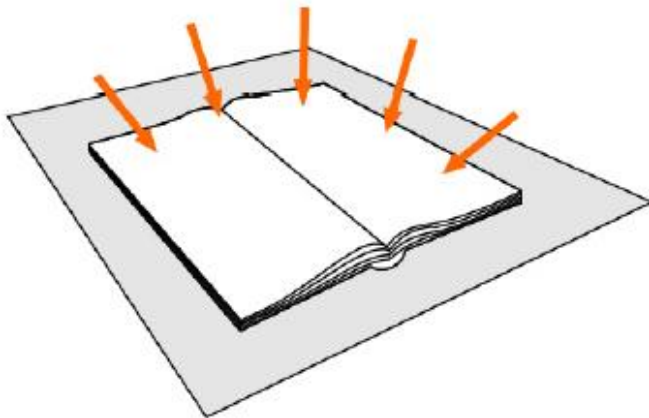
La Iluminancia (E) es la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie entre el área de esta; siendo la unidad de medida el lux [lx]; teniendo la ecuación 12:

$$E = \frac{\phi}{A} \quad \dots (12)$$

Se muestra la en la figura 14 una representación de la iluminancia:

Figura 14

Representación de la Iluminancia incidente sobre una superficie

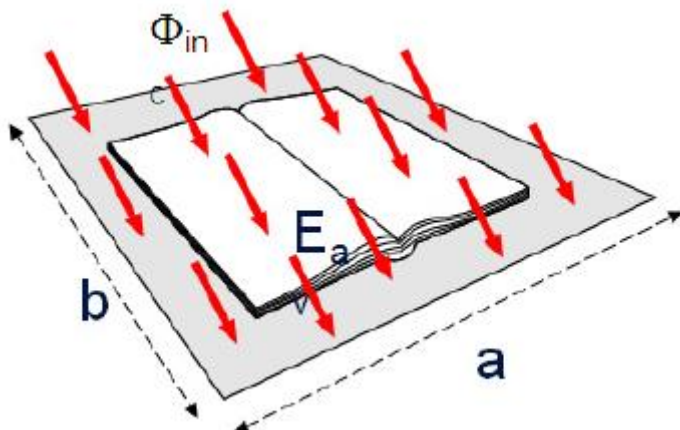


Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

En virtud de esta definición, la Iluminancia media (E_m) es el flujo luminoso que incide sobre la superficie dividido por el área, mostrado su representación en la figura 15:

Figura 15

Representación de la Iluminancia Media



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

Y, en la figura 16 se muestran los valores típicos de Iluminancia:

Figura 16

Valores típicos de Iluminancia en diferentes condiciones

Valores de iluminancia [lux] típicos		
Día soleado de verano		100.000 lux
Cielo cubierto		5.000 lux
Una oficina iluminada		750 lux
Una habitación de hotel		100 lux
Noche de luna llena		0,25 lux

Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

d) Luminancia

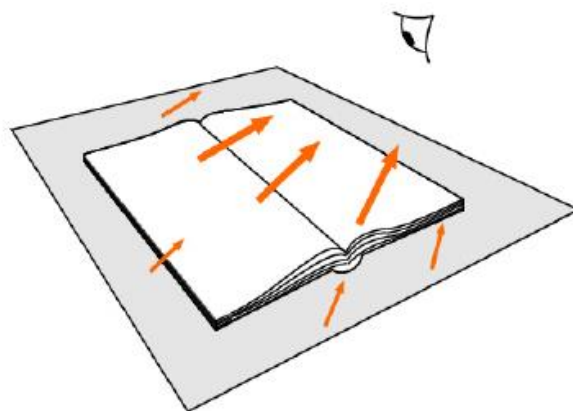
La Luminancia (L) de una superficie que emite luz es la intensidad luminosa emitida por unidad de área aparente de dicha superficie; siendo la unidad de medida la candela por metro cuadrado [cd/m^2]; teniendo a la ecuación 13:

$$L = \frac{I}{A_a} \quad \dots (13)$$

Se muestra la en la figura 17 una representación de la Luminancia:

Figura 17

Representación de Luminancia emitida desde una superficie

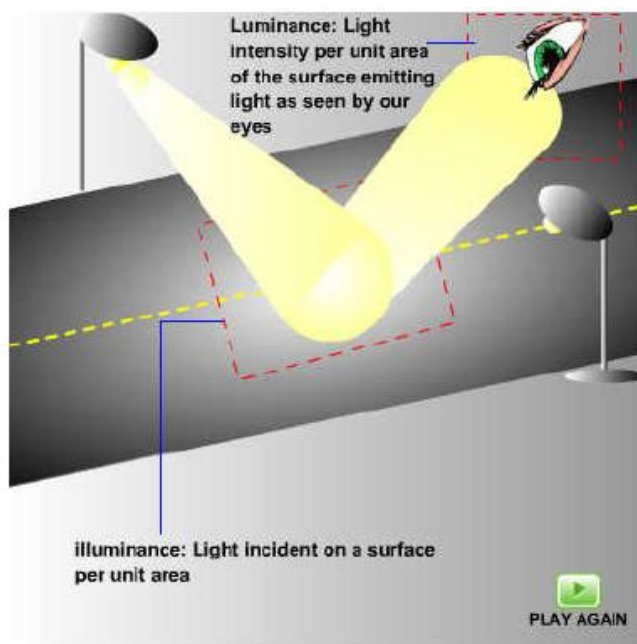


Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

Como se aprecia en la figura 18, mientras la iluminancia es el flujo luminoso incidente en una superficie, la luminancia es la intensidad luminosa emitida de esta, la cual puede ser desde el mismo piso, hasta una pared y/o una luminaria; siendo el campo de interés la luminancia en dirección del observador. En otras palabras, lo que vemos no es iluminancias, sino luminancias.

Figura 18

Representación de Iluminancia vs Luminancia



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

Se muestra además en la figura 19 los valores típicos de luminancias

Figura 19

Valores típicos de Luminancia

luminancia [cd/m^2] Valores típicos		
Superficie del sol		1650 Mcd/ m^2
Filamento incandescente		7 000 000 cd/m^2
Cielo cubierto		2000/8000 kcd/ m^2
fluorescente		5000-15000 cd/m^2
Mesa despacho		100 cd/m^2
Calzada (calle)		0.5-2.0 cd/m^2

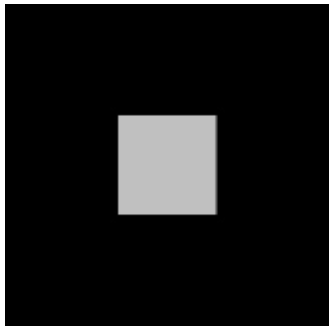
Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

e) Luminosidad

La luminosidad viene a ser una evaluación subjetiva del observador, sensación que brindan las luminancias de superficies emisoras de luz, en la figura 20 se muestra la diferencia luminosidad sobre un cuadrado gris, el cual “parece” más oscuro sobre un fondo blanco que sobre uno negro:

Figura 20

Concepto de Luminosidad aplicada



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

f) Ley de la inversa del cuadrado

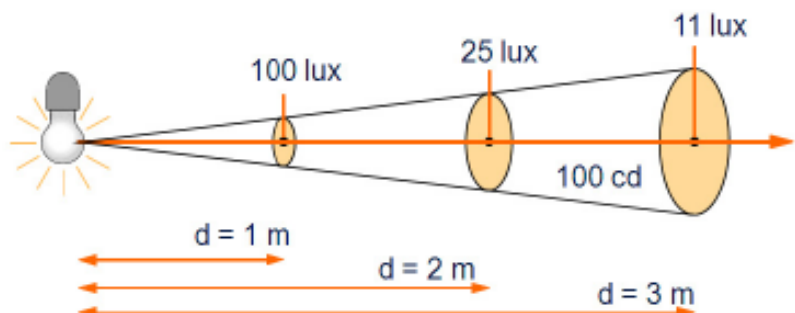
Nuevamente, PHILIPS hace mención que iluminancia incidente en el punto de un plano normal a la dirección de la Luz es equivalente a la relación de la intensidad luminosa entre el cuadrado de la distancia entre la fuente luminosa y el punto en mención, teniendo la ecuación 14:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad \dots (14)$$

En la figura 21 se muestra una representación de la Ley de la Inversa del cuadrado:

Figura 21

Aplicación de la Ley de la inversa del cuadrado



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

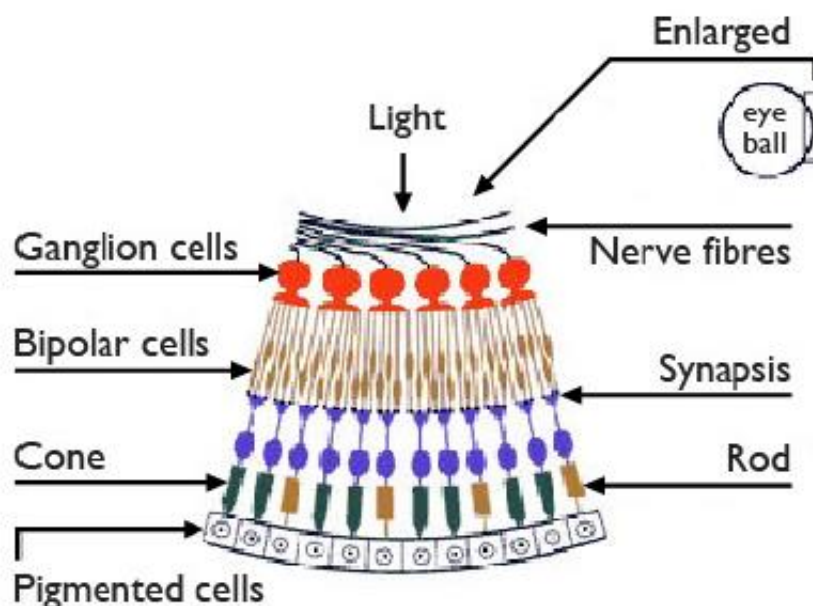
2.1.4.2 Luz y visión

Al inicio del apartado se mencionó que la estrecha relación entre la energía de radiación y la sensibilidad del ojo humano y es debido a que esta energía de radiación llamada Luz es la que nos permite ver el mundo tal y como lo conocemos, y esto es realizado gracias al ojo humano PHILIPS (2011). Al existir una íntima relación entre la realidad visual y la capacidad del ojo captarla, esta realidad visual se basa fundamentalmente en la iluminación, y como este se relaciona con el rendimiento y confort visual.

El ojo humano para poder ver y distinguir entre 1 a millones de tonalidades de color cuenta con la retina, la cual cuenta con millones de terminaciones nerviosas sensibles a la luz, las cuales son de dos (02) tipos: (i) los bastones, altamente sensibles a la luz y detección de formas y movimientos en general, pero no distinguen colores; y (ii) los conos, menos sensibles que los bastones, pero distinguen los colores, consecuentemente los detalles, en la figura 22 se visualiza una sección de retina:

Figura 22

Sección de la retina del ojo



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

a) La visión escotópica

La visión escotópica es cuando a niveles de iluminación muy bajos (en la noche iluminada por la luna), donde la sensibilidad de los conos no funciona (reducida), la visión se realiza a través de los bastones; y como estos se encuentran fuera de la fóvea, punto en torno al centro del eje visual, este tipo de visión es periférica.

b) La visión fotópica

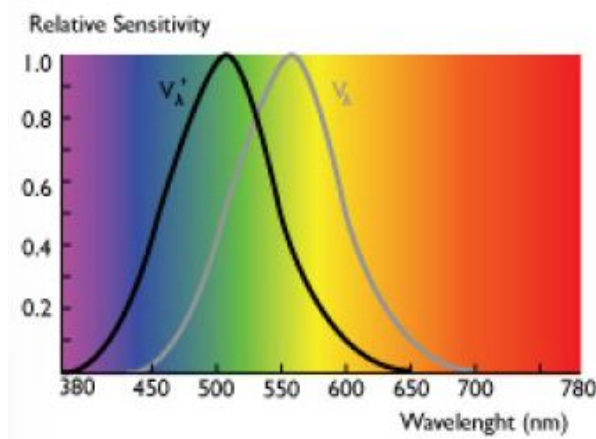
La visión fotópica es cuando a niveles de iluminación por encima de los 3cd/m², los conos por si solos se ocupan de la visión; y como estos se concentran en la fóvea, este tipo de visión es centralizada y de precisión.

c) Curvas de sensibilidad espectral

Al apreciarse mejor el cambio de sensibilidad espectral entre conos y bastones a través de curvas de sensibilidad máxima, la ISO/CIE (2005) muestra lo que la CIE normalizado la curva fotópica $V(\lambda)$ en 1924 y la curva escotópica $V'(\lambda)$ en 1951, como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Curva de sensibilidad espectral relativa de la visión fotópica y escotópica definidas por la CIE



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

d) Rendimiento y comodidad visual

El umbral de visibilidad, con la cual podemos ver objetos, y cualquier otra información visual de interés no es suficiente, también es necesario ver contrastes y detalles. Ello implica no solo un nivel superior al umbral de visibilidad (rendimiento), sino

estas cómodos en el entorno visual (comodidad visual) (PHILIPS, 2011). Por eso tenemos tres conceptos importantes a resaltar:

- **Agudeza visual:** *Es la capacidad de distinguir pequeños detalles.*
- **Contraste [C]:** *Es la diferencia de luminancia o color entre zonas contiguas en una escena; teniendo así (i) contraste por luminancia y (ii) contraste por color.*
- **Deslumbramiento [U]:** *Es la sensación negativa generada por luminancias, se encuentran o llegan a nuestro campo visual, las cuales son mayores a las luminancias a las cuales estamos ya adaptados; siendo esta sensación negativa de molestia, visibilidad reducida o una combinación de estas. Esta puede ser (i) por incomodidad, (ii) por incapacidad, o (iii) superior.*

2.1.4.3 Luz y color

a) Triángulo de color

Es necesario que el color de la luz sea caracterizado para su utilización, por lo que la CIE (1931) diseñó un diagrama de cromaticidad llamado “Triángulo de Color de la CIE” como se visualiza en la figura 24.

Del gráfico se desprende que a lo largo de los ejes X y Y están los valores numéricos que identifican los colores, llamados también “coordenadas de **cromaticidad**”; teniendo en los ápices del diagrama colores más saturados, y hacia el centro de menor saturación (más claros), y específicamente en el centro, la combinación de todos los colores (blanco).

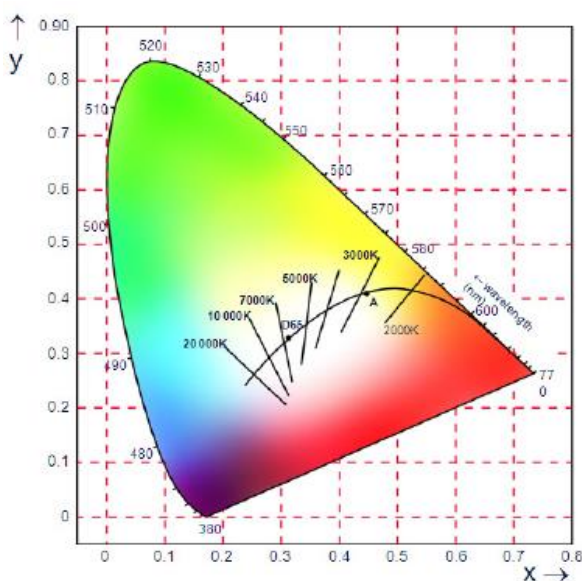
b) Temperatura de color

La temperatura de color es aquella temperatura a la cual, por la teoría del cuerpo negro, todos los cuerpos emiten radiación visible, medida en grados Kelvin.

Ahora bien, la definición precisa de esta temperatura del cuerpo negro se dibuja este en el Triángulo de Color de la CIE de la figura 24, en la cual se obtiene una línea curva negra, llamada también curva del cuerpo negro. En esta curva, si nos movemos de derecha a izquierda, pasamos de temperaturas bajas (luz de color blanca roja) a temperaturas altas (luz de color blanca azul).

Figura 24

Diagrama de cromaticidad de la CIE



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

En ese sentido, la temperatura de color de las fuentes de luz blanca, son asociadas a las temperaturas de color de un radiador de cuerpo negro; clasificando con ellos los grupos de temperatura de color y su apariencia en la figura 25.

Figura 25

Clasificación de grupos de temperatura de color

Temperatura de color	Aspecto de color
menos de 3300K	blanco cálido (amarillento)
3300K – 5000K	blanco neutro / intermedio
más de 5000K	blanco frío (azulado)

Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

c) Reproducción del color

La reproducción del color viene a ser la capacidad de la luz de poder reproducir con la mayor fidelidad posible los colores de los objetos; teniendo estas fuentes de luz que tener un espectro continuo para aumentar la capacidad de reproducción.

La CIE (1995) para clasificar las fuentes de luz según su capacidad para reproducir el color de los objetos ha introducido la definición de Índice de Reproducción de Color o Cromática [Ra], mostrado sus intervalos en la figura 26.

Figura 26

Clasificación de la reproducción del color

Intervalo de R_a	Reproducción del color
90 – 100	Excelente
80 – 90	Buena
60 – 80	Moderada
< 60	Pobre

Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

En la figura 27 se muestra los valores de $[Ra]$ de las diferentes lámparas.

Figura 27

Índice de reproducción cromática de diferentes lámparas

Tipo de lámpara	R_a
Incandescentes y halógenas	100
TL 940	90
TL 840	80
TL 640	60
LED blanco	60 - 95
Halogenuro metálico	70 - 90
Sodio de alta presión	25
Sodio de baja presión	0

Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

Cabe resaltar que PHILIPS (2011) también señala que el índice de reproducción es inversamente proporcional a la eficiente en una lámpara, por lo que es importante, en el diseño y/o selección de luminarias equilibrar la eficiencia y la calidad de la reproducción del color, según las aplicaciones específicas.

2.1.4.4 Calidad en la iluminación

Luego de varias investigaciones sobre cómo funciona el ojo humano, mecanismo de la visión y como está reacciona a la luz han permitido PHILIPS (2011) nos resume en cinco (05) criterios de calidad en iluminación:

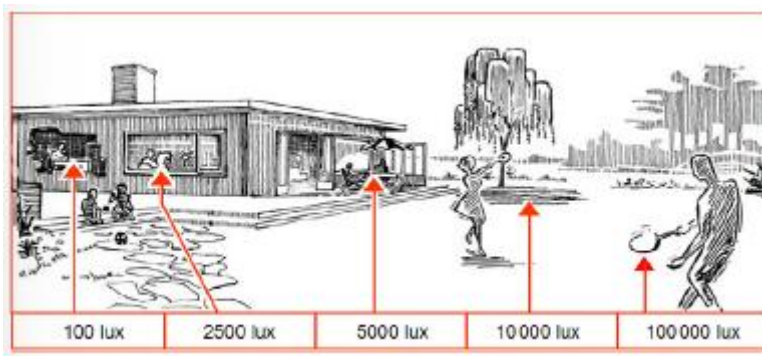
- *Nivel de iluminación*
- *Distribución espacial de la luz*
- *Direccionalidad de la luz*
- *Color de la luz*
- *Economía de la luz*

a) *Nivel de iluminación*

El criterio de nivel de iluminación mide la cantidad de luz existente; utilizando para ello el concepto de iluminancia en el plano horizontal, debido a que la luminancia de los objetos (que es lo que en realidad vemos) es muy difícil de especificar por la reflectancia de los objetos y la cantidad de luz natural. Esta se relaciona con las iluminancias naturales generadas por la luz natural, como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Intervalo de niveles de iluminación en un día soleado



Nota: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

Por lo que, en términos generales, tenemos niveles de iluminación artificial correlacionadas con la iluminación natural:

- *Iluminancia $E < 5 ; 25 > lux$ para alumbrado publico*
- *Iluminancia $E < 10 ; 50 > lux$ para iluminación ambiental de interiores*
- *Iluminancia $E < 300 ; 1000 > lux$ para leer y trabajar*

Como el nivel de iluminación determina el cómo el ojo se adapta a las actividades que realiza, mientras mayor es la dificultad de una actividad a realizar (al requerir mayor contraste y tal vez velocidad en su ejecución) mayores serán los niveles de iluminación necesarios. En esa óptica, existe normativa internacional sobre los niveles de iluminación **promedio** o **medio** requeridos, tanto para interiores y **exteriores**, según actividad específica a realizar.

b) Distribución espacial de la Luz

Con solo saber el nivel de iluminación medio de un área determinada no es suficiente para garantizar el rendimiento y confort del ojo humano ya que pueden quedar espacios oscuros con relación a la iluminación general. Para ello se utiliza el concepto de uniformidad [U] que es la relación de la iluminancia mínima entre iluminancia media $U = E_{min}/E_m$ en un espacio delimitado.

c) Direccionalidad de la luz

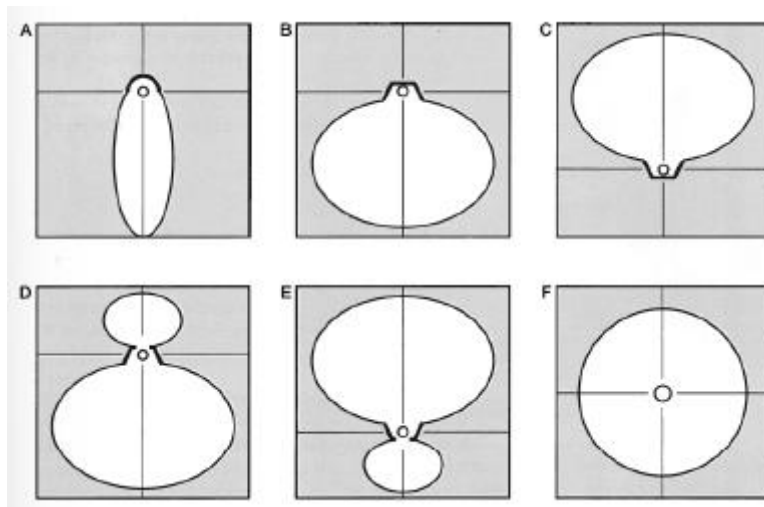
La dirección de la luz no es más que la dirección del flujo luminoso y consecuentemente la sombra que crea al interceptar los objetos y como esto afecta la percepción del ojo humano. PHILIPS (2011) nos muestra que existen tres (03) tipos de direccionalidad:

- ***Luz direccional:*** A través de un haz de flujo luminoso estrecho, que inciden directamente sobre el objeto a iluminar; creando sombras.
- ***Luz difusa:*** A través de un haz de flujo luminoso ancho, que inciden desde muchas direcciones y que apenas produce sombra; similar a una iluminación natural en un día nublado.
- ***Luz indirecta:*** A través de un haz de flujo luminoso que se refleja en techo o paredes, utilizado sobre todo en iluminación de interiores.

Como se puede apreciar, según la aplicación, es como se escoge la distribución de luz adecuada de luminarias a utilizar; esta es mostrada en un diagrama de intensidad luminosa, llamada también curva polar, como se muestra en la figura 29, se puede visualizar los tipos de diagramas polares

Figura 29

Diagramas polares de intensidad luminosa



Nota. A: haz estrecho, B: haz ancho, C: haz indirecto, D: haz predominantemente directo, E: haz predominantemente indirecto, F: haz omnidireccional. Fuente: PHILIPS (2011) Fundamentos sobre la generación de la luz y el alumbrado

d) Color de la luz

En apartados precedentes se ha descrito sobre la capacidad de una fuente luminosa de reproducir el color de un objeto iluminado, definida por el índice de reproducción cromática [Ra]; visualizando en la figura 26 la clasificación de este índice. Cabe resaltar que no todas las aplicaciones requieren o es relevante tomar en consideración este factor, ya que depende si solo es importante iluminar el objeto y que sea visible para el ojo humano o la fidelidad de este (grado de detalle).

Por otro lado, con relación a la temperatura de color es también relativo, ya que la apariencia de la luz blanca, en caso de las lámparas LED, muchas veces se considera solo cosa de gusto; empero si existe recomendaciones, según algunos tipos de aplicaciones sobre la tonalidad y/o apariencia de la luz blanca para mejorar la experiencia de visualización.

e) Economía de la luz

Finalmente, un proyecto de iluminación que cumpla con todos los requisitos de **calidad**, pero sea (i) excesivamente cara, (ii) difícil de mantener, y (iii) no sea energéticamente eficiente, es considerada como un mal proyecto (PHILIPS, 2011). Sin embargo, hoy en día los diferentes proyectos y estudios de iluminación con base en

luminarias LED han demostrado que este tipo de proyecto con esta tecnología son técnica y económicamente viables de implementar, respecto a otras tecnologías.

Por otro lado, y con gran relevancia, esta viabilidad en la implementación de este tipo de proyectos debe ir de la mano con una eficiencia en su uso, es decir, contar con el nivel de iluminación necesaria en el momento adecuado; lográndose esto a través **sistemas de control de la iluminación** en función de la tarea y/o actividad a realizar.

Estos sistemas utilizan reguladores y sensores que permiten el encendido y apagado automatizado de las luminarias y regular el nivel de iluminación incidente sobre los objetos que, por diseño, se requieren iluminar.

2.1.5 Sistema de Alumbrado LED

Este sistema es aquel que incorpora la tecnología LED necesaria para obtener una luminaria; integrando para ello una fuente de luz LED con todos los elementos para el funcionamiento y protección de los diferentes componentes. Estos sistemas están conformados por: (i) luminarias, fuente de luz LED, drivers y sus circuitos internos), los cuales comprenden el producto terminado por instalar (Comunidad de Madrid, 2015).

En ese sentido, se sostiene que el alumbrado LED no genera las mismas prestaciones que los propios diodos LED, en su forma individual y/o independiente, el fabricante debe suministrar datos concretos sobre las características luminotécnicas, terminas, eléctricas y de seguridad, para que el producto comercializado este totalmente caracterizado.

2.1.5.1 Tipos de LED

La Comunidad de Madrid (2015), en la figura 30 detalla la existencia de tres tipos de LED, para aplicaciones específicas y con características singulares para cada una de ellas.

Figura 30

Tipos de LED

LED de 3 mm y 5 mm	
	Señales publicitarias, indicadores, retroiluminación, (frigorífico, TV, etc.)
	Voltaje constante (conexión en paralelo)
LED SMD (Surface mount LED)	
	Zona inferior de armarios, pasos de peatones, luz decorativa.
	Voltaje constante 12 V/ 24 V (conexión en paralelo).
	Temperatura baja (sin reductor de calor).
LED de alta potencia (LED >1 W):	
	Efectos de iluminación con lente, idóneos para una variedad de aplicaciones.
	Voltaje constante 350 mA/ 700 mA (conexión en serie).
	Última tecnología disponible en el mercado.

Nota: Comunidad de Madrid (2015) Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado

2.1.5.2 Concepto y producto final del LED

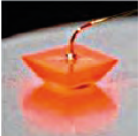
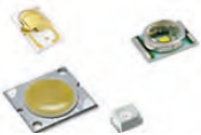
En esa óptica, sobre la tipología anterior de LED, se constituye una arquitectura aún más compleja con la finalidad de proporcionar soluciones con mayor flujo luminoso; dotando al diodo inicial de todos los elementos que conduzcan a una mayor iluminación, como se muestra en la figura 31.

2.1.5.3 Fabricantes de LED

Finalmente, la Comunidad de Madrid (2015) muestra que el LED, como producto final, requiere inversiones muy onerosas, así como su tiempo de procesamiento, por lo que los fabricantes solo se enfocan en tipos específicos de LED encapsulados (LED die in package).

Figura 31

Proceso de configuración del LED

Nivel	Nombre	Descripción	Imagen
Nivel 0	LED die	LED diodo semiconductor original	
Nivel 1	LED die in package	LED diodo encapsulado	
Nivel 2	LED Board	LED en circuito impreso	
Nivel 3	LED Module	LED en circuito impreso con interface. Puede incluir elementos adicionales, ópticas, disipador o controlador.	
Nivel 4	LED Lamp	LED en módulo incluido en lámpara bajo estándar IEC	

Nota: Comunidad de Madrid (2015) Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado

2.1.6 Alumbrado Urbano

La iluminación publica originalmente fue implementada para las áreas urbanas como mecanismo de prevención contra los delitos contra los bienes muebles, inmuebles y las personas (CIE, 2000); siendo hoy los beneficios:

- *Oscuridad sinónimo de criminalidad*
- *Iluminación urbana como elemento disuasivo del vandalismo y actos delictivos minoritarios, en su mayoría callejones.*
- *Aumento de visibilidad que permite en los peatones tiempos de reacción más cortos, antes eventualidades adversas.*
- *iluminación urbana aumenta la sensación de seguridad durante las noches*

Ahora bien, debido a que el alumbrado público está estrechamente relacionado con la infraestructura de distribución eléctrica, se distinguen dos (02) grandes grupos que nos permiten definir a la iluminación urbana, según figura 32 (Serefhanoglu Sozen et al., 2005).

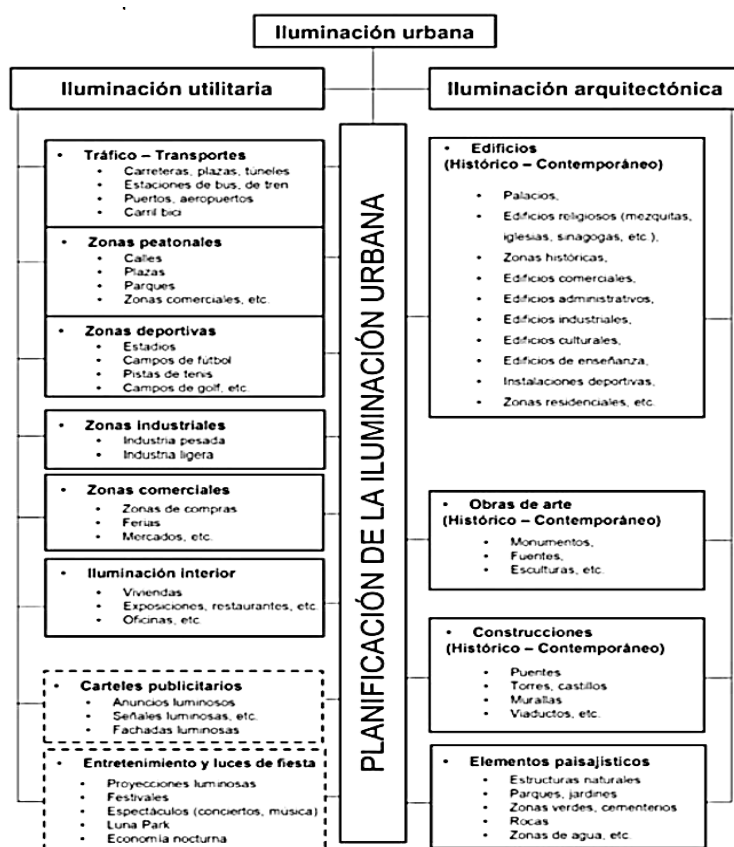
Como se puede apreciar, el alumbrado urbano utilitario o funcional contempla el alumbrado en zonas de tráfico rodado, **peatonales**, deportivas, entre otros; las cuales pueden singularizarse según aplicación y/o función que realizan, las cuales como mínimo deben permitir:

- *A favor de la seguridad durante el desplazamiento*
- *Limitación en la pérdida de capacidad visual, producto del deslumbramiento*
- *Aseguramiento de mejora de percepción sobre el espacio público.*

En ese orden de ideas, para la obtención de información y/o datos técnicos para alumbrado público funcional / utilitario (para Exteriores) se debe consultar las publicaciones de la Comisión Internacional de iluminación: (i) CIE 115:2010 “iluminación de Carreteras”, (ii) la CIE 136: 2005 “Iluminación Urbana” utilizadas en diferentes manuales sobre iluminación de exteriores.

Figura 32

Aspectos relativos a la iluminación urbana



Nota: Sherefhanoglu Sozen et al. (2005) City Beautification by Lighting and Efficient Energy Usage

2.1.6.1 Fotometría del sistema LED

Ahora bien, a diferencia de las lámparas de descarga las cuales requerían un reflector para controlar y dirigir el flujo luminoso, en el caso de luminarias para el alumbrado exterior que utilizan tecnología LED, estas solo alumbran en una dirección; pudiendo emplear lentes superpuestas que permitan realizar una sinergia sobre la fotometría en conjunto, y obteniendo así la fotometría total de la luminaria en si misma (Comunidad de Madrid, 2015).

2.1.6.2 Clasificación de las luminarias

Por otro lado, según la Comunidad de Madrid (2015), las luminarias se clasifican, en virtud de la distribución de la intensidad luminosa, en función del (i) alcance longitudinal [A], (ii) dispersión transversal [D] y (iii) control de deslumbramiento. En la figura 33 y figura 34 se muestra los alcances referenciales de una luminaria, con relación a la altura de montaje de esta; las cuales deben en conjunto deben ser ubicadas (reglaje) de tal forma que la distribución luminosa se adapte a las características geométricas del sitio a iluminar.

Figura 33

Alcance (A) de una luminaria

Alcance	Corto	Intermedio	Largo
Distancia	$A < 1,73 h$	$2,73 h \leq A \leq 2,75 h$	$A > 2,75 h$
Ángulo	$\gamma_{\max} < 60^\circ$	$60^\circ \leq \gamma_{\max} \leq 70^\circ$	$\gamma_{\max} > 70^\circ$

Nota: Comunidad de Madrid (2015) Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado

Figura 34

Dispersión (D) de una luminaria

Dispersión	Estrecha	Media	Ancha
Distancia	$D < 1 h$	$1 h \leq D \leq 1,43 h$	$D > 1,43 h$
Ángulo	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Nota: Comunidad de Madrid (2015) Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado

2.1.6.3 Luminarias para LED

Para la Comunidad de Madrid (2015), las luminarias para LED son aquellas que están constituidas con múltiples fuentes lumínicas la cual consta de una orientación en particular, de la mano con un óptimo sistema óptico; consiguiendo las fotometrías acordes

para determinadas aplicaciones las cuales permiten mejorar el factor de utilización y disminuir la luz molesta (deslumbramiento). En virtud de los diferentes sistemas ópticos para la fuente de luz LED, las luminarias se clasifican como siguen:

a) Óptica plana

Cada lente individual proporciona una distribución lumínica idéntica.

b) Óptica 3D

Cada lente individual proporciona una parte de la distribución fotométrica

c) Óptica basada en reflectores

Los flujos luminosos de cada lente individual se ubican en la misma dirección.

En ese sentido, con luminarias con la óptica adecuada para cada aplicación de iluminación exterior, estas ofrecen mejores rendimientos fotométricos; y consecuentemente, se consigue mayores distancias entre puntos de luz, con mejor uniformidad sobre la zona a iluminar.

2.1.6.4 Relación de parámetros

Según la Comunidad de Madrid (2015) existen una serie de relaciones paramétricas como se indican:

- *Relación anchura / altura (a/h)*
- *Implantación en curvas*
- *Altura mínima de implantación (h_{min})*
- *Relación separación / altura (s/h)*

Las tres (03) primeras están relacionadas con iluminación de calzadas y vías, mientras que la relación de separación / altura esta más relacionada a que la uniformidad longitudinal de luminancia sea lo suficiente ($U_l > 70\%$); recomendando en la figura 35 las siguientes relaciones:

Figura 35

Relación separación / altura (s/h) de diferentes luminarias

• Luminarias con lámparas de S.A.P.: (sodio alta presión)	s/h $\approx$ 4,0
• Luminarias con lámpara de V.M.: (vapor de mercurio)	s/h $\approx$ 3,5
• Luminarias con lámpara de H.M.: (halogenuros metálicos)	s/h $\approx$ 3,5
• Luminarias con lámpara de S.B.P.: (sodio baja presión)	s/h $\approx$ 3 – 3,5
• Luminarias con LED:	s/h $\approx$ 3,5 – 4,5

Nota: Comunidad de Madrid (2015) Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado

Por otro lado, según el Ministerio de Energía y Minas (2003) en su Norma Técnica de Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución, numeral 4.5.2, establece que, en los interiores de plazas, parques y plazuelas, se está obligado a instalar unidades de alumbrado en razón de 0.13 W/m^2 como mínimo.

2.1.7 Alumbrado de Parques y Jardines

El alumbrado exterior enfocado a iluminar parques y jardines públicos debe considerar tres pilares: (i) consumo energético eficaz, (ii) impacto ambiental mínimo y (iii) lograr una buena inversión calidad / precio.

2.1.7.1 Eficiencia energética de los LED

Actualmente, la eficiencia de los fabricantes de luminarias para alumbrado publico se encuentran en torno a los 150 lm/w; consecuentemente la fuente de luz LED dedicadas al alumbrado de exteriores es superior sobre las anteriores fuentes de luz, por su calidad lumínica.

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado público (para exteriores) se especifica como sigue en la ecuación 15:

$$\varepsilon = \frac{S \times E_m}{P} \quad \dots (15)$$

Donde:

- ε es la eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior en $\text{m}^2 \times \text{lux/W}$

- P es la potencia activa total instalada (Fuente de luz y equipamiento auxiliar) en W
- S es la superficie iluminada en m^2
- E_m es la iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto, en lux

2.1.7.2 Niveles de iluminación

Así mismo, el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2013) utiliza la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 – Niveles de iluminación, para determinar que las vías principales, como los accesos al parque o jardín durante las horas nocturnas, deben iluminarse como las vías de tipo E, como se muestran en la tabla 5:

Tabla 5

Clase de Alumbrado P para cada tipo de Vía

TIPO	DESCRIPCION	COMPOSICION DE TRÁFICO	INTENSIDAD DE TRÁFICO	CLASES DE ALUMBRADO
A	Áreas de aparcamiento: - En autopistas y autovías - Aparcamiento en general - Estaciones de Autobuses	Motorizados Ciclistas Peatones	Media	C1A-P2
B	Zonas comerciales e históricas: - Acceso restringido - Uso prioritario de peatones	Motorizados limitados Ciclistas Peatones	Alta	C2-P1
C	Espacios peatonales de conexión: - Vías peatonales - Itinerarios peatonales accesibles - Aceras a lo largo de la calzada - Paradas de Autobuses con zonas de espera	Ciclistas Peatones	Normal	P1-P2
D	Carriles para bicicletas: - Independientes a lo largo de la calzada - Entre ciudades en área abierta - Unión de zonas urbanas	Solamente ciclistas	Baja	P2-P3
E	Zonas de velocidad muy limitada: - Caminos peatonales - Espacios abiertos - Parques	Únicamente peatones	Baja	P3- P4
Las vías de tráfico de características iguales o similares a las incluidas en la descripción, tendrán la misma clase de alumbrado				

Nota: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2013) ITC-EA-02 – Niveles de Iluminación

En ese sentido, los criterios de iluminación de las clases de alumbrado P se orientan en la iluminación horizontal sobre el área de la superficie donde se ilumina; expresándose por la Iluminancia Media E_m y la Iluminancia Mínima E_{min} . Por lo que, en la tabla 6 se detalla la clase de alumbrado P para cada tipo de vía; obteniendo así los rangos de iluminancia de trabajo.

En ese orden de ideas, este criterio para determinar el nivel de iluminancia es concordante con las normas CIE 115-2010: Iluminación de Carreteras para tráfico Motorizado y Peatonal, con la UNE-EN 13201-2015: Iluminación de Carreteras, así como con la norma UNE-EN 12464-2016: Iluminación de lugares de Trabajos en Exteriores.

Tabla 6

Valor de Iluminancia para las clases de alumbrado tipo P

CLASE DE ALUMBRADO*	LUMINANCIA HORIZONTAL			REQUISITOS ADICIONALES SI SE NECESITA RECONOCIMIENTO FACIAL	
	E_m (Referencia) lux	E_{min} lux	f_{ti} (Máxima) %	E_v lux	E_{sc} lux
P1	15,00	3,00	20	5,0	5,0
P2	10,00	2,00	25	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	25	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	30	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	30	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	35	0,6	0,2
* Las clases de alumbrado P de esta tabla están destinados para peatones y ciclistas en aceras, carriles bici, carriles de emergencia y otras áreas de carretera que se encuentran separadas o junto a la calzada de una vía de tráfico, y para vías residenciales, calles peatonales, áreas de aparcamiento, zonas de colegios, etc.					

Nota: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2013) ITC-EA-02 – Niveles de Iluminación

2.1.7.3 Consideraciones adicionales

Si bien es cierto, con la iluminación artificial no se pretende alcanzar el grado de luminosidad igual al de la luz solar; considerando que el ojo humano percibe distinta la gama de color por los distintos tonos e intensidades de la iluminación artificial, se tiene las siguientes consideraciones en el diseño de alumbrado de parques y jardines (Comunidad de Madrid, 2015):

- El diseño del alumbrado exterior debe estar enfocado para limitar el resplandor luminoso nocturno, el cual debe proyectar la luz hacia abajo; apantallando las luminarias que limitan la proyección de luz directamente al objeto por iluminar.

- Las zonas que se deben considerar son los accesos al parque, así como sus paseos, escaleras, glorietas, áreas de estancia, entre otros.
- La luz requerida debe ser blanca para obtener una buena reproducción cromática ($R_a \geq 70$).
- Al ser las luminarias partes del mobiliario urbano, deben tener un grado de protección igual o superior al IP 65.

2.1.8 Luminarias solares tipo UFO

Trayendo a colación todo el corpus teórico sobre iluminación y el uso de la tecnología LED en el alumbrado público, para la aplicación de alumbrado en parques y jardines se requiere de una luminaria cumpla la gran mayoría de esas características en mención.

Bajo esa óptica, PHILIPS, entre otras empresas fabricantes de luminarias recomiendan que las luminarias tipo UFO, en sus diferentes configuraciones (sea solar o con abastecimiento de energía eléctrica convencional), según el diseño en virtud de la cantidad y distribución de estas en el espacio público a iluminar, cumple con garantizar las diferentes condiciones y nivel de iluminación para el alumbrado de parques y jardines; principalmente por su haz de flujo luminoso ancho tanto a nivel longitudinal como transversal, en el plano horizontal.

2.1.9 Sistema de simulación y diseño de iluminación DIALux EVO

DIALux EVO es un software especializado en la simulación y diseño de iluminación más utilizado en la actualidad (DIAL, 2024), desde 1994 viene perfeccionándose y actualmente nos encontramos en la versión DIALux EVO 12.

La importancia de la utilización de DIALux EVO en nuestro proyecto radica en la utilización de una base de datos (catálogos) de fabricantes los cuales han suministrado metadatos fotométricos de sus luminarias, lo que permite modelar con precisión diversas fuentes luminosas.

Por otro lado, es importante destacar las versiones EVO del DIALux porque permiten importar modelados BIM, en formatos CAD, así como creaciones geométricas más complejas con herramientas paramétricas.

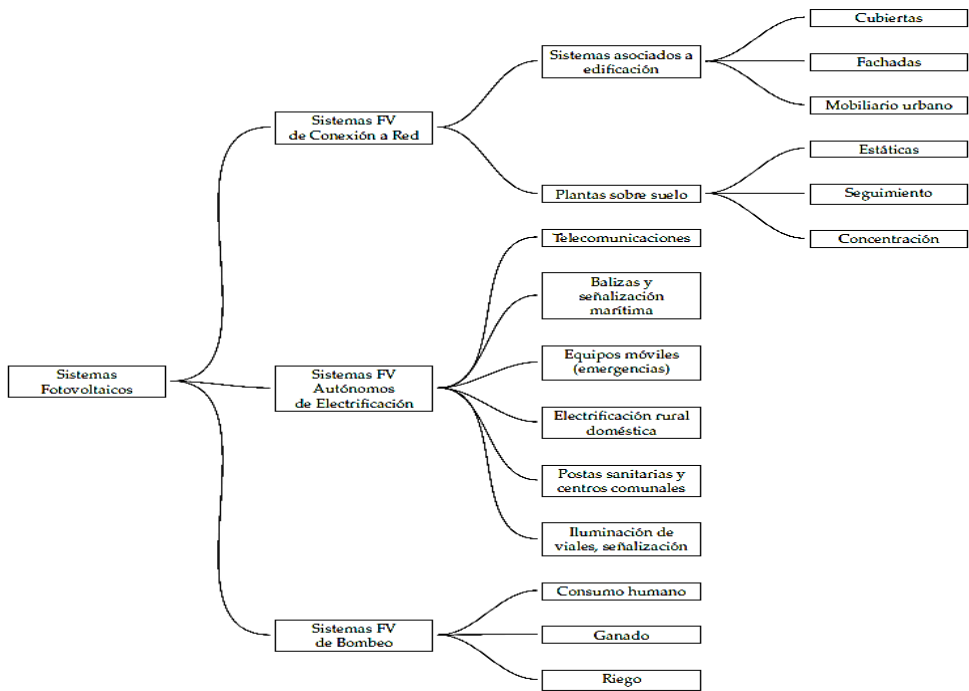
Por lo que, combinando las características fotométricas, y de capacidades de modelado, se escoge a DIALux EVO como software de iluminación que va a permitir realizar las simulaciones de iluminación en el parque León Dormido, con luminarias actualizadas en el mercado.

2.1.10 Sistemas Fotovoltaicos

En primera instancia, según Perpiñán (2023), los sistemas fotovoltaicos son el conjunto de equipamientos eléctricos – electrónicos capaces de producir energía eléctrica a través de la transformación de la energía luminosa incidente proveniente de la radiación solar.

En la figura 36, resume la clasificación de los sistemas fotovoltaicos (SF) en tres grandes grupos: (i) aquellos SF conectados a la red (grid connected), (ii) aquellos SF autónomos (off-grid) y los SF de bombeo (Perpiñán, 2023).

Figura 36
Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas



Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

2.1.10.1 Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA)

Los sistemas (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer cargas eléctricas las cuales no se encuentran conectadas a la red interconectada; empleando para ello acumuladores de energética (baterías) para su utilización en el periodo en los que la generación es inferior al consumo (Perpiñan, 2023).

En esa óptica, en la figura 37 se muestran cuatro (04) configuraciones comunes en los SFA:

a) Sistemas Domésticos (SHS)

Los cuales solo incorporan cargas en corriente continua, compuestos por (i) el generador, (ii) acumulador electroquímico, y (iii) un regulador de carga y descarga.

b) Sistemas con Carga Alterna (AC)

SFA con los componentes básicos, pero incluye en lugar de la carga en corriente continua, una carga en corriente alterna; teniendo que incluir para su utilización un inversor.

c) Sistemas con Carga Alternas y Continuas (AC-DC)

SFA con los componentes básicos, pero incluye adicional la carga de corriente alterna en paridad con la carga de corriente continua; incluyendo también para la utilización de la carga alterna un inversor.

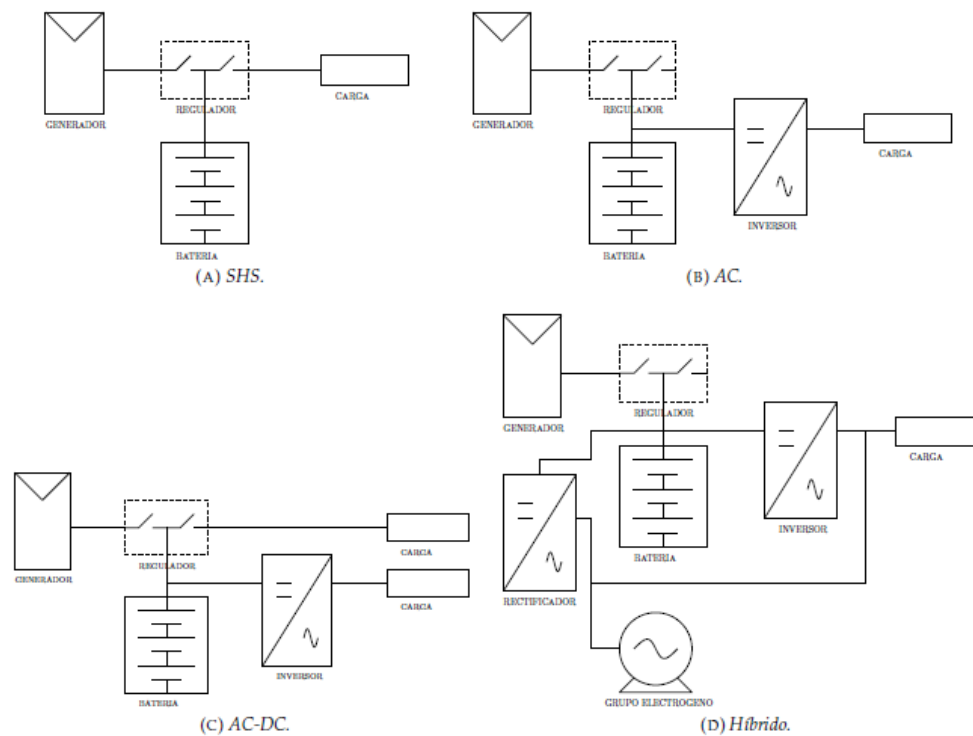
d) Sistemas Híbridos

SFA con solo carga de corriente alterna; teniendo que incluir un grupo electrógeno y un rectificador, dimensionados de tal forma que reduzcan la probabilidad de fallo y mínimo coste.

En consecuencia, al ser nuestra luminaria, un conjunto elementos compactados (lampara LED, panel solar, batería y un regulador de carga), todo ello trabajando exclusivamente en corriente continua DC, el modelo de diseño es compatible con los SHS.

Figura 37

Configuraciones típicas de SFA



Nota: Perpiñán, Oscar (2023) Energía Solar Fotovoltaica

2.1.10.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico Autónomo

Domestico

Un SFA orientado a una Sistema Domestico, que solo utiliza corriente continua, consta de cuatro (04) elementos esenciales para su funcionamiento (Perpiñán, 2023):

a) Acumulador electroquímico

Como se mencionó en el apartado 2.1.3, es también llamado batería, con la capacidad de almacenar energía eléctrica en los enlaces químicos inestables

b) Regulador de carga

Elemento electrónico con la capacidad de evitar sobrecarga y descarga profunda del acumulador, conectando y desconectando el generador. Cabe resaltar que el regulador también sirve como conmutador para abastecer a la carga de energía; estando conectado siempre a la batería. Sobre este elemento no se entrada en mayor detalle ya que los equipos considerados en el diseño son elementos compactos, que vienen con reguladores y/o conmutadores predefinidos.

c) Generador fotovoltaico

Como se definió en el apartado 2.1.2.3, es la asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos, la cual debe adaptarse a las condiciones de funcionamiento en una determinada aplicación, dispuesto tanto en serie como en paralelo.

d) Carga

Es todo aquel equipo que consume energía eléctrica para su funcionamiento, ejemplo de ellos son los electrodomésticos, radios, televisores, luminarias, bombas, etc. Hay 2 formas de caracterizar a la carga, respecto de la energía que consume L medida en watts hora (Wh), y respecto a la carga eléctrica que consume Q_L medida en amperios hora (Ah).

Para efectos del estudio sería una luminaria, como carga típica, la cual esta mencionada en el apartado de 2.1.5 - Sistema de Alumbrado LED.

2.1.10.3 Dimensionado de un Sistema Fotovoltaico Autónomo

Domestico

Para Perpiñán (2023), el dimensionado de un SFA es un procedimiento metodológico que va a permitir decidir el tamaño del generador fotovoltaico y su respectivo acumulador, los cuales en conjunto deben ser capaces de proporcionar la energía eléctrica requerida por una carga determinada a partir de la radiación disponible en la zona donde se ubicara el SFA.

Para efectos de diseño, el tanto el tamaño del generador y el acumulador vienen definidos por sus respectivas capacidades normalizadas respecto con la energía solicitada por la carga, y la tarea fundamental de dimensionado es poder determinar la mejor combinación de capacidades, como se detalla a continuación.

a) Capacidad del Generador

La capacidad del generador C_A es definida como la relación de la energía media que puede producir el generador entre la energía que solicita la carga, como se muestra en la ecuación 16 (Perpiñán, 2023):

$$C_A = \frac{n_G \times A_G \times \bar{G}_d(\beta, \alpha)}{L} \quad \dots (16)$$

Donde:

- n_G es la eficiencia del generador fotovoltaico.
- A_G es el área del generador fotovoltaico, en m^2 .
- $\bar{G}_d(\beta, \alpha)$ es la irradiación media incidente en la superficie del generador, en Wh/m^2 .
- L es la energía solicitada por la carga, en Wh

De la ecuación se deduce que para una carga determinada el generador es aceptable cuando una radiación determinada haga que el valor de C_A sea mayor o igual 1, pero puede este valor ser menor a la unidad, en caso dicha radiación sea menor y no pueda abastecer a la carga.

Sin embargo, dado que la energía producida por el generador se calcula a partir de la irradiación incidente, existe la posibilidad de definir diferentes capacidades de generador para diferentes periodos de tiempo; por lo que es una práctica común recurrir al denominado “mes peor”, mes con menor valor medio de irradiación, que permita obtener la mejor autonomía para el Sistema Fotovoltaico (Perpiñan, 2023).

b) Capacidad del Acumulador

La capacidad del acumulador C_S es definida como la relación de la capacidad útil del acumulador entre la carga eléctrica que solicita la carga, como se muestra en la igualdad de la ecuación 17 (Perpiñan, 2023):

$$C_S = \frac{C_U}{Q_L} = \frac{C_b \times PD_{max}}{Q_L} \quad \dots (17)$$

Donde:

- C_b es la capacidad nominal del acumulador, en Ah .
- PD_{max} es la profundidad de descarga máxima del acumulador.
- Q_L es la carga eléctrica solicitada por la carga, en Ah .

Ahora bien, trayendo a colación el termino de ciclado (carga y descarga de un acumulador en un periodo de tiempo), Perpiñán (2023) explica que el ciclado diario vendría a ser una secuencia de cargas y descargas del acumulador las cuales se producen durante un periodo diario; estando la profundidad de descarga del acumulador (asociada a dicho ciclado) directamente relacionada con el consumo nocturno, y consecuentemente con la capacidad de la batería.

Por tanto, se deduce que para una aplicación en la cual la carga solo será utilizada de noche, la capacidad del acumulador, siguiendo el concepto de ciclado diario, se considera el valor de la unidad $C_S = 1$.

En esa misma línea, si consideramos que durante el día el generador deba cargar el acumulador, para su uso en horario nocturno, se puede definir que la capacidad del generador puede tener como mínimo el valor de la unidad $C_A = 1$.

2.1.10.4 Configuración del generador y acumulador

En este proceso se realiza la configuración del generador fotovoltaico y el acumulador electroquímico de acuerdo con las tensiones de trabajo, Perpiñán (2023) define las siguientes consideraciones:

- La batería es la que impone la tensión de trabajo V_b .
- La tensión de la batería V_b debe estar cerca del punto máximo de potencia (MPP)

Bajo la siguiente premisa, considerando la eficiencia, utilizando el punto máximo de potencia (diseño) se tienen las ecuaciones 18 y 19 para dicha configuración:

$$L = V_b \times Q_L \quad \dots (18)$$

$$\eta_G \times A_G \times G_{stc} = I_g^* \times V_b \quad \dots (19)$$

Ahora bien, considerando además las fórmulas de la configuración del generador y acumulador, respectivamente, se obtiene las ecuaciones 20 y 21:

$$I_g^* = \frac{C_A \times Q_L \times G_{stc}}{\overline{G_d}(\beta, \alpha)} \quad \dots (20)$$

$$C_U = C_S \times Q_L \quad \dots (21)$$

Siendo I_g^* la corriente del generador en el punto de máxima potencia en condiciones STC, y la Q_L la carga a satisfacer.

2.1.10.5 Orientación e inclinación del generador

Según las recomendaciones de Perpiñán (2023), para cada generador se debe obtener una orientación e inclinación según la aplicación y lugar de emplazamiento. Sin embargo, como el tipo de luminaria LED es circular, con diseño de proyección perpendicular al plano horizontal, y considerando que por el tipo de ciclado de la batería el consumo de la carga es predominante de noche, y la irradiación a utilizar para el cálculo (obtenida de la NASA Solar Energy) es en el plano horizontal; el generador deberá estar con una inclinación $\beta = 0$, sin importar la orientación.

Cabe resaltar que también se ha recomendado que la inclinación debe superar los 15° para que la lluvia pueda desplazar la suciedad acumulada en los paneles, y así no sea necesario acciones de mantenimiento para mantener la transmisibilidad de elemento protector de los paneles solares.

2.1.10.6 Cálculo del consumo

Considerando que las cargas conectadas a un SFA serán de corriente continua (luminarias LED), y conociendo la energía requerida por esta carga, la energía total L_T que deberá entregar el SFA esta resumida en la ecuación 22:

$$L_T = \frac{L_{dc}}{\eta_r} \quad \dots (22)$$

Donde:

- L_{dc} es la energía eléctrica requerida por la carga
- η_r es el rendimiento energético del regulador.

Por otro lado, de lo visto en el apartado 2.1.3, las baterías en el proceso de carga y descarga pierden energía, por lo que la energía producida por el generador fotovoltaico no llega en su integridad a las cargas, por lo que se define η_{bat} como el rendimiento promedio de la batería. Así mismo, producto del efecto Joule en el cableado, se define η_c

como el rendimiento promedio de los cables; obteniendo la energía producida por el generador L en la ecuación 23:

$$L = \frac{L_T}{\eta_{bat} \times n_c} \quad \dots (23)$$

Se tienen valores recomendados de $\eta_r = 0.95$, $\eta_{bat} = 0.85$ y $n_c = 0.98$

Si bien es cierto que con esto tenemos las fórmulas para determinar el consumo, en la realidad el carácter aleatorio del comportamiento humano dificulta la caracterización del consumo eléctrico. Esto para los fines de nuestro estudio es irrelevante por cuanto se tiene definido el horario de consumo (nocturno) de las cargas (luminarias LED).

2.1.11 Metodología para el diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada

Después de haber mencionado todo el corpus teórico relacionado a Sistemas Fotovoltaicos y sus diferentes componentes para su funcionamiento, se ha escogido, para el Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada, la siguiente base teoría:

- *Luminaria Solar LED tipo UFO: Como el tipo de carga DC que va a contener al Sistema Fotovoltaico en sí mismo, y que, para la aplicación en parques y jardines, es la mejor opción de iluminación.*
- *Sistema fotovoltaico Autónomo SFA específicamente para cargas en DC: Como la base de diseño para verificar si las componentes de la luminaria LED escogida cumplen con los requerimientos de funcionamiento.*
- *Software DIALux EVO: Como software de simulación y diseño dentro del cual se va a escoger la luminaria solar LED específica (marca, modelo), y a través de los datos fotométricos de esta, verificar si cumple con los requerimientos lumínicos; así como obtener de la simulación, datos de distribución y montaje.*

Es por ello que, el enfoque de diseño no está orientado para la fabricación ni selección de componentes fotovoltaicos (por separado), sino en verificar que la luminaria solar LED escogida en el catálogo del software DIALux EVO, en virtud de su funcionamiento, cumpla con los requerimientos de acumulación electroquímica, de

generación fotovoltaica y de iluminación requerida en el parque León Dormido para demostrar la autonomía del alumbrado público.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Radiación Solar

Es una Onda Electromagnética (OEM) emitida por el Sol, en un rango de longitud de onda desde los $10^{-10}m$ hasta los 10^4m , la cual transporta energía en partículas son masa llamadas fotones; estando el 99.8% de esta potencia irradiada entre longitudes de onda de 0.25 y $25 \mu m$ (Chiron & E., 2008).

2.2.2 Generación Fotovoltaica

Es la asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos, las cuales deben adaptarse a condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada; Siendo la cantidad de módulos en cada rama (paralelo) determinado por el termino N_p , la cual es definida por la corriente del generador $I_g = N_p \times I_m$, donde I_m es la corriente del módulo; y la cantidad de módulos en serie (por cada rama) viene determinado por el termino N_s , la cual es definida por la tensión del generador $V_g = N_s \times V_m$, donde V_m es el voltaje del módulo (Perpiñan, 2023).

2.2.3 Acumulación Electroquímica

Es la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica a través de la transformación de energía química, producto de los enlaces químicos inestables de esta (Perpiñan, 2023).

2.2.4 Sistema de Alumbrado LED

Sistema que incorpora una fuente de luz LED y todos sus elementos para funcionamiento y protección, como la tecnología necesaria para obtener una luminaria (Comunidad de Madrid, 2015).

2.2.5 Alumbrado de Parques y Jardines

Es el alumbrado de exteriores enfocado a la iluminación de parques y jardines públicos, los cuales consideran (i) el consumo energético eficaz, (ii) el impacto ambiental mínimo y (iii) lograr una buena inversión calidad / precio (Comunidad de Madrid, 2015).

2.2.6 Luminaria Solar LED tipo UFO

Es un conjunto de componentes: (i) lámpara LED, (ii) batería “por lo general de LiFePO_4 ”, (iii) panel solar “monocristalino o policristalino”, (iv) regulador electrónico de carga, y (v) sensor de movimiento, todos ellos dentro de una carcasa llamada luminaria, la cual cumple con garantizar las diferentes condiciones y nivel de iluminación para el alumbrado de parques y jardines (Comunidad de Madrid, 2015); principalmente por su haz de flujo luminoso ancho tanto a nivel longitudinal como transversal, en el plano horizontal (PHILIPS, 2011).

2.2.7 Nivel de iluminación

Es uno de los cinco (05) criterios de calidad de iluminación que mide la cantidad de luz existente en un espacio en el plano horizontal a través de la iluminancia de fuentes de luz artificial, correlacionada con las iluminancias naturales generadas por la luz natural (PHILIPS, 2011).

2.2.8 Alumbrado Público Autónomo

Sistema de iluminación destinado a vías, parques, plazas u otros espacios públicos que opera independientemente de la red eléctrica convencional (Comunidad de Madrid, 2015); generando, almacenando y gestionando su propia energía eléctrica (Perpiñán, 2023), para mantener los niveles de iluminación de manera autónoma.

2.2.9 Sistema Fotovoltaico (SF)

Es un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos (generador eléctrico, acumulador electroquímico, regulador de carga, inversor y carga) capaces de producir energía eléctrica a partir de la energía luminosa incidente en el panel solar, proveniente de la radiación solar (Perpiñán, 2023).

2.2.10 Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA)

Es un Sistema Fotovoltaico (SF) que produce energía eléctrica para satisfacer cargas eléctricas las cuales no se encuentran conectadas a la red interconectada convencional (Perpiñán, 2023).

2.2.11 Sistema Fotovoltaico Autónomo Domestico (SFA - SHS)

Es un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) con carga exclusivamente en corriente continua (DC) (Perpiñan, 2023).

2.2.12 Diseño de Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada

Es un proceso de planificación, selección, verificación y simulación de los componentes necesarios para generar, almacenar y distribuir la energía eléctrica requerida por la luminaria seleccionada, utilizando como fuente primaria la energía solar (Perpiñan, 2023).

Capítulo III – Desarrollo del Trabajo de Investigación

3.1 Diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada

El diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada se ha desarrollado sobre la base del proceso de dimensionado de un Sistema Fotovoltaico Autónomo Domestico, exclusivamente para Luminarias LED (carga con corriente continua) para el alumbrado de parques y jardines (Luminaria tipo UFO); utilizando el software DIALux EVO para verificar los requerimientos lumínicos en un sitio determinado, en este caso el parque León Dormido ubicado en el distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región Lima.

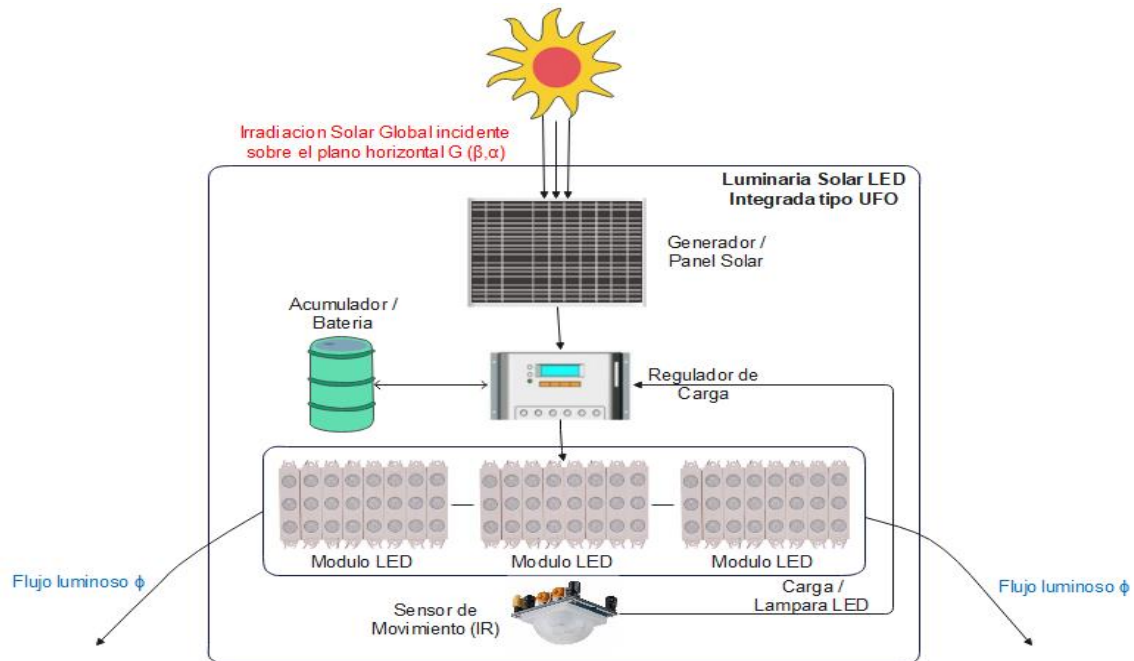
Por lo que, el diseño del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada propuesto consta de una serie de pasos metodológicos (cálculos y simulaciones) que nos permiten obtener un **alumbrado público autónomo** en el parque León Dormido. Esto se consigue demostrando que la luminaria solar LED integrada tipo UFO (un equipo compacto que consta de un panel solar, regulador electrónico, batería y lampara LED), seleccionada dentro de los catálogos de fabricantes de luminarias que contiene el programa DIALux EVO, permita lo siguiente:

- Que, según la proyección de funcionamiento de la luminaria, **determinar la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria.**
- Que, según la evaluación de consumo de la lampara LED, **verificar la capacidad de acumulación de la batería de la luminaria seleccionada.**
- Que, según la disponibilidad de radiación solar incidente en el plano horizontal del parque León Dormido, **verificar la capacidad de generación del panel solar de la luminaria seleccionada.**
- Que, según simulaciones realizadas en el software DIALux EVO de las luminarias seleccionadas, **verificar el nivel de iluminación requerido** en el parque León Dormido.

En esa óptica, en la figura 38 se muestra la configuración del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada propuesto:

Figura 38

Configuración de la propuesta de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada

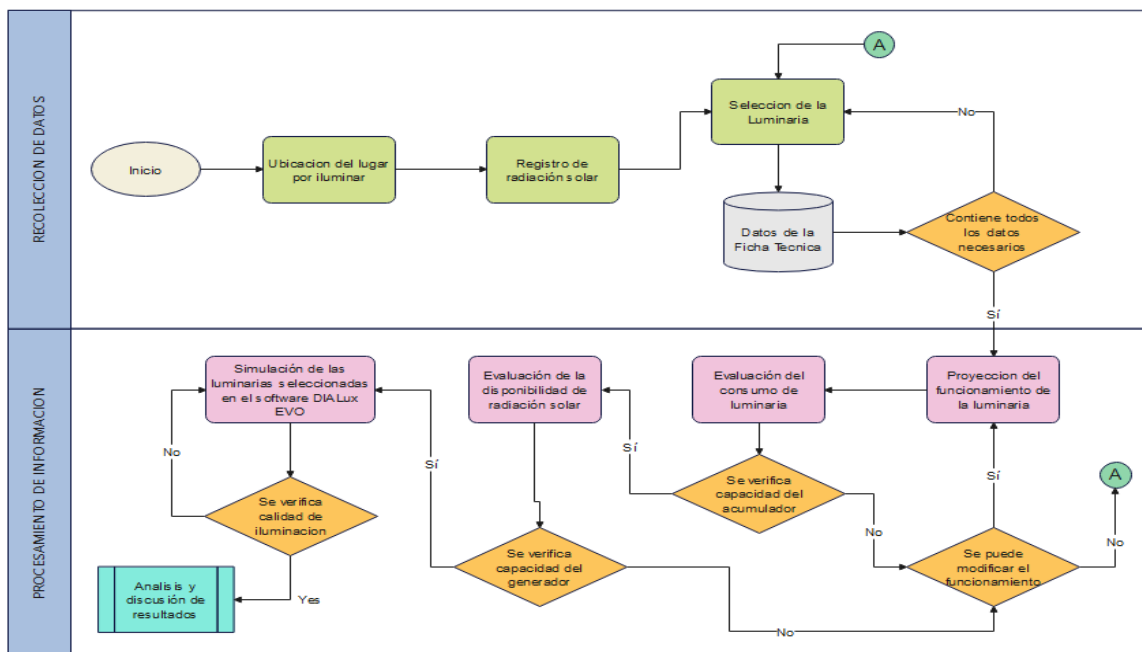


Nota. Elaboración propia

Siendo así, se define la secuencia de pasos del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada que nos permitiría obtener un **alumbrado público autónomo**, como se muestra en la figura 39.

Figura 39

Diagrama de flujo del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada



Nota. Elaboración propia

3.2 Recolección de datos

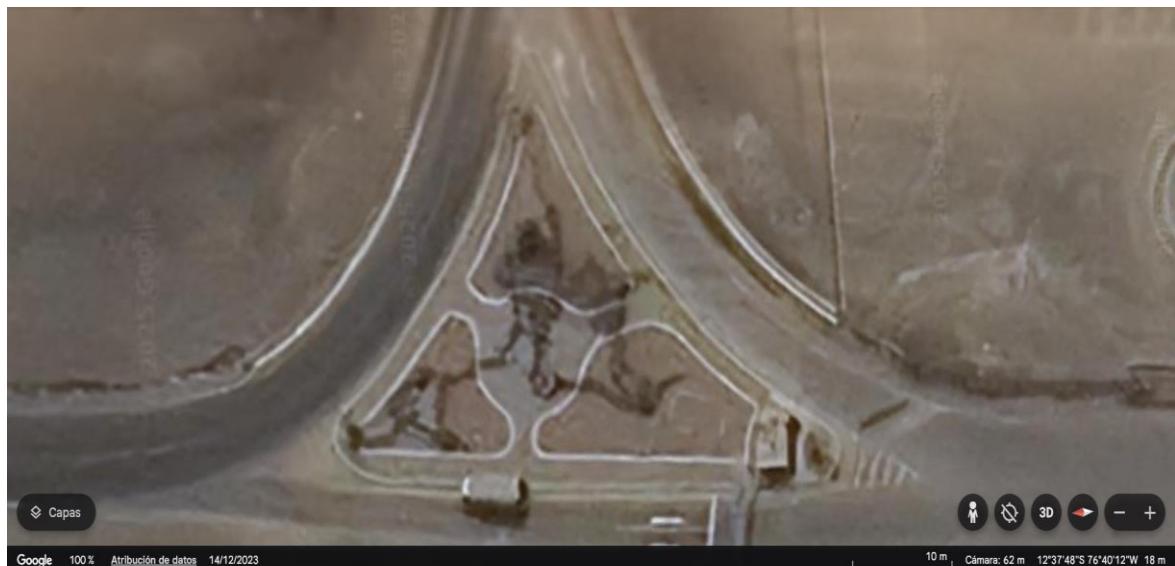
3.2.1 Ubicación del lugar por iluminar

Todo comienza con la ubicación del sitio donde se pretende instalar las luminarias, para ello utilizamos los servicios web de Google (aplicación Google Earth) que nos permita extraer una representación en el plano horizontal del parque León Dormido y obtener los datos de latitud y longitud.

Siendo así, como se muestra en la figura 40, se ha extraído la representación en el plano horizontal del parque León Dormido, estando está en las coordenadas de latitud $12^{\circ}37'48''$ (Sur) y longitud $76^{\circ}40'12''$ (Oeste). La información de las coordenadas será de utilidad para el proceso de registro de radiación solar.

Figura 40

Imagen Satelital del Plano Horizontal del parque León Dormido

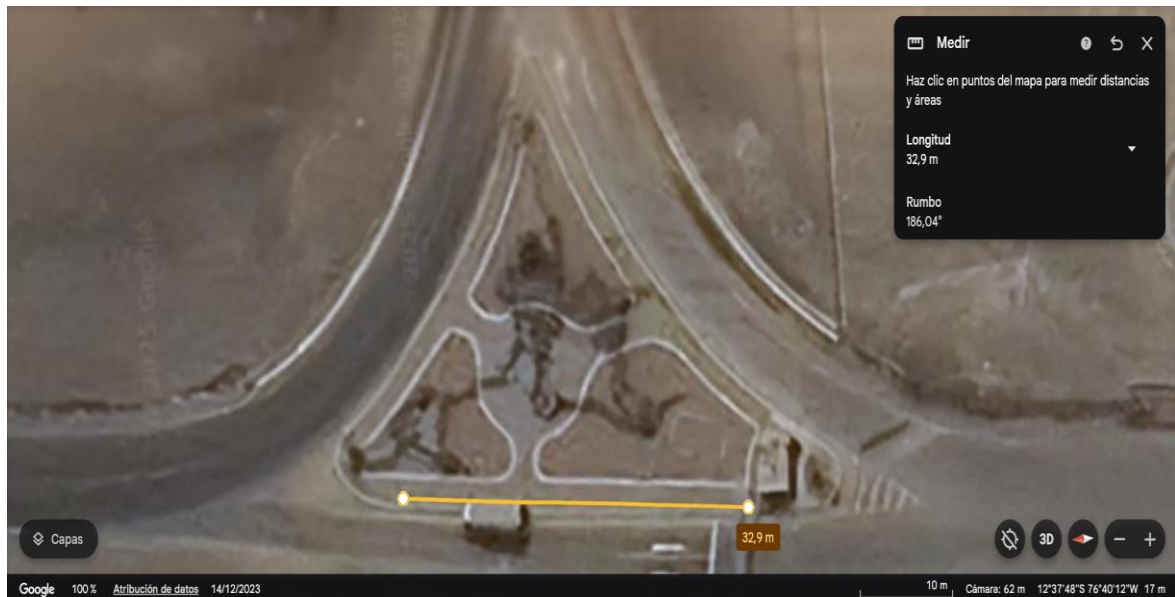


Nota: Google (2025) Aplicación Web Google Earth, https://earth.google.com/web/@-12.63006421,-76.66992842,17.35500899a,44.21112882d,60y,93.73930508h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKA TBCAggASgOI_____ARAA

Ahora bien, estando en el plano horizontal, se puede obtener una medida representativa para poder escalar la imagen en el software DIALux EVO y poder realizar el modelado, como se muestra en la figura 41.

Figura 41

Medida referencial sobre la imagen satelital del plano horizontal

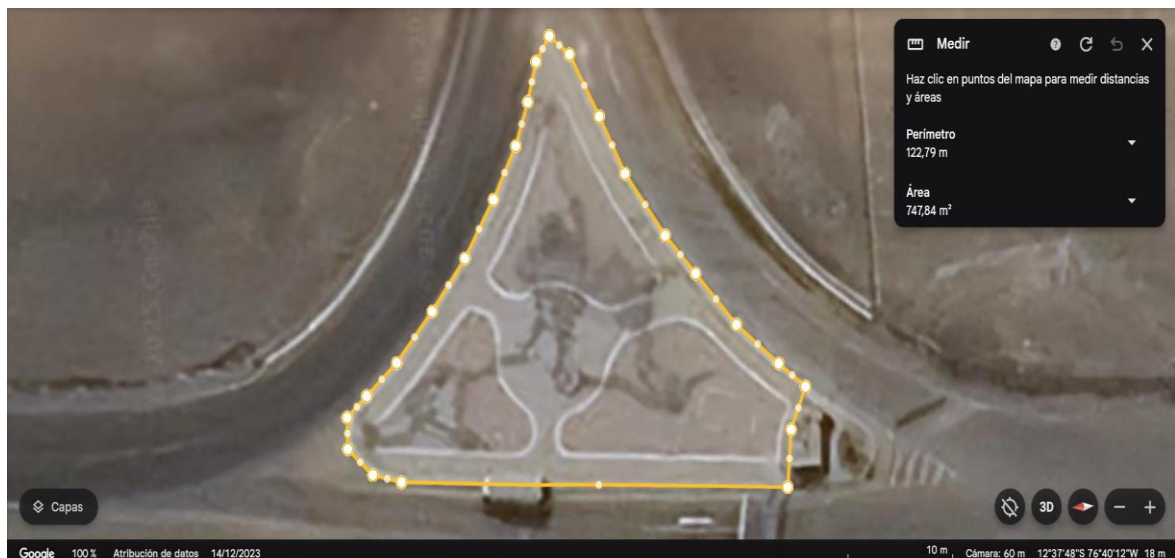


Nota: Google (2025) Aplicación Web Google Earth, https://earth.google.com/web/@-12.63006421,-76.66992842,17.35500899a,44.21112882d,60y,93.73930508h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKA TBCAggASgOI_____ARAA

Así mismo, en este mismo plano se obtiene también el área del área por iluminar, como se muestra en la figura 42.

Figura 42

Área y perímetro sobre la imagen satelital del plano horizontal



Nota: Google (2025) Aplicación Web Google Earth, https://earth.google.com/web/@-12.63006421,-76.66992842,17.35500899a,44.21112882d,60y,93.73930508h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKA TBCAggASgOI_____ARAA

Cabe resaltar que esta medida debe ser tomada sobre puntos conocidos sobre el terreno, para poder contrastar y calcular un factor de corrección que nos permita escalar en el software DIALux con la mayor exactitud posible.

Empero, para fines prácticos, se usará las medidas referenciales directas del Google Earth.

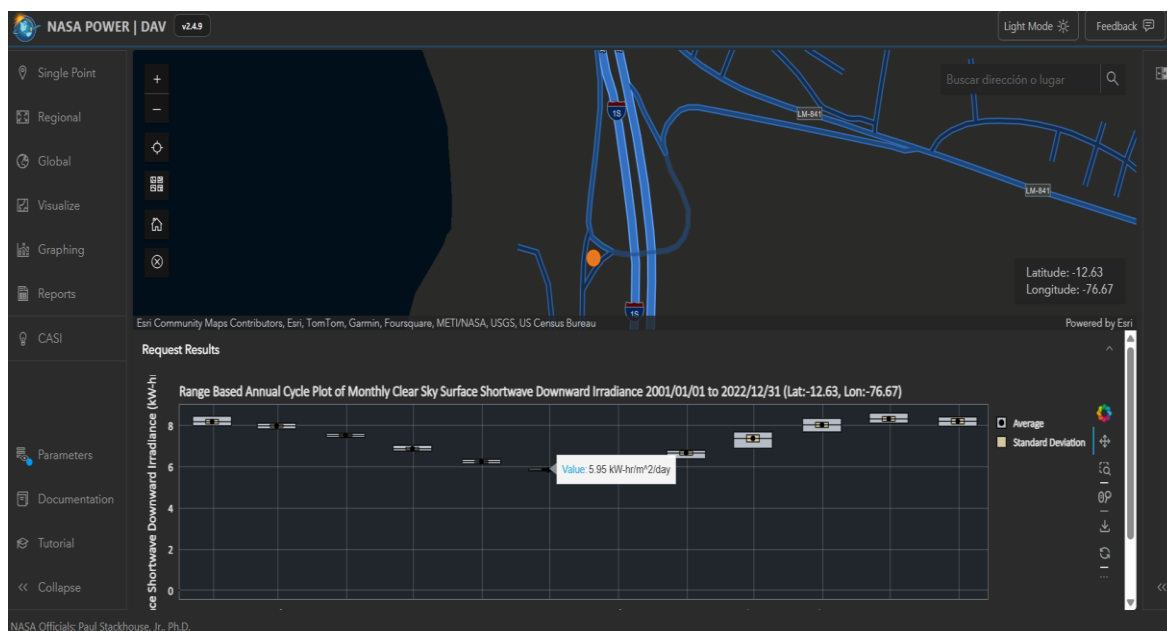
3.2.2 Registro de Radiación Solar

Ahora bien, con las coordenadas obtenidas en el aplicativo Google Earth, estas se ingresan en el aplicativo de mapas web de la NASA, Data Access Viewer, para obtener el promedio mensual de la irradiación solar efectivo incidente en el plano horizontal del parque León Dormido.

Dentro del aplicativo, existen dos (02) tipos de medidas, el promedio mensual de la irradiación global solar efectiva incidente en cielo despejado (figura 43) y en toda la superficie (figura 44). En ese sentido, en virtud del inciso a), del numeral 2.1.8.3, se considera el “peor mes”, aquel que tenga el menor valor promedio de irradiación.

Figura 43

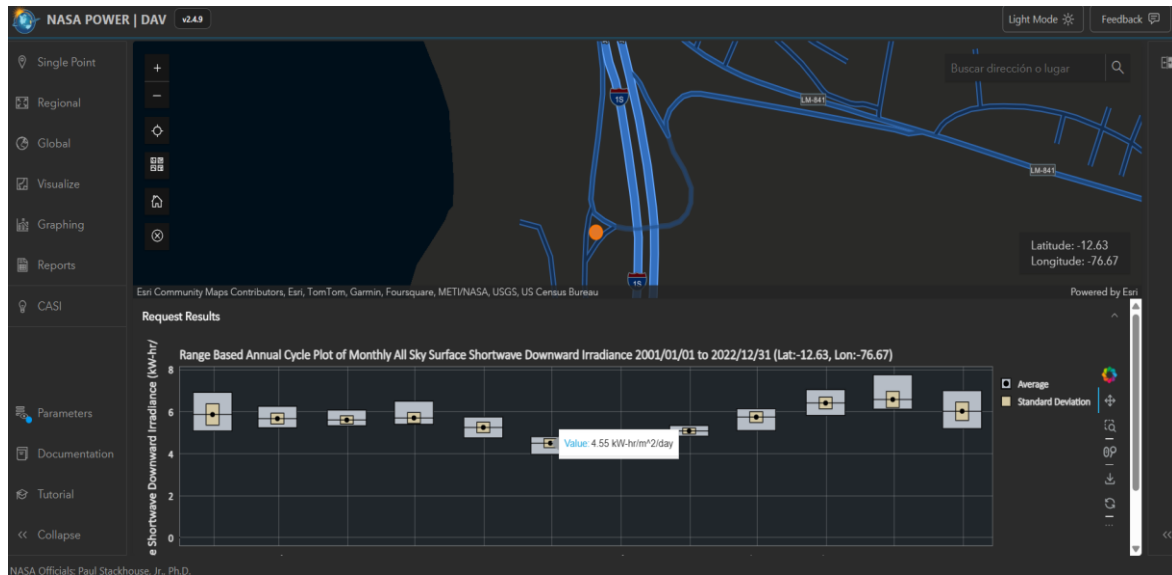
Promedio Mensual de Irradiación Global Incidente en el plano horizontal en cielo despejado (Clear Sky)



Nota. El promedio mensual de la Irradiación Global es entre los años 2001 y 2022. Fuente: NASA POWER (2025) Aplicación Web Data Access Viewer, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Figura 44

Promedio Mensual de Irradiación Global incidente en el plano horizontal en todo el cielo (All Sky)



Nota. El promedio mensual de la Irradiación Global es entre los años 2001 y 2022, Fuente: NASA POWER (2025) Aplicación Web Data Access Viewer, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Al respecto se tienen las siguientes precisiones:

- $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 5.95 \text{ kWh/m}^2 \times \text{dia}$ es el promedio mensual de la Irradiación efectiva incidente en la superficie de la luminaria, el cual, al ser tomado con cielo despejado, se deduce que el índice de claridad tiende a la unidad, por lo que termina siendo el valor de Irradiación extra-atmosferica en el plano horizontal.
- $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 4.55 \text{ kWh/m}^2 \times \text{dia}$ es el promedio mensual de la Irradiación efectiva incidente en la superficie de la luminaria, el cual, al ser tomado con en toda la superficie del cielo, se deduce que fue tomada con nubosidad.

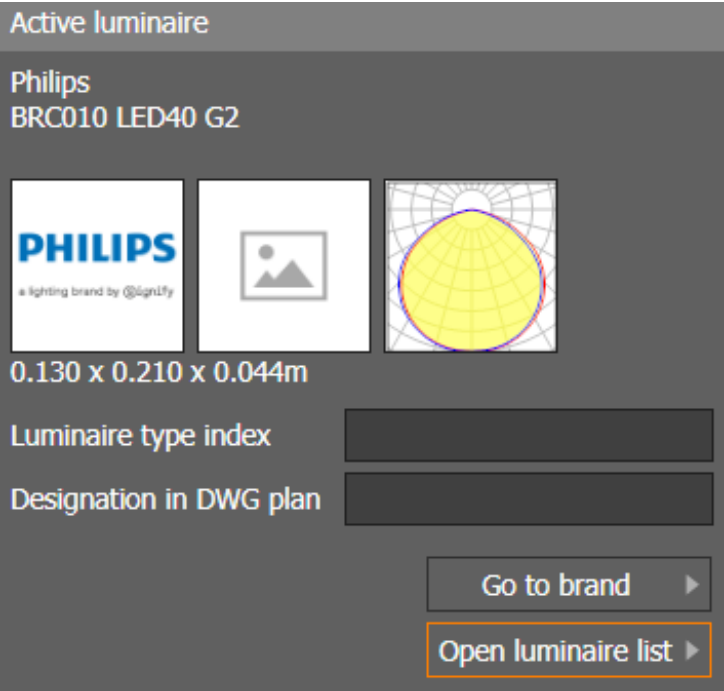
Por lo que, considerando las peores condiciones: (i) menor valor medio de radiación diaria y (ii) con cielo nublado, se opta por usar el valor de $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 4.55 \text{ kWh/m}^2 \times \text{dia}$ como base del cálculo.

3.2.3 Selección de la luminaria

Considerando que para la aplicación de alumbrado público en parques y jardines se requiere de las luminarias LED tipo UFO que tengan: (i) una eficiencia energética mayor o igual a 150 lm/w, (ii) una temperatura de color entre 2700K y 4000K, (iii) una reproducción

cromática IRC mayor a 70, y (iv) un grado de protección IP no menor de 65; se ha seleccionado la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2 (figura 45) dentro del banco de luminarias que contiene el software DIALux EVO, no solo en su biblioteca interna, sino en las páginas web de los fabricantes, el cual, dentro de los metadatos, contiene la descripción general, datos fotométricos (figura 46) y datos de montaje (figura 47), información relevante para la simulación.

Figura 45
Descripción general de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2



Nota: Software DIALux EVO versión 12.0 (2024) Catálogos de fabricantes de luminarias

Figura 46
Datos fotométricos de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2

Photometric data		
Luminaire luminous flux	3995	lm
Light output ratio	99.9	%
Connected load	24.5	W
Luminous efficacy	163.1	lm / W
Fitting	4000 lm 3000 K 24.5 W	
Change	Emergency lighting facto	

Nota. Datos extraídos del software DIALux EVO versión 12.0 (2024) Catálogos de fabricantes de luminarias

Figura 47

Datos de montaje de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2

Mounting type		
Mounting type	Ceiling mounted	Apply again
Light centre height	4.021 m	
Mounting height	4.000 m	

Nota. Datos extraídos del software DIALux EVO versión 12.0 (2024) Catálogos de fabricantes de luminarias

Finalmente, para poder pasar al procesamiento de datos, es necesario verificar que, de la luminaria seleccionada, se tenga toda la información operacional: (i) Potencia de la Luminaria, (ii) potencia del panel solar, (iii) voltaje del panel solar, (iv) voltaje de la batería, y (v) capacidad nominal de la batería.

Revisando la ficha técnica de la luminaria (figura 48) e información obtenida pasos anteriores, se verifica que se tiene todos los datos necesarios; dando por concluido (temporalmente) la fase de recolección de datos.

Figura 48

Datos de operación y aspectos eléctricos de la luminaria Philips BRC010 LED 40 G2

Tipo de batería	Litio ferrofosfato
Amperes por hora de la batería	14.4 Ah
Voltaje de la batería	3.2 V
Tipo de panel	Policristalino
Voltaje del panel	4.5 V
Potencia en vatios máxima del panel	15 W

Nota. Datos extraídos de la ficha técnica luminaria Philips BRC010 LED 40 G2

3.3 Procesamiento de información

3.3.1 Proyección del funcionamiento de la luminaria

Para proyectar la autonomía de las luminarias Philips BRC010 LED 40 G2, se ha tomado en consideración las características de la ficha técnica; estimando un máximo de 8 horas de funcionamiento en automático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, para el tipo de alumbrado para parques y jardines, se tiene que la iluminación media 7.5 lux, y una iluminancia mínima de 1.5 lux; obteniendo un factor de proporcionalidad de 5.

Ello significa que las luminarias pueden trabajar como mínimo al 20% de su capacidad nominal, considerando el límite de iluminación permitida, bajo las condiciones de la visión escotópica. Dicho esto, las 8 horas de funcionamiento proyectadas por día, desde el momento que el regulador detecta que la batería deja de recibir carga, se van a distribuir de la siguiente manera.

- 7 horas y 40 min de funciona al 20% de su capacidad
- 20 min de funcionamiento al 100 % de su capacidad (esto se encuentra sujeto al sensor de movimiento que cuando detecta personas en movimiento, se activa).

Ahora bien, considerando que la potencia de la luminaria es de 24.5 W, además de proyección y distribución de las horas de funcionamiento calculadas precedentemente, se tiene un consumo de energía de la luminaria en corriente continua $L_{dc} = 45.73 Wh$, como de detalla en la tabla 7.

Tabla 7

Consumo de la luminaria, según proyección de autonomía (Wh)

Tiempo de Funcionamiento		Potencia Luminaria	Utilización	Consumo
Horas	minutos	W	%	Wh
7	40	24.5	20	37.57
0	20	24.5	100	8.17
Total				45.73

Nota. Elaboración propia

Por otra parte, debido a la compactación de la luminaria (todos los componentes del Sistema Fotovoltaico Autónomo Domestico dentro de la misma luminaria) se estima el rendimiento energético del regulador $\eta_r = 1$; obteniendo la energía total que debe entregar el SFA SHS $L_t = 45.73 Wh$

Por otro lado, las baterías que trae esta luminaria, así como la mayoría de su tipo, son de Litio Hierro Fosfato (LiFePo₄) las cuales pueden llegar del 80% al 100% de profundidad de descarga, con eficiencia energética del 98%; se puede estimar que el rendimiento promedio de la batería $\eta_{bat} = 1$.

Así mismo, bajo el mismo criterio de compactación, al ser cables cortos, la pérdida de energía por el efecto joule en los cables es casi despreciable; pudiendo estimar el rendimiento de los cables $n_c = 1$.

Consecuentemente, si consideramos ambos rendimientos energéticos, tanto de la batería y de los cables, para el tipo de ciclado, se calcula la energía producida por el generador (panel solar) $L = 45.73 \text{ Wh}$.

Ahora, con la energía total producida por el generador, y teniendo de la ficha técnica, se obtiene la tensión de trabajo (la cual es impuesta por la batería) $V_b = 3.2 \text{ V}$, reemplazando en la fórmula se calcula el flujo de energía (carga a satisfacer) $Q_L = 14.29 \text{ Ah}$; obteniendo así la demanda energética de la lámpara LED de la luminaria en watts-hora ($L = 45.73 \text{ Wh}$) y en ampere-hora $Q_L = 14.29 \text{ Ah}$.

3.3.2 Evaluación del consumo de luminaria

Siguiendo con la secuencia, producto del dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico, en virtud del ciclado diario, se ha considerado la capacidad del acumulador $C_S = 1$; obteniendo de la fórmula de configuración del acumulador el valor de la capacidad de utilización $C_U = 14.29 \text{ Ah}$.

Considerando que la capacidad de utilización es el producto de la capacidad nominal por la profundidad de descarga máxima $C_U = PD_{max} \times C_b$, la cual para la batería LiFePO4 se ha considerado $PD_{max} = 1$, se calcula la capacidad nominal del acumulador $C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$.

Al ser la capacidad nominal del acumulador de diseño menor o igual a la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada, se acepta el resultado y se prosigue al siguiente paso.

3.3.3 Evaluación de la disponibilidad de radiación solar

También del dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Autónomo, considerando que durante el día el generador fotovoltaico (panel solar) debe cargar la batería, para que esta utilice su energía para abastecer a la luminaria, se define la capacidad de generación $C_A = 1$.

Así mismo, considerando el promedio mensual de Irradiación total diaria incidente en el plano horizontal, en las peores condiciones $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 4.55 \text{ KWh}/\text{m}^2 \times \text{dia}$, y una irradiancia global en condiciones de laboratorio STC $G_{stc} = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$, se reemplaza en la ecuación 24:

$$I_g^* = \frac{C_A \times Q_L \times G_{stc}}{\bar{G}_d(\beta, \alpha)} \quad \dots (24)$$

Obteniendo la corriente del generador de diseño $I_g^* = 3.14 \text{ A}$

Ahora, para determinar las condiciones de diseño del generador fotovoltaico que cumplan con las del panel solar de la luminaria seleccionada, con las ecuaciones 25 y 26.

$$I_g^* = N_p \times I_m \quad \dots (25)$$

$$V_g = N_s \times V_m \quad \dots (26)$$

Y, con la potencia del panel y su voltaje de funcionamiento, bajo condiciones MPP, se calcula la corriente del panel $I_m = 3.34 \text{ A}$

Reemplazando los valores para calcular la cantidad de módulos en paralelo, se obtiene $N_p = 0.94$

Así también, reemplazando los valores de $V_m = 4.5 \text{ V}$, y considerando que $V_g = V_b = 3.2 \text{ V}$ (batería impone tensión de trabajo), para calcular la cantidad de módulos en serie, se obtiene $N_s = 0.71$

Interpretando, que el valor del número de paneles solares en paralelo es menor a la unidad, significa que solo es necesario un grupo de paneles; en esa línea, que el valor del número de paneles solares en serie sea menor que la unidad, significa que solo es necesario un panel en serie. En consecuencia, solo es necesario 1 panel solar, igual a la cantidad de paneles de la luminaria seleccionada; aceptando el resultado y siguiendo al siguiente paso.

3.3.4 Simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux

EVO

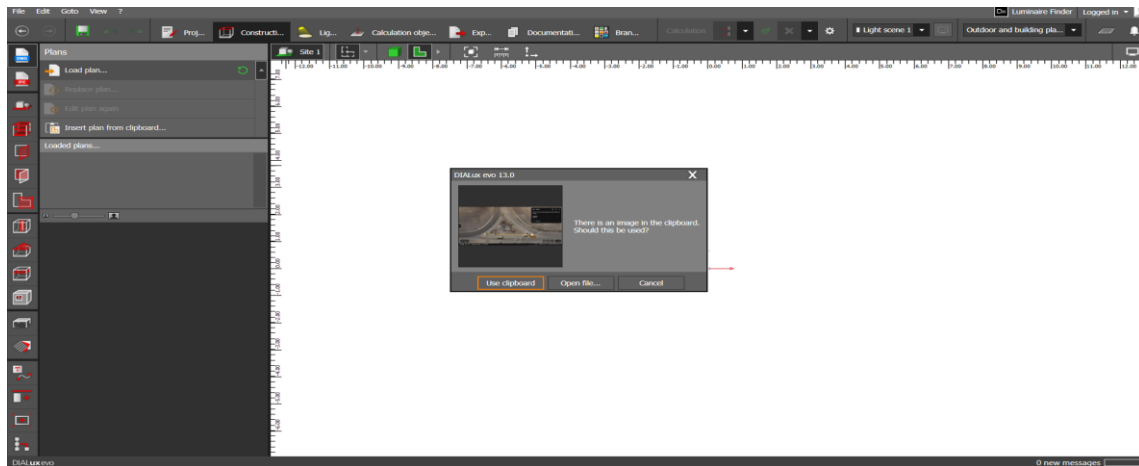
Este proceso se define en dos (02) actividades bien definidas: (i) Modelado del parque León Dormido, y (ii) distribución y simulación de luminarias.

3.3.4.1 Modelado del parque León Dormido

En este subproceso se realiza la importación de la imagen del plano horizontal del parque León Dormido al software DIALux EVO; utilizando para ello la ventana de construcción, en la pestaña importar planos, como se muestra en la figura 49 (proceso de insertado) y figura 50 (imagen insertada).

Figura 49

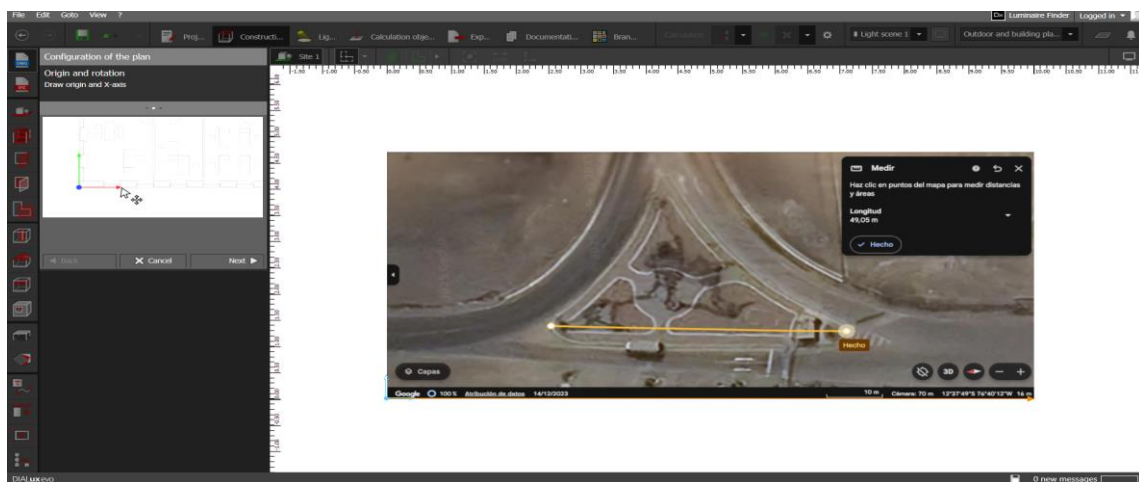
Proceso de insertado de imagen satelital en el software DIALux EVO



Nota. Elaboración propia

Figura 50

Imagen satelital del plano horizontal del parque León Dormido insertada en DIALux EVO

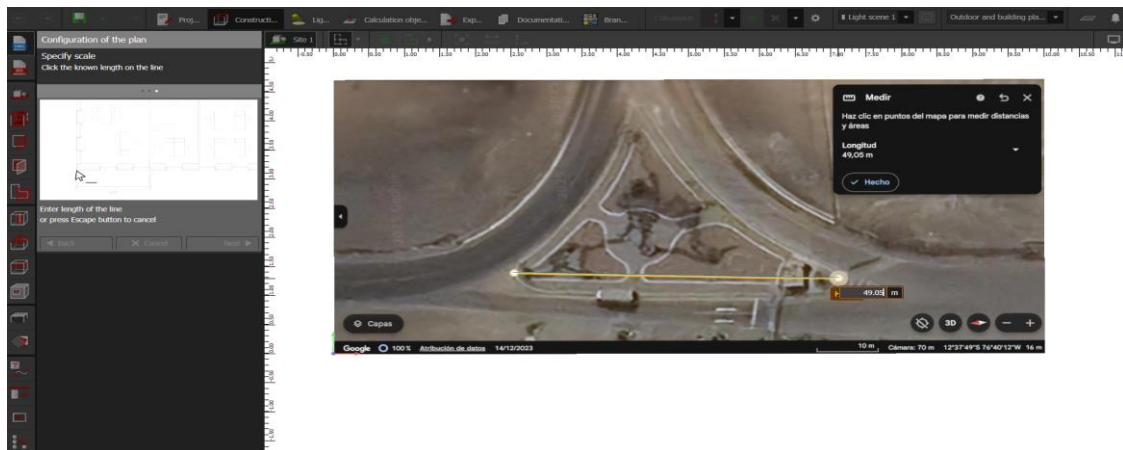


Nota. Elaboración propia

Insertada ya la imagen, en esta se tiene cuadrar el eje de referencia y realizar el escalado, para ello importante haber dejado la medida de referencia plasmada en la imagen, como se muestra en la figura 51. Este paso es de vital importancia, ya que, al momento de realizar las construcciones sobre la superficie del parque, así como el insertado de las luminarias, la simulación arroje datos lumínicos correctos.

Figura 51

Escalado de Imagen Satelital del parque León Dormido en el software DIALux EVO

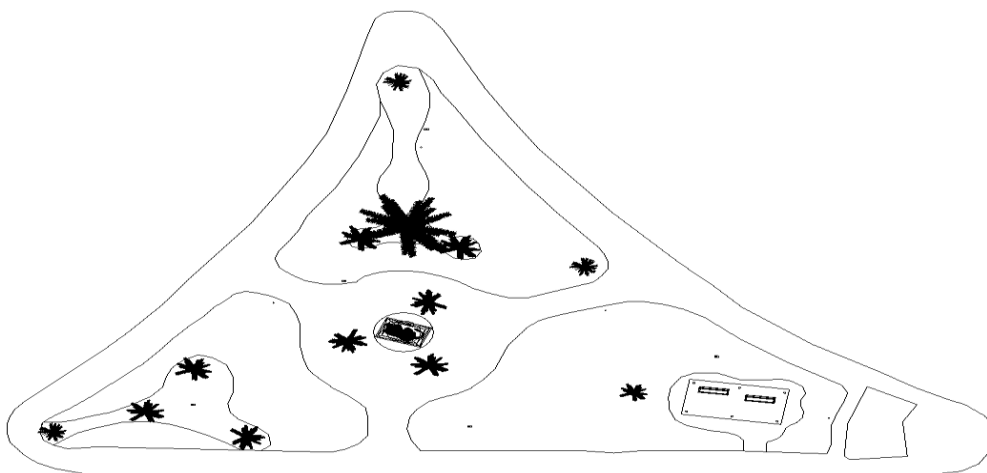


Nota. Elaboración propia

Luego de haber insertado y escalado correctamente la imagen satelital del parque León Dormido, corresponde construir la superficie sobre la cual se realizarán los cálculos lumínicos, esto con la finalidad de darle un toque realista a la representación del parque en el software, como se detalla en la figura 52.

Figura 52

Modelado a escala del parque León Dormido en el software DIALux EVO



Nota. Elaboración propia

3.3.4.2 Distribución y simulación de luminarias

Ahora bien, de nuestra legislación nacional solo tiene un (01) requisito el cual es que el alumbrado en los interiores de los parques debe contener como mínimo una potencia instalada en relación de 0.13 W/m^2 ; considerando que el parque León Dormido cuenta con un área de aproximadamente 747.84 m^2 , se obtiene una potencia mínima de 97.22 W . Y, teniendo en cuenta que el tipo de luminaria escogida tiene una potencia de 24.5 W , realizando el cálculo, se obtiene que bajo esta condición se debe instalar mínimo 4 luminarias de este tipo.

Por otro lado, de la relación separación / altura (s/h) para luminarias led, y considerando que la altura recomendada para el tipo de luminaria seleccionada es de 4 m , se obtienen los cálculos en las ecuaciones 27 y 28:

$$3.5 < s/h < 4.5; \text{ con } h = 4 \text{ m} \quad \dots (27)$$

$$14 \text{ m} < s < 18 \text{ m} \quad \dots (28)$$

Con ello, sabiendo que el flujo de haz de flujo luminoso de la luminaria seleccionada es ancho, proyectando un círculo en el suelo, se obtienen los siguientes cálculos:

$$14 \text{ m} < s < 18 \text{ m}; \text{ con } \text{radio} = s/2 \quad \dots (29)$$

$$7 \text{ m} < \text{radio} < 9 \text{ m} \quad \dots (30)$$

$$153.94 \text{ m}^2 < \text{Area círculo} < 254.47 \text{ m}^2 \quad \dots (31)$$

$$747.84 \text{ m}^2 / 153.94 \text{ m}^2 < \text{numero luminarias} < 747.84 \text{ m}^2 / 254.47 \text{ m}^2 \quad \dots (32)$$

$$4.86 < \text{numero luminarias} < 2.94 \quad \dots (33)$$

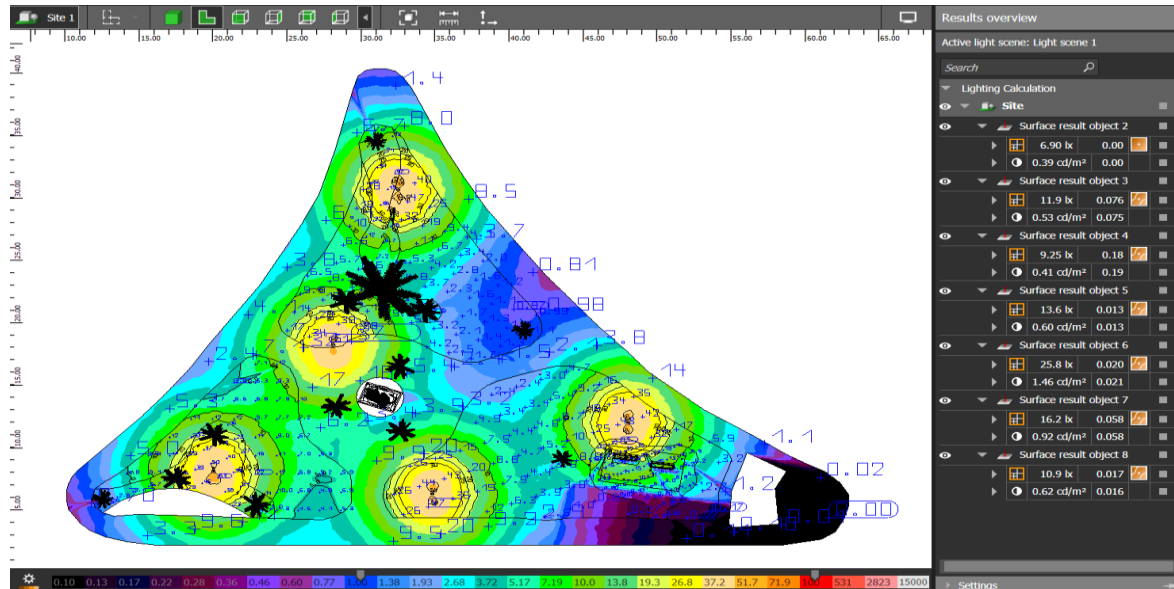
Con la segunda condición se obtiene la cantidad de 5 luminarias; siendo esta la condición que prima.

Por lo que, con los datos recolectados, se procede a dibujar el polígono de cálculo sobre la construcción del parque León Dormido, dividido en siete (07) secciones para mejorar la uniformidad de iluminación; considerando la cantidad inicial de 5 luminarias distribuidas a una altura de 4 metros de altura, y activando las isolíneas y colores falsos en

el software, obteniendo un nivel de iluminación promedio, por superficie de cálculo, como se detalla en la figura 53.

Figura 53

Simulación de 05 luminarias en el software DIALux EVO

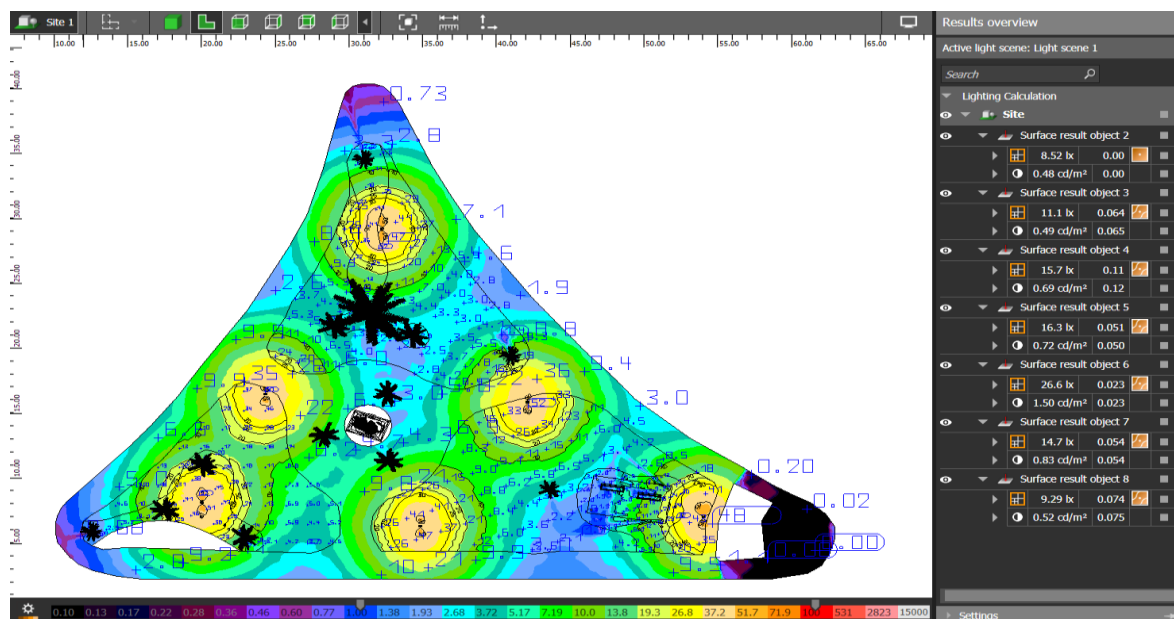


Nota. Elaboración propia

Como se puede evidenciar, hay una sección que no cumple con el nivel promedio de iluminación ($E_{m1} = 6.9 \text{ lux}$) $< 7.5 \text{ lux}$, por lo que se ejecuta nuevamente la simulación aumentando 1 luminaria más, como se muestra en la figura 54.

Figura 54

Simulación de 06 luminarias en el software DIALux EVO



Nota. Elaboración propia

Como se puede visualizar, todas las secciones superan el nivel mínimo de iluminación para esta aplicación. Consecuentemente, se acepta el resultado, y se prosigue al análisis y discusión de resultados.

Cabe resaltar que, con sola la imagen satelital escalada en el software es posible dibujar el polígono de cálculo sobre ella, pero no es recomendable, ya que, realizando el modelado del parque, a un nivel intermedio de similitud, es posible no solo ver el resultado en 3D al cambiar de plano de cómo quedaría en la realidad en caso se llegara a ejecutar (proyección), como se muestra en la figura 30; sino también obtener cálculos de niveles de iluminación más precisos por las reflectancias de los diferentes objetos presentes (parante de luminarias, árboles, arbustos, decoraciones, etc.).

Figura 55

Simulación 3D de las luminarias instaladas en el parque León Dormido en el software DIALux EVO



Nota. Elaboración propia

Capítulo IV – Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Resultados

En virtud de la propuesta del diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada, desarrollado según procedimiento de dimensionado de un Sistema Fotovoltaico Autónomo Doméstico, orientado para Luminarias LED (carga con corriente continua), para el caso específicos de alumbrado de parques y jardines (Luminaria tipo UFO); utilizando el DIALux EVO como software de simulación para verificar los requerimientos lumínicos requeridos en un sitio determinado, se obtienen los siguientes resultados en pro de determinar la autonomía del alumbrado público del parque León Dormido ubicado en el distrito de San Antonio, provincia de Cañete, región Lima:

a) De la ubicación del lugar por iluminar

De este proceso se ha obtenido:

- Coordenadas del lugar: **Latitud 12°37'48''(Sur) y Longitud 76°40'12'' (Oeste)**
- Imagen Satelital (plano horizontal) del parque León Dormido, así como una medida representativa (a escala) inmersa en la imagen.
- Área del parque León Dormido $A = 747.84 \text{ m}^2$.

Outputs importantes para el proceso del registro de radiación solar y simulación de luminarias del parque León Dormido en el software DIALux EVO respectivamente.

b) Del registro de radiación solar

De este proceso se ha obtenido:

- Promedio mensual de la Irradiación efectiva incidente en la superficie de la luminaria $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 4.55 \text{ KWh}/\text{m}^2 \times \text{dia}$.

Output relevante, el cual es medido en el peor mes y con día nublado, para el proceso de evaluación de disponibilidad de radiación solar.

c) De la selección de la luminaria

De este proceso se ha obtenido:

- Selección de luminaria LED tipo UFO marca **Philips** modelo **BRC010 LED 40 G2**
- Verificación de datos necesarios:
 - Potencia de la Luminaria $P_L = 24.5 \text{ W}$.
 - Potencia del panel solar $P_p = 15 \text{ W}$.
 - Voltaje del panel solar $V_p = 4.5 \text{ V}$.
 - Voltaje de la batería $V_b = 3.2 \text{ W}$.
 - Capacidad nominal de la batería $C_b = 14.4 \text{ Ah}$.

Outputs relevantes, para los tres (03) primeros procesos de la fase de procesamiento de información, los cuales, si no se encuentran ni en los metadatos fotométricos de la luminaria en el software de iluminación, ni en la ficha técnica descargada de la página del fabricante; se tendría que escoger otra luminaria, con la cual si pudiéramos contar con esos datos mínimos para poder realizar los cálculos requeridos en la fase de procesamiento de información.

d) Del proceso de proyección del funcionamiento de la luminaria

De este proceso se ha obtenido:

- Proyección de 8 horas de funcionamiento, de las cuales **7 horas y 40 minutos funciona al 20% de su capacidad** y los otros **20 minutos funciona al 100% de su capacidad**, sujeto al sensor de movimiento incorporado que al activarse cuando una persona se acerca, aumenta su capacidad de funcionamiento normal del 20% al 100%; manteniéndose así mientras la persona se mueve dentro del rango del sensor, para luego, regresar al 20 % dentro de un lapso corto de tiempo (entre 10 segundos según modelo de luminaria).
- Demanda de energía de la lampara LED de la luminaria $L = 45.73 \text{ Wh}$.
- Carga a satisfacer $Q_L = 14.29 \text{ Ah}$.

Como se puede apreciar, la proyección de funcionamiento de la luminaria depende en gran medida del sitio y las horas de iluminación solar; estando ubicado el parque León

Dormido en la costa peruana, y donde por la latitud y longitud, se experimenta mayores horas de día (de 14 a 16 horas), que de noche (08 a 10 horas).

También, es posible escoger las horas de diseño de forma discrecional, solo para 6, 8 u otras horas como periodo de funcionamiento, según aplicaciones con alguna especificación particular de iluminación.

Ahora bien, por el tipo de funcionamiento, se tiene que la luminaria, al trabajar de noche, su consumo es puramente por la batería, mas no por el generador fotovoltaico, el cual solo sirve para cargar la batería; siendo el regulador el que gestiona este servicio. Todo esto ya viene preconfigurado en las luminarias que se ofertan en el mercado de iluminación, por lo que el aprovechamiento de estas tecnologías nos permite evitar los cálculos de dimensionamiento de componentes.

Lo dicho precedentemente es crucial, porque ello rige el principio de la propuesta de diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada, al no calcular el dimensionamiento de estos componentes para escogerlos, sino para verificar estos componentes, que ya vienen empaquetados todo en una dentro de las luminarias solares LED, cumplan con las condiciones de diseño.

e) Del proceso de evaluación del consumo de la luminaria

De este proceso se ha obtenido:

- Capacidad del acumulador $C_S = 1$.
- Capacidad de utilización $C_U = 14.29 \text{ Ah}$.
- Profundidad de descarga máxima $PD_{max} = 1$.
- Capacidad nominal del acumulador $C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$.

Como se puede apreciar, al configurar en el diseño del sistema, al acumulador electroquímico con una capacidad de 1, producto del ciclado, se tiene la misma capacidad de utilización que la carga a satisfacer; y al estimar una profundidad de descarga máxima de también 1 (por la utilización baterías de LiFePO4), consecuentemente obtenemos la capacidad nominal del acumulador $C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$. Ordenando la secuencia de cálculos, con solo saber la carga a satisfacer, para este tipo de aplicación, se obtiene directamente

la capacidad nominal del acumulador, la cual debe ser comparada con la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada.

En esa óptica, al ser la capacidad nominal del acumulador de diseño, menor a la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada, el resultado es aceptado.

Por lo que, dicho de otra forma, mientras la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada, sea mayor que la capacidad nominal producto del cálculo de diseño, se colige que se ha escogido una luminaria que cuenta con una batería que puede abastecer la demanda de la lámpara LED de la luminaria, bajo las condiciones de funcionamiento.

f) Del proceso de evaluación de la disponibilidad de radiación solar

De este proceso se ha obtenido:

- Capacidad del generador fotovoltaico $C_A = 1$.
- Corriente del generador fotovoltaico $I_g^* = 3.14 \text{ A}$
- Corriente del panel, bajo condiciones MPP $I_m = 3.34 \text{ A}$.
- Voltaje del generador (batería impone tensión de trabajo) $V_g = V_b = 3.2 \text{ V}$.
- Numero de módulos en paralelo $N_p = 0.94$.
- Numero de módulos en serie $N_s = 0.71$.

Nuevamente se aprecia que, en la configuración del generador fotovoltaico, este cuenta con una capacidad de 1, producto también del ciclado, y teniendo la carga a satisfacer, la irradiancia global en condiciones de laboratorio STC, consecuentemente del registro de radiación solar, el promedio mensual de irradiación total diaria incidente en el plano horizontal, obtenemos la corriente del generador fotovoltaico $I_g^* = 3.14 \text{ A}$.

Haciendo un análisis dimensional a la fórmula de cálculo de la corriente del generador, si la carga a satisfacer $Q_L [Ah]$ al procesarla en el cálculo se obtiene $I_g^* [A]$, se tiene que la relación $\overline{G_a}(\beta, \alpha) / C_A \times G_{stc} [h]$ es un equivalente a una Hora Solar Pico. Por lo que obtenida la Hora Solar Pico, se puede calcular directamente, de la carga a satisfacer, la corriente del generador.

Ahora bien, de los cálculos se ha obtenido el número de módulos en paralelo $N_p = 0.94$ y el número de módulos en serie $N_s = 0.71$; resultando que al ser ambos números menor que la unidad (1), solo es requerido 1 panel solar, al igual que la contenida como parte de los componentes de la luminaria solar LED seleccionada.

Resumiendo, mientras la cantidad de módulos (tanto en paralelo como en serie), calculado con las fórmulas de diseño, sea menor o igual que la unidad (no pudiendo salir alguna de ellas mayor que la unidad, imperativo que ambas cumplan al mismo tiempo la misma condición); se colige que se ha escogido una luminaria que cuenta con un panel solar que puede cargar la batería de la luminaria, bajo las condiciones de funcionamiento.

g) Del proceso de simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO

De este proceso se ha obtenido:

- Modelado del parque León Dormido en el software DIALux EVO (ver figura 52).
- Simulación de las luminarias seleccionadas (ver figura 53 y figura 54) con el siguiente registro de Iluminancia promedio (al 100% de capacidad) según se detalla en la tabla 8:

Tabla 8

Iluminancia media obtenida por las simulaciones del parque León Dormido

Sección de la superficie del parque León Dormido	Iluminancia media de 5 luminarias Em [Lux]	Iluminancia media de 6 luminarias Em [Lux]
1	6.90	8.52
2	11.90	11.10
3	9.25	15.70
4	13.60	16.30
5	25.80	26.60
6	16.20	14.70
7	10.90	9.29

Nota. Elaboración propia

En primera instancia, es importante realizar un modelado, en virtud de una imagen satelital con una medida referencial inmersa en la imagen, correctamente escalado, para obtener datos de iluminación lo más precisos posibles (superiores al 95%), ya que el software DIALux utiliza: (i) cálculos que cumplen con las normas CIE (Comisión Internacional de Iluminación), y (ii) datos fotométricos de la luminaria suministrada por los

fabricantes. Es por ello la importancia de seleccionar luminarias de los catálogos del software DIALux.

Por otro lado, cabe resaltar que hoy en día DIALux ofrece alternativas de diseño abierto para utilizar datos fotométricos de luminarias que no se encuentran en sus catálogos, empero ello requiere un grado de mayor especialidad en diseño de iluminación; no siendo ese el camino de este estudio.

En segunda instancia, correctamente modelado el parque León Dormido en el DIALux EVO, y considerando que la iluminación requerida para la aplicación (alumbrado de parques y jardines) es de una iluminancia media $E_m = 7.5 \text{ Lux}$ (al 100% de la capacidad de la luminaria) y una iluminancia mínima de $E_{min} = 1.5 \text{ Lux}$ (al 20% de la capacidad de la luminaria), la iluminancia media obtenida en la primera simulación de cinco (05) luminarias distribuidas en las 7 secciones en las cuales fue dividida el parque León Dormido, a una altura de 4 metros, al 100% de capacidad, no superan la iluminancia media de diseño; por lo que se aumenta a seis (06) luminarias, bajo la misma configuración, se repite la simulación y se obtiene una iluminancia media simulada que si supera la iluminancia media de diseño.

En resumen, si la iluminancia media simulada en el software DIALux EVO, es mayor o igual a la iluminancia media de diseño, según el tipo de aplicación, se colige que se ha escogido una luminaria que, puede iluminar el sitio escogido según el nivel de iluminación requerido, bajo las condiciones de funcionamiento, altura, cantidad y distribución de estas. Ahora bien, en casos en los cuales no se llegará a cumplir la condición de diseño, en este paso se puede repetir la simulación, aumentando la cantidad de luminarias hasta que se cumpla dicha condición.

4.2 Contrastación de Hipótesis

4.2.1 Contrastación de Hipótesis Específica 1

- **Ho:** La proyección del funcionamiento de la luminaria **NO permite determinar** la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

- **Hi:** La proyección del funcionamiento de la luminaria **permite determinar** la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

Como se puede apreciar, de realizar la proyección de funcionamiento (ver Tabla 7), de manera discrecional, de 8 horas en total distribuidas en 7 horas con 40 minutos al 100% de capacidad y de 20 minutos al 20% de capacidad; se ha podido calcular la energía que debe producir el generador fotovoltaico $L = 45.73 \text{ Wh}$ y la carga a satisfacer $Q_L = 14.29 \text{ Ah}$, siendo esta la demanda eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada.

En ese sentido, en virtud de los resultados en mención, se toma la decisión de aceptar la hipótesis de investigación específica 1 y en consecuencia se rechaza la correspondiente hipótesis nula.

4.2.2 Contrastación de Hipótesis Específica 2

- **Ho:** La evaluación del consumo de la luminaria **NO permite verificar** la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- **Hi:** La evaluación del consumo de la luminaria **permite verificar** la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

Como se puede apreciar, obtenido el consumo de la luminaria (a través de la lámpara LED incorporada) $Q_L = 14.29 \text{ Ah}$, y teniendo las estimaciones de la capacidad del acumulador $C_S = 1$, y la profundidad de descarga máxima $PD_{max} = 1$, se obtiene una capacidad nominal del acumulador electroquímico de $C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$; y al ser esta menor que la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada $C_b = 14.4 \text{ Ah}$, cumple la condición de diseño (verificando la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria).

En ese sentido, en virtud de los resultados en mención, se toma la decisión de aceptar la hipótesis de investigación específica 2 y en consecuencia se rechaza la correspondiente hipótesis nula.

4.2.3 Contrastación de Hipótesis Específica 3

- **Ho:** La evaluación de la disponibilidad de radiación solar **NO permite verificar** la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- **Hi:** La evaluación de la disponibilidad de radiación solar **permite verificar** la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

Como se puede apreciar, obtenido la corriente de diseño del generador fotovoltaico $I_g^* = 3.14 A$, producto de las estimaciones de la capacidad del generador $C_A = 1$, y el promedio mensual de la irradiación total diaria incidente en el plano horizontal del parque León Dormido $\bar{G}_d(\beta, \alpha) = 4.55 \text{ KWh}/\text{m}^2 \times \text{dia}$; se obtiene, a través de la corriente del panel $I_m = 3.34 A$, y el voltaje de trabajo $V_g = V_b = 3.2 V$, un numero de módulos en paralelo $N_p = 0.94$ y en serie $N_s = 0.71$; y al ser estos menor o igual que la unidad (1.00), se cumple la condición de diseño (verificando la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria).

En ese sentido, en virtud de los resultados en mención, se toma la decisión de aceptar la hipótesis de investigación específica 3 y en consecuencia se rechaza la correspondiente hipótesis nula.

4.2.4 Contrastación de Hipótesis Específica 4

- **Ho:** La simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO **NO permite verificar** el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- **Hi:** La simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO **permite verificar** el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

Se observa que, realizado un correcto modelado del parque Leon Dormido en el DIALux EVO, y escogido una luminaria con datos fotométricos incluidos en el software, para aumentar la precisión de los cálculos (ver figura 28); y consecuentemente haber obtenido una iluminancia media simulada en el DIALux EVO al 100% de capacidad (ver

tabla 8), en todas las secciones del parque, superior a la iluminancia media de diseño $E_m = 7.5 \text{ Lux}$, se cumple la condición de diseño (verificando el nivel de iluminación requerida).

En ese sentido, en virtud de los resultados en mención, se toma la decisión de aceptar la hipótesis de investigación específica 4 y en consecuencia se rechaza la correspondiente hipótesis nula.

4.2.5 Contrastación de Hipótesis General

- **Ho:** El diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada **NO permite autonomizar** el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.
- **Hi:** El diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada **permite autonomizar** el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete.

Dado que, los procesos de planificación, selección, verificación y simulación del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada han permitido no solo seleccionar la Luminaria Solar LED tipo UFO marca Philips modelo BRC010 LED 40, sino verificar que, en virtud de la proyección de funcionamiento de este (ver Tabla 7), sus componentes:

- Lámpara LED, según altura, cantidad y distribución en toda el área del modelado del parque León Dormido, cumpla con los niveles de iluminación requeridas $E_m \geq E_m^* = 7.5 \text{ Lux}$.
- Capacidad nominal de la Batería de LiFePO4 sea mayor que la capacidad nominal de diseño $C_b = 14.4 \text{ Ah} \geq C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$.
- El número de módulos en paralelo $N_p = 0.94$ y en serie $N_s = 0.71$ sean menor o igual que la unidad (representación del único panel con el que cuenta la luminaria solar LED Integrada).

Demostrando así que, la iluminación (Lámpara LED) en el parque León Dormido opera de forma independiente de la red eléctrica convencional (Luminaria Solar LED Integrada); generando (panel policristalino), almacenando (batería de LiFePO4) y

gestionando (regulador) su propia energía eléctrica para mantener los niveles de iluminación requeridos ($E_m \geq E_m^* = 7.5 \text{ Lux}$) de manera autónoma.

En ese sentido, en virtud de los resultados en mención, se toma la decisión de aceptar la hipótesis de investigación general y en consecuencia se rechaza la correspondiente hipótesis nula.

4.3 Discusión de Resultados

El trabajo de investigación tiene como objetivo general proponer un diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada para autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Tras la recolección y el procesamiento de la información se ha obtenido que los procesos de planificación, selección, verificación y simulación del Sistema de iluminación Fotovoltaica Integrada, en concordancia con la proyección de funcionamiento de la luminaria solar LED tipo UFO marca Philips modelo BRC010 LED 40, permiten que la luminaria seleccionada cumpla con (i) los niveles de iluminación requeridos ($E_m \geq E_m^* = 7.5 \text{ Lux}$), (ii) la capacidad de acumulación de la batería ($C_b = 14.4 \text{ Ah} \geq C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$), y (iii) la capacidad de generación fotovoltaica ($N_p = 0.94 \wedge N_s = 0.71 \leq 1$); demostrando así la autonomía del alumbrado público en el parque León Dormido. Estos hallazgos concuerdan con la investigación de Malpartida y Fuentes (2019) que también implementaron un sistema de iluminación fotovoltaica a través del reemplazo de luminarias convencionales con luminarias solar LED todo en uno (lámpara LED, panel solar, batería de LiFePO4 y regulador eléctrico dentro de la luminaria) al parque El Minero del distrito de Pacocha. Ello se sustenta técnicamente en el proceso de dimensionado de un Sistema Fotovoltaico Autónomo Doméstico, específicamente para cargas en corriente continua y su configuración, según Perpiñán (2023), en el tipo de luminarias (Luminarias LED) para alumbrado de parques y jardines expuesto por la Comunidad de Madrid (2015) y la utilización del software de simulación y diseño en iluminación DIALux EVO. Por lo que, los resultados de la investigación reafirman que los sistemas de iluminación fotovoltaicos

permiten la autonomía del alumbrado público en parques y jardines, a través de luminarias solares LED integradas.

El objetivo específico 1 de esta investigación es proyectar el funcionamiento de la luminaria para determinar la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los resultados han permitido revelar que la proyección discrecional de funcionamiento de la luminaria a baja luminosidad la mayor parte del tiempo posible (al 20% de la capacidad) permite mantener una iluminación para una visión en condiciones escotópicas; determinando así la demanda de energía eléctrica de la lámpara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido. Este hallazgo está respaldado con la investigación de Luciano et al. (2011) que implementaron iluminación pública tomando fuente luminosa diodos emisores de luz – LED – tomando en consideración la respuesta del ojo ante condiciones de baja luminosidad (escotópica). Técnicamente, según la Comunidad de Madrid (2015), para niveles de iluminación reducidos la curva de sensibilidad espectral $V(\lambda)$ se desplaza hacia longitudes de onda más pequeñas (aumentando para el color azul); siendo la luz blanca la mejor para alumbrado de exteriores bajo visión escotópica, ello en concordancia con las curvas de sensibilidad a la luminosidad del ojo en visión escotópica / noche estandarizado por la CIE en 1951. Los resultados obtenidos son consistentes con la teoría existente sobre los beneficios de la luz blanca en alumbrado exterior derivado de la sensibilidad del ojo humano bajo visión escotópica; complementando el estudio previo que implementa iluminación pública con luces LED, bajo las mismas condiciones.

El objetivo específico 2 de esta investigación es evaluar el consumo de la luminaria para verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los resultados indican que la capacidad nominal del acumulador electroquímico de diseño $C_b^* = 14.29 \text{ Ah}$ es menor que la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada $C_b = 14.4 \text{ Ah}$; verificando así la capacidad de acumulación de la batería la luminaria seleccionada para

el parque León Dormido. Estos hallazgos son también respaldados por el estudio previo de Malpartida y Fuentes (2019) que implementaron luminarias solar LED todo en uno (lampara LED, panel solar, batería de LiFePO₄ y regulador eléctrico dentro de la luminaria) al parque El Minero del distrito de Pacocha, en la cual dicha batería, bajo condiciones de diseño de dicha aplicación, cumple con abastecer de energía eléctrica a la lampara LED interna de la luminaria durante la noche. Técnicamente, según Perpiñán (2023), en el proceso de dimensionado de un SFA, se estima la Capacidad de Acumulación la cual según aplicación en particular de ciclado diario (carga de batería de día, utilización de noche) con $C_S = 1$, permite determinar la capacidad nominal del acumulador electroquímico de diseño. Dichos resultados son coherentes con el corpus teórico expuesto sobre dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos para aplicaciones con cargas en corriente continua (luminarias LED); sustentado en el estudio previo que implementa luminarias LED para alumbrado público, que también verifica la capacidad nominal de su batería de LiFePO₄.

El objetivo específico 3 de esta investigación es evaluar la disponibilidad de la radiación solar para verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los resultados muestran que la cantidad de módulos en paralelo $N_p = 0.94$ y en serie $N_s = 0.71$ son menores a la unidad, en virtud del promedio mensual de la irradiación total diaria incidente en el plano horizontal del parque León Dormido (bajo condiciones del peor mes y con cielo nublado); verificando así la capacidad de generación del panel solar de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido. Estos hallazgos son congruentes en parte con el estudio de Malpartida y Fuentes (2019) que implementaron luminarias solar LED todo en uno (lampara LED, panel solar, batería de LiFePO₄ y regulador eléctrico dentro de la luminaria) al parque El Minero del distrito de Pacocha, ya que el panel solar, bajo condiciones de diseño de dicha aplicación, cumple con generar de energía eléctrica para cargar la batería durante el día, analizando solo la radiación solar incidente bajo condiciones de peor mes. Técnicamente, según Perpiñán (2023), en el proceso de

dimensionado de un SFA, se estima la Capacidad de Generación la cual según aplicación en particular de ciclado diario (carga de batería de día, utilización de noche) con $C_A = 1$, el cual permite calcular la corriente de diseño del generador fotovoltaico sobre la base del promedio mensual de la irradiación total diaria incidente en el plano horizontal de la ubicación de la aplicación. Estos resultados son coherentes con la base teórica descrita sobre dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos para aplicaciones con cargas en corriente continua (luminarias LED); sustentado, en parte, en el estudio previo que implementa luminarias LED para alumbrado público, que calcula la dimensión del panel solar solo bajo condiciones del peor mes.

El objetivo específico 4 de esta investigación es simular las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO para verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los resultados nos muestran que modelado el parque León Dormido en el DIALux EVO y simulado las luminarias con datos fotométricos incluidos en el software (según altura, cantidad y distribución) se obtiene una iluminancia media simulada por secciones (ver tabla 8) mayor a la iluminancia media de diseño $E_m = 7.5 \text{ Lux}$; verificando así el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido. Estos hallazgos son verificables tanto con el estudio de Malpartida y Fuentes (2019) como en la investigación de Jimenez y Proaño (2020) que, para determinar los niveles de iluminación en sus respectivos estudios, simularon las luminarias en el software DIALux. Técnicamente, para DIAL (2024), DIALux EVO es un software de diseño y simulación de iluminación más utilizado en la actualidad el cual contiene catálogo de fabricantes de luminarias, que incluyen todos los metadatos fotométricos necesarios para los diferentes proyectos que iluminación. Estos resultados son consistentes con la teoría mencionada sobre diseño y simulación de iluminación; tal como se describen en los estudios previos mencionados sobre simulación de luminarias en espacios abiertos.

Conclusiones

Finalmente, a partir del objetivo general se concluye que el diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada propuesto ha permitido autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete; a través de los procesos de planificación, selección, verificación y simulación de los componentes de la luminaria solar LED tipo UFO marca Philips modelo BRC010 LED 40 G2.

A partir del objetivo específico 1 se concluye que la proyección del funcionamiento de la luminaria ha permitido determinar la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete; en virtud de los hallazgos que revelaron el cálculo de la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque en mención proyectando su funcionamiento de hasta en el 20% de la capacidad lumínica, bajo condiciones escotópicas de iluminación.

A partir del objetivo específico 2 se concluye que la evaluación del consumo de la luminaria ha permitido verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete; respaldado en cuanto a los resultados los cuales evidencian que la capacidad nominal del acumulador electroquímico de diseño $C_b^* = 14.29 Ah$ debe ser menor que la capacidad nominal de la batería de la luminaria seleccionada $C_b = 14.4 Ah$, para que se cumpla la condición de diseño.

A partir del objetivo específico 3 se concluye que la evaluación de la disponibilidad de la radiación solar ha permitido verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los hallazgos demuestran que la cantidad de módulos en paralelo $N_p = 0.94$ y en serie $N_s = 0.71$ deben ser menores a la unidad, en virtud del promedio mensual de la irradiación total diaria incidente en el plano horizontal del parque León Dormido (bajo condiciones del peor mes y con cielo nublado), para que se cumpla la condición de diseño.

A partir del objetivo específico 4 se concluye que la simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO ha permitido verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio – Cañete. Los resultados demuestran que realizado un correcto (i) modelado el parque León Dormido en el DIALux EVO y (ii) simulado las luminarias cuyos datos fotométricos se encuentran incluidos en el software (según altura, cantidad y distribución dimensionada) debe obtenerse una iluminancia media simulada por secciones (ver tabla 8) mayor a la iluminancia media de diseño $E_m = 7.5 \text{ Lux}$, para que se cumpla la condición de diseño.

Recomendaciones

Para investigaciones futuras se recomienda que el diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada propuesto sea ampliado no solo para el alumbrado de parques y jardines, sino para todo tipo de alumbrado de exteriores (vías, caminos, spots publicitarios, etc), con luminarias todo en uno que, según aplicaciones determinadas, tengan aun mejores configuraciones; siempre y cuando sea de consumo nocturno.

Se recomienda para otras investigaciones que para el cálculo de la demanda de energía eléctrica de lámparas LED de luminaria de consumo nocturno, su funcionamiento sea proyectado sobre la base del 20% de la capacidad lumínica, sobre el límite de los niveles de iluminación permitidos bajo la visión escotópicas.

Se recomienda para futuros estudios que, para la simulación de luminarias, las cuales deben contener datos fotométricos, en el software DIALux EVO se contraste la medida referencial de la imagen satelital en campo para obtener datos de simulación lo más precisos posibles; así mismo, sobre los objetos modelados e insertados en el software, se dimensionen lo mas cercano a la realidad, así como el agregado de colores y texturas referenciales, que permiten aumentar más la precisión de los niveles de iluminación, producto de las reflectancias.

Referencias

- Chiron, A., & E., V. (2008). *La Radiacion Solar en el Sistema Tierra-Atmosfera*. Ediciones Universidad de Valladolid.
- CIE. (1995). *CIE 13.3 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources*.
- CIE. (2000). *CIE 136 - Guia para la Iluminacion de Areas Urbanas*.
- Congreso de la Republica. (2003). *Ley N°27972 - Ley Organica de Municipalidades*. Lima.
- Consejeria de Economia y Hacienda - Comunidad de Madrid. (2015). *Guia sobre Tecnologia LED en el Alumbrado*. Madrid.
- Defensoria del Pueblo. (07 de Mayo de 2019). *Noticia Nacional*. Obtenido de <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-identifica-zonas-inseguras-por-falta-de-alumbrado-publico/>
- DIAL. (2024). *DIALux EVO*. Obtenido de DIAL Web Site: <https://www.dial.de/en-GB/company>
- Escribano, G., Lázaro, L., & Urbasos, I. (2023). Energía y clima en 2023: desacoplarse de Rusia conciliando seguridad energética y ambición climática. *Real Instituto Elcano*. Obtenido de <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/energia-y-clima-en-2023-desacoplarse-de-rusia-conciliando-seguridad-energetica-y-ambicion-climatica/>
- ILUMINET. (31 de Enero de 2023). *Eficiencia Energetica*. Obtenido de <https://iluminet.com/el-alumbrado-publico-ante-la-crisis-energetica/>
- INDECI. (2002). *Mapa de Peligros, Plan de Usos de Suelo y Propuesta de Medidas de Mitigacion de los efectos producidos por los Desastres Naturales de las ciudades de la provincia de Cañete*. Cañete: Programa de Ciudades Sostenibles - Primera Etapa. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//5219_estudio-mapa-de-peligros-plan-de-usos-del-suelo-y-propuesta-de-medidas-de-mitigacion-de-los-efectos-producidos-por-los-desastres-naturales-de-las-ciud.pdf
- ISO/CIE. (2005). *ISO 23539 / CIE S010/E / Photometry - The CIE System of physical photometry*.
- Jiménez, D., & Proaño, X. (2020). Diseño de un Sistema de Alumbrado LED a traves de Energía Fotovoltaica para brindar Niveles de Calidad de Iluminacion en el Parqueadero N°01 de la Universidad Tecnica de Cotopaxi. *Revista Tecnica Energía*, 16, 158-167.
- Luciano, M., Dalla, C., Leandro, G., & Costa, A. (2011). SISTEMA AUTÔNOMO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE ALTA EFICIÊNCIA BASEADO EM ENERGIA SOLAR E LEDS. *The Revista Eletrônica de Potência [SOBRAEP]*, 16(1), 17-27.
- Malpartida, A., & Fuentes, O. (2019). Iluminación Fotovoltaica en plazas y parques del puerto de Ilo. *Revista de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 5, 123-134.
- Méndez Diaz, J. (2018). *Desarrollo de un Sistema de Iluminacion Solar para el Ahorro de Energía Eléctrica en el Alumbrado Público de México [Tesis Doctoral, UNIVERSITAT*

- ROVIRA I VIRGILIJ. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/667293>
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *Resolucion Ministerial N°013-2003-EM-DM - Norma Tecnica de Alumbrado de Vias Publicas en Zonas de Concesion de Distribucion*.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2013). *Niveles de Iluminacion*. Madrid.
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN ANTONIO - CAÑETE. (2019, 28 de febrero). *Reglamento de Organizacion y Funciones - ROF de la Municipalidad Distrital de San Antonio - Cañete*. Diario Oficial Judicial de la Corte Superior de Justicia Cañete - Yauyos. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/munisanantonio-canete/informes-publicaciones/2224531-reglamento-de-organizaciones-y-funciones-rof>
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN ANTONIO - CAÑETE. (2020). *Plan de Desarrollo Local Concertado 2020 - 2030*. Diario Oficial Judicial de la Corte Superior de Justicia Cañete - Yauyos. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/munisanantonio-canete/informes-publicaciones/2917943-plan-de-desarrollo-local-concertado-2020-2030>
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN ANTONIO - CAÑETE. (2023). *Plan Operativo Institucional 2024 de la Municipalidad Distrital de San Antonio - Cañete*. Diario Oficial Judicial de la Corte Superior de Justicia Cañete - Yauyos. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/munisanantonio-canete/informes-publicaciones/4262696-plan-operativo-institucional-multianual-2024-2026>
- Munive, A., Azurín, A., & Miranda, R. (2022). La experiencia peatonal en espacios públicos: el caso de residentes de distritos periféricos de Lima Norte y El Callao. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 51(1), 35-56. doi:<https://doi.org/10.4000/bifea.13816>
- Perpiñan, O. (2023). *Energia Solar Fotovoltaica*. Creative Commons. Obtenido de <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- PHILIPS. (2011). *Fundamentos sobre la generacion de la Luz y el Alumbrado*.
- RPP Noticias. (22 de Marzo de 2023). *Actualidad Lima*. Obtenido de <https://rpp.pe/lima/seguridad/sjm-vecinos-alertan-falta-de-alumbrado-publico-en-tunel-peatonal-noticia-1474246>
- Serefhanoglu Sozen, M., Ilgurel, N., & Baskan, T. (2005). *City Beautification by Lighting and Efficient Energy Usage*. YTU Research Project.

Anexos

ANEXO A	<i>Matriz de consistencia: Diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaico Integrado para Autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido, provincia de Cañete, Lima.....</i>	1
ANEXO B	<i>Ficha Técnica: Luminaria Solar Integrada BPC010 LED40/MCT Solar.post top Pro de Philips</i>	2
ANEXO C	<i>Mapa de Recursos Solares: Irradiación Normal Directa en el territorio del Perú (1999-2018)</i>	4

ANEXO A

Matriz de consistencia: Diseño de Sistema de Iluminación Fotovoltaico Integrado para Autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido, provincia de Cañete, Lima.

Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Variables	Metodología
¿De qué manera se autonomiza el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?	Diseñar un Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada para autonomizar el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.	El diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica Integrada autonomiza el Alumbrado Público en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.	VI: Diseño del Sistema de Iluminación Fotovoltaica integrada	Tipo de investigación: aplicada
			VD: Autonomía del Alumbrado Publico	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
¿De qué manera se determina la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?	Proyectar el funcionamiento de la luminaria para determinar la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.	La proyección del funcionamiento de la luminaria permite determinar la demanda de energía eléctrica de la lampara LED de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.		Nivel de Investigación: Descriptivo - Correlacional
¿De qué manera se verifica la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?	Evaluar el consumo de la luminaria para verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete	La evaluación del consumo de la luminaria permite verificar la capacidad del acumulador electroquímico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete		
¿De qué manera se verifica la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?	Evaluar la disponibilidad de radiación solar para verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.	La evaluación de la disponibilidad de radiación solar permite verificar la capacidad del generador fotovoltaico de la luminaria seleccionada para el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete.		Enfoque: Cuantitativo
¿De qué manera se puede verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete?	Simular las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO para verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete	La simulación de las luminarias seleccionadas en el software DIALux EVO permite verificar el nivel de iluminación requerido en el parque León Dormido del distrito de San Antonio - Cañete		Diseño: No experimental - Transversal

ANEXO B

Ficha Técnica: Luminaria Solar Integrada BPC010 LED40/MCT Solar.post top Pro de Philips



Essential SmartBright
Solar Post Top

BPC010 LED40/MCT Solar post top Pro

Una gama de faroles solares integrados en un poste con la funcionalidad única de temperatura de color seleccionable.

Advertencias y seguridad

- Instala el producto en un lugar con suficiente luz solar, sin cobertura de árboles, edificios, paredes, etc. para que la batería se cargue más rápido.

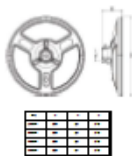
Datos del producto

Información general		Tipo de conexión de red	
Controlador incluido	Sí	Fuera de la red	
Periodo de garantía	2 años	Controles y atenuación	
Información técnica sobre la luz		Regulable	Sí
Flujo luminoso	4,000 lm	Capacidad de configuración	No configurable
Temperatura de color correlacionada (nominal)	3000 4000 6500 K	Perfil de regulación solar	Pre-configured
Eficacia lumínica (promedio) (nominal)	165 lm/W	Mecánica y carcasa	
Índice de producción de color (IRC)	70	Color de la carcasa	Gris
Operación y aspectos eléctricos		Longitud total	420 mm
Tipo de batería	Litio ferrofosfato	Ancho total	420 mm
Amperes por hora de la batería	14.4 Ah	Altura total	123 mm
Voltaje de la batería	3.2 V	Diámetro total	420 mm
Tipo de panel	Policristalino	Dimensiones (alto x ancho x profundidad)	123 x 420 x 420 mm
Voltaje del panel	4.5 V	Material	Polycarbonato
Potencia en vatios máxima del panel	15 W	Ubicación de la batería	In built
		Código de protección de Ingreso	IP65 [Protección contra el ingreso de polvo, a prueba de chorro de agua]
		Tipo de cubierta óptica	Polycarbonato

Essential SmartBright Solar Post Top

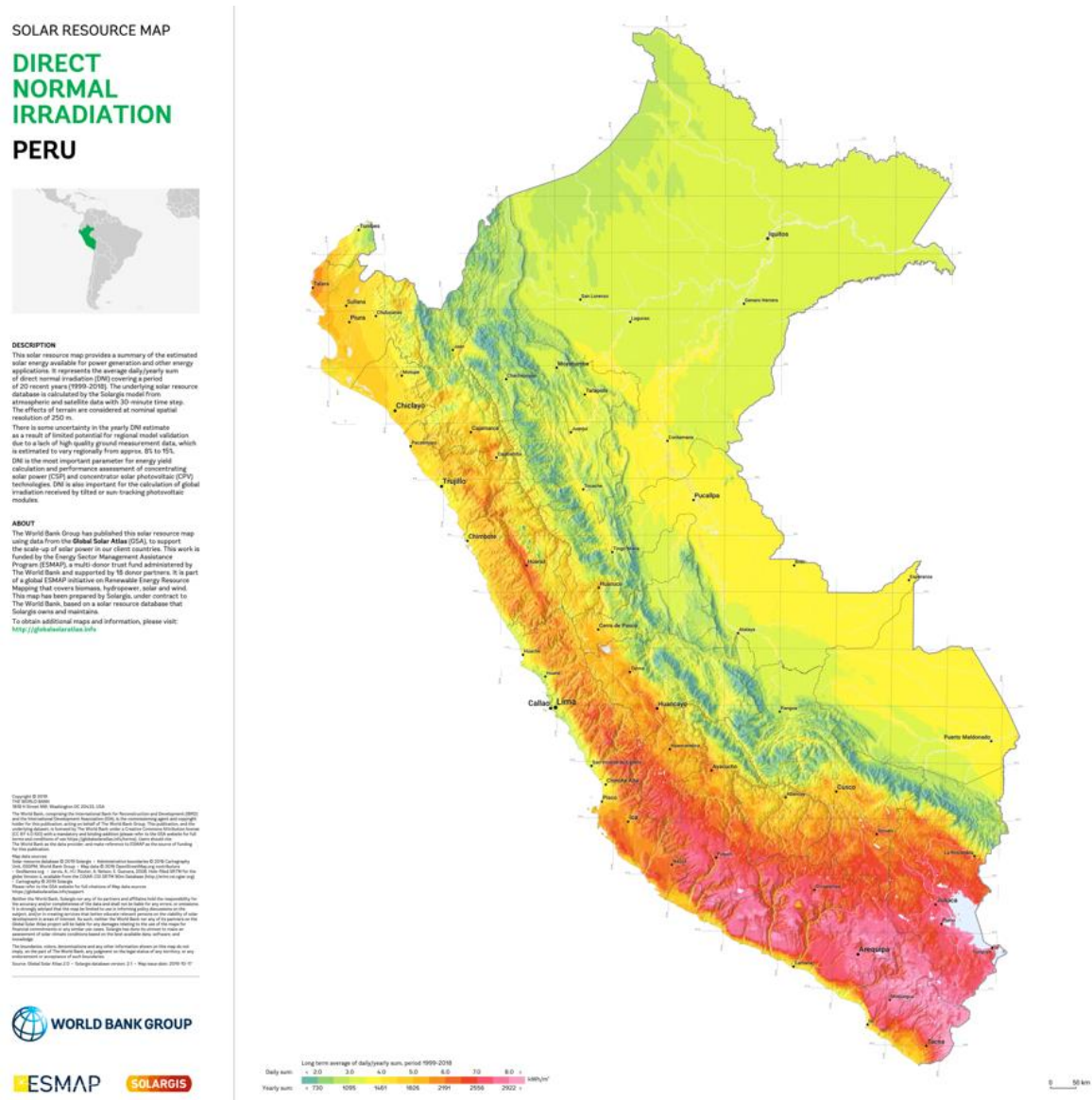
Peso neto (pieza)	3.450 kg	Nombre del producto completo	BPC010 LED40/MCT Solar post top Pro
Aprobación y aplicación		Full EOC	692382861018099
Rango de temperatura ambiente	-0 °C a 55 °C	Código del pedido	911401876602
Rendimiento a lo largo del tiempo (cumple con normas IEC)		N.º de material (12NC)	911401876602
Vida útil media L70B50	25,000 hora(s)	Numerador: cantidad por paquete	1
Información del producto		EAN/UPC: producto/caja	6923828610180
Nombre del producto del pedido	BPC010 LED40/MCT Solar post top Pro	Numerador: paquetes por caja externa	2
		EAN/UPC - Caja	6923828610234

Plano de dimensiones



ANEXO C

Mapa de Recursos Solares: Irradiación Normal Directa en el territorio del Perú (1999-2018)



Fuente: World Bank Group 2025 - <https://globalsolaratlas.info/download/peru>