



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE ILUMINACIÓN CON  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN PARQUES URBANOS,  
APLICADO AL PARQUE CENTRAL DEL CANTÓN SARAGURO**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES: BRYAN ALEXANDER ANDRADE NARVAEZ  
CRYSTYAN ISRAEL CASTRO BRAVO**

**TUTOR: ING.FREDDY FERNANDO CARMPOVERDE ARMIJOS,Mgtr.**

Cuenca – Ecuador

2024

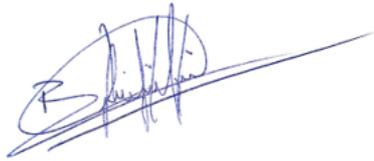
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Alexander Andrade Narváez con documento de identificación N° 0705647006 y Crystyan Israel Castro Bravo con documento de identificación N° 1150363172; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 11 de Septiembre del 2024

Atentamente,



Bryan Alexander Andrade Narvaez

0705647006



Crystyan Israel Castro Bravo

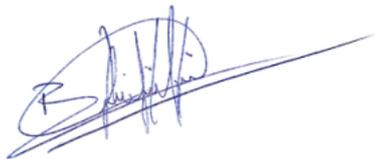
1150363172

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Nosotros, Bryan Alexander Andrade Narváez con documento de identificación N° 0705647006 y Crystyan Israel Castro Bravo con documento de identificación N° 1150363172, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis Técnico-Económico de iluminación con sistemas Fotovoltaicos en parques urbanos, aplicado al parque central del Cantón Saraguro”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de Septiembre del 2024

Atentamente,



Bryan Alexander Andrade Narvaez

0705647006



Crystyan Israel Castro Bravo

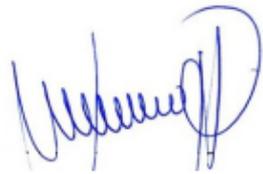
1150363172

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE ILUMINACIÓN CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN PARQUES URBANOS, APLICADO AL PARQUE CENTRAL DEL CANTÓN SARAGURO”, realizado por Bryan Alexander Andrade Narváez con documento de identificación N° 0705647006 y por Crystyan Israel Castro Bravo con documento de identificación N° 1150363172, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 septiembre del 2024

Atentamente,



---

Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, Mgtr.

0102339470

---

## DEDICATORIA

*En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios, cuyas bendiciones han sido fundamentales para alcanzar las metas que me propuse. Con inmenso amor y aprecio, dedico esta tesis a mi madre Carmen y a mi tía Clemencia, quienes con su apoyo y amor incondicional han sido la luz que me ha guiado y me ha inspirado a perseverar. A mis hermanos Janeth, Diana y Eduardo, quienes han sido mi mayor motivación y respaldo en los momentos de mayor desafío, les agradezco con todo mi corazón. A mi primo Luis y a Beatriz, cuya alegría contagiosa y constante apoyo han sido una fuente inagotable de fortaleza. También quiero extender mi más sincero agradecimiento a mis amigos Daniel, Steeven, Erick, Alexis y Julio, cuya amistad ha sido un pilar invaluable a lo largo de este camino. Finalmente, mi más profundo reconocimiento a mi compañero de tesis Crystyan, sin cuyo apoyo leal e incondicional, este logro no hubiera sido posible.*

**Bryan Alexander Andrade Narváez**

*Primeramente quiero agradecer de Dios por otorgarme la fuerza y sabiduría necesaria para enfrentar este reto desde un principio, también quiero agradecer a mis Señores Padres Rolando y Narcisa por los valores inculcados, por su apoyo tanto moral y económico, por sus lecciones que día a día iban haciendo de mi una mejor persona. No quiero dejar de lado a mis hermanos Lizzeth y Ronny que siempre han sido un ejemplo a seguir como unos excelentes profesionales y notable calidad de personas. Gracias a mi compañero de tesis Bryan por su apoyo incondicional, por sacar adelante este proyecto que nos va ayudar a ser profesionales, también a los amigos que me ha dejado la vida universitaria que son Daniel, Steeven, Erick, Alexis y Julio con quienes compartimos momentos inolvidables Finalmente a nuestro docente tutor el Ing Freddy Campoverde por haber aportado gran parte de sus conocimiento y su experiencia para llevar a cabo este proyecto de titulación y haber sido nuestro mentor y a su vez brindarnos su apoyo incondicional*

**Crystyan Israel Castro Bravo**

## RESUMEN

La presente tesis se enfoca en la viabilidad económica y técnica de la implementación de un sistema de iluminación fotovoltaica en el Parque Central de Saraguro, con el objetivo de proponer soluciones innovadoras para la gestión y sostenibilidad de parques urbanos. En el Capítulo 1, se establece el marco teórico y contextual del proyecto, analizando la importancia de la energía solar como una alternativa viable para la iluminación pública. Este capítulo introduce los principios básicos de la tecnología fotovoltaica y su aplicación en entornos urbanos, destacando las ventajas en términos de sostenibilidad, reducción de costos operativos y minimización del impacto ambiental.

El Capítulo 2 se centra en el análisis detallado del sistema fotovoltaico propuesto. Se realiza una evaluación exhaustiva de las especificaciones técnicas, incluyendo el diseño y dimensionamiento tanto del sistema concentrado como del sistema individual. A través de cálculos precisos, se determina la potencia necesaria, el número de paneles solares, baterías, controladores e inversores requeridos para garantizar una operación eficiente y confiable.

El Capítulo 3 presenta una propuesta final para un sistema autónomo de iluminación fotovoltaica en el Parque Central de Saraguro, utilizando modelado tridimensional con software avanzado para visualizar el proyecto antes de su implementación. Se realiza un análisis económico exhaustivo que compara los costos y beneficios de sistemas fotovoltaicos concentrado e individual, destacando que el sistema concentrado es más ventajoso por su menor costo inicial, mayor confiabilidad y eficiencia energética.

Además, se incluyen simulaciones con el software Dialux Evo, que demuestran mejoras significativas en los niveles de iluminación y la uniformidad en el parque. Este análisis refuerza la viabilidad del proyecto y establece una base sólida para su implementación, proponiendo un modelo innovador que optimiza el uso de energía solar en espacios urbanos, mejorando la sostenibilidad y eficiencia en la iluminación pública.

## ABSTRACT

This thesis focuses on the economic and technical feasibility of implementing a photovoltaic lighting system in Saraguro Central Park, with the aim of proposing innovative solutions for the management and sustainability of urban parks. Chapter 1 establishes the theoretical and contextual framework of the project, analyzing the importance of solar energy as a viable alternative for public lighting. This chapter introduces the basic principles of photovoltaic technology and its application in urban environments, highlighting the advantages in terms of sustainability, reduction of operating costs, and minimization of environmental impact.

Chapter 2 focuses on the detailed analysis of the proposed photovoltaic system. A thorough evaluation of the technical specifications is conducted, including the design and sizing of both the concentrated and individual systems. Through precise calculations, the necessary power, the number of solar panels, batteries, controllers, and inverters required to ensure efficient and reliable operation are determined.

Chapter 3 presents a final proposal for an autonomous photovoltaic lighting system in Saraguro Central Park, utilizing 3D modeling with advanced software to visualize the project before its implementation. A comprehensive economic analysis is conducted comparing the costs and benefits of concentrated and individual photovoltaic systems, highlighting that the concentrated system is more advantageous due to its lower initial cost, greater reliability, and superior energy efficiency.

Additionally, simulations with Dialux Evo software are included, demonstrating significant improvements in lighting levels and uniformity in the park. This analysis reinforces the project's feasibility and establishes a solid foundation for its implementation, proposing an innovative model that optimizes the use of solar energy in urban spaces, enhancing sustainability and efficiency in public lighting.

# ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	4
1.1 Introducción	4
1.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico	4
1.2.1 Inversor	4
1.2.2 Generador	5
1.2.3 Regulador de Carga	6
1.2.4 Batería	6
1.2.4.1 Tipos de Batería	7
1.2.5 Clasificación de los sistemas Fotovoltaicos	8
1.2.5.1 Monocristalinos	9
1.2.5.2 Policristalinos	9
1.2.5.3 Amorfos	10

1.2.5.4	Paneles solares de película delgada (Thin-Film Solar Panels)	11
1.2.5.5	Paneles solares bifaciales	11
1.2.5.6	Paneles solares orgánicos (Organic Solar Panels)	12
1.3	CONCEPTOS DE ILUMINACIÓN	12
1.3.1	Iluminación	12
1.3.2	Flujo Luminoso	12
1.3.3	Cantidad de Luz	13
1.3.4	Deslumbramiento	13
1.3.5	Aspectos Fundamentales para el diseño de iluminación exterior	14
1.3.6	UNIFORMIDAD	14
1.3.7	Factores de Uniformidad	14
1.4	ILUMINACIÓN DE ESPACIOS VERDES	15
1.4.1	Iluminación en exteriores	16
1.4.2	Iluminación en parques	16
1.4.3	Iluminación de los elementos del parque	16
1.4.4	Caracterización del espacio	17
1.5	Niveles de Iluminación	17
1.5.1	Sistemas de Iluminación	17
1.6	LUMINARIAS	18
1.6.1	Lamparas y Luminarias	18
1.7	Elementos de Medición y Software de Cálculo	19
1.7.1	Cinta métrica	19
1.7.2	GPS (Sistema de Posicionamiento Global)	20
1.7.3	Luxómetro	20
1.7.4	Luminancímetro	21
1.7.5	Espectroradiómetro	21
1.7.6	Dialux Evo	22
1.8	Parámetros Meteorológicos	23
1.8.1	Radiación Solar	23
1.8.2	Atlas Solar Del Ecuador	24
1.8.3	Irradiación y Hora Solar Pico (HSP)	28
<b>2</b>	<b>ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA ILUMINACIÓN ACTUAL DEL PARQUE CENTRAL DE SARAGURO</b>	<b>30</b>
2.1	Radiación y Hora Solar Pico del Cantón Saraguro	31
2.1.1	Análisis del Recurso Solar en Saraguro	32
2.1.2	Fuentes sobre la Radiación Solar Mediante Datos Meteorológicos	34

2.2	Estado Actual de la Iluminación en Parques Urbanos en Saraguro . . .	39
2.2.1	Iluminación existente en el parque central de Saraguro . . . . .	40
2.2.2	Datos de las luminarias existentes en el parque . . . . .	41
2.3	Simulación del estado actual del Parque Central de Saraguro usando Dialux Evo . . . . .	43
2.3.1	Caminera Central . . . . .	46
2.3.2	Caminera secundaria 1 . . . . .	47
2.3.3	Caminera secundaria 2 . . . . .	48
2.3.4	Caminera secundaria 3 . . . . .	49
2.3.5	Caminera secundaria 4 . . . . .	50
2.3.6	Jardinera 1 . . . . .	51
2.3.7	Jardinera 2 . . . . .	52
2.3.8	Jardinera 3 . . . . .	53
2.3.9	Jardinera 4 . . . . .	54
2.3.10	Jardinera 5 . . . . .	55
2.3.11	Jardinera 6 . . . . .	56
2.3.12	Jardinera 7 . . . . .	57
2.3.13	Jardinera 8 . . . . .	58
2.4	Estudio Fotométrico de la Iluminación en el Parque Central de Sara- guro: Caracterización de Luminarias y Mediciones de Lux y Luminancia	60
2.4.1	Tablas de valores de luminancia medidos por el luminancímetro	60
2.4.2	Tablas de valores de iluminancia medidos por el luxómetro . .	68
2.4.3	Plano en AutoCad de Luminarias Instaladas Actualmente . .	69
2.5	Avances tecnológicos vinculados a los sistemas fotovoltaicos en par- ques urbanos. . . . .	70
2.5.1	Tecnologías de Iluminación Convencionales frente a Sistemas Fotovoltaicos en el contexto de Saraguro . . . . .	70
2.5.2	Desarrollos Tecnológicos y Tendencias en Sistemas Fotovoltaicos Aplicados a Parques Urbanos . . . . .	70
2.5.3	Casos de Estudio Relevante en Proyectos de Iluminación con Sistemas Fotovoltaicos en Entornos Similares . . . . .	71
2.6	Análisis de la Vida Útil y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos en Parques Urbanos . . . . .	72
2.6.1	Beneficios del Mantenimiento . . . . .	72
2.6.2	Mantenimiento Preventivo . . . . .	73
2.6.3	Mantenimiento Correctivo . . . . .	73
2.6.4	Ahorro y Costo en (O&M) . . . . .	74

<b>3</b>	<b>Estudio Integral sobre la Viabilidad Económica y Técnica de la Iluminación Fotovoltaica en parques urbanos, ofreciendo propuestas Innovadoras a futuro</b>	<b>75</b>
3.1	Propuesta del Diseño Final Empleando un Sistema Autónomo Y Focalizado, Garantizando la Confiabilidad . . . . .	76
3.2	Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico . . . . .	81
3.2.1	Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Concentrado . . . . .	81
3.2.2	Especificaciones técnicas de los materiales a usar . . . . .	84
3.2.3	Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Individual . . . . .	89
3.2.4	Especificaciones técnicas de los materiales a usar . . . . .	92
3.3	Viabilidad económica para la Implementación del Sistema Fotovoltaico en el parque central de Saraguro . . . . .	98
3.3.1	Resumen análisis económico . . . . .	98
3.3.2	Análisis del Impacto Económico y Retorno de Inversión a Largo Plazo del Sistema Fotovoltaico . . . . .	101
3.3.2.1	Sistema Concentrado . . . . .	101
3.3.2.2	Sistema Individual . . . . .	103
3.3.3	Cálculo de VAN y TIR . . . . .	105
3.3.3.1	Sistema concentrado . . . . .	105
3.3.3.2	Sistema Individual . . . . .	107
3.4	Presentación del renovado Parque Central de Saraguro con luminarias fotovoltaicas diseñadas en Dialux Evo . . . . .	109
3.4.1	Caminera Central . . . . .	110
3.4.2	Caminera secundaria 1 . . . . .	111
3.4.3	Caminera secundaria 2 . . . . .	112
3.4.4	Caminera secundaria 3 . . . . .	113
3.4.5	Caminera secundaria 4 . . . . .	114
3.4.6	Jardinera 1 . . . . .	115
3.4.7	Jardinera 2 . . . . .	116
3.4.8	Jardinera 3 . . . . .	117
3.4.9	Jardinera 4 . . . . .	118
3.4.10	Jardinera 5 . . . . .	119
3.4.11	Jardinera 6 . . . . .	120
3.4.12	Jardinera 7 . . . . .	121
3.4.13	Jardinera 8 . . . . .	122
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>123</b>
4.1	Conclusiones . . . . .	123
4.2	Recomendaciones . . . . .	124

---

**ANEXOS**

**125**

**BIBLIOGRAFÍA**

**127**

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Regulador de carga [1]. . . . .	6
1.2	Estructura básica de un sistema fotovoltaico autónomo [1]. . . . .	8
1.3	Clasificación de los sistemas Fotovoltaico [2]. . . . .	10
1.4	Panel de película delgada [3]. . . . .	11
1.5	Paneles solares bifaciales [3]. . . . .	11
1.6	Paneles solares orgánicos [3]. . . . .	12
1.7	Ejemplos de Luminarias. [4] . . . . .	19
1.8	Cinta Métrica. [5]. . . . .	19
1.9	GPS. [5]. . . . .	20
1.10	Luxómetro. [5]. . . . .	21
1.11	Luminancímetro. [5]. . . . .	21
1.12	Espectroradiómetro. [5]. . . . .	22
1.13	Dialux Evo <i>Fuente Autores.</i> . . . .	23
1.14	Radiación Solar [6] . . . . .	24
1.15	Atlas del Ecuador Insolación Promedio Directa. [7] . . . . .	25
1.16	Atlas del Ecuador Insolación Promedio Difusa. [7] . . . . .	26
1.17	Atlas del Ecuador Insolación Promedio Global. [7] . . . . .	27
1.18	Horas Solares Pico. . . . .	29
2.1	Parque Central Saraguro en la Actualidad <i>Fuente Autores.</i> . . . .	31
2.2	Simulación del Parque Central Saraguro en la Actualidad <i>Fuente Autores.</i> . . . .	31
2.3	Representación Gráfica de la irradiación. . . . .	33
2.4	Gráfica comparativa de los meses de Enero, Marzo y el mes mas critico Junio. . . . .	35
2.5	Gráfica de Hora Solar Pico de los días Promedio de todo un año . . . . .	35
2.6	Área bajo la curva de Enero. . . . .	36
2.7	Área bajo la curva de Junio. . . . .	38
2.8	Parque Central de Saraguro <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	40
2.9	Luminaria Tipo Esfera Led <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	41
2.10	Luminaria Reflector Led <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	42
2.11	Luminaria Reflector (pileta) Led. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	43

2.12 Parque Central de Saraguro hecho en Dialux Evo. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	44
2.13 Caminera Central. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	46
2.14 Caminera Secundaria 1. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	47
2.15 Caminera Secundaria 2. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	48
2.16 Caminera Secundaria 3. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	49
2.17 Caminera Secundaria 4. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	50
2.18 Jardinera 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	51
2.19 Jardinera 2. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	52
2.20 Jardinera 3. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	53
2.21 Jardinera 4. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	54
2.22 Jardinera 5. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	55
2.23 Jardinera 6. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	56
2.24 Jardinera 7. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	57
2.25 Jardinera 8. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	58
2.26 Parque Central Saraguro mallas General. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	59
2.27 Croquis de las mediciones de los puntos 1 y 2. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	61
2.28 Croquis de las mediciones de los puntos 3 y 4. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	63
2.29 Croquis de las mediciones de los puntos 5 y 6. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	64
2.30 Croquis de las mediciones de los puntos 7 y 8. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	65
2.31 Croquis de las mediciones de los puntos 9 y 10. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	66
2.32 Croquis de las mediciones de los puntos 11 y 12. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	67
2.33 Plano en AutoCad de las Luminarias Instaladas Actualmente. . . . .	69
2.34 Costos totales del proyecto durante su vida útil [8]. . . . .	74
3.1 Vista del Parque frente del Municipio <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	76
3.2 Vista lateral derecha del parque <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	77
3.3 Vista lateral izquierda del parque <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	77
3.4 Vista del Panel solar . <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	78
3.5 Vista del Parque frente del Municipio <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	78
3.6 Vista del lugar de colocación de los Paneles Solares. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	79
3.7 Vista del cuarto de equipos. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	79
3.8 Diferentes Puntos de inclinación en los paneles Solares. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	80
3.9 Panel Solar Monocristalino de 330W. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	84
3.10 Panel Solar Monocristalino de 330W. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	84
3.11 Controlador MPPT. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	85
3.12 Inversor de 5.5 kW. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	87
3.13 Dimensiones Batería 200Ah. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	88
3.14 Panel Solar Monocristalino de 500W. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	92

3.15 Panel Solar Monocristalino de 500W. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	93
3.16 Controlador MPPT. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	93
3.17 Controlador MPPT 30A. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	94
3.18 Dimensiones del controlador MPPT 30A. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	95
3.19 Inversor de 1kW. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	96
3.20 Dimensiones Batería 200Ah. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	96
3.21 Caminera Central. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	110
3.22 Caminera Secundaria 1. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	111
3.23 Caminera Secundaria 2. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	112
3.24 Caminera Secundaria 3. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	113
3.25 Caminera Secundaria 4. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	114
3.26 Jardinera 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	115
3.27 Jardinera 2. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	116
3.28 Jardinera 3. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	117
3.29 Jardinera 4. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	118
3.30 Jardinera 5. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	119
3.31 Jardinera 6. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	120
3.32 Jardinera 7. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	121
3.33 Jardinera 8. <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	122

## ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Baterías usados en sistemas fotovoltaicos. . . . .	7
1.2	Aspectos Fundamentales para el diseño de iluminación exterior [9] . .	14
1.3	Características iluminación en espacios verdes [9]. . . . .	17
2.1	Irradiación Solar desde el año 2011 al 2015 . . . . .	32
2.2	Valores Promedio, MAX, MIN . . . . .	33
2.3	Calculo De Horas Solar Pico . . . . .	33
2.4	Datos Promedios de los meses con mas radiación y el mes mas critico	34
2.5	Luminarias existentes en el parque <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	41
2.6	Caminera Central <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	46
2.7	Caminera Secundaria 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	47
2.8	Caminera Secundaria 2 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	48
2.9	Caminera Secundaria 3 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	49
2.10	Caminera Secundaria 4 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	50
2.11	Jardinera 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	51
2.12	Jardinera 2 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	52
2.13	Jardinera 3 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	53
2.14	Jardinera 4 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	54
2.15	Jardinera 5 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	55
2.16	Jardinera 6 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	56
2.17	Jardinera 7 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	57
2.18	Jardinera 8 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	58
2.19	Mediciones Punto 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	60
2.20	Mediciones Punto 2 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	61
2.21	Mediciones Punto 3 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	62
2.22	Mediciones Punto 4 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	62
2.23	Mediciones Punto 5 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	63
2.24	Mediciones Punto 6 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	63
2.25	Mediciones Punto 7 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	64
2.26	Mediciones Punto 8 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	64
2.27	Mediciones Punto 9 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	65
2.28	Mediciones Punto 10 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	65

2.29 Mediciones Punto 11 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	66
2.30 Mediciones Punto 12 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	66
2.31 Mediciones con luxómetro en las Jardineras 1,2,3,4,5. <b>Fuente:</b> Autores.	68
2.32 Mediciones con luxómetro en las Jardineras 6,7,8. <b>Fuente:</b> Autores. .	68
3.1 Especificaciones del Panel Solar . . . . .	85
3.2 Especificaciones del Controlador MPPT . . . . .	86
3.3 Especificaciones del Inversor de 5.5 kW. . . . .	87
3.4 Especificaciones de la batería de 200 Ah. . . . .	88
3.5 Especificaciones del Panel Solar . . . . .	94
3.6 Especificaciones del Controlador MPPT . . . . .	95
3.7 Especificaciones del Controlador MPPT 30A . . . . .	96
3.8 Especificaciones del Inversor de 1kW. . . . .	97
3.9 Especificaciones de la batería de 200 Ah. . . . .	98
3.10 Tabla de los costos de materiales del sistema Concentrado. . . . .	99
3.11 Tabla de los costos de materiales del sistema Individual. . . . .	100
3.12 Caminera Central <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	110
3.13 Caminera Secundaria 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	111
3.14 Caminera Secundaria 2 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	112
3.15 Caminera Secundaria 3 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	113
3.16 Caminera Secundaria 4 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	114
3.17 Jardinera 1 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	115
3.18 Jardinera 2 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	116
3.19 Jardinera 3 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	117
3.20 Jardinera 4 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	118
3.21 Jardinera 5 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	119
3.22 Jardinera 6 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	120
3.23 Jardinera 7 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	121
3.24 Jardinera 8 <b>Fuente:</b> Autores. . . . .	122

# INTRODUCCIÓN

La electricidad se ha establecido como un elemento esencial para el progreso humano. Sin embargo, hay áreas y comunidades que aún no tienen acceso a este recurso vital debido a la falta de infraestructura eléctrica, como redes de distribución, subestaciones, equipos de transformación y sistemas de alumbrado público. Estos lugares suelen encontrarse en zonas remotas y de difícil acceso, lo que complica aún más la situación.

En la actualidad, existe un impulso global hacia la adopción de fuentes de energía más eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Es cada vez más evidente la necesidad de tomar medidas concretas para hacer este cambio una realidad en todo el mundo [3].

Ecuador, gracias a su ubicación geográfica y a la presencia de diversos microclimas, posee un potencial considerable para la instalación de sistemas de generación eléctrica basados en energía solar. Esta iniciativa no solo puede mejorar la competitividad del sector industrial, sino también sustituir o reducir el consumo de combustibles fósiles y aumentar la eficiencia energética general del sector eléctrico [10].

Según el Atlas Solar del Ecuador, hay áreas del país con una alta radiación solar, lo que las hace idóneas para la implementación y desarrollo de proyectos fotovoltaicos. La Insolación Global Promedio en Ecuador, tanto directa como difusa, alcanza un valor de  $4,575 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ , con un máximo de  $5500 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$  [10].

En el año 2015 el artículo [11], redacta sobre el diseño y construcción de un sistema de iluminación fotovoltaico lo cual es de mucha utilidad para la implementación y metodología de estudio del presente proyecto, tomando en cuenta los principales objetivos los cuales son optimizar el consumo de energía eléctrica y minimizando el abuso de combustibles fósiles y ocasionando una gran cantidad de dióxido de carbono al ambiente.

Un sistema fotovoltaico puede definirse como un sistema que utiliza la energía primaria del sol para convertirla en energía eléctrica capaz de poner en movimiento cualquier equipo o maquinas eléctrica [11].

Es importante destacar que la adopción de la energía solar fotovoltaica en Ecuador enfrenta diversas barreras, siendo una de las más significativas la alta inversión requerida. Esta situación ha obstaculizado la investigación, el desarrollo y la implementación de esta tecnología en el país. A pesar de su relativa falta de reconocimiento a nivel mundial, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un notable crecimiento en Ecuador. Esto sugiere que podría considerarse como una de las opciones más prometedoras para mejorar el suministro energético en la nación y desempeñar un papel fundamental en su desarrollo futuro [12].

La Universidad Politécnica Salesiana (UPS) desempeña un papel vital en el avance del conocimiento sobre la energía solar y la electromovilidad en Ecuador a través de este proyecto. Esta iniciativa marca el inicio de una nueva era donde la sostenibilidad y las energías limpias se consideran parte principal es para el desarrollo de las sociedades futuras. Además, el trabajo del Ingeniero Sebastián Sánchez, documentado en su artículo de 2016, que detalla la implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red con almacenamiento para la Universidad Tecnológica de Pereira, proporciona un importante precedente y referencia para iniciativas similares en Ecuador. [3].

# OBJETIVOS

## Objetivo General

Realizar un estudio técnico para la implementación de un sistema fotovoltaico en un parque ubicado en el Cantón Saraguro considerando factores como: la superficie, la ubicación, la cantidad de luz solar disponible, la demanda de energía por luminaria, el costo total del proyecto y la eficiencia de los equipos instalados

## Objetivos Específicos

- Analizar y diseñar un sistema de iluminación solar fotovoltaica para una instalación específica.
- Determinar cuál es la inclinación, orientación óptima, la arquitectura de los paneles solares y demás equipos instalados para mejorar la eficiencia del sistema.
- Establecer un modelo de iluminación aplicable a cualquier parque en zonas urbanas y a su vez estudiar el impacto socio-ambiental en la implementación del proyecto.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema de iluminación solar fotovoltaica mediante un análisis de costos y beneficios, con el fin de determinar su rentabilidad y el período de retorno de la inversión.

# CAPÍTULO 1

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 1.1. Introducción

En estos momentos claves cuando más se requiere del ahorro y de la austeridad en el consumo de combustible y la generación de energía eléctrica, deberíamos pensar en alternativas para optimizar los sistemas de alumbrados con técnicas de paneles solares, que además permiten obtener energía eléctrica para otros usos [13]. La energía solar fotovoltaica (ESFV) constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida.

### 1.2. Componentes de un Sistema Fotovoltaico

#### 1.2.1. Inversor

Los dispositivos de acondicionamiento de potencia son de suma importancia para ajustar las características eléctricas de una fuente de energía. Los transformadores AC son comunes para modificar el voltaje en corriente alterna, pero para corriente continua, se recurre a los convertidores DC/DC. Estos últimos son determinantes cuando se necesita cambiar la relación voltaje/corriente de una fuente DC. Ambos tipos de dispositivos sirven para adaptar sistemas eléctricos a las necesidades específicas [1].

Existen diferentes tipos de inversores utilizados en los sistemas de energía solar fotovoltaica (SFV). Los más comunes son los inversores de cadena, los inversores centrales y los microinversores.

Los inversores de cadena son comunes en instalaciones residenciales y comerciales de tamaño mediano. Agrupan varios paneles solares en serie y convierten la corriente continua en corriente alterna.

Los inversores centrales son adecuados para instalaciones más grandes, como parques solares. Recogen la energía de varios grupos de paneles solares y la convierten en corriente alterna a través de un solo inversor centralizado.

Los microinversores son pequeños y autónomos, instalados en cada panel solar individualmente. Convierten la corriente continua de cada panel en corriente alterna, permitiendo un mayor control y optimización de la energía generada. [1].

### 1.2.2. Generador

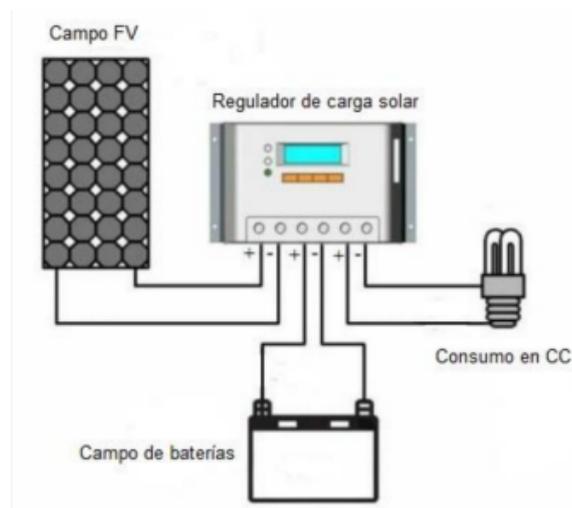
El generador fotovoltaico desempeña la función relevante de convertir la luz solar en electricidad. Su estructura comprende múltiples módulos fotovoltaicos interconectados, y cada uno de estos módulos está compuesto por células fotovoltaicas individuales. Aunque cada célula fotovoltaica genera aproximadamente 3W, esta cantidad resulta limitada para muchas aplicaciones prácticas. Por esta razón, los fabricantes agrupan estas células en configuraciones serie y/o paralelo para formar los módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado. Estos módulos proporcionan la potencia necesaria para satisfacer las demandas eléctricas más exigentes. [1].

La potencia que puede suministrar un módulo fotovoltaico dependerá del número de células que posea. Un valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células. Si esta potencia aún resulta insuficiente para una determinada aplicación, el instalador conecta los módulos necesarios, en serie y en paralelo, hasta obtener la potencia requerida [1].

La energía generada por el generador fotovoltaico se almacena, en caso de ser requerido (ya que los sistemas conectados a la red no necesitan baterías), en un conjunto de baterías. Esto permite aprovechar la energía producida durante las horas de sol durante la noche o en momentos de baja radiación solar [1].

### 1.2.3. Regulador de Carga

El regulador, un componente importante, tiene la responsabilidad de salvaguardar la batería contra posibles daños debido a sobrecargas o descargas excesivas. Su funcionamiento es simple: cuando el regulador percibe que la batería está experimentando una carga excesiva, desconecta el generador fotovoltaico; de manera similar, cuando detecta que la batería está siendo descargada en exceso, desconecta los dispositivos de consumo. Este mecanismo asegura una gestión eficaz de la energía, evitando situaciones que podrían comprometer la integridad y la vida útil de la batería. [1].



**Figura 1.1:** Regulador de carga [1].

### 1.2.4. Batería

Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua (DC), que puede almacenarse directamente en baterías. Cuando se extrae energía de las baterías, sigue siendo en forma de corriente continua. Sin embargo, para alimentar dispositivos que operan con corriente alterna (AC), como la mayoría de los aparatos comunes, se necesita un inversor [1].

Las baterías en los sistemas Fotovoltaicos requieren poco mantenimiento, pero es necesario realizar algunas tareas básicas para garantizar su óptimo funcionamiento. Esto incluye verificar los niveles de electrolito, asegurarse de que no haya fugas y mantener las conexiones limpias y ajustadas [1].

La vida útil de las baterías varía según el tipo utilizado, desde 5 a 10 años para las de plomo-ácido hasta 10 a 15 años o más para las de iones de litio. Los daños pueden ser causados por sobrecarga, descarga excesiva, altas temperaturas, entre otros factores. La capacidad de almacenamiento, medida en kWh, varía según el tipo y la configuración de la batería, y debe adaptarse a las necesidades del usuario y del sistema. El dimensionamiento adecuado de las baterías es esencial para garantizar un suministro de energía confiable y evitar el agotamiento prematuro [1].

#### 1.2.4.1. Tipos de Batería

Las baterías de plomo-ácido son las más comúnmente empleadas en sistemas de aprovechamiento solar directo, debido a sus características favorables (porcentaje de descarga, capacidad de almacenamiento de energía y costo reducido) y sus ventajas en comparación con otras tecnologías de acumuladores [14].

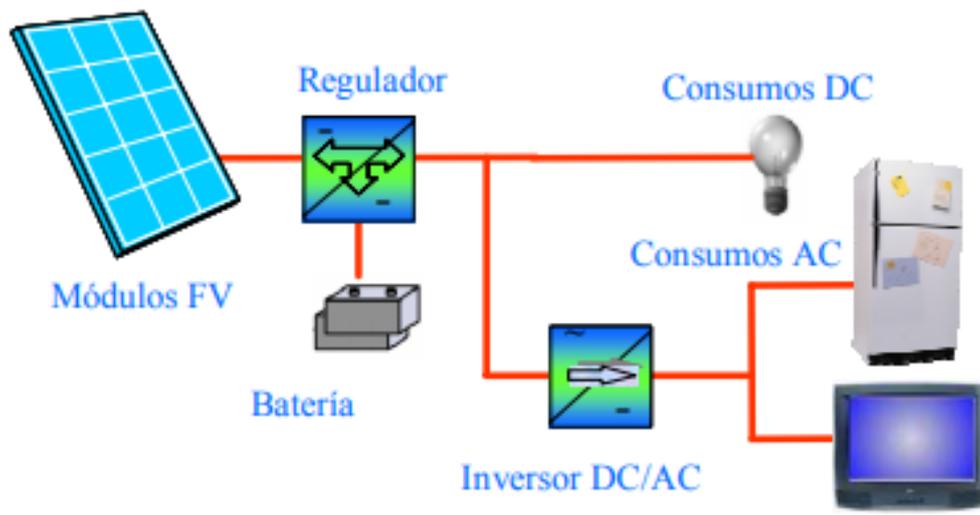
A continuación en la tabla 1.1, se expondrán las categorías de baterías de plomo-ácido, detallando sus atributos técnicos, así como sus ventajas y desventajas respectivas:

**Tabla 1.1:** Baterías usados en sistemas fotovoltaicos.

Tipo	Ventajas	Desventajas
Tubular Estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado Profundo.</li> <li>• Tiempos de vida largos.</li> <li>• Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Precio elevado.</li> <li>➤ Disponibilidad ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> </ul>
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio.</li> <li>• Disponibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>➤ Tiempo de vida corto.</li> </ul>
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia reserva de electrolito.</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tiempo de vida medio.</li> <li>➤ No recomendada para ciclos profundos y prolongados.</li> </ul>
Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremo en V-I.</li> </ul>

Es primordial comprender las condiciones específicas de la instalación fotovoltaica para tomar una decisión acertada al seleccionar la batería que mejor se adapte a las necesidades del sistema. Este conocimiento no solo abarca las particularidades del entorno de la instalación, sino también las condiciones térmicas en las que la batería operará, dado que la capacidad de la batería está directamente relacionada con la temperatura ambiente.

Por consiguiente, es imperativo elegir una capacidad nominal mayor que la calculada inicialmente si la instalación se encuentra en condiciones simuladas o reales cercanas a los cero grados centígrados. Esta consideración se vuelve especialmente crítica para garantizar un rendimiento óptimo y duradero del sistema fotovoltaico en su conjunto [14].



**Figura 1.2:** Estructura básica de un sistema fotovoltaico autónomo [1].

### 1.2.5. Clasificación de los sistemas Fotovoltaicos

Los módulos, también conocidos como paneles fotovoltaicos, se componen de un conjunto de celdas fotovoltaicas encapsuladas y montadas sobre una base. El término "módulo" se refiere precisamente a la agrupación de estas celdas, lo cual se traduce en una generación de energía eléctrica más significativa en comparación con el rendimiento de una única celda. Estos módulos generan corriente continua en sus bornes de salida y se encuentran disponible en tensiones de salida típicamente entre 12 y 24V, valores que suelen estar predefinidos y, en muchos casos, normalizados para facilitar su diseño.

La clasificación de los paneles fotovoltaicos se basa en la fabricación de las celdas, dividiéndolos en tres tipos diferentes, como se detalla:

### 1.2.5.1. Monocristalinos

Los módulos fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, se fabrican a partir de un cristal de silicio único que se corta finamente en obleas. Estas obleas, a menudo uniformemente azules, conforman las celdas fotovoltaicas que son la esencia del módulo. La tecnología que utiliza estas células se caracteriza por rendimientos típicos que oscilan entre el 15 % y el 20 %, lo que las convierte en las de mayor eficiencia. Aunque suelen tener un coste más elevado en comparación con otras tecnologías, su rendimiento superior las hace una elección atractiva para aplicaciones donde se valora la máxima generación de energía en un espacio limitado y se tiene un presupuesto más holgado para la inversión inicial [2].

La uniformidad en el color de estas células, generalmente azul, añade una estética coherente a los módulos fotovoltaicos, contribuyendo no solo a la eficiencia sino también a la estética de las instalaciones solares. Este tipo de módulos representa, por lo tanto, una opción premium en términos de costos y rendimientos para aquellos que buscan una eficiencia óptima en la generación de energía solar [2].

### 1.2.5.2. Policristalinos

Los módulos fotovoltaicos, conocidos como paneles solares, son el resultado de un bloque compuesto por múltiples cristales de silicio, que confiere a estos paneles una tonalidad azulada. Este azul, aunque uniforme en apariencia, permite distinguir matices sutiles derivados de la diversidad de cristales utilizados en su fabricación. En este contexto, los paneles policristalinos se destacan por su elegante delgadez y su atractiva relación costo-rendimiento [2].

La variada tonalidad azulada no solo agrega un elemento estético atractivo a las instalaciones solares, sino que también refleja la riqueza en la composición cristalina de estos paneles. Aunque ligeramente menos eficientes en comparación con los paneles monocristalinos, los paneles policristalinos mantienen rendimientos sólidos, generalmente situados en un rango del 12 % al 14 %. Este rango, si bien inferior al de los monocristalinos, los posiciona como una opción equilibrada para aquellos que buscan optimizar el rendimiento sin sacrificar significativamente el presupuesto [2].

La delgadez inherente a estos paneles no solo contribuye a su atractivo visual, sino que también tiene beneficios prácticos. La estructura más liviana facilita la ins-

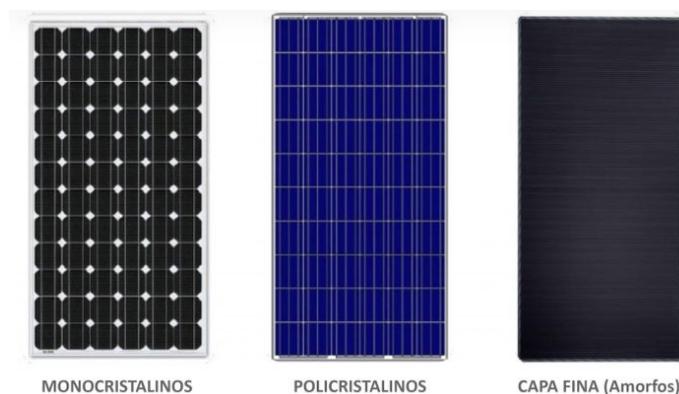
talación en diversas configuraciones y reduce la carga sobre las superficies de soporte. Este diseño, además de ser económico, proporciona versatilidad en aplicaciones tanto residenciales como comerciales [2].

### 1.2.5.3. Amorfos

Las células fotovoltaicas de CIS (Cobre, Indio y Selenio) representan una categoría singular de tecnología de película delgada. Este tipo de células se confecciona depositando una o múltiples capas delgadas de material fotovoltaico sobre un sustrato. La versatilidad de este proceso permite un amplio rango de espesores, desde nanómetros hasta varias decenas de micrómetros, incluso permitiendo la fabricación de paneles solares flexibles [2].

La composición de Cobre, Indio y Selenio proporciona una alternativa interesante y asequible en comparación con otras tecnologías fotovoltaicas. Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de su atractivo costo, estas células muestran eficiencias relativamente más bajas en el rango del 7 % al 12 %. Este rendimiento más modesto las posiciona como una opción adecuada para aplicaciones que priorizan la economía sobre la eficiencia máxima, como en proyectos que buscan integrar paneles solares flexibles en estructuras específicas [2].

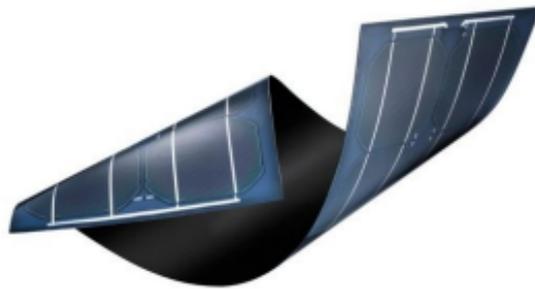
Además, la capacidad de fabricar paneles solares flexibles abre nuevas posibilidades de diseño y aplicación, lo que las hace especialmente adecuadas para situaciones donde la flexibilidad y la adaptabilidad son prioritarias [2].



**Figura 1.3:** Clasificación de los sistemas Fotovoltaico [2].

#### 1.2.5.4. Paneles solares de película delgada (Thin-Film Solar Panels)

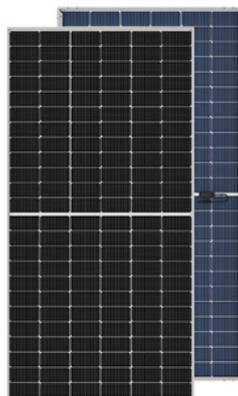
Estos paneles solares utilizan capas delgadas de materiales semiconductores depositados sobre un sustrato, como vidrio o plástico. Las tecnologías más comunes en esta categoría son el Telururo de Cadmio (CdTe), que destaca por su eficiencia y rendimiento en condiciones adversas; el Seleniuro de Cobre Indio Galio (CIGS), conocido por su alta eficiencia y flexibilidad; y el Silicio Amorfo (a-Si), que es flexible pero generalmente menos eficiente que otras tecnologías [3].



**Figura 1.4:** Panel de película delgada [3].

#### 1.2.5.5. Paneles solares bifaciales

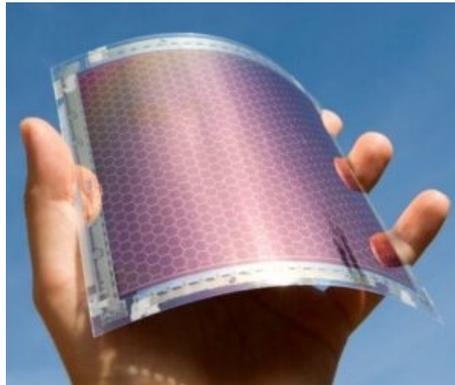
Estos paneles solares pueden generar energía tanto en la parte frontal como en la posterior, aprovechando la radiación solar directa en el frontal y la radiación reflejada en el posterior. Esta capacidad aumenta la producción de energía en comparación con los paneles solares convencionales [3].



**Figura 1.5:** Paneles solares bifaciales [3].

### 1.2.5.6. Paneles solares orgánicos (Organic Solar Panels)

Estos paneles solares utilizan materiales orgánicos y polímeros conductores para convertir la luz solar en electricidad. Son ligeros, flexibles y pueden ser producidos mediante técnicas de impresión en rollo, lo que los hace potencialmente más económicos de fabricar a gran escala. Sin embargo, actualmente tienen una eficiencia menor en comparación con otras tecnologías disponibles.



**Figura 1.6:** Paneles solares orgánicos [3].

## 1.3. CONCEPTOS DE ILUMINACIÓN

### 1.3.1. Iluminación

La luminancia o iluminación, denotada por la letra ( $E$ ), se refiere a la cantidad de luz que incide sobre un área específica, expresada en luxes ( $Lx$ ). Este valor indica la cantidad de flujo luminoso recibido por unidad de superficie ( $lux = lumen/m^2$ ). Se trata de una medida que caracteriza la iluminación incidente en un objeto cuando es expuesto a una fuente lumínica. [9].

### 1.3.2. Flujo Luminoso

Representado por el símbolo ( $\Phi$ ), el flujo luminoso es la cantidad de luz o energía luminosa que se emite en todas direcciones durante un intervalo de tiempo, medido en lúmenes ( $lm$ ). Este valor está directamente relacionado con el tipo de fuente de luz utilizada, aunque factores adicionales como reflectores y difusores también juegan un papel importante en la mejora del flujo luminoso total. [15].

La determinación del flujo luminoso se logra mediante la combinación ponderada de las potencias de cada longitud de onda presente en el espectro visible emitido por la fuente de luz. Este cálculo se lleva a cabo utilizando la ecuación 1.1.

$$\phi = km * \int_{\lambda_{visible}} \phi(\lambda) * V(\lambda) * d(\lambda) \quad (1.1)$$

Donde:

$\phi(\lambda)$ : Flujo radiante o cantidad de energía emitida por unidad de tiempo [W] de un punto luminoso.

km: constante con valor 683 lm\*W para condiciones fotópicas y 1699 lm\*W para condiciones escotópicas.

### 1.3.3. Cantidad de Luz

De manera análoga a la definición de energía eléctrica, que se determina como la potencia eléctrica por unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía lumínica se establece como la emisión de potencia lumínica en relación con el tiempo. Esta cantidad se representa con la letra Q y se expresa en lúmenes por hora (lm\*h). Su fórmula se presenta de la siguiente manera: [16].

$$Q = \phi * t(lm * h) \quad (1.2)$$

### 1.3.4. Deslumbramiento

La presencia de luces intensas directas hacia los ojos puede causar deslumbramiento. Para prevenir este efecto, es fundamental colocar las fuentes de luz fuera del campo visual, ya sea mediante el uso de pantallas o la difuminación a través de un difusor [9].

En el artículo [17], las fuentes de luz que superan los 600 lux por encima del horizonte tienden a volverse invisibles, generando un malestar moderado cuando la iluminancia es inferior a 450 lux y un malestar intenso cuando la iluminancia es inferior a 300 lux.

La reflexión brillante por debajo del horizonte es muy molesta. Si la luz natural accede horizontalmente desde la ventana, se debe prevenir que las posiciones de las personas estén emparentadas a ocasionar deslumbramiento directo [9].

### 1.3.5. Aspectos Fundamentales para el diseño de iluminación exterior

**Tabla 1.2:** Aspectos Fundamentales para el diseño de iluminación exterior [9]

Responsabilidad Medio Ambiental	Energía-Polución lumínica
Confort y agrado	Agradable impacto visual, brillo adecuado, sin deslumbramiento
Uso adecuado de las tecnologías	Elección apropiada de tipo de luminaria y sistema de iluminación
Niveles de iluminación apropiados	En función a las normas
Campos de aplicación	Según las necesidades del proyecto

### 1.3.6. UNIFORMIDAD

Es la propiedad que durante todo el período de iluminación esta se conserva idéntica o de Igual intensidad, es decir, es la Igualdad de iluminación en toda el área de iluminancia.

### 1.3.7. Factores de Uniformidad

#### Uniformidad General

Es la relación entre la iluminación mínima y el promedio, es decir, es la división entre el valor mínimo de iluminación para el valor promedio de la iluminación medida.

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_p} \quad (1.3)$$

Donde:

$U_0$ : Uniformidad general

$E_{min}$ : Iluminación mínima

$E_p$ : Iluminación promedio

### Uniformidad media

Se relaciona entre la iluminación mínima e iluminación máxima, es decir, es la división entre el valor mínimo de iluminación para el valor máximo de iluminación medido [18].

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (1.4)$$

Donde:

$U_0$ : Uniformidad media

$E_{min}$ : Iluminación mínima

$E_{max}$ : Iluminación máxima

## 1.4. ILUMINACIÓN DE ESPACIOS VERDES

La planificación de la iluminación en entornos exteriores y áreas verdes requiere un diseño lumínico fundamentado en principios científicos con el objetivo de alcanzar eficiencia energética, seguridad y atractivo estético. La implementación de tecnología LED y sensores de movimiento se utiliza para maximizar la eficiencia del consumo energético. Además, se fomenta la sostenibilidad mediante la incorporación de iluminación solar y la elección de materiales respetuosos con el medio ambiente.

Asimismo, se aborda la seguridad y la prevención del delito mediante una planificación lumínica estratégica, considerando también la influencia de la psicología del color. En el diseño paisajístico, se resaltan las características naturales y se generan efectos visuales atractivos. La adherencia a normativas y estándares específicos garantiza la calidad y eficacia de los sistemas de iluminación en espacios exteriores.

### 1.4.1. Iluminación en exteriores

La luz natural continuamente fue la más elemental fuente de luz usada; no obstante, con el desarrollo de la tecnología han constatado varias opciones de iluminación artificial que prevalezcan ofrecer un ambiente práctico para el progreso de la vida. Esta iluminación se puede explicar por medio de una secuencia de conceptos físicos que permiten ofrecer una introducción al exuberante asunto de la iluminación artificial.

En el artículo [19], el iluminado general de un parque debe conllevar una iluminación mínima de 50 lux. Si se tiene regiones inmediatas con elevado grado luminoso, la visión humana se adaptará a aquel fondo luminoso, apareciendo más oscuro el campo cercano [9].

### 1.4.2. Iluminación en parques

Se debe resaltar el potencial estético que abarca la iluminación artificial como instrumento en el diseño de parques y jardines, construyendo y marcando contornos; ejecutando planos de iluminación y sombras; disponiendo en valor cuantos recursos sean de interés [20].

### 1.4.3. Iluminación de los elementos del parque

El alumbrado de los árboles se desarrolla a partir de la parte baja ya que consigue un impacto mayor, colocando los reflectores difusores en la parte inferior del árbol. Si el árbol es elevado, se sugiere poner los proyectores donde comiencen las ramas [20].

La iluminación de monumentos debe realizarse de abajo hacia arriba, sin embargo, la luz debe incidir horizontalmente para evadir efectos extraños, desechándose plenamente la luz cenital, que crea un impacto dramático indeseable, y debiéndose proteger el deslumbramiento [20].

En los senderos y zonas recreativas del parque, la iluminación debería contribuir a generar un ambiente amigable, de igual manera debería tener en cuenta las exigencias de visibilidad para los usuarios que hacen uso de este, haciendo más fácil su

movimiento en un ámbito suficientemente alumbrado de las circulaciones esperables en horas nocturnas, iluminando el suelo [20].

Las fachadas de inmuebles gigantes integrados en los parques y en los monumentos que son parte del grupo de una región verde necesitan una iluminación con criterios especiales. Posteriormente debería determinarse el grado de iluminación primordial, relacionándolo con la fotometría del ámbito.

#### 1.4.4. Caracterización del espacio

**Tabla 1.3:** Características iluminación en espacios verdes [9].

Reflexión	Se elimina la posibilidad de reflexión.
	No hay componentes que reflejen la iluminación o muy poca.
Diferentes Condiciones	Exigencias de varias tareas o actividades en un mismo lugar.
	Condiciones en cuanto a tipo, distribución, color, nivel, etc.
La visión	En superficies verticales u oblicuas es mas frecuente.
Ángulo de visión	Se elimina ángulo de visión de 25° o cualquier otro valor.
	En todas las direcciones, pero sin deslumbramientos.
Objetos	En movimiento, especialmente en alumbrado deportivo.
Niveles de Iluminación	Son menores a los niveles de interiores de 500 lx.
Seguridad	Reducir el peligro de accidentes de transito, atropellamientos.
	Para el caso de áreas verdes evitar caídas, robos, etc.

### 1.5. Niveles de Iluminación

Un requisito considerable consiste en alcanzar niveles significativos de iluminación para potenciar la agudeza visual en tareas que demandan un elevado grado de detalle o precisión. Esto es importante para prevenir la fatiga visual en actividades que exigen una concentración intensiva, especialmente en situaciones donde se requiere una rápida velocidad de percepción o una discriminación precisa de colores. Además, es indispensable para mitigar el riesgo de errores o accidentes. [9].

#### 1.5.1. Sistemas de Iluminación

En un sistema de iluminación, se considera el porcentaje de emisión del flujo luminoso, sobre o bajo la horizontal.

- **Directa:** Envía la mayor parte de la luz hacia abajo. En el plano de trabajo es eficaz y alcanza un alto nivel de iluminación. Puede producir deslumbramiento directo [9].
- **Semidirecta:** Una porción mínima de luz es dirigida hacia el cielo, crea algo de luz difusa y claridad en el techo, reduce las sombras que pueden producirse.
- **Indirecta:** La mayor parte de la luz es dirigida al techo, elimina deslumbramiento y sombras. Se utiliza fundamentalmente para crear luz ambiental [9].

## 1.6. LUMINARIAS

- **LED.-** La tecnología led ha avanzado a pasos agigantados en sistemas de alumbrado público y ornamental, con el paso de los años las lámparas led se «convertirán en la fuente principal de iluminación [21]. Estas lámparas permiten expresar creatividad ambiental, vida útil más larga y menor consumo de energía. La disponibilidad de colores saturados hace pensar en la iluminación led, tomando en cuenta el cuidado de la atmósfera.

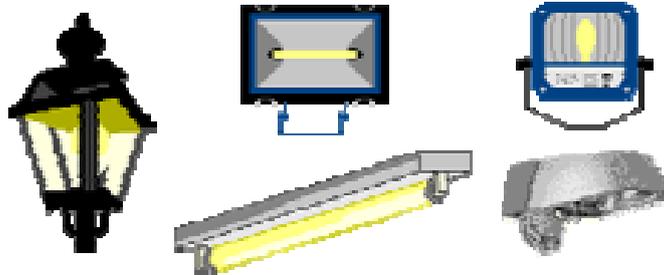
### 1.6.1. Lámparas y Luminarias

Los dispositivos de iluminación cumplen una función favorable al ofrecer respaldo y enlace a la red eléctrica para las lámparas. Sin embargo, para desempeñar eficientemente su tarea, es necesario que presenten una serie de atributos que aborden aspectos ópticos, mecánicos y eléctricos, entre otros [4].

Desde una perspectiva óptica, la luminaria juega un papel vital en la gestión y distribución de la luz emitida por la lámpara. Por consiguiente, en el diseño de su sistema óptico, resulta crítico considerar aspectos como la forma y la distribución de la luz, el rendimiento global del conjunto lámpara-luminaria y la mitigación del deslumbramiento, que podría afectar la experiencia de los usuarios. [4].

Además de las consideraciones ópticas mencionadas, las luminarias deben satisfacer requisitos prácticos, tales como facilidad de instalación y mantenimiento. Para alcanzar estos objetivos, los materiales empleados en su construcción deben ser apropiados para resistir las condiciones ambientales en las que la luminaria estará

operativa, y deben regular la temperatura de la lámpara dentro de los límites aceptables. Todo esto, por supuesto, sin descuidar aspectos como la eficiencia económica y la estética del conjunto [4].



**Figura 1.7:** Ejemplos de Luminarias. [4]

## 1.7. Elementos de Medición y Software de Cálculo

### 1.7.1. Cinta métrica

La cinta métrica es una herramienta manual flexible utilizada para medir distancias lineales. Viene en diferentes longitudes y anchuras y se despliega para medir objetos o distancias. Es ampliamente utilizada en una variedad de campos, desde la construcción hasta la costura, debido a su facilidad de uso, portabilidad y precisión [5].



**Figura 1.8:** Cinta Métrica. [5].

### 1.7.2. GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es esencial en la medición de exteriores en parques debido a su capacidad para proporcionar coordenadas precisas, mapear detalladamente el área, medir grandes extensiones de terreno, monitorear cambios en el paisaje y ofrecer funciones de navegación y orientación tanto para visitantes como para equipos de mantenimiento [5].



Figura 1.9: GPS. [5].

### 1.7.3. Luxómetro

Un luxómetro, también conocido como medidor de iluminancia. Este instrumento se utiliza para medir la intensidad de la luz en lux, proporcionando datos precisos sobre las condiciones de iluminación en un determinado entorno. Incorpora un registrador de datos interno que permite la captura y almacenamiento de los valores medidos en lux. Estos datos pueden ser transferidos a un ordenador para su posterior análisis y evaluación [5].

Existen diversos modelos de luxómetros disponibles en el mercado, cada uno con características específicas para adaptarse a diferentes necesidades y entornos de medición [5].



**Figura 1.10:** Luxómetro. [5].

#### 1.7.4. Luminancímetro

Un luminancímetro es un dispositivo que mide la cantidad de luz que emite o refleja una superficie en una dirección específica. Se utiliza para evaluar la luminosidad de diferentes áreas, lo que es útil para diseñar la iluminación adecuada en lugares como parques. Esto ayuda a mantener la seguridad y comodidad de los visitantes, especialmente durante la noche [5].



**Figura 1.11:** Luminancímetro. [5].

#### 1.7.5. Espectroradiómetro

Un espectroradiómetro es un instrumento que mide la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda. Proporciona información detallada sobre la composición y propiedades de los objetos o áreas estudiadas. Es útil en campos como

la investigación ambiental, la agricultura y la meteorología. En parques y espacios verdes, se utiliza para medir la radiación solar, evaluar la salud de la vegetación y monitorear la calidad del aire [5].

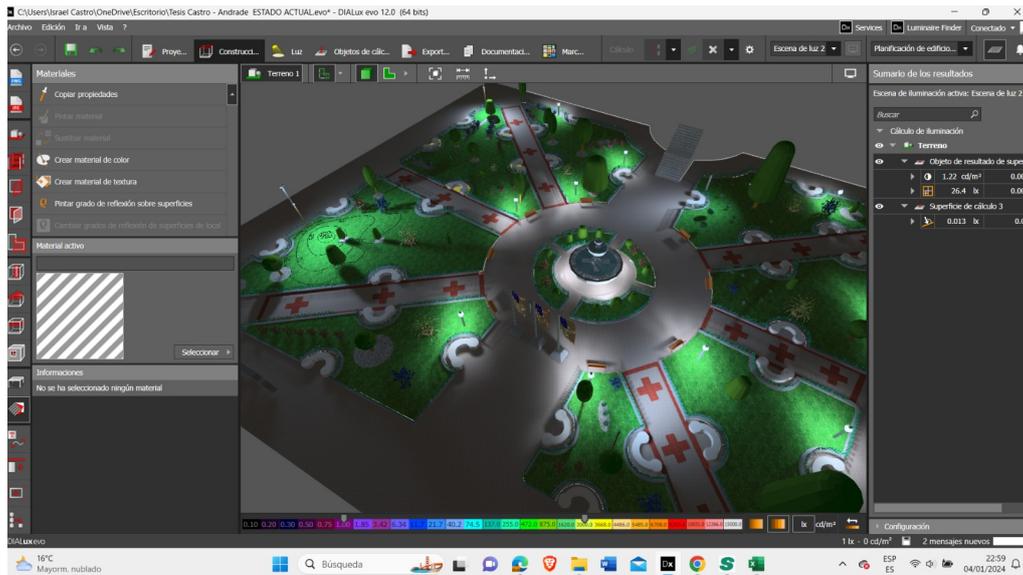


**Figura 1.12:** Espectroradiómetro. [5].

#### 1.7.6. Dialux Evo

La planificación y diseño de la iluminación ha sido una consideración constante en el desarrollo de espacios arquitectónicos, abarcando tanto entornos interiores como exteriores. A pesar de esta práctica histórica, la especialización creciente en el diseño de interiores ha impulsado la prevalencia del empleo de programas específicos para la creación de ambientes basados en la iluminación [22].

DIALux se destaca como el software preeminente para el diseño de iluminación a nivel global. Su aplicación se extiende más allá del ámbito del diseño de interiores, siendo ampliamente utilizado en la planificación de iluminación para espacios como aparcamientos, vías públicas, estadios de fútbol, entre otros. Su versatilidad y utilidad se han consolidado, posicionándolo como una herramienta fundamental en diversos contextos de diseño lumínico especializado [22].



**Figura 1.13:** Dialux Evo

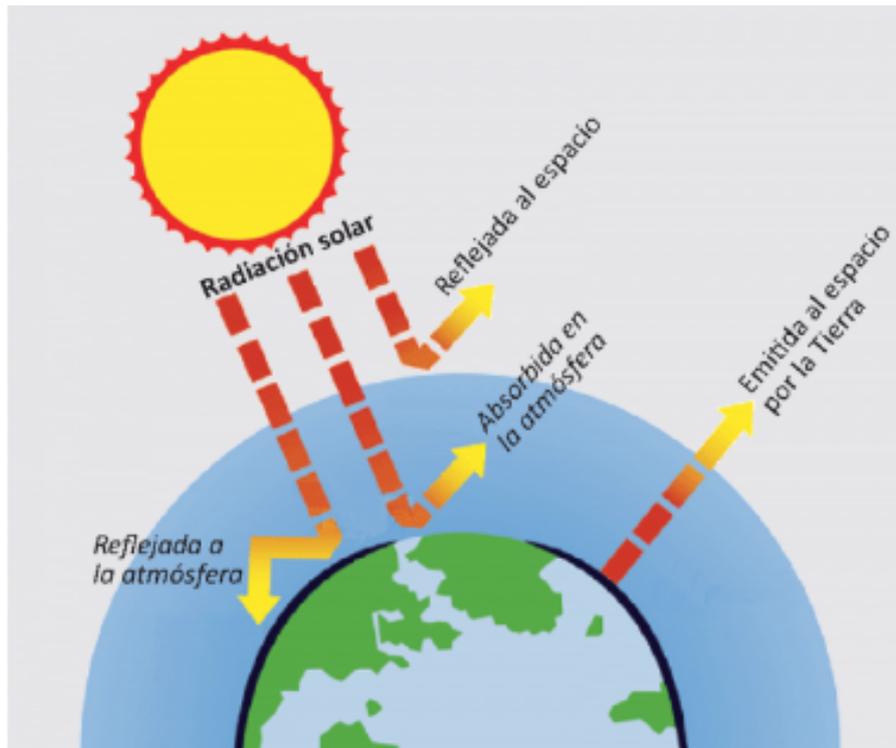
*Fuente Autores.*

## 1.8. Parámetros Meteorológicos

Se refiere a las condiciones y medidas atmosféricas que caracterizan el estado del tiempo en un lugar específico y momento determinado. Estos incluyen variables como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, radiación solar, precipitación, entre otros, que son fundamentales para comprender y predecir las condiciones climáticas en una ubicación determinada.

### 1.8.1. Radiación Solar

La radiación solar, emanada del sol, representa una forma esencial de energía electromagnética que llega a la Tierra y sustenta diversos procesos vitales. Este fenómeno abarca un espectro amplio, incluyendo luz visible, infrarroja y ultravioleta. En el ámbito ecológico, la radiación solar impulsa la fotosíntesis de las plantas, contribuye al ciclo del agua y afecta los patrones climáticos al calentar la atmósfera de manera desigual. Además, en el ámbito tecnológico, la radiación solar se aprovecha como fuente de energía renovable mediante paneles solares, desempeñando un papel fundamental en la transición hacia fuentes sostenibles y la mitigación del cambio climático [6].



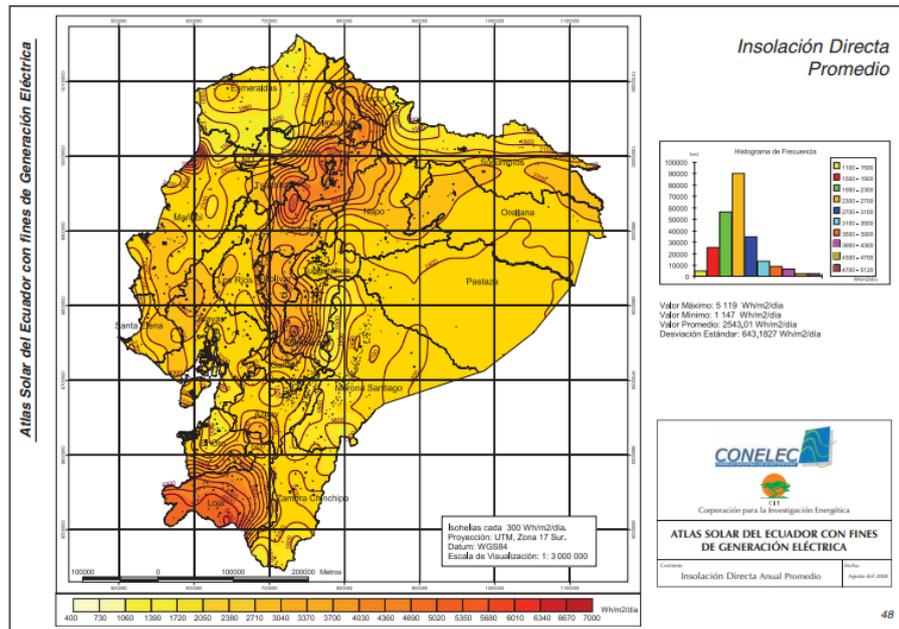
**Figura 1.14:** Radiación Solar [6]

Es importante tener en cuenta que la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie terrestre varía según factores como la ubicación geográfica, la hora del día y las condiciones atmosféricas. Un entendimiento detallado de estos elementos es esencial para optimizar la utilización de la radiación solar en diversas aplicaciones prácticas y comprender su impacto en los sistemas naturales de la Tierra [6].

### 1.8.2. Atlas Solar Del Ecuador

Las siguientes figuras mostrarán las diversas formas de radiación que se experimentan en Ecuador, incluyendo la radiación directa, difusa y global.

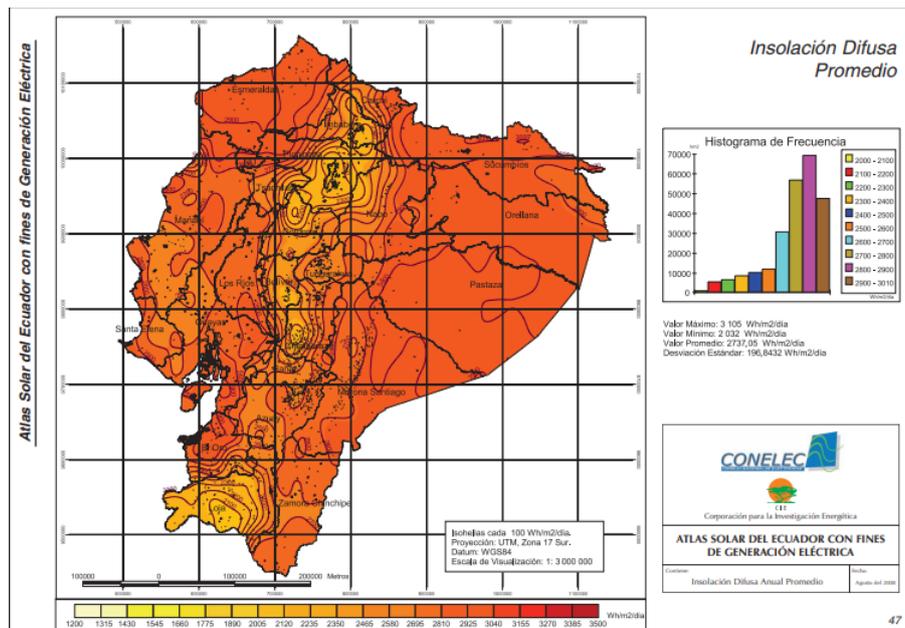
**RADIACIÓN DIRECTA:** Es la fuerza impulsora detrás de la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Esta forma de radiación solar, que llega directamente a la superficie terrestre, es importante para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, convirtiendo la luz solar en electricidad limpia y sostenible. Aprovechar al máximo esta radiación directa es primordial para impulsar la transición hacia fuentes de energía renovable y reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles [11].



**Figura 1.15:** Atlas del Ecuador Insulación Promedio Directa. [7]

Como evidencia ilustrada en la Figura 1.15, la insulación promedio directa del Cantón Saraguro oscila entre los 4500 y 5100 Wh/m<sup>2</sup>/día. En términos técnicos, esto denota una elevada irradiación solar a lo largo de todo el año en la región meridional del país.

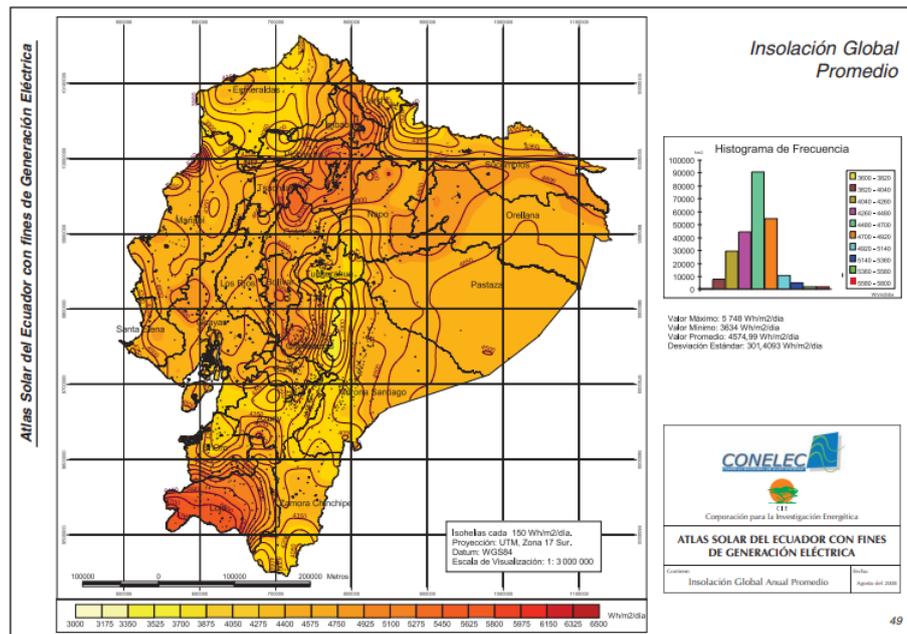
**RADIACIÓN DIFUSA:** Es el resultado de la dispersión de la luz solar en la atmósfera, varía en cada ubicación terrestre y llega a las superficies fotovoltaicas desde ángulos menos directos. Aunque a menudo subestimada, esta radiación ofrece un potencial significativo para mejorar la eficiencia de los sistemas solares, siendo clave para optimizar su rendimiento y ampliar el uso de la energía solar a nivel global [11].



**Figura 1.16:** Atlas del Ecuador Insulación Promedio Difusa. [7]

Como se muestra en la Figura 1.16, la insulación promedio difusa del Cantón Saraguro varía entre 2300 y 2100 Wh/m<sup>2</sup>/día. Este dato revela la intensidad de la radiación solar dispersa en la región, complementando la información sobre la irradiación directa previamente mencionada.

**RADIACIÓN GLOBAL:** determinada por el albedo de una superficie, es la cantidad de radiación solar que rebota en comparación con la que incide sobre ella. El albedo, un coeficiente que varía según el tipo de superficie, influye en la cantidad de luz solar que se refleja de vuelta hacia la atmósfera. Comprender y gestionar la radiación reflejada es esencial para maximizar la eficiencia de la energía solar y mitigar el impacto del calentamiento global, ya que influye en el balance energético de la Tierra.



**Figura 1.17:** Atlas del Ecuador Insulación Promedio Global. [7]

Como se observa en la Figura 1.17, la insulación promedio global del Cantón Saraguro fluctúa entre 5400 y 5550 Wh/m<sup>2</sup>/día. Este dato engloba tanto la radiación solar directa como la difusa, proporcionando una visión completa de la energía solar disponible en la región.

Además de considerar la radiación de albedo, difusa y directa, es trascendental reconocer que cuando los rayos solares no impactan perpendicularmente sobre las capas previas a las células fotovoltaicas, como el vidrio, la capa encapsulante y la capa antirreflexiva, se producen pérdidas debido a la reflexión y la absorción.

Dado que las células solares generan una corriente específica para cada longitud de onda de la radiación solar incidente, también es necesario tener en cuenta las pérdidas por suciedad y los efectos espectrales.

### 1.8.3. Irradiación y Hora Solar Pico (HSP)

#### Irradiancia

Es una magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie de cualquier tipo de radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) en el Sistema Internacional de Unidades [11].

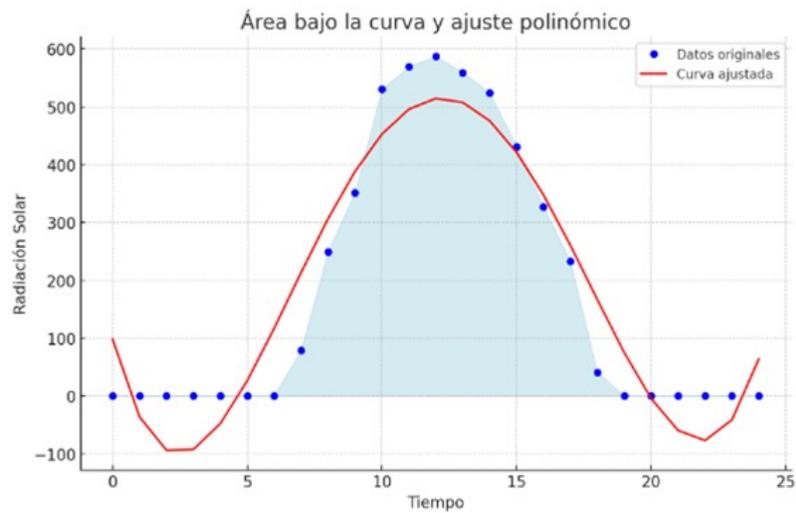
#### Irradiación

Se refiere a la cantidad total de energía solar que incide sobre una unidad de superficie durante un período de tiempo específico. Se expresa en vatios-hora por metro cuadrado ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ) o kilovatios-hora por metro cuadrado ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ). Las estimaciones promedio proporcionadas por satélites en órbita alrededor de la Tierra pueden ser ajustadas según sea necesario para obtener datos en diferentes intervalos de tiempo [11].

#### Hora Solar Pico

Las horas efectivas de Sol, también conocidas como horas de Sol equivalentes, representan la irradiación acumulada durante un intervalo de tiempo diario. Estas horas son importantes para estimar la energía que un panel solar generará a lo largo del día y, a partir de este dato, se pueden realizar interpolaciones para calcular las horas de Sol equivalentes en semanas, meses o años, así como para proyectar la producción energética a lo largo de la vida útil del panel.

Todos los paneles solares están diseñados conforme a Condiciones Estándar de Medida (CEM), las cuales definen el estándar bajo el cual un panel puede generar el 100% de su potencia nominal. La máxima potencia generada por un panel se alcanza cuando incide sobre él una irradiancia de  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ . Por consiguiente, la potencia generada por un panel solar varía de forma proporcional a la irradiancia instantánea, lo que implica que la generación de energía no es estable en el tiempo, sino que depende de la contribución de las irradiancias instantáneas [11].



**Figura 1.18:** Horas Solares Pico.

La figura 1.18 muestra la variabilidad de la irradiancia a lo largo del día, evidenciando niveles bajos durante la mañana y al atardecer, mientras que al mediodía la irradiancia puede superar los límites establecidos por las CEM. Esta variabilidad en la irradiancia subraya la importancia de comprender la dinámica diaria de la radiación solar para optimizar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA ILUMINACIÓN ACTUAL DEL PARQUE CENTRAL DE SARAGURO

En este capítulo, se presentará tanto la radiación solar como la hora solar pico que se tiene en Saraguro y un análisis detallado de los diversos puntos de medición dentro del parque. Para esto se va a ocupar datos obtenidos de la página de PVGIS. Esta herramienta nos proporcionó los datos más actuales y precisos, permitiéndonos realizar un análisis completo de las horas solares pico a lo largo de todo un año. Esta información es importantes para comprender la variabilidad y el potencial de la radiación solar en Saraguro, facilitando una evaluación detallada y respaldada.

Y para llevar a cabo las mediciones en la simulación, se emplearon mallas, las cuales nos proporcionarán la capacidad de resaltar las características presentes y futuras del parque. Este análisis se realiza con el respaldo de normativas encontradas en artículos especializados y tesis relevantes.

En las siguientes figuras, 2.1 se ofrece una visión del estado actual del Parque Central de Saraguro, junto con su correspondiente simulación realizada en Dialux Evo como podemos ver en la figura 2.2. Estas representaciones gráficas permitirán una comprensión más clara de las condiciones actuales y previstas del parque. Además, se ha incorporado la simbología adecuada para facilitar la interpretación de los resultados.



**Figura 2.1:** Parque Central Saraguro en la Actualidad  
Fuente Autores.



**Figura 2.2:** Simulación del Parque Central Saraguro en la Actualidad  
Fuente Autores.

Este enfoque integral de análisis, respaldado por normativas y herramientas de simulación avanzadas, proporciona una base sólida para comprender y mejorar el diseño y las características del Parque Central de Saraguro.

## 2.1. Radiación y Hora Solar Pico del Cantón Saraguro

Para determinar la radiación solar en el cantón Saraguro, se utilizó una combinación de fuentes técnicas. Inicialmente, se consultó el Atlas Solar para obtener una visión general de la radiación en la región. Luego, se incorporaron datos de tesis académicas relevantes que ofrecían estudios específicos sobre áreas similares, permitiendo ajustar las estimaciones preliminares.

Se complementó esta información con el Mapa Solar del Ecuador, que proporcionó una distribución detallada de la radiación solar en el país, ayudando a afinar los datos para Saraguro según su ubicación exacta. Además, se obtuvieron datos actualizados del Centro Meteorológico San Pedro, que ofrecieron mediciones directas y precisas de la radiación solar en el cantón.

Con toda esta información, se calculó la radiación solar incidente y se elaboró la curva de la hora solar pico (PSH) para Saraguro. Esta curva, que muestra el valor máximo de radiación solar durante el período de máxima insolación, es esencial para el diseño y dimensionamiento óptimo de sistemas de energía solar en la región.

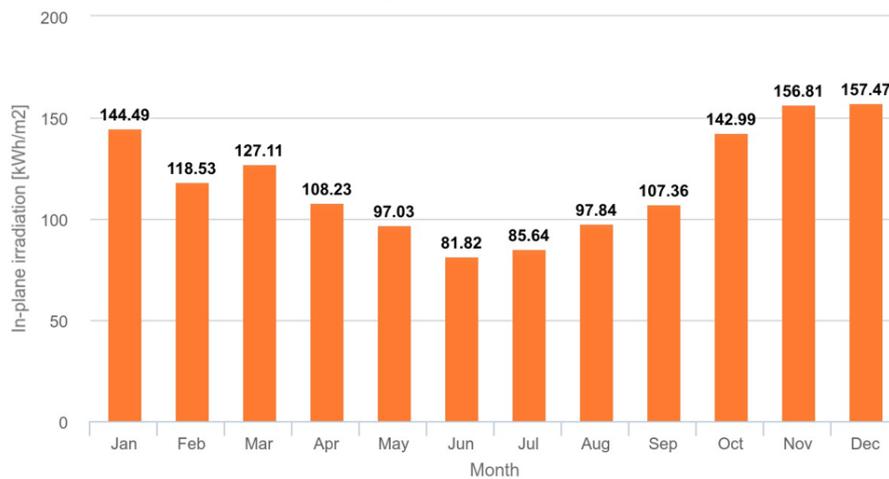
### 2.1.1. Análisis del Recurso Solar en Saraguro

Para llevar a cabo el análisis del recurso solar, se accedió a una plataforma web específica, cuya referencia será proporcionada posteriormente. Una vez en el sitio, se completaron los campos requeridos para obtener los datos de irradiación correspondientes a los años de interés. Fuente: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)PVP.

**Tabla 2.1:** Irradiación Solar desde el año 2011 al 2015

MES/AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	PROMEDIO
Jan	144,49	130,56	136,98	133,74	141,25	137,404
Feb	119,6	107,36	125,91	115,03	113,36	116,252
Mar	127,63	120,46	150,54	120,23	118,25	127,422
Apr	108,23	141,97	170,73	115,67	142,86	135,892
May	115,4	110,54	140,22	130,45	130,45	125,412
Jun	130,47	125,11	119,87	115,99	115,42	121,372
Jul	125,69	111,33	130,38	125,13	120,67	122,64
Aug	135,99	132,58	105,46	138,46	150,82	132,662
Sep	107,36	101,96	155,02	166,93	177,11	141,676
Oct	143	165,98	182,89	152,22	169,21	162,66
Nov	156,81	177,29	155,77	145,43	155,33	158,126
Dec	157,47	153,61	165,24	160,98	119,68	151,396
ANUAL	1572,14	1578,75	1739,01	1620,26	1654,41	1632,914

En la siguiente figura se presenta de manera gráfica la irradiación solar, cuyos datos fueron extraídos de la Tabla 2.1.



**Figura 2.3:** Representación Gráfica de la irradiación.

Una vez hecho eso se procederá a ir a otra pagina web que ayudara con los datos de la temperatura de todo un año, en la cual se facilitará llenar una tabla de Excel y así poder calcular las horas pico que tiene en el Cantón Saraguro. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

**Tabla 2.2:** Valores Promedio, MAX, MIN

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	PROMEDIO	MAX	MIN
Irradiación	137,404	116,252	122,898	135,892	120,392	111,642	114,63	118,202	141,676	162,66	158,126	151,396	133	163	112
Temperatura max	21,96	20,6	20,35	21,34	21,91	20,8	22,23	20,75	21,55	20,83	21,55	22,12	21	22	20
Temperatura min	10,54	11,84	10,5	10,32	10,95	10,11	11,34	11,94	11,65	10,22	10,93	10,63	11	12	10
Día nublados X semana	0,67	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	1	1	1

En la Tabla 2.2 se detallan las horas de máxima irradiación solar, donde se destaca una irradiación máxima de 162.7 kWh/m<sup>2</sup> durante 5.42 horas solares pico, seguida por una irradiación media de 132.6 kWh/m<sup>2</sup> durante 4.42 horas solares pico, y finalmente, una irradiación mínima de 111.6 kWh/m<sup>2</sup> durante 3.72 horas solares pico.

**Tabla 2.3:** Calculo De Horas Solar Pico

CÁLCULO DE HORAS SOLAR PICO (HSP)			
	MES		
	MEJOR	MEDIA	PEOR
Irradiación	162,7	136,1	116,3
HSP	5,42	4,54	3,88

### 2.1.2. Fuentes sobre la Radiación Solar Mediante Datos Meteorológicos

Para evaluar la radiación solar en una región, es fundamental utilizar datos meteorológicos precisos. Estos datos se obtienen de diversas fuentes, cada una contribuyendo a un análisis integral. Los centros meteorológicos locales, como el Centro Meteorológico San Pedro, proporcionan mediciones directas de la irradiancia solar mediante instrumentos especializados como piranómetros y radiómetros. Estos centros ofrecen datos en tiempo real, esenciales para un análisis detallado.

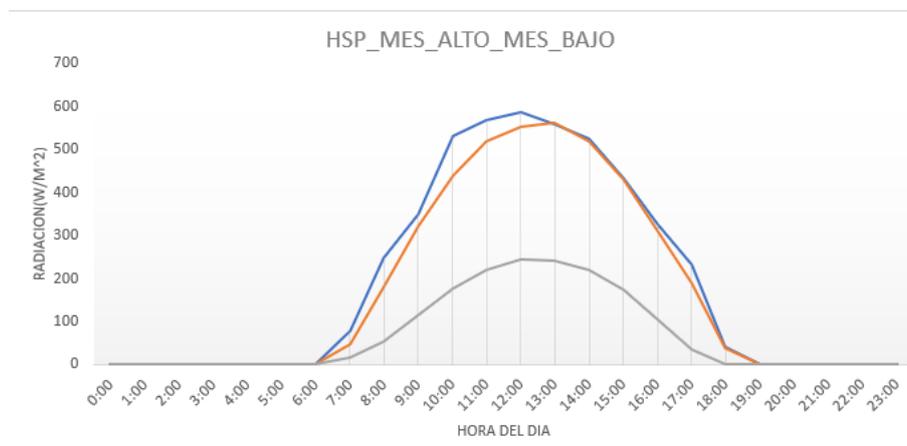
Además, las redes meteorológicas nacionales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en Ecuador, recopilan y distribuyen datos estandarizados y validados sobre la radiación solar. Estas redes aseguran consistencia y precisión en los datos a nivel regional y nacional.

**Tabla 2.4:** Datos Promedios de los meses con mas radiación y el mes mas critico

Hora	Enero	Marzo	Junio
0:00	0	0	0
1:00	0	0	0
2:00	0	0	0
3:00	0	0	0
4:00	0	0	0
5:00	0	0	0
6:00	0	0	0
7:00	79.11	47.43	16.78
8:00	248.91	179.90	53.61
9:00	350.67	322.09	116.46
10:00	530.33	438.45	177.67
11:00	568.55	518.25	221.17
12:00	587.78	553.35	244.56
13:00	558.78	561.55	242.20
14:00	524.30	520.03	221.03
15:00	431.30	430.06	175.20
16:00	327.05	312.27	105.20
17:00	232.87	187.77	36.46
18:00	41.24	36.98	0.63
19:00	0	0	0
20:00	0	0	0
21:00	0	0	0
22:00	0	0	0
23:00	0	0	0

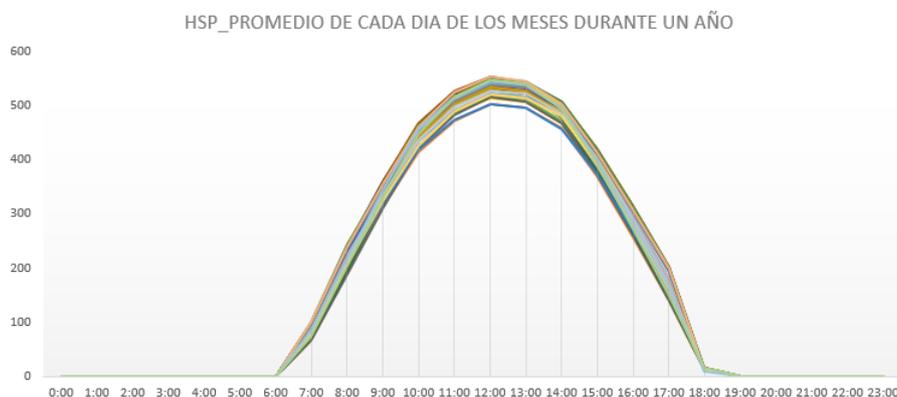
Luego de la breve Descripción se procederá a indicar la radiación de los meses con mejor radiación y el mes mas critico para así tomar una decisión sobre que mes se va hacer el análisis correspondiente.

En la Tabla 2.4 se presentan los datos obtenidos tanto de la página de PVGIS como de la estación meteorológica de Saraguro. Estos datos corresponden a los meses de enero y marzo, que representan los periodos con mayor radiación solar, y junio, que es el mes con menor radiación. Adicionalmente, se incluirán gráficos que respaldan y visualizan los datos anteriormente mencionados.



**Figura 2.4:** Gráfica comparativa de los meses de Enero, Marzo y el mes mas critico Junio.

Como se puede observar en la Figura 2.4, se presentan tres curvas que representan la radiación solar diaria promediada a lo largo de un mes. Los gráficos de color azul y naranja corresponden a los meses con mayor radiación solar diaria. Es importante destacar que los datos se registran desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas. Notablemente, se puede observar un incremento significativo en la radiación solar entre las 6:00 y las 18:00 horas. Finalmente, el gráfico de color gris representa el mes más crítico, es decir, el mes con la menor radiación solar registrada.

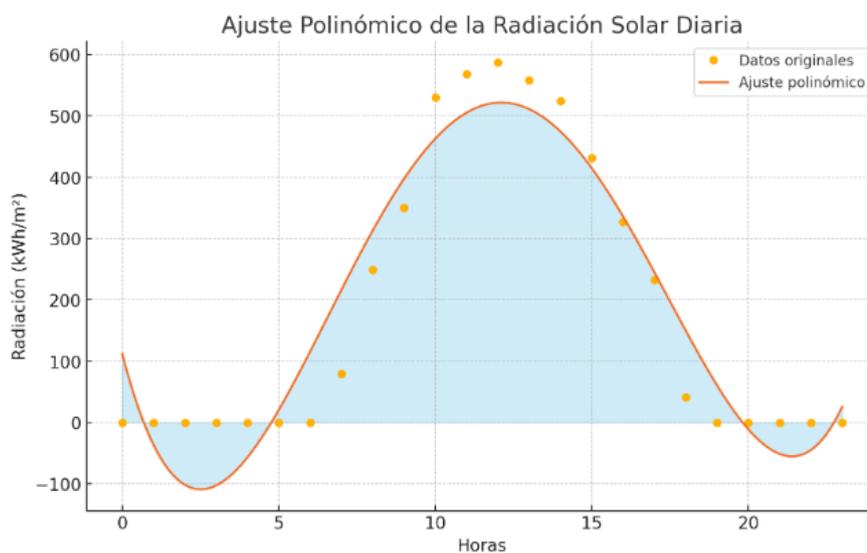


**Figura 2.5:** Gráfica de Hora Solar Pico de los días Promedio de todo un año .

Una vez elaboradas todas las gráficas comparativas, se procedió a realizar un análisis exhaustivo de las mismas. Esto implicó calcular el área bajo la curva mediante integración. En la actualidad, contamos con una amplia variedad de herramientas que facilitan la derivación rápida de la ecuación necesaria para este análisis.

Para obtener la ecuación que describe el área bajo la curva de las gráficas, se ingresaron los datos horarios desde las 00:00 hasta las 23:00 en el programa GeoGebra. De esta manera, se obtuvieron los puntos de la gráfica y se realizó un ajuste polinómico. Tras completar este paso, se derivó una ecuación polinómica de cuarto grado. Cabe destacar que, debido a la complejidad y extensión de esta ecuación, se utilizó un software especializado para resolverla y obtener el resultado final.

Utilizando los datos recopilados, se pudo determinar la radiación solar y la hora solar pico para cada mes analizado. Los resultados obtenidos indican que, para el mes de enero, la radiación solar fue de  $4.78 \text{ kWh/m}^2$ ; para marzo, fue de  $4.76 \text{ kWh/m}^2$ . El mes más crítico en términos de radiación solar fue junio, con un valor de  $4.10 \text{ kWh/m}^2$ .



**Figura 2.6:** Área bajo la curva de Enero.

En la figura 2.6 y 2.7 se presenta la área bajo la curva hecha en GeoGebra la cual nos facilito para encontrar la ecuación de los meses de enero y junio.

Una vez calculada el área bajo la curva y realizado el ajuste polinómico, se obtuvo la siguiente ecuación para el mes de enero, el cual se considera el mes con mayor radiación:

$$P(x) = 0,0758x^4 - 3,6405x^3 + 51,9971x^2 - 196,5809x + 111,3939$$

$$\int_6^{18} (0,0758x^4 - 3,6405x^3 + 51,9971x^2 - 196,5809x + 111,3939) dx$$

Calculamos la integral indefinida:

$$\begin{aligned} & \int (0,0758x^4 - 3,6405x^3 + 51,9971x^2 - 196,5809x + 111,3939) dx \\ &= 0,01516x^5 - 0,910125x^4 + 17,332367x^3 - 98,29045x^2 + 111,3939x + C \end{aligned}$$

Donde  $C$  es la constante de integración.

Evaluamos en los límites:

$$\left[ 0,01516x^5 - 0,910125x^4 + 17,332367x^3 - 98,29045x^2 + 111,3939x \right]_6^{18}$$

Evaluación en  $x = 18$ :

$$0,01516 \cdot 18^5 - 0,910125 \cdot 18^4 + 17,332367 \cdot 18^3 - 98,29045 \cdot 18^2 + 111,3939 \cdot 18$$

Evaluación en  $x = 6$ :

$$0,01516 \cdot 6^5 - 0,910125 \cdot 6^4 + 17,332367 \cdot 6^3 - 98,29045 \cdot 6^2 + 111,3939 \cdot 6$$

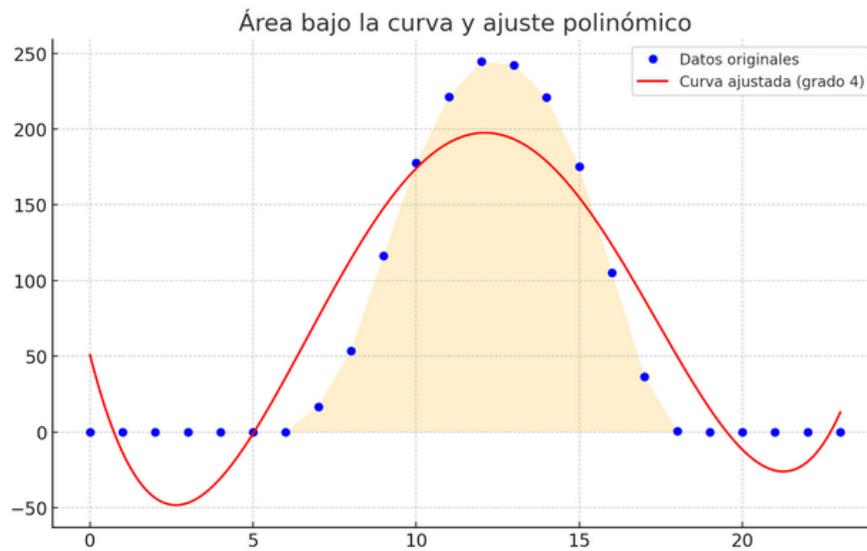
Resultado de la integral definida:

$$P(x) = 28527,96672 - 94361,76 + 97338,5712 - 28307,6496 + 1336,7268$$

$$P(x) = 4533,85Wh/m^2 \approx 4,53kWh/m^2$$

Una vez obtenido la área bajo la curva y el ajuste polinómico se obtuvo la siguiente ecuación para el mes de Junio que es considerado el mes crítico:

$$P(x) = 0,0694x^4 - 3,3973x^3 + 49,2523x^2 - 186,2497x + 104,4654$$



**Figura 2.7:** Área bajo la curva de Junio.

$$\int_6^{18} 0,0694x^4 - 3,3973x^3 + 49,2523x^2 - 186,2497x + 104,4654 dx$$

Primero, integramos cada término de la función:

$$\int P(x) dx = \int (0,0694x^4 - 3,3973x^3 + 49,2523x^2 - 186,2497x + 104,4654) dx$$

Entonces, la integral indefinida es:

$$\int P(x) dx = 0,01388x^5 - 0,849325x^4 + 16,41743x^3 - 93,12485x^2 + 104,4654x + C$$

$$\int_6^{18} P(x) dx = [0,01388x^5 - 0,849325x^4 + 16,41743x^3 - 93,12485x^2 + 104,4654x]_6^{18}$$

Evaluando en  $x = 18$ :

$$0,01388 \cdot 18^5 - 0,849325 \cdot 18^4 + 16,41743 \cdot 18^3 - 93,12485 \cdot 18^2 + 104,4654 \cdot 18$$

Evaluando en  $x = 6$ :

$$0,01388 \cdot 6^5 - 0,849325 \cdot 6^4 + 16,41743 \cdot 6^3 - 93,12485 \cdot 6^2 + 104,4654 \cdot 6$$

$$P(x) = 3443,83Wh/m^2 \approx 3,44kWh/m^2$$

El cantón Saraguro presenta un buen potencial para el aprovechamiento de la energía solar, con datos meteorológicos que indican una radiación solar promedio de 4.78 kWh/m<sup>2</sup> en enero y 4.10 kWh/m<sup>2</sup> en junio, el mes más crítico. Estos valores fueron corroborados mediante un ajuste polinómico de las curvas de radiación solar, obteniendo 4.53 kWh/m<sup>2</sup> para enero y 3.53 kWh/m<sup>2</sup> para junio.

Aunque existen pequeñas discrepancias debido al margen de error en el ajuste polinómico, la validación múltiple mediante datos meteorológicos, ecuaciones ajustadas y herramientas como PVGIS asegura la fiabilidad de los resultados. En conclusión, Saraguro es adecuado para proyectos de energía solar, con datos robustos y consistentes que respaldan su potencial solar incluso en los meses menos favorables.

## 2.2. Estado Actual de la Iluminación en Parques Urbanos en Saraguro

El Parque Central de Saraguro, situado en la latitud 3°37'22"S y longitud 79°14'18"O, es un punto de encuentro vibrante y significativo en esta encantadora localidad de la provincia de Loja, Ecuador. Con una altitud de 2570 metros sobre el nivel del mar, este espacio público se erige como el corazón social y cultural de Saraguro.

Este parque cobra especial relevancia durante las festividades, atrayendo a numerosos residentes y visitantes diariamente. En su seno, se alza imponente la Iglesia Matriz de Saraguro, un icono histórico que testimonia la profunda tradición católica del pueblo. La plaza, rodeada por la arquitectura autóctona y la calidez de la comunidad, se convierte en el escenario perfecto para la reunión de personas que buscan compartir momentos de convivencia y celebración.

La población local, arraigada en su fé católica, converge en esta plaza, dotándola de una atmósfera única y vibrante. Con eventos regulares y una constante actividad

cultural, el Parque Central de Saraguro no solo sirve como lugar de encuentro, sino también como testigo de la rica historia y la identidad arraigada en esta comunidad.

Los datos geográficos proporcionados reflejan la ubicación precisa de este punto neurálgico, invitando a aquellos que lo visitan a sumergirse en la experiencia única de Saraguro, donde la tradición, la religión y la comunidad convergen en un entorno pintoresco y acogedor.

### 2.2.1. Iluminación existente en el parque central de Saraguro

En la Figura 2.3 se presenta el diseño arquitectónico del Parque Central de Saraguro, situado en la ciudad de Loja. La infraestructura abarca una superficie de aproximadamente de 4.803,75 metros cuadrados, revelando cuidadosamente la planificación y disposición de los elementos que componen este espacio emblemático.



**Figura 2.8:** Parque Central de Saraguro  
**Fuente:** Autores.

La representación visual destaca la estructura arquitectónica que define el parque, ofreciendo una visión detallada de sus características y distribución. La totalidad de la construcción abarca un área de alrededor de 0.5 hectáreas, proporcionando así una perspectiva precisa de la extensión que ocupa este importante punto de referencia en Saraguro, dentro de la provincia de Loja.

### 2.2.2. Datos de las luminarias existentes en el parque

**Tabla 2.5:** Luminarias existentes en el parque  
**Fuente:** Autores.

Tipo	Potencia (W)	Cantidad	P. Instalada (W)
Led (tipo esfera)	47	13	611
Reflectores Led	200	5	1000
Reflectores (pileta) Led	50	4	200
Total	—	22	1811

#### Luminaria tipo esfera Led



**Figura 2.9:** Luminaria Tipo Esfera Led  
**Fuente:** Autores.

#### Las características de la luminaria son:

- Base fabricada en aleación de aluminio inyectado EN-AC 44100 color blanco.
- Difusor esférico de  $\varnothing$  450 / 500 mm. fabricado en policarbonato opal anti-vandálico estabilizado a los rayos UV.
- Dispone de boca con cuello de  $\varnothing$  Ext. 199 mm. para cierre de medio giro.
- Portalámparas E27-E40 y deflector térmico dispersor de calor fabricado en chapa de acero galvanizada.

- Tornillería en acero inoxidable.
- Fijación: Entrada vertical “Post-top” para tubo Ø 60-50 mm.

### Luminaria Reflector Led



**Figura 2.10:** Luminaria Reflector Led  
**Fuente:** Autores.

#### Las características de la luminaria son:

- Proyector de alta eficiencia, para interiores y exteriores.
- Índice de Protección IP65.
- Vidrio templado frontal.
- Diseño moderno y europeo.
- Voltaje Universal.
- Vida útil 50.000 horas a un flujo luminoso del 70 %.

### Luminaria Reflector (pileta) Led



**Figura 2.11:** Luminaria Reflector (pileta) Led.  
**Fuente:** Autores.

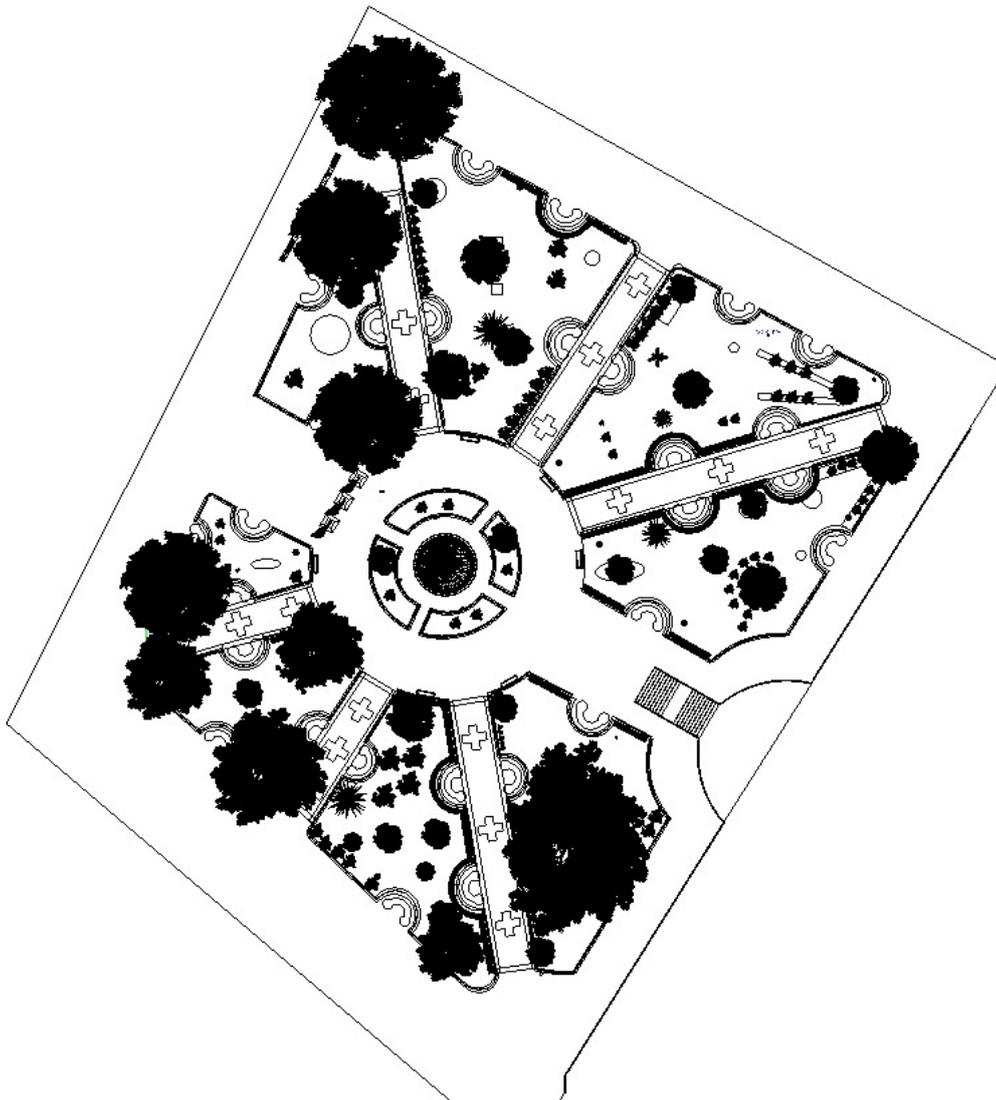
Las características de la luminaria son:

- Potencia: 50W
- Temperatura de color: 4000K
- Voltaje: 100-270V
- Frecuencia: 50/60Hz
- Ángulo de apertura: 120°
- Horas de vida: 30000H
- Grado de protección: IP65

### 2.3. Simulación del estado actual del Parque Central de Saraguro usando Dialux Evo

La Figura 2.12 presenta un plano en 2D creado con Dialux Evo que detalla la situación actual de la iluminación en el Parque Central de Saraguro. El estado actual del Parque Central de Saraguro presenta notables carencias en diversos aspectos lumínicos, destacando deficiencias en la calidad general de la iluminación, la falta de uniformidad en la distribución lumínica y la presencia de áreas oscuras que comprometen la seguridad y la experiencia de los visitantes.

En este contexto, es importante subrayar que la ausencia de fuentes de energía renovable en el parque implica una dependencia significativa de la red eléctrica convencional. Este escenario no solo contribuye a un consumo energético elevado, sino que también genera costos considerables para la entidad encargada de cubrir los gastos de iluminación. La necesidad de utilizar exclusivamente la red eléctrica tradicional no solo implica un impacto económico desfavorable, sino que también conlleva un mayor consumo de recursos no renovables, contribuyendo así a la huella ambiental del parque.



**Figura 2.12:** Parque Central de Saraguro hecho en Dialux Evo.  
**Fuente:** Autores.

Finalmente una evaluación minuciosa de la iluminación en el Parque Central de Saraguro pone de manifiesto diversas deficiencias que inciden tanto en la percepción visual del entorno como en la eficiencia energética del espacio. La presencia de zonas con iluminación irregular y áreas oscuras no solo compromete la seguridad de los visitantes, sino que también influye negativamente en la estética global del parque, reduciendo su atractivo turístico.

Las próximas figuras proporcionarán datos importantes para realizar comparativas entre los niveles de iluminación, incluyendo su uniformidad media, mínima y máxima. Estos datos serán fundamentales para identificar áreas específicas que requieren mejoras en los niveles de iluminación, contribuyendo así a lograr una iluminación más efectiva y uniforme en el Parque Central de Saraguro.

### 2.3.1. Caminera Central



**Figura 2.13:** Caminera Central.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.13 se realizó un mallado tanto en la pileta central como las cuatro camineras que se puede observar anteriormente. Luego se procedió a simular y se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.6

**Tabla 2.6:** Caminera Central  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Central	
Media	8.97 lx
Minima	0.070 lx
Maxima	49.7 lx
Uniformidad	0.008

En la tabla 2.6 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.008 y la iluminación es de 8.97 lx.

### 2.3.2. Caminera secundaria 1



**Figura 2.14:** Caminera Secundaria 1.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.14 se realizó un mallado en las camineras secundarias, se procedió a colocar con el nombre de caminera uno, en consecuencia de que tiene tres camineras más por lo cual se procedió a realizar las mallas a todas las camineras del parque. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.7

**Tabla 2.7:** Caminera Secundaria 1  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 1	
Media	4.14 lx
Minima	0.00 lx
Maxima	15.5 lx
Uniformidad	0.00

En la tabla 2.7 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.00 y la iluminación es de 4.14 lx.

### 2.3.3. Caminera secundaria 2



**Figura 2.15:** Caminera Secundaria 2.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.15 se realizó un mallado en las camineras secundarias, se procedió a colocar con el nombre de caminera dos, por lo que se tienen dos camineras más. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.8

**Tabla 2.8:** Caminera Secundaria 2  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 2	
Media	1.64 lx
Minima	0.00 lx
Maxima	9.61 lx
Uniformidad	0.00

En la tabla 2.8 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.00 y la iluminación es de 1.64 lx.

### 2.3.4. Caminera secundaria 3



**Figura 2.16:** Caminera Secundaria 3.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.16 se realizó un mallado en las camineras secundarias, se procedió a colocar con el nombre de caminera tres, por consiguiente se tiene una caminera mas. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.9

**Tabla 2.9:** Caminera Secundaria 3  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 3	
Media	7.34 lx
Minima	0.11 lx
Maxima	31.6 lx
Uniformidad	0.003

En la tabla 2.9 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.003 y la iluminación es de 7.34 lx.

### 2.3.5. Caminera secundaria 4



**Figura 2.17:** Caminera Secundaria 4.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.17 se realizó un mallado en las camineras secundarias, se procedió a colocar con el nombre de caminera cuatro y esta sería la última caminera que tiene el parque. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.10

**Tabla 2.10:** Caminera Secundaria 4  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 4	
Media	2.85 lx
Minima	0.00 lx
Maxima	10.3 lx
Uniformidad	0.00

En la tabla 2.10 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.00 y la iluminación es de 2.85 lx.

### 2.3.6. Jardinera 1



**Figura 2.18:** Jardinera 1

**Fuente:** Autores.

En la figura 2.18 se realizó un mallado en las Jardineras, como se pudo observar anteriormente se tienen ocho jardineras por lo que se procedió a colocar con el nombre de Jardinera uno. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.11

**Tabla 2.11:** Jardinera 1

**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 1	
Media	5.13 lx
Minima	0.096 lx
Maxima	19.3 lx
Uniformidad	0.019

En la tabla 2.11 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.019 y la iluminación es de 5.13 lx.

### 2.3.7. Jardinera 2



**Figura 2.19:** Jardinera 2.

**Fuente:** Autores.

En la figura 2.19 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera dos, por lo que faltarían seis Jardineras más por analizar. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.12

**Tabla 2.12:** Jardinera 2

**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 2	
Media	0.005 lx
Minima	0.00 lx
Maxima	0.28 lx
Uniformidad	0.00

En la tabla 2.12 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.00 y la iluminación es de 0.005 lx.

### 2.3.8. Jardinera 3



**Figura 2.20:** Jardinera 3.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.20 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera tres, por lo que faltarían cinco Jardineras más por analizar. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.13

**Tabla 2.13:** Jardinera 3  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 3	
Media	25.6 lx
Minima	0.11 lx
Maxima	231 lx
Uniformidad	0.004

En la tabla 2.13 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.004 y la iluminación es de 25.6 lx.

### 2.3.9. Jardinera 4



**Figura 2.21:** Jardinera 4.  
**Fuente:** Autores.

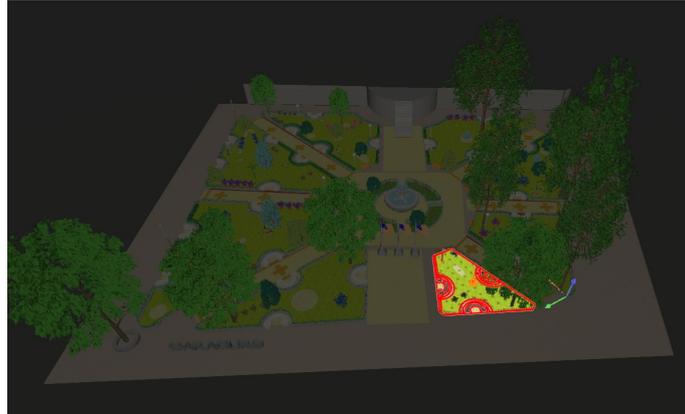
En la figura 2.21 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera cuatro, por lo que faltarían cuatro Jardineras más por evaluar. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.14

**Tabla 2.14:** Jardinera 4  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 4	
Media	3.32 lx
Minima	0.007 lx
Maxima	13.0 lx
Uniformidad	0.002

En la tabla 2.14 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.002 y la iluminación es de 3.32 lx.

### 2.3.10. Jardinera 5



**Figura 2.22:** Jardinera 5.

**Fuente:** Autores.

En la figura 2.22 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera cinco, por lo que faltarían tres Jardineras más por revisar. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.15

**Tabla 2.15:** Jardinera 5

**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 5	
Media	6.92 lx
Minima	0.003 lx
Maxima	60.6 lx
Uniformidad	0.000

En la tabla 2.15 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.000 y la iluminación es de 6.92 lx.

### 2.3.11. Jardinera 6



**Figura 2.23:** Jardinera 6.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 2.23 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera seis, por lo que faltarían dos Jardineras más por estudiar. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.16

**Tabla 2.16:** Jardinera 6  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 6	
Media	8.48 lx
Minima	0.040 lx
Maxima	38.9 lx
Uniformidad	0.005

En la tabla 2.16 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.005 y la iluminación es de 8.48 lx.

### 2.3.12. Jardinera 7



**Figura 2.24:** Jardinera 7.

**Fuente:** Autores.

En la figura 2.24 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera siete, por lo que faltarían una Jardineras más por ir viendo. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.17

**Tabla 2.17:** Jardinera 7

**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 7	
Media	6.30 lx
Minima	0.014 lx
Maxima	33.6 lx
Uniformidad	0.022

En la tabla 2.17 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.022 y la iluminación es de 6.30 lx.

### 2.3.13. Jardinera 8



**Figura 2.25:** Jardinera 8.  
**Fuente:** Autores.

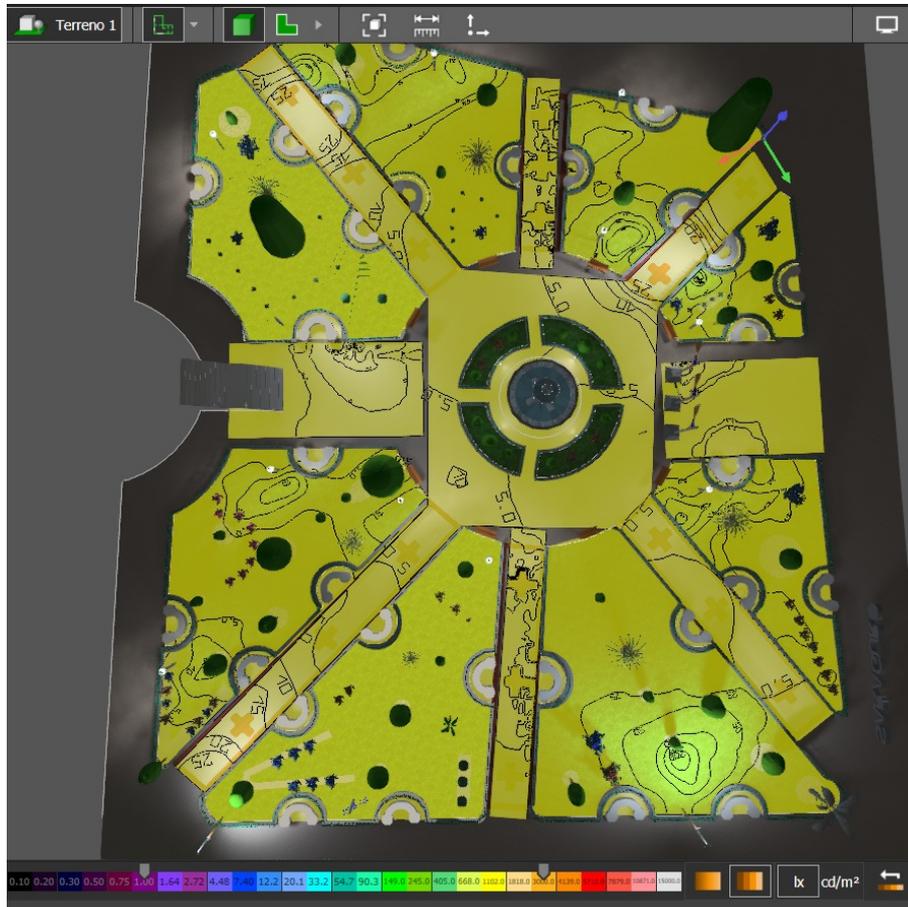
En la figura 2.25 se realizó un mallado en todas las ocho Jardineras, esta jardinera se le colocó el nombre de jardinera ocho, por lo que sería la última Jardinera que tiene el parque. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 2.18

**Tabla 2.18:** Jardinera 8  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 8	
Media	16.6 lx
Minima	0.25 lx
Maxima	31.1 lx
Uniformidad	0.015

En la tabla 2.18 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.015 y la iluminación es de 16.6 lx.

En la Figura 2.26 se presentan las mallas utilizadas para visualizar los diversos datos actuales del parque. Se observa que la uniformidad y luminancia no son adecuadas, lo que indica la necesidad de implementar mejoras en el diseño del parque.



**Figura 2.26:** Parque Central Saraguro mallas General.  
**Fuente:** Autores.

## 2.4. Estudio Fotométrico de la Iluminación en el Parque Central de Saraguro: Caracterización de Luminarias y Mediciones de Lux y Luminancia

Las siguientes tablas muestran los resultados de un estudio fotométrico llevado a cabo en el Parque Central de Saraguro. Este estudio se centró en la evaluación de las luminarias existentes en el parque y en la medición de los niveles de iluminación utilizando un luxómetro y un luminancímetro. Los datos recopilados proporcionan una visión detallada de la distribución de la luz en el área, así como la eficacia de las luminarias actuales en términos de proporcionar una iluminación adecuada y uniforme en diferentes zonas del parque.

### 2.4.1. Tablas de valores de luminancia medidos por el luminancímetro

**Tabla 2.19:** Mediciones Punto 1  
**Fuente:** Autores.

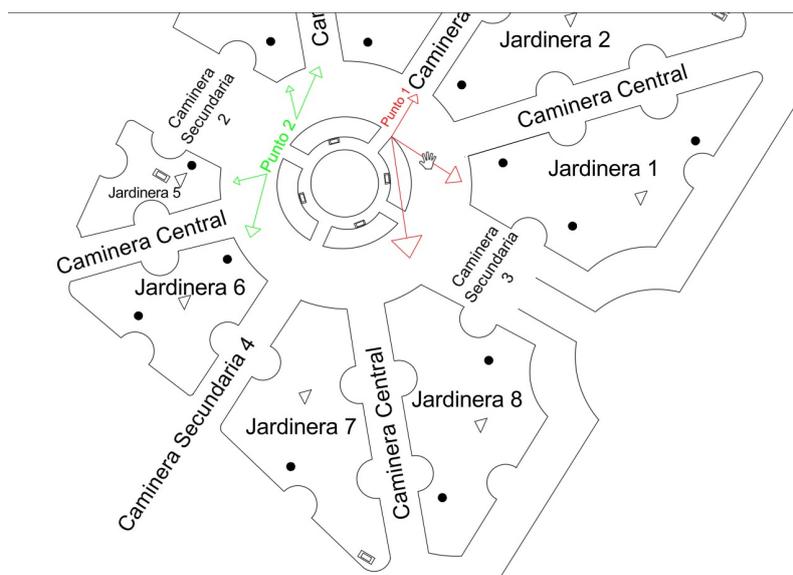
Punto1	Enfocado Secundaria1	
	A=2412	A-B=-2411
	B=0.48	A %=-99.98 %
	Enfocado Jardinera1	
	A=1067	A-B=-1066
	B=0.43	A %=-99.95 %
	Enfocado Jardinera8	
	A=1382	A-B=-1381
	B=0.44	A %=-99.96 %

En la tabla 2.19 se presentan las mediciones del punto 1, centradas en la Caminera secundaria 1, Jardinera 1 y Jardinera 8, con los valores expresados en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.20:** Mediciones Punto 2  
**Fuente:** Autores.

Punto2	Enfocado Caminera Principal(Jardinera 3)	
	A=1248	A-B=1247
	B=0.58	A %=-99.95 %
	Enfocado Jardinera4	
	A=1226	A-B=1225
	B=0.56	A %=-99.95 %
	Enfocado Jardinera5	
	A=74370	A-B=73469.8
	B=900.2	A %=-98.78 %
	Enfocado Jardinera6	
	A=1253	A-B=1252
	B=0.52	A %=-99.95 %

En la tabla 2.20 se llevaron a cabo las mediciones en el punto 2, centrándose en la caminera principal con respecto a la Jardinera 3, así como en las Jardineras 4, 5 y 6. Los valores se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.27:** Croquis de las mediciones de los puntos 1 y 2.  
**Fuente:** Autores.

La figura 2.27 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 1, se concentró en la caminera secundaria 1, y en las jardineras 1 y 8. En el punto 2, se abordó la caminera principal (jardinera 3) y las jardineras 4, 5 y 6.

**Tabla 2.21:** Mediciones Punto 3  
**Fuente:** Autores.

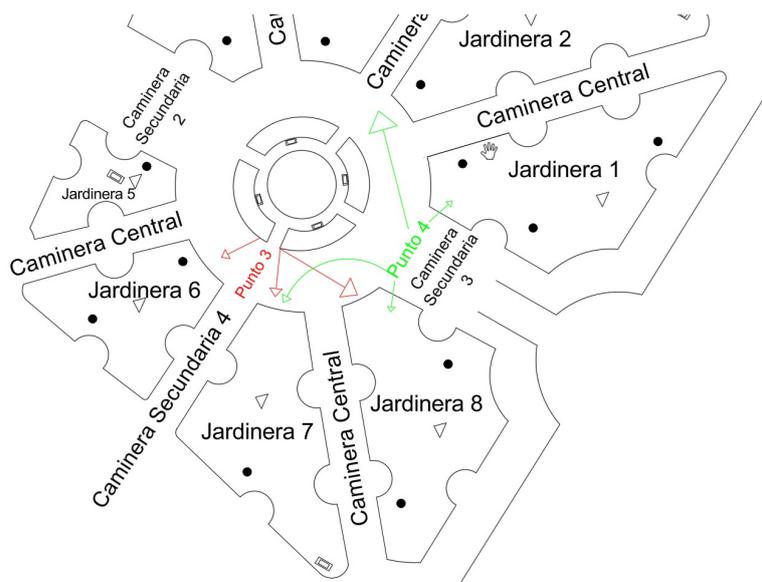
Punto3	Enfocado Jardinera6	
	A=1012	A-B=-512
	B=1524	A %=59.59 %
	Enfocado Jardinera7	
	A=957.5	A-B=43
	B=914.5	A %=-44.90 %
	Enfocado Jardinera8	
	A=67560	A-B=65.942
	B=1618	A %=-97.60 %

En la tabla 2.21 se llevaron a cabo las mediciones en el punto 3, centrándose en la Jardinera 6, 7, 8. Los valores se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.22:** Mediciones Punto 4  
**Fuente:** Autores.

Punto4	Enfocado Jardinera7	
	A=1098	A-B=847.1
	B=250.9	A %=-77.14 %
	Enfocado Jardinera8	
	A=67510	A-B=66674.5
	B=835.5	A %=-98.76 %
	Enfocado Jardinera1	
	A=805.2	A-B=-426.8
	B=1232	A %=53 %
	Enfoque Caminera1	
	A=25570	A-B=23.195
	B=2375	A %=-90.71 %

En la tabla 2.22 se llevaron a cabo las mediciones en el punto 4, centrándose en la Jardinera 7, 8, 1 y Caminera 1. Los valores se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.28:** Croquis de las mediciones de los puntos 3 y 4.

**Fuente:** Autores.

La figura 2.28 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 3, se concentró en la jardinera 6, 7 y 8. En el punto 4, se abordó las jardinerías 7, 8,1 y finalmente en la caminera 1.

**Tabla 2.23:** Mediciones Punto 5

**Fuente:** Autores.

Punto5	Enfocado Jardinera1	A=0.66
	Enfocado Caminera central	A=2.29
	Enfocado Jardinera2	A=0.97

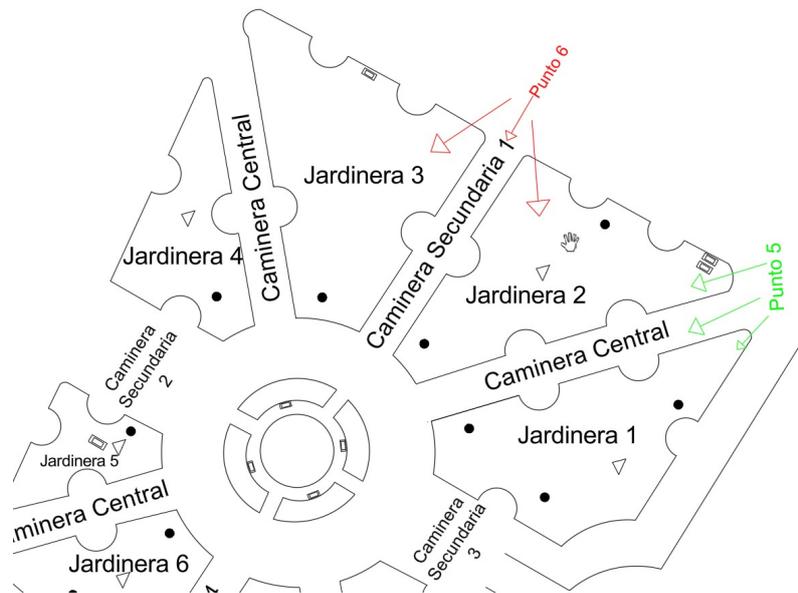
En la tabla 2.23 se realizaron las mediciones en el punto 5, enfocándose en la Jardinera 1, 2 y la Caminera central entre jardinera 1 y 2. Los valores presentados están expresados únicamente en (A), y todos los valores que faltan son similares a las mediciones anteriores. Y Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.24:** Mediciones Punto 6

**Fuente:** Autores.

Punto6	Enfocado Jardinera2	A=0.54
	Enfocado Caminera Sec1	A=4.35
	Enfocado Jardinera3	A=0.49

En la tabla 2.24 se realizaron las mediciones en el punto 6, enfocándose en la Jardinera 2, 3 y la Caminera secundaria 1. Los valores presentados están expresados únicamente en (A), todos los valores que faltan son similares a las mediciones anteriores. Y Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.29:** Croquis de las mediciones de los puntos 5 y 6.

**Fuente:** Autores.

La figura 2.29 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 5, se concentró en la jardinera 1,2 y en la caminera central entre jardinera 1 y 2. En el punto 6, se abordó las jardineras 2,3 y en la caminera secundaria 1.

**Tabla 2.25:** Mediciones Punto 7

**Fuente:** Autores.

Punto7	Enfocado Caminera Sec4	A=2.26
	Enfocado Jardinera8	A=0.62
	Enfocado Jardinera1	A=0.56

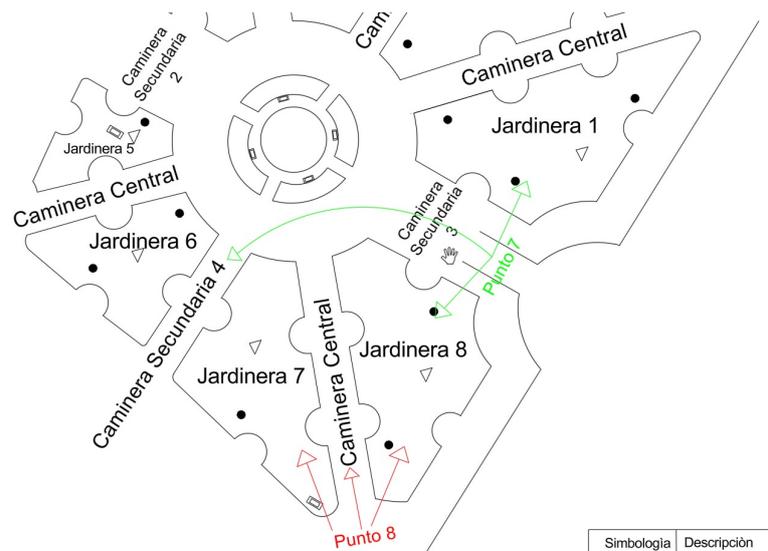
En la tabla 2.25 se realizaron las mediciones en el punto 7, enfocándose en la Jardinera 8, 1 y la Caminera secundaria 4. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.26:** Mediciones Punto 8

**Fuente:** Autores.

Punto8	Enfocado Jardinera7	A=1.63
	Enfocado Caminera	A=0.97
	Enfocado Jardinera8	A=0.52

En la tabla 2.26 se realizaron las mediciones en el punto 8, enfocándose en la Jardinera 7, 8 y la Caminera central entre jardinera 7 y 8. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.30:** Croquis de las mediciones de los puntos 7 y 8.  
**Fuente:** Autores.

La figura 2.30 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 7, se concentró en la jardinera 1,8 y en la caminera secundaria 4. En el punto 8, se abordó las jardineras 7,8 y en la caminera central entre jardinera 7 y 8.

**Tabla 2.27:** Mediciones Punto 9  
**Fuente:** Autores.

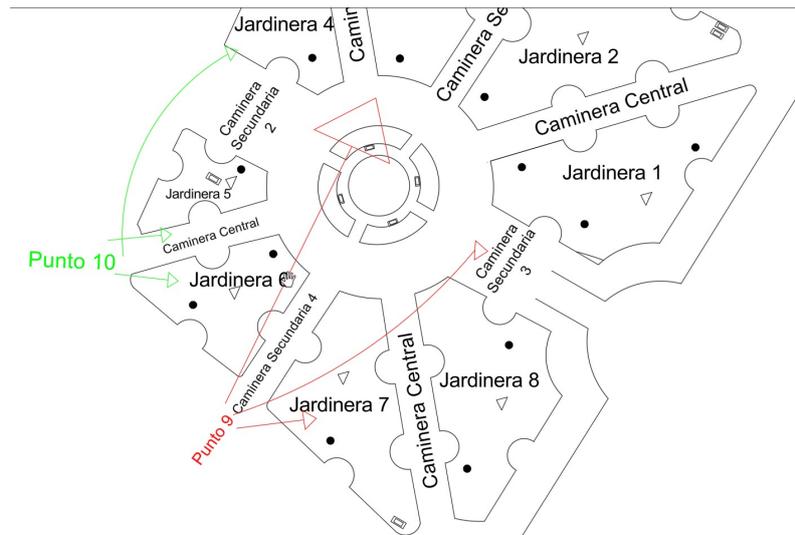
Punto9	Enfocado Jardinera 7	A=0.56
	Enfocado Caminera Sec3	A=2.65
	Enfocado Jardinera3	A=0.48

En la tabla 2.27 se realizaron las mediciones en el punto 9, enfocándose en la Jardinera 8, 3 y la Caminera secundaria 3. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.28:** Mediciones Punto 10  
**Fuente:** Autores.

Punto10	Enfocado Jardinera6	A=1.24
	Enfocado Caminera central	A=4.01
	Enfocado Jardinera4	A=0.55

En la tabla 2.28 se realizaron las mediciones en el punto 10, enfocándose en la Jardinera 6, 4 y la Caminera central entre la jardinera 5 y 6. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.31:** Croquis de las mediciones de los puntos 9 y 10.

**Fuente:** Autores.

La figura 2.31 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 9, se concentró en la jardinera 3,8 y en la caminera secundaria 3. En el punto 10, se abordó las jardineras 4,6 y en la caminera central entre la jardinera 5 y 6 .

**Tabla 2.29:** Mediciones Punto 11

**Fuente:** Autores.

Punto11	Enfocado Jardinera6	A=0.71
	Enfocado Caminera Sec2	A=3.58
	Enfocado Jardinera3	A=0.56

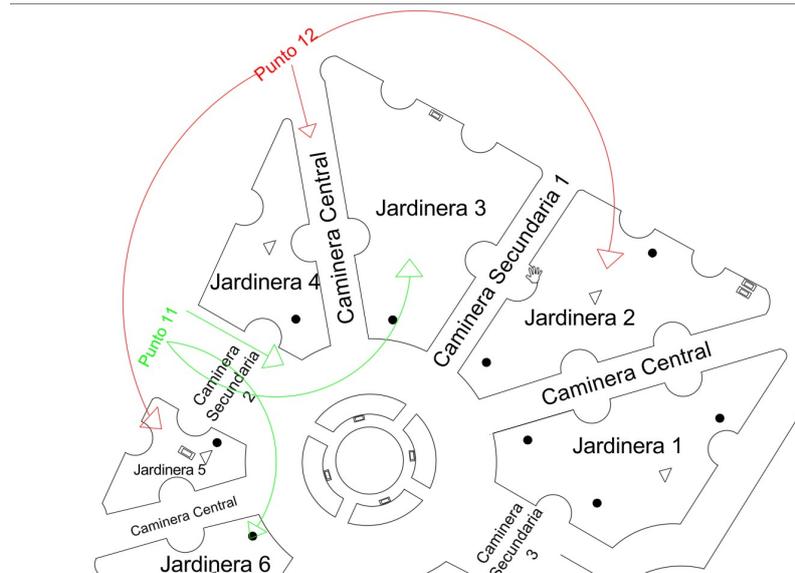
En la tabla 2.29 se realizaron las mediciones en el punto 11, enfocándose en la Jardinera 6, 3 y la Caminera secundaria 2. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**Tabla 2.30:** Mediciones Punto 12

**Fuente:** Autores.

Punto12	Enfocado Jardinera5	A=0.68
	Enfocado Caminera	A=0.79
	Enfocado Jardinera2	A=0.86

En la tabla 2.30 se realizaron las mediciones en el punto 12, enfocándose en la Jardinera 5, 2 y la Caminera central entre jardinera 3 y 4. Las mediciones se expresan en candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).



**Figura 2.32:** Croquis de las mediciones de los puntos 11 y 12.

**Fuente:** Autores.

La figura 2.32 muestra un dibujo preliminar de las mediciones realizadas. En el punto 11, se concentró en la jardinera 3,6 y en la caminera secundaria 2. En el punto 12, se abordó las jardineras 2,5 y en la caminera central entre jardinera 3 y 4 .

En la tabla se ven valores negativos para  $A\%$ , lo que sugiere que el instrumento no está midiendo correctamente, posiblemente debido a problemas de iluminación o porque está fuera de rango. Para solucionarlo, primero hay que verificar si el objeto está bien iluminado. Si lo está, entonces habría que revisar la fuente de luz, ya que una defectuosa puede afectar las mediciones. Dado que hay luminarias defectuosas en el parque central de Saraguro, podrían ser la causa del problema.

Y nuevamente, los valores de  $A\%$  siguen siendo negativos. Como se mencionò, esto probablemente se debe a la iluminación inadecuada. La solución sería instalar luminarias apropiadas y volver a realizar las mediciones.

### 2.4.2. Tablas de valores de iluminancia medidos por el luxómetro

**Tabla 2.31:** Mediciones con luxómetro en las Jardineras 1,2,3,4,5.

**Fuente:** Autores.

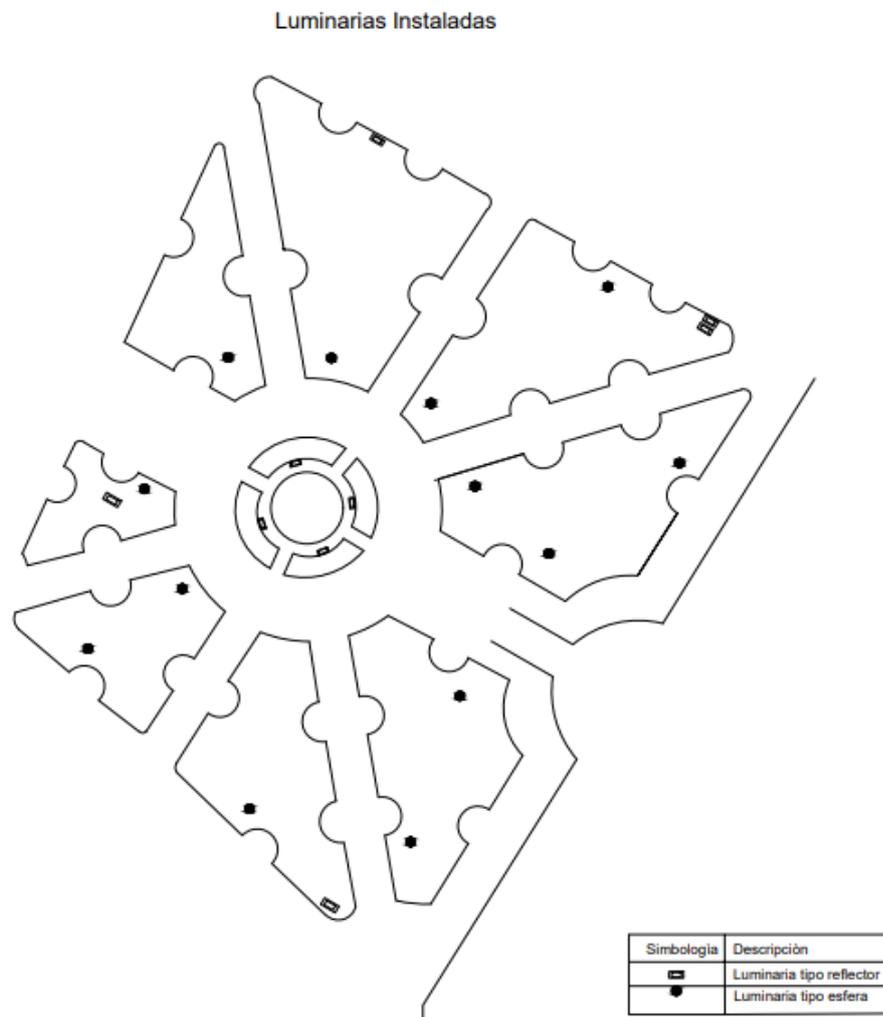
Jardinera 1	1	24.1
	2	15.1
	3	6.6
Jardinera 2	rf	44.3
	4	9.9
	5	27.4
Jardinera 3	6	14.5
	rf	89
Jardinera 4	8	11.6
Jardinera 5	9	34.9
	rf	141.8

**Tabla 2.32:** Mediciones con luxómetro en las Jardineras 6,7,8.

**Fuente:** Autores.

Jardinera 6	11	25.5
	12	12.2
Jardinera 7	13	56
	rf	4.5
	15	39.5
Jardinera 8	rf	199.1
	17	24.2
	18	7.6
	19	23.2

### 2.4.3. Plano en AutoCad de Luminarias Instaladas Actualmente



**Figura 2.33:** Plano en AutoCad de las Luminarias Instaladas Actualmente.

## **2.5. Avances tecnológicos vinculados a los sistemas fotovoltaicos en parques urbanos.**

### **2.5.1. Tecnologías de Iluminación Convencionales frente a Sistemas Fotovoltaicos en el contexto de Saraguro**

En el contexto específico de Saraguro, donde el acceso a la electricidad puede ser limitado, la comparación entre tecnologías de iluminación convencionales y sistemas fotovoltaicos se vuelve primordial. Las tecnologías convencionales, como lámparas incandescentes y fluorescentes, han sido históricamente la opción predominante, pero su eficiencia y sostenibilidad. Por otro lado, los sistemas fotovoltaicos, aprovechando la energía solar, representan una alternativa prometedora, aunque la viabilidad económica y la adaptabilidad a las condiciones locales son factores determinantes.

Este estudio busca mejorar los niveles de iluminación teniendo en cuenta las implicaciones económicas, sociales y ambientales de la elección entre tecnologías convencionales y sistemas fotovoltaicos en Saraguro, proporcionando datos concretos y recomendaciones para informar futuras decisiones en la implementación de soluciones energéticas en el sector.

### **2.5.2. Desarrollos Tecnológicos y Tendencias en Sistemas Fotovoltaicos Aplicados a Parques Urbanos**

La innovación en paneles solares y energía fotovoltaica se centra en la investigación de nuevos materiales y diseños para mejorar la eficiencia y aumentar la generación de energía a partir de la luz solar. Actualmente, los paneles solares enfrentan limitaciones, como pérdidas por calentamiento y reflexión de la luz solar [23].

Los científicos buscan superar estas limitaciones mediante el desarrollo de materiales avanzados, como la perovskita, que posee propiedades fotovoltaicas superiores. Además, se investiga la creación de paneles solares transparentes que puedan integrarse en elementos arquitectónicos, permitiendo la captación de luz solar sin comprometer la estética de edificios y estructuras urbanas. Estos avances buscan maximizar la eficiencia y la accesibilidad de la energía solar [23].

De acuerdo con proyecciones de la ONU, se espera que la contribución de las energías renovables a la generación eléctrica aumente del 25 % actual a más del 40 % para el año 2040. Entre las fuentes renovables, la energía solar fotovoltaica destaca por su notable potencial productivo, estimado en 613 PWh anuales según un estudio publicado en la revista *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* [24].

### 2.5.3. Casos de Estudio Relevante en Proyectos de Iluminación con Sistemas Fotovoltaicos en Entornos Similares

La integración de sistemas fotovoltaicos en proyectos de iluminación ofrece soluciones sostenibles en diversos entornos. Casos de estudio, como parques solares urbanos o sistemas en áreas rurales, revelan la eficacia y beneficios de estas implementaciones. Estos ejemplos proporcionan lecciones valiosas para el diseño exitoso de soluciones de iluminación sostenible, contribuyendo a la transición hacia fuentes de energía renovable y reduciendo la dependencia de fuentes convencionales [6].

En resumen, estos estudios resaltan el potencial transformador de la energía solar en proyectos de iluminación, guiando iniciativas futuras hacia soluciones más eficientes y respetuosas con el medio ambiente [6].

A continuación, se detallan algunos casos de estudio a nivel global que destacan la efectividad de la integración de sistemas fotovoltaicos en proyectos de iluminación:

#### 1. Parque Solar de Iluminación Pública en Ciudad de México:

**Contexto:** Implementación exitosa de iluminación pública mediante un parque solar en una metrópoli.

**Resultados:** Significativa reducción de costos de energía y emisiones de carbono, mejorando la seguridad urbana.

#### 2. Sistema de Iluminación Solar en Áreas Rurales de India:

**Contexto:** Despliegue de sistemas de iluminación solar en aldeas sin acceso a la red eléctrica convencional.

**Resultados:** Mejora de la calidad de vida, facilitando el acceso a iluminación nocturna para estudios y actividades productivas.

#### 3. Sistema de Iluminación Solar en Parques Urbanos en Singapur:

**Contexto:** Implementación de iluminación solar para fomentar la sostenibilidad en parques urbanos.

**Resultados:** Mejora estética del parque, reducción de costos operativos a largo plazo e integración con diseño paisajístico.

#### 4. Sistema Híbrido Solar-Eólico en Proyecto de Iluminación en África:

**Contexto:** Utilización de sistemas híbridos para iluminar áreas rurales en África.

**Resultados:** Mayor fiabilidad mediante la combinación de fuentes de energía, facilitando el acceso a iluminación en zonas con recursos limitados.

## 2.6. Análisis de la Vida Útil y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos en Parques Urbanos

### 2.6.1. Beneficios del Mantenimiento

En líneas generales, los sistemas fotovoltaicos (SFV) se destacan por su confiabilidad y seguridad, con una vida útil que puede llegar hasta los 25 años. A pesar de su robustez, estos sistemas están expuestos a condiciones ambientales adversas, como cambios abruptos de temperatura, precipitaciones, tormentas, radiación ultravioleta y contaminación, que a lo largo del tiempo pueden incidir en su rendimiento [8].

Aunque todos los componentes de un SFV deben cumplir con requisitos normativos para su instalación al aire libre, pueden surgir fallas, como un fusible defectuoso, que, si bien a veces son reparable a bajo costo, en otros casos afectan significativamente el rendimiento y los ahorros previstos en la factura de electricidad [8]. Los beneficios derivados de la aplicación de un Plan de Operación y Mantenimiento (O&M) se reflejan, por ejemplo, en:

- Optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico (SFV), incrementando la cantidad de energía generada durante su funcionamiento.
- Maximizar la eficiencia operativa del SFV, garantizando una mayor disponibilidad de la planta y una mayor producción de energía.
- Prolongar la vida útil de la instalación fotovoltaica.

- Reducir al mínimo los costos asociados con la operación y el mantenimiento del SFV.

Por otro lado el financiamiento del mantenimiento en plantas fotovoltaicas depende de las circunstancias del propietario, y la implementación de un Plan de Operación y Mantenimiento (O&M) puede considerar opciones como la utilización de personal propio, la contratación de la empresa instaladora o la contratación de un proveedor externo. La elección de un contrato de mantenimiento ofrece la ventaja de contar con personal especializado y reportes detallados sobre el estado del sistema, pero requiere una contraparte técnica para validar el plan [8].

Algunos contratos transfieren los riesgos al contratista, brindando ventajas legales y financieras al dueño. Antes de decidir, es crucial realizar un análisis detallado de costos y beneficios, tema que se explorará en el próximo capítulo sobre contratos de O&M comunes.

### **2.6.2. Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo del sistema fotovoltaico (SFV) busca prevenir o minimizar posibles fallas, aumentando así su disponibilidad y prolongando su vida útil. Este enfoque se debe equilibrar para asegurar que los costos asociados no superen los beneficios obtenidos. Los protocolos específicos de mantenimiento varían según el sistema y su entorno, siendo influenciados por condiciones ambientales como humedad, gradientes térmicos, nieve, aves, radiación ultravioleta, ambientes marinos, vientos fuertes, emisiones industriales y polvo proveniente de actividades cercanas [8].

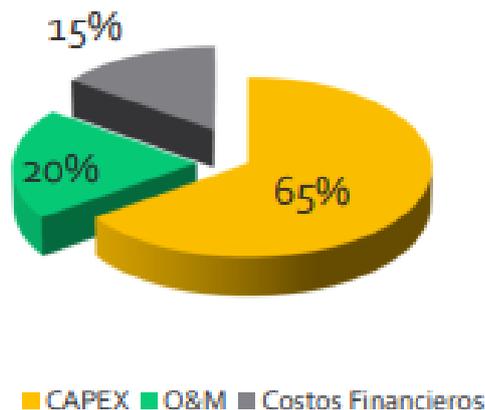
### **2.6.3. Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo abarca todas las acciones de reparación o reemplazo de componentes necesarios para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema a lo largo de su vida útil. A pesar de que el mantenimiento preventivo busca minimizar las reparaciones imprevistas, es esencial comprender sus procedimientos para abordar situaciones que demanden acciones inmediatas. Esto contribuye a reducir los costos asociados con el tiempo de inactividad no planificado del sistema o la disminución en la generación de energía [8].

#### 2.6.4. Ahorro y Costo en (O&M)

A pesar de que los sistemas fotovoltaicos (SFV) requieren menos mantenimiento en comparación con otras fuentes de generación eléctrica, el cuidado adecuado sigue siendo esencial para garantizar su rendimiento óptimo. Aunque el mantenimiento de los SFV generalmente implica costos bajos, las correcciones de fallas suelen compensar estos gastos, asegurando así el retorno de la inversión [8].

No obstante, es crucial reconocer que un SFV que no funcione correctamente no generará ahorros, por lo que se debe evaluar cuidadosamente el equilibrio entre posibles pérdidas debido a un mal funcionamiento y los costos asociados con el mantenimiento. La gráfica adjunta proporciona una visualización del impacto de los costos de mantenimiento en los costos totales del proyecto a lo largo de su vida útil [8].



**Figura 2.34:** Costos totales del proyecto durante su vida útil [8].

- **CAPEX:** CAPEX (Gasto de Capital) es la inversión que realiza una empresa en la adquisición o mejora de activos físicos a largo plazo, como maquinaria, edificios o infraestructura, necesarios para su operación y crecimiento.
- **O&M:** (Operación y Mantenimiento) es clave en sectores como la energía, la manufactura, el transporte, la construcción y muchos otros donde la confiabilidad y la eficiencia operativa son esenciales para el éxito del negocio.
- **Costos Financieros:** son los gastos relacionados con la obtención y uso de financiamiento externo, como intereses de préstamos, comisiones bancarias, y costos asociados a la emisión de deuda. Estos gastos afectan la rentabilidad al aumentar los costos totales de la empresa.

## CAPÍTULO 3

### **Estudio Integral sobre la Viabilidad Económica y Técnica de la Iluminación Fotovoltaica en parques urbanos, ofreciendo propuestas Innovadoras a futuro**

En el tercer capítulo se expondrán una serie de puntos destinados a alcanzar los objetivos establecidos. Inicialmente, se presentará una propuesta detallada sobre la implementación de los paneles solares, apoyada en un diseño tridimensional desarrollado con el software EPIC GAMES. Este programa facilitará la visualización del proyecto antes de su ejecución, permitiendo prever el resultado final con los paneles solares instalados en el Parque Central de Saraguro, y detallando cada etapa del proceso.

Posteriormente, se realizará el dimensionamiento tanto central como individual de los sistemas solares. En este apartado se incluirá un análisis comparativo de las opciones disponibles, tomando en cuenta factores como la necesidad específica, la estética y, lo más importante, el rendimiento operativo del sistema. Tras completar estos pasos, se abordarán temas y subtemas relevantes, incluyendo cálculos específicos para evaluar la viabilidad económica y técnica del proyecto. Entre estos cálculos se considerarán niveles de iluminación y la potencia requerida de los paneles solares, proporcionando así una visión detallada y precisa del proyecto.

Además, se presentará una lista exhaustiva de todos los materiales necesarios para la implementación exitosa del sistema de iluminación fotovoltaica en el Parque Central de Saraguro. Esto incluirá detalles técnicos sobre los componentes necesarios, sus especificaciones y su integración en el diseño general del proyecto.

Finalmente, se realizará un análisis económico que resumirá los costos y beneficios esperados una vez completado el proyecto. Este análisis proporcionará una evaluación crítica de la viabilidad financiera del proyecto, sirviendo como punto de

referencia para futuras decisiones y acciones relacionadas con la implementación y mantenimiento del sistema de iluminación fotovoltaica en el parque.

### 3.1. Propuesta del Diseño Final Empleando un Sistema Autónomo Y Focalizado, Garantizando la Confiabilidad

La propuesta se centra en la implementación de un sistema autónomo de iluminación fotovoltaica en el Parque Central de Saraguro, diseñado para ser eficiente y focalizado en áreas estratégicas. Este diseño asegura una iluminación adecuada y sostenible, mejorando la seguridad y la estética del parque mientras promueve el uso de energía renovable y minimiza el impacto ambiental. Para respaldar esta propuesta técnica, se han utilizado programas de diseño bidimensional (2D) y tridimensional (3D), como SketchUp y Epic Games, que permiten visualizar y ajustar el trazado de la iluminación y los paneles solares.

Los resultados obtenidos de estos softwares se presentarán a continuación, destacando aspectos técnicos como la orientación e inclinación óptima de los paneles solares.



**Figura 3.1:** Vista del Parque frente del Municipio  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.1, se presenta una panorámica detallada capturada desde la perspectiva del Hall Municipal, abarcando la sección frontal del Parque Central de Saraguro. La imagen proporciona una visión integral de la distribución espacial y los elementos arquitectónicos predominantes, facilitando un análisis visual de la inter-

acción entre las áreas recreativas, peatonales y de infraestructura urbana dentro del parque.



**Figura 3.2:** Vista lateral derecha del parque  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.2, se ofrece una vista desde un ángulo alternativo que resalta la amplitud del Parque Central de Saraguro. Esta imagen, capturada desde una de las esquinas, orientada hacia la fachada del edificio municipal, permite apreciar con mayor detalle la extensión del área verde, así como la disposición de los elementos urbanos que conforman el entorno del parque.



**Figura 3.3:** Vista lateral izquierda del parque  
**Fuente:** Autores.

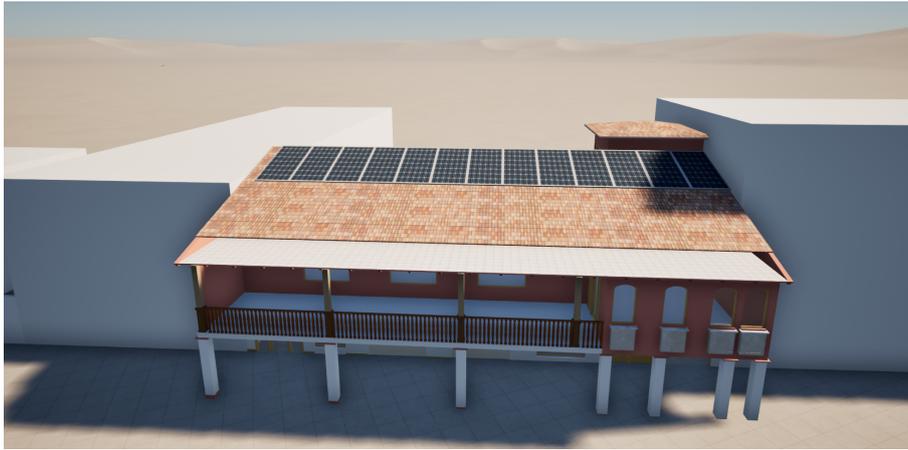


**Figura 3.4:** Vista del Panel solar .  
**Fuente:** Autores.

En las figuras 3.3 y 3.4 se muestra la ubicación de los paneles solares en cada jardinera, en caso de optar por un sistema aislado. Estas imágenes ofrecen una vista interna y realista del parque, brindando una perspectiva clara de cómo podría ejecutarse el proyecto. Sin embargo, esta propuesta no es viable, ya que afectaría negativamente la estética del parque, opacando su vegetación. Además, representa un riesgo tanto para las personas como para los animales que transitan por la zona, ya que los paneles podrían generar barreras físicas, aumentar el riesgo de accidentes y limitar el espacio disponible para la circulación segura de los visitantes.



**Figura 3.5:** Vista del Parque frente del Municipio  
**Fuente:** Autores.



**Figura 3.6:** Vista del lugar de colocación de los Paneles Solares.  
**Fuente:** Autores.

En las figuras 3.5 y 3.6 se puede apreciar la fachada de la edificación del Municipio. La primera imagen muestra una vista frontal tomada desde el parque de Saraguro, destacando la integración del edificio con su entorno. En la segunda imagen, se presenta una toma aérea que ilustra la instalación de los paneles solares sobre la cubierta del edificio del GAD. Estos paneles, además de estar estratégicamente ubicados para maximizar la captación de energía solar, no alteran la estética del lugar, integrándose de manera armoniosa con el diseño arquitectónico. La instalación resulta visualmente agradable y ofrece una solución eficiente y segura, sin comprometer la apariencia ni la funcionalidad del edificio.

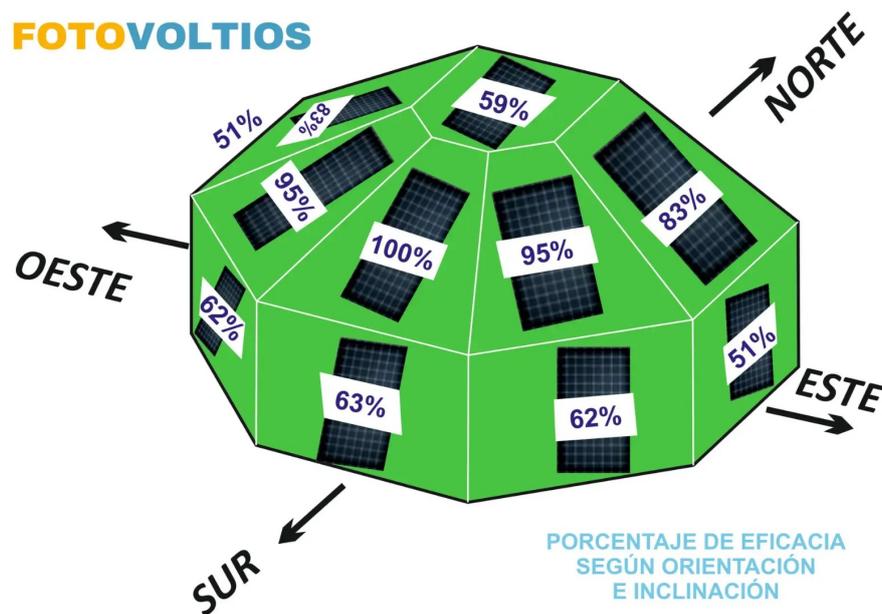


**Figura 3.7:** Vista del cuarto de equipos.  
**Fuente:** Autores.

La Figura 3.7 muestra el cuarto técnico destinado a la instalación de los inversores, controladores y baterías, componentes esenciales para la implementación del sistema fotovoltaico. Este espacio ha sido diseñado para garantizar un mejor orden y protección de los equipos, evitando su exposición al aire libre. Además, su ubicación centralizada facilita las tareas de mantenimiento y supervisión, mejorando la eficiencia operativa y prolongando la vida útil del sistema.

Se ha realizado un análisis detallado del diseño del Parque Central de Saraguro utilizando múltiples imágenes de referencia, las cuales han sido contrastadas con las condiciones reales del sitio para asegurar una alta fidelidad en la representación. La disposición de los paneles fotovoltaicos se encuentra sobre la cubierta del edificio municipal, que presenta una estructura de tipo entejado. En contraste, el almacenamiento de las baterías, el inversor y el controlador está ubicado en una bodega desocupada, la cual cumple con las especificaciones necesarias en términos de dimensiones y ventilación para el correcto funcionamiento del sistema.

Es fundamental señalar que el número de paneles fotovoltaicos, así como las características técnicas de las baterías e inversor empleados, corresponden a medidas reales. Este aspecto será validado posteriormente mediante un proceso de dimensionamiento detallado. Además, no debe pasarse por alto un aspecto crítico como es la orientación óptima de los paneles solares. Esta orientación debe ser ajustada de acuerdo a la latitud específica del lugar, que en el caso de Saraguro se encuentra alrededor de 3 grados.



**Figura 3.8:** Diferentes Puntos de inclinación en los paneles Solares.  
Fuente: Autores.

En la imagen adjunta, se presenta un análisis detallado de la colocación óptima de los paneles fotovoltaicos. El estudio indica que, con una inclinación de 45 grados, se maximiza casi todo el potencial de captación de energía de los paneles. Se recomienda ajustar la inclinación en 3 grados adicionales hacia el frente durante el verano y hacia atrás en invierno. Esta recomendación se basa en el análisis previo de radiación solar realizado en el Capítulo 2.

## 3.2. Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico

### 3.2.1. Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Concentrado

- Número de luminarias: 9
- Horas de uso: 10 h (19h00 - 5h00)
- Potencia de cada luminaria: 150 W

#### Consumo Energético Diario

- Consumo diario de una luminaria:

$$150 \text{ W} \times 10 \text{ h} = 1,5 \text{ kWh}$$

- Consumo total diario:

$$1,5 \text{ kWh} \times 9 = 13,5 \text{ kWh} \approx 13500 \text{ Wh}$$

- Factor de protección del 25 % (pérdidas de paneles, factores ambientales, etc):

$$fp = \text{consumo total diario} \times 1,25 = 13500 \text{ Wh} \times 1,25 = 16875 \text{ Wh} \rightarrow \text{Nuevo}$$

#### Potencia Fotovoltaica

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Nuevo consumo diario}}{\text{HSP}}$$

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{16875}{3,88} = 4349,22 \text{ W}$$

#### Número de Módulos

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del módulo}} = \frac{4349,22 \text{ W}}{330 \text{ W}} = 13,18$$

Por lo tanto, se requieren 13 módulos de 330 W cada uno.

### Controlador o Regulador

- Corriente del panel ( $I_{\text{panel}}$ ): 11,16 A (dato de catálogo)
- Corriente del sistema:

$$I_{\text{sistema}} = I_{\text{panel}} \times \text{Número de paneles} = 11,16 \text{ A} \times 13 = 145,08 \text{ A}$$

- Factor de protección del 25 %:

$$I_{\text{recomendada}} = 145,08 \text{ A} \times 1,25 = 181,35 \text{ A}$$

Por lo tanto se requiere un controlador MPPT de 200 A

### Inversor

- Potencia Fotovoltaica: 4349 W  $\approx$  4,349 kW
- FP = Potencia Fotovoltaica x 1.25 = 4349 w x 1.25 = 5436.25 W  $\approx$  5,43 kW

Por lo cual se requiere un inversor de 5,5 kW.

### Baterías

- Datos:
  - Eficiencia del inversor: 95 %
  - Voltaje del sistema ( $V_{\text{sistema}}$ ): 48 V
- Capacidad diaria en Ah:

$$\text{Ah/día} = \frac{\left(\frac{\text{Consumo diario}}{h \text{ inversor}}\right)}{V_{\text{sistema}}} = \frac{\left(\frac{16875 \text{ Wh}}{0,95}\right)}{48 \text{ V}} = 370,065 \text{ Ah}$$

- Número de baterías (2 días de autonomía, profundidad de descarga del 80 %, capacidad de batería de 200 Ah):

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Ah/día} \times \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}} \div \text{capacidad de batería}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Número de baterías} = \frac{370,065 \times 2}{0,80} \div 200$$

Realizando los cálculos paso a paso:

$$\text{Número de baterías} = \frac{370,065 \times 2}{0,80} = \frac{740,13}{0,80} = 925,1625$$

$$\text{Número de baterías} = \frac{925,1625}{200} = 4,6258125$$

$$\text{Números de Baterías} = 4,625 \approx 5 \text{ baterías de } 200 \text{ Ah}$$

- Repetición del cálculo con una profundidad de descarga del 70%:

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Ah/día} \times \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}} \div \text{capacidad de batería}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Número de baterías} = \frac{370,065 \times 2}{0,70} \div 200$$

Realizando los cálculos paso a paso:

$$\text{Número de baterías} = \frac{370,065 \times 2}{0,70} = \frac{740,13}{200} = 5,28$$

$$\text{Números de Baterías} = 5,28 \approx 5 \text{ baterías de } 200 \text{ Ah}$$

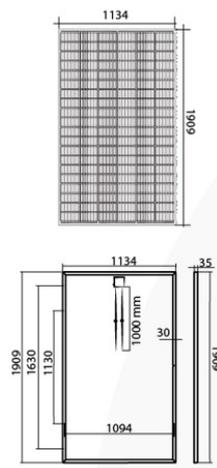
### 3.2.2. Especificaciones técnicas de los materiales a usar

- Panel Solar Fotovoltaico de 330W



**Figura 3.9:** Panel Solar Monocristalino de 330W.  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.9 se ilustra el tipo de panel fotovoltaico seleccionado para el dimensionamiento del sistema Concentrado. Se utilizarán 13 módulos de 330 W cada uno, con el objetivo de satisfacer las demandas energéticas de 7 luminarias. Y En la figura 3.10 se presenta las dimensiones que tiene dicho panel solar.



**Figura 3.10:** Panel Solar Monocristalino de 330W.  
**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.1:** Especificaciones del Panel Solar**Fuente:** Autores.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Monocristalino
Código	NERM450-8450
Potencia máxima (Pmax)	330W
Tolerancia salida de potencia	±3%
Eficiencia	20.80%
Voltaje en potencia máxima (Vmp)	36.20VDC
Corriente potencia máxima (Imp)	11.16A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	40.04VDC
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.95A
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Max. serie de fusible	20A
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
NOCT (Temperatura nominal de funcionamiento de la celda)	45 +/- 2
Dimensiones (Alto*Ancho*Profundo)	1909x1134x35mm
Peso	22.9kg
Celda (cantidad / material)	60 / silicio monocristalino
Clase de aplicación	A
Cable (longitud / área transversal)	1000mm / 4.0mm <sup>2</sup>
Conector	MC4
Calificaciones y certificados	IEC 61215, IEC 61730, CE, CQC, ISO 9001:2015, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, RETIE

En la tabla 3.1 se da a conocer las especificaciones de generales del Panel Solar Fotovoltaico de 330W.

- Controlador MPPT

En la Figura 3.11 se ilustra el tipo de controlador que se va ocupar para los 13 módulos dicho controlador es MPPT.

**Figura 3.11:** Controlador MPPT.**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.2:** Especificaciones del Controlador MPPT**Fuente:** Autores.

MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
<b>CARGADOR</b>		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 62 V	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
<b>SOLAR</b>		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V <sup>(1)</sup>	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV <sup>(2)</sup>	20 A por rastreador	
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador <sup>(3)</sup>	7200 Wp (450 V x 20 A) <sup>(3)</sup>	
Nivel de fallo del aislamiento FV <sup>(4)</sup>	100 kΩ	
<b>GENERAL</b>		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable <sup>(5)</sup>	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretensión	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VE.Can y Bluetooth <sup>(6)</sup>	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Sí, 2	
On/Off remoto	Sí	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95%	
<b>CARCASA</b>		
Material y color	acero, azul RAL 5012	
Grado de protección	IP21	
Conexión de la batería	Pernos M8	
Peso	7,9 kg	13,7 kg
Dimensiones (al x an x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
<b>NORMAS</b>		
Seguridad	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	

En la tabla 3.2 se da a conocer las especificaciones de generales del Controlador MPPT.

- Inversor

En la Figura 3.12 se ilustra el tipo de Inversor de 5.5 kW que se va ocupar para los 13 módulos y para los controladores MPPT.



**Figura 3.12:** Inversor de 5.5 kW.  
Fuente: Autores.

**Tabla 3.3:** Especificaciones del Inversor de 5.5 kW.

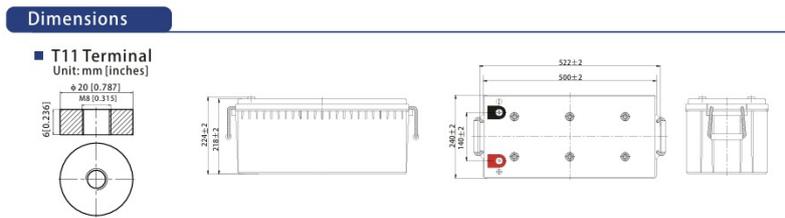
Fuente: Autores.

DATOS DE ENTRADA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Número de seguidores MPP	1			2		
Máx. corriente de entrada ( $I_{dc\ máx. 1}$ / $I_{dc\ máx. 2}$ )	16 A			16 A / 16 A		
Máxima corriente de cortocircuito de MPP <sub>1</sub> / MPP <sub>2</sub> ( $I_{sc\ pcc}$ )**	31 A			31 A / 31 A		
Rango de tensión de entrada CC ( $U_{dc\ mín.}$ - $U_{dc\ máx.}$ )	150 - 1000 V					
Tensión de puesta en servicio ( $U_{dc\ arranque}$ )	200 V					
Rango de tensión MPP	150 - 800 V					
Número de entradas CC	3			2+2		
Máx. salida del generador FV ( $P_{dc\ máx.}$ )	6,0 kW <sub>pico</sub>	7,4 kW <sub>pico</sub>	9,0 kW <sub>pico</sub>	6,0 kW <sub>pico</sub>	7,4 kW <sub>pico</sub>	9,0 kW <sub>pico</sub>
DATOS DE SALIDA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Potencia nominal CA ( $P_{ac}$ )	3.000 W	3.700 W	4.500 W	3.000 W	3.700 W	4.500 W
Máxima potencia de salida	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA
Corriente de salida CA ( $I_{ac\ nom}$ )	4,3 A	5,3 A	6,5 A	4,3 A	5,3 A	6,5 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Coefficiente de distorsión no lineal	< 3 %					
Factor de potencia ( $\cos \phi_{ac}$ )	0,70 - 1 ind. / cap.			0,8 - 1 ind. / cap.		
DATOS GENERALES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	645 x 431 x 204 mm			19,9 kg		
Peso	16,0 kg			19,9 kg		
Tipo de protección	IP 65					
Clase de protección	1					
Categoría de sobretensión (CC / CA) <sup>2)</sup>	2 / 3					
Consumo nocturno	< 1 W					
Concepto de inversor	Sin transformador					
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada					
Instalación	Instalación interior y exterior					
Margen de temperatura ambiente	-25 - +60 °C					
Humedad de aire admisible	0 - 100 %					
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)					
Tecnología de conexión CC	3 x CC+ y 3 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm <sup>2</sup>			4 x CC+ y 4 x CC bornes roscados 2,5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm <sup>2</sup>			5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
Certificados y cumplimiento de normas	OVE / ONORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>4)</sup> , CEI 0 21 <sup>5)</sup> , NRS 097					
País de fabricación	Austria					

En la tabla 3.3 se da a conocer las especificaciones generales del Inversor de 5.5 kW.

- Batería

En la Figura 3.13 se ilustra el tipo de Batería de 200 Ah que se van a ocupar para dar funcionamiento a los 13 módulos, los controladores MPPT y los inversores.



**Figura 3.13:** Dimensiones Batería 200Ah.

**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.4:** Especificaciones de la batería de 200 Ah.

**Fuente:** Autores.

Specification	
Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity(20HR)	200.0AH
Dimension	Length 522±3mm (20.55 inches)
	Width 240±3mm (9.45 inches)
	Container Height 218±3mm (8.58 inches)
	Total Height (with Terminal) 224±3mm (8.81 inches)
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	200.0 AH/10.0A (20hr,1.80V/cell,25°C/77°F)
	186.0 AH/18.6A (10hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	160.0 AH/32.0A (5hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	139.2 AH/46.4A (3hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	110.0 AH/110.0A (1hr,1.67V/cell,25°C/77°F)
Max. Discharge Current	1800A (5s)
Internal Resistance	Approx 3.24mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -20~55°C (-4 ~131°F)
	Charge : 0~40°C (32~104°F)
	Storage : -20 ~50°C (-4 ~122°F)
Nominal Operating Temp. Range	25±3°C (77 ±5°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 60.0A.Voltage 14.4V~15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V~13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%
	25°C (77°F) 100%
	0°C (32°F) 86%
Self Discharge	GEL series batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

En la tabla 3.4 se da a conocer las especificaciones generales de la Batería de 200 Ah.

### 3.2.3. Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico Individual

- Número de luminarias = 1
- Horas de uso = 10 h (19h00-5h00)
- Potencia de cada luminaria = 150 W

#### Consumo energético diario

- De una luminaria:

$$\text{Consumo energético diario} = 150\text{W} \times 10\text{h} = 1,5\text{kWh}$$

- Consumo total diario:

$$\text{Consumo total diario} = 1,5\text{kWh} \times 1 = 1500\text{Wh} \approx 1,5\text{kWh}$$

- 25 % factor de protección (pérdidas paneles, factores ambientales, etc.):

$$fp = \text{consumo total diario} \times 1,25$$

$$fp = 1500\text{Wh} \times 1,25 = 1875\text{Wh} \rightarrow \text{Nuevo consumo diario}$$

#### Potencia Fotovoltaica

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Nuevo consumo diario}}{\text{HSP}}$$

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{1875}{3,88} = 483,24 \text{ W}$$

#### Número de módulos

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del módulo (a criterio del diseñador)}}$$

$$\text{Número de módulos} = \frac{483,24\text{W}}{500\text{W}} = 0,9664$$

Por lo tanto, se requiere 1 módulo de 500 W.

### Controlador o Regulador

- Se calcula en base a la corriente:

$$I_{\text{panel}} = 11,69 \text{ A} \quad (\text{dato catálogo})$$

$$I_{\text{sistema}} = I_{\text{panel}} \times \text{Número de paneles}$$

$$I_{\text{sistema}} = 11,69 \text{ A}$$

- 25 % factor de protección:

$$I_{\text{recomendada}} = 11,69 \text{ A} \times 1,25 = 14,61 \text{ A}$$

Por lo tanto se ocupa un controlador MPPT de 15 A.

### Inversor

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = 483,24 \text{ W} \quad (4a)$$

Inversor de 1 KW porque ya incluye factor de protección del 25 %.

### Baterías

Datos:

- Eficiencia del inversor = 95 %
- Días de autonomía = 2
- Profundidad de descarga = 80 %

$$\text{Ah/día} = \frac{\left(\frac{\text{Consumo diario}}{h \text{ inversor}}\right)}{V_{\text{sistema}}} = \frac{\left(\frac{1875 \text{ Wh}}{0,95}\right)}{48 \text{ V}} = 41,11 \text{ Ah Ah}$$

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Ah/día} \times \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}} \div \text{capacidad de batería}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Número de baterías} = \frac{41,11 \text{ Ah} \times 2}{0,80} \div 200$$

Realizando los cálculos paso a paso:

$$\text{Número de baterías} = \frac{41,11 \times 2}{0,80} = \frac{82,22}{0,80} = 102,77$$

$$\text{Número de baterías} = \frac{102,77}{200} = 0,51$$

$$\text{Números de Baterías} = 0,51 \approx 1 \text{ baterías de } 200 \text{ Ah}$$

Repetición del cálculo con una profundidad de descarga del 70 %:

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Ah/día} \times \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga}} \div \text{capacidad de batería}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Número de baterías} = \frac{41,11 \text{ Ah} \times 2}{0,70} \div 200$$

Realizando los cálculos paso a paso:

$$\text{Número de baterías} = \frac{41,11 \times 2}{0,70} = \frac{117,45}{200} = 0,58$$

Números de Baterías =  $0,58 \approx 1$  baterías de 200 Ah

### 3.2.4. Especificaciones técnicas de los materiales a usar

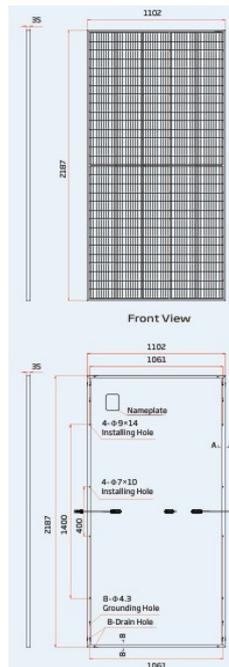
- Panel Solar Fotovoltaico de 500W



**Figura 3.14:** Panel Solar Monocristalino de 500W.

**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.14 se ilustra el tipo de panel fotovoltaico seleccionado para el dimensionamiento del sistema individual. Se utilizará 1 módulo de 500 W cada uno, con el objetivo de satisfacer las demandas energéticas de 1 luminaria. Y En la figura 3.15 se presentara las dimensiones que tiene dicho panel solar.



**Figura 3.15:** Panel Solar Monocristalino de 500W.  
**Fuente:** Autores.

En la tabla 3.5 se da a conocer las especificaciones de generales del Panel Solar Fotovoltaico de 500W.

- Controlador MPPT 15A

En la Figura 3.16 se ilustra el tipo de controlador que se va ocupar para el 1 módulo dicho controlador es MPPT.



**Figura 3.16:** Controlador MPPT.  
**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.5:** Especificaciones del Panel Solar**Fuente:** Autores.

ELECTRICAL DATA (STC)						
Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.  
\*Measuring tolerance:  $\pm 3\%$ .

ELECTRICAL DATA (NOCT)						
Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

En la tabla 3.6 se da a conocer las especificaciones de generales del Controlador MPPT.

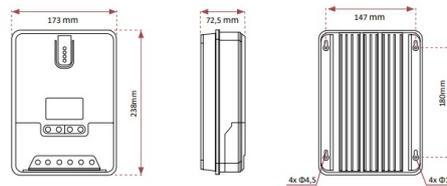
- Controlador MPPT 30A

En la Figura 3.17 se ilustra el tipo de controlador que se va ocupar para el 1 módulo dicho controlador es MPPT 30A.

**Figura 3.17:** Controlador MPPT 30A.**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.6:** Especificaciones del Controlador MPPT**Fuente:** Autores.

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24 V		
Corriente de carga nominal	10 A	15 A	15 A
Potencia FV máxima, 12V 1a,b)	135 W	200 W	200 W
Potencia FV máxima, 24V 1a,b)	270 W	400 W	400 W
Desconexión automática de la carga	Sí, carga máxima 15 A		
Tensión máxima del circuito abierto FV	75 V		100 V
Eficiencia máxima	98 %		
Autoconsumo	10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4 V / 28,8 V (ajustable)		
Tensión de carga de "flotación"	13,8 V / 27,6 V (ajustable)		
Algoritmo de carga	variable multietapas		
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.		
Corriente de carga continua/cresta	15A/50A		
Desconexión de carga por baja tensión	11,1 V / 22,2 V o 11,8 V / 23,6 V o algoritmo de BatteryLife		
Reconexión de carga por baja tensión	13,1 V / 26,2 V o 14 V / 28 V o algoritmo de BatteryLife		
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible) Corto circuito de salida / sobrecalentamiento		
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)		
Humedad	95 %, sin condensación		
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web		
<b>CARCASA</b>			
Color	Azul (RAL 5012)		
Terminales de conexión	6 mm <sup>2</sup> / AWG10		
Tipo de protección	IP22 (área de conexiones)		
Peso	0,5 kg		
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40 mm		
<b>ESTÁNDARES</b>			
Seguridad	EN/IEC 62109		
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo estipulado. 1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.			

**DIMENSIONES****Figura 3.18:** Dimensiones del controlador MPPT 30A.**Fuente:** Autores.

En la tabla 3.7 se da a conocer las especificaciones de generales del Controlador MPPT.

- Inversor

En la Figura 3.19 se ilustra el tipo de Inversor de 1kW que se va ocupar para el módulo y para el controlador MPPT.

**Tabla 3.7:** Especificaciones del Controlador MPPT 30A**Fuente:** Autores.

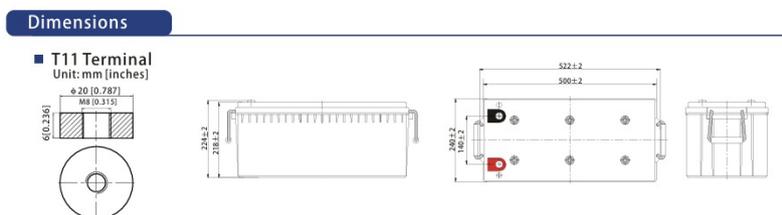
<b>Voltaje</b>	Voltaje del sistema	12V / 24V Auto
	Consumo sin carga	0,7W a 1,2W
	Voltaje de batería	9V a 35V
	Máximo voltaje de entrada	100V (25°C) 90V (-25°C)
	Rango de voltaje MPPT máximo	Voltaje de batería +2V a 75V
<b>Carga</b>	Corriente de carga máxima	30A
	Corriente de carga máxima CC	20A
	Capacidad de carga máxima	10000uF
	Entrada potencia fotovoltaica máxima	400W / 12V 800W / 24V
<b>Eficiencia</b>	Eficiencia de conversión	≤98%
	Eficiencia del MPPT	>99%
<b>Temperatura</b>	Compensación por temperatura	-3mv / °C / 2V
	Rango de temperatura ambiente	-35°C a +45°C
<b>Datos Generales</b>	Grado de protección	IP32
	Peso	2 Kg
	Método de comunicación	RS232
	Altitud	≤3000m
	Dimensiones	238 x 173 x 72,5mm

**Figura 3.19:** Inversor de 1kW.**Fuente:** Autores.

En la tabla 3.8 se da a conocer las especificaciones generales del Inversor de 1kW.

- Batería

En la Figura 3.20 se ilustra el tipo de Batería de 200 Ah que se van a ocupar para dar funcionamiento del módulo, el controlador MPPT y el inversor.

**Figura 3.20:** Dimensiones Batería 200Ah.**Fuente:** Autores.

**Tabla 3.8:** Especificaciones del Inversor de 1kW.**Fuente:** Autores.

Modelo	1K
<b>Entrada CC (PV)</b>	
Potencia de entrada máxima recomendada	1.2 kW
Voltaje máximo de entrada	550 V
Voltaje nominal	200 V
Voltaje de arranque	90 V
Rango de voltaje MPPT	50-500 V
Corriente máxima de entrada	14 A
Corriente máxima de cortocircuito	22 A
Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada	1/1
<b>Salida CA (red)</b>	
Potencia nominal de salida	1 kW
Potencia máxima de salida aparente	1 kVA
Potencia máxima de salida	1 kW
Voltaje nominal de la red	1/(N)/PE, 110 V
Frecuencia nominal de la red	60 Hz
Corriente nominal de salida de red	9.1 A
Corriente máxima de salida	9.1 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 en adelante a 0.8 en atraso)
THDi	<3%
<b>Eficiencia</b>	
Eficiencia máxima	94.9%
Eficiencia EU	92.8%
<b>Protección</b>	
Protección contra polaridad inversa DC	Sí
Protección contra cortocircuito	Sí
Protección de sobrecorriente de salida	Sí
Protección contra sobretensiones	Sí
Monitoreo de red	Sí
Detección Anti-isla	Sí
Protección de temperatura	Sí
AFCI 2.0 integrado	Opcional
Interruptor de CC integrado	Sí

En la tabla 3.9 se da a conocer las especificaciones generales de la Batería de 200 Ah.

Después de realizar los cálculos, se determinó que será necesario utilizar un módulo por cada luminaria. En el parque en cuestión, se instalarán 7 postes con un total de 9 luminarias. De estas luminarias, 5 se colocarán de manera individual, mientras que en los otros dos postes se instalarán luminarias dobles. Para este caso, se utilizará un controlador con especificaciones distintas, adaptadas a las características de cada instalación, como se puede apreciar en la figura 3.17 y sus respectivas especificaciones del mismo las encontramos en la tabla 3.7.

**Tabla 3.9:** Especificaciones de la batería de 200 Ah.**Fuente:** Autores.

Specification		
Nominal Voltage	12V	
Nominal Capacity(20HR)	200.0AH	
Dimension	Length	522±3mm (20.55 inches)
	Width	240±3mm (9.45 inches)
	Container Height	218±3mm (8.58 inches)
	Total Height (with Terminal)	224±3mm (8.81 inches)
Terminal	T11	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	200.0 AH/10.0A	(20hr,1.80V/cell,25°C/77°F)
	186.0 AH/18.6A	(10hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	160.0 AH/32.0A	(5hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	139.2 AH/46.4A	(3hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	110.0 AH/110.0A	(1hr,1.67V/cell,25°C/77°F)
Max. Discharge Current	1800A (5s)	
Internal Resistance	Approx 3.24mΩ	
Operating Temp.Range	Discharge	: -20~55°C (-4 ~131°F)
	Charge	: 0~40°C (32~104°F)
	Storage	: -20 ~50°C (-4 ~122°F)
Nominal Operating Temp. Range	25±3°C (77 ±5 °F)	
Cycle Use	Initial Charging Current less than 60.0A.Voltage	
	14.4V~15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C	
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage	
	13.5V~13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
Self Discharge	GEL series batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

### 3.3. Viabilidad económica para la Implementación del Sistema Fotovoltaico en el parque central de Saraguro

#### 3.3.1. Resumen análisis económico

A continuación, se presentan dos tablas que detallan la lista de materiales junto con sus respectivos costos. Estas tablas permitirán realizar un análisis comparativo exhaustivo entre el sistema concentrado y el sistema individual, facilitando la evaluación de los costos asociados a cada enfoque y proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en función de la viabilidad económica.

**Tabla 3.10:** Tabla de los costos de materiales del sistema Concentrado.**Fuente:** Autores.

<b>Material</b>	<b>cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Valor total</b>
Panel fotovoltaico	13	U	\$195	\$2 535
Baterías	5	U	\$350	\$1 750
Controlador	1	U	\$500	\$500
Inversor	1	U	\$600	\$600
Luminarias de 150W (Incluye canastilla)	9	U	\$175	\$1 575
Sacos de cemento	10	Sacos	\$10	\$100
Grava	3	Metros cúbicos	\$28	\$84
Arena	5	Metros cúbicos	\$25	\$125
Estructura para el montaje de los paneles	1	u	\$1 000	\$1 000
Postes de 8m	7	u	\$350	\$2 450
Brazos	9	u	\$20	\$180
Cable (6 AWG)	4	rollos	\$50	\$200
Termomagnético trifásico	4	u	\$150	\$600
Tubería metálica (2 pulgadas)	300	m	\$4,16	\$1 248
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$12 947</b>
			<b>IVA</b>	<b>\$1 942</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>\$14 889</b>

**Tabla 3.11:** Tabla de los costos de materiales del sistema Individual.**Fuente:** Autores.

<b>Material</b>	<b>cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Valor total</b>
Panel fotovoltaico	9	U	\$280	\$2 520
Baterías	9	U	\$350	\$3 150
Controlador 1 (15A)	5	U	\$150	\$750
Controlador 2 (30 A)	2	U	\$200	\$400
Inversor 1 (0,48 KW)	5	U	\$300	\$1 500
Luminarias de 150W	9	U	\$175	\$1 575
Postes de 8m (Incluye canastilla)	7	U	\$350	\$2 450
Cemento	25	sacos	\$10	\$250
Grava	10	Metros cúbicos	\$28	\$280
Arena	20	Metros cúbicos	\$25	\$500
Brazos	9	U	\$20	\$180
Cable	2	rollos	\$50	\$100
Estructura para montaje del panel	7	u	\$50	\$350
Tapa metálica para el pozo	7	u	\$40	\$280
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$14 285</b>
			<b>IVA</b>	<b>\$2 142,75</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>\$16 227,75</b>

Una vez analizados los costos de los materiales que se utilizarán tanto en el sistema individual como en el sistema concentrado, se pueden destacar algunas particularidades que van más allá del costo inicial. Por ejemplo, en el sistema concentrado se empleará un único inversor, cuyas especificaciones se detallan en la figura 3.12 y la tabla 3.3. En cambio, en el sistema individual se requiere el uso de siete inversores de 1 kW, suponiendo que estos son suficientes para alimentar tanto los postes con luminaria simple como aquellos con luminaria doble.

Las especificaciones de estos inversores se pueden consultar en la figura 3.19 y la tabla 3.8. De manera similar sucede con los controladores a usar en ambos casos, es decir, para el sistema concentrado solo se usará un controlador mientras que para el sistema individual se colocarán 7 controladores (5 de 15A y 2 de 30A) los 5 primeros tendrán aplicación en los postes con disposición simple y los 2 restantes en los postes con luminaria doble

En resumen, mientras que el sistema individual requiere siete inversores, el sistema concentrado solo necesita uno, lo que lleva a la conclusión clara de que la

implementación del sistema concentrado es más ventajosa. Esto se debe no solo a su menor costo, sino también a su mayor confiabilidad, dado que un menor número de componentes reduce la probabilidad de fallas en el sistema.

### **3.3.2. Análisis del Impacto Económico y Retorno de Inversión a Largo Plazo del Sistema Fotovoltaico**

Una vez definidos los materiales a utilizar tanto en el sistema concentrado como en el individual, especificados en las tablas 3.10 y 3.11, estos datos serán esenciales para llevar a cabo un análisis exhaustivo del impacto económico y del retorno de inversión a largo plazo. Este análisis beneficiará significativamente a la entidad contratante, el GAD de Saraguro, al proporcionar una base sólida para la toma de decisiones. Con base en los resultados obtenidos, se determinará qué tipo de sistema es más conveniente para implementar.

#### **3.3.2.1. Sistema Concentrado**

##### **Durabilidad y Vida Útil**

- **Módulos Fotovoltaicos:** Vida útil aproximada de 25 años.
- **Baterías:** Vida útil de 6 a 12 años. Suponiendo un reemplazo cada 11 años.
- **Inversor:** Vida útil de 10 a 15 años. Suponiendo reemplazo del inversor cada 12 años

##### **Costos de Mantenimiento**

- **Costos Iniciales:** Menores debido a la menor cantidad de componentes.

##### **Reemplazos Estimados:**

- **Baterías:** \$ 1.750 por reemplazo (5 baterías a \$ 350 cada una).
- **Inversor:** \$ 1.200 por reemplazo.

### Costo de Mantenimiento a lo largo de 25 años

- **Reemplazo de baterías:** 2 veces (aproximadamente cada 11 años) = 2 x \$1.750 = \$3.500
- **Reemplazo de inversor:** 2 veces (aproximadamente cada 12 años) = 2 x \$1.200 = \$2.400

**Costo Total de Mantenimiento: \$5.900**

### Eficiencia y Pérdidas Energéticas

- **Eficiencia:** Menor debido a las posibles pérdidas en la distribución y caída de tensión a lo largo de una sola red.
- **Pérdida estimada:** 5-10 % de energía.

### Beneficios a Largo Plazo

- **Costo Inicial:** \$14.889
- **Costo Total de Mantenimiento:** \$5.900
- **Costo Total a 25 años:** \$14.889 + \$5.900 = \$20.789

### Análisis de Retorno de Inversión (ROI)

Para determinar el retorno de inversión (ROI), consideramos los ahorros en la factura eléctrica. Supongamos que ambos sistemas permiten un ahorro del 100 % en la electricidad utilizada por las luminarias.

- **Ahorro Anual en Electricidad:** Supongamos un costo promedio de electricidad de \$0,10 por kWh y que cada luminaria consume 1.350 kWh al año (150W x 10 horas x 365 días).
  - Ahorro Anual por Luminaria: 1.350 kWh x \$0,10 = \$135
  - Ahorro Anual Total (9 luminarias): 9 x \$135 = \$1.215

Costo Total a 25 años: \$20.789

Ahorro Anual: \$1.215

Periodo de Recuperación:  $\$20.789 / \$1.215$  17,1 años

### **Impacto Ambiental y Social**

- **Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>:** Menor costo inicial y mantenimiento podría hacer más accesible la instalación de sistemas en diversas ubicaciones.
- **Impacto Social:** Beneficio en términos de menores costos de energía a largo plazo.

#### **3.3.2.2. Sistema Individual**

### **Durabilidad y Vida Útil**

- **Módulos Fotovoltaicos:** Vida útil aproximada de 25 años.
- **Baterías:** Vida útil de 6 a 12 años. Suponiendo un reemplazo cada 11 años.
- **Inversores y Controladores:** Vida útil de 10 a 15 años. Suponiendo reemplazo de inversores cada 12 años y de controladores cada 15 años.

### **Costos de Mantenimiento**

**Costos Iniciales:** Más altos debido a la mayor cantidad de componentes.

### **Reemplazos Estimados:**

- **Baterías:** \$2.450 por reemplazo (7 baterías a \$350 cada una).
- **Inversores:** \$600 por reemplazo (2 inversores a \$300 cada uno).
- **Controladores:** \$700 por reemplazo (7 controladores a \$100 cada uno).

### **Costo de Mantenimiento a lo largo de 25 años:**

- Reemplazo de baterías: 2 veces =  $2 \times \$2.450 = \$4.900$
- Reemplazo de inversores: 2 veces =  $2 \times \$600 = \$1.200$
- Reemplazo de controladores: 2 veces =  $2 \times (7 \times \$100) = \$1.400$

**Costo Total de Mantenimiento: \$7.900**

### **Eficiencia y Pérdidas Energéticas**

- **Eficiencia:** Mayor debido a la cercanía de los módulos a sus puntos de consumo.
- **Pérdida estimada:** 2-5 % de energía.

### **Beneficios a Largo Plazo**

- **Costo Inicial:** \$16.227,75
- **Costo Total de Mantenimiento:** \$7.900
- **Costo Total a 25 años:**  $\$14.753,00 + \$10.350 = \$24.127,75$

### **Análisis de Retorno de Inversión (ROI)**

Para determinar el retorno de inversión (ROI), consideramos los ahorros en la factura eléctrica. Supongamos que ambos sistemas permiten un ahorro del 100 % en la electricidad utilizada por las luminarias.

- **Ahorro Anual en Electricidad:** Supongamos un costo promedio de electricidad de \$0,10 por kWh y que cada luminaria consume 1.350 kWh al año (150W x 10 horas x 365 días).
  - **Ahorro Anual por Luminaria:**  $1.350 \text{ kWh} \times \$0,10 = \$135$
  - **Ahorro Anual Total (9 luminarias):**  $9 \times \$135 = \$1.215$

Costo Total a 25 años: \$24.127,75

Ahorro Anual: \$1.215

Periodo de Recuperación:  $\$24.127,75 / \$1.215 = 19,9$  años

## Impacto Ambiental y Social

- **Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>:** Mayor eficiencia energética y modularidad podrían ser beneficiosas en términos de expansión y adaptación.
- **Impacto Social:** Más robusto frente a fallos individuales, lo que podría mejorar la fiabilidad del sistema de iluminación.

Después de completar el análisis de rentabilidad de ambos sistemas, podemos confirmar nuevamente lo que ya se anticipaba: la implementación del sistema concentrado es la mejor opción. Esta vez, la razón principal se centra en el retorno de la inversión (ROI). En el caso del sistema aislado, el ROI es de 20 años, mientras que para el sistema concentrado es de 17 años, con una inversión inicial más baja y un menor número de componentes. Esto hace que el sistema concentrado sea significativamente más confiable. Además, el sistema concentrado también ofrece una mayor eficiencia energética, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de la energía solar disponible, reduciendo aún más los costos operativos a largo plazo.

### 3.3.3. Cálculo de VAN y TIR

#### 3.3.3.1. Sistema concentrado

### Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

Datos:

- **Costo Inicial del Sistema:**
  - Sistema Concentrado: \$14.889
- **Costo de Mantenimiento Total (a 25 años):**
  - Sistema Concentrado: \$5.900
- **Costo Total (25 años):**
  - Sistema Concentrado: \$20.789

- **Ahorro Anual en Electricidad:** \$1.215

### Fórmula del VAN:

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{n=1}^p \frac{A_t}{(1+r)^t} - C_0$$

donde:

- $A_t$  es el ahorro anual en electricidad en el año  $n$ .
- $r$  es la tasa de descuento.
- $p$  es el número de años.
- $C_0$  es el costo inicial del sistema.

### Sustituyendo los valores:

Para el cálculo específico, suponiendo una tasa de descuento  $r = 0,05$  (5%) y un periodo de  $p = 25$  años:

$$VAN = \sum_{n=1}^{25} \frac{1215}{(1+0,05)^t} - 20789$$

Calculando la suma:

$$VAN = 1,215 \times \sum_{n=1}^{25} \frac{1}{(1+0,05)^n} - 20789$$

$$VAN = 1215 \times 14,0939 - 20789$$

$$VAN = 17,1224 - 20789$$

$$VAN = 3,66$$

## Calculo de la Tasa Interna de Retorno(TIR)

Para encontrar la Tasa Interna de Retorno (TIR) del Sistema Concentrado, debemos resolver la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{n=1}^{25} \frac{1,215}{(1 + TIR)^n} - 20789$$

Utilizando software financiero o una calculadora, encontramos que la TIR para el Sistema Concentrado es aproximadamente 6,16 %.

### 3.3.3.2. Sistema Individual

## Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

**Datos:**

- **Costo Inicial del Sistema:**
  - Sistema Individual: \$16.227,75
- **Costo de Mantenimiento Total (a 25 años):**
  - Sistema Individual: \$7.900
- **Costo Total (25 años):**
  - Sistema Individual: \$24.127,75
- **Ahorro Anual en Electricidad:** \$1.215,00
- **Flujos de Caja Anuales:** \$1.215,00 durante 25 años.

**Fórmula del VAN:**

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{n=1}^p \frac{A_n}{(1+r)^n} - C_0$$

donde:

- $A_n = 1,215$  es el ahorro anual en electricidad en el año  $n$ .
- $r = 0,05$  es la tasa de descuento (5%).
- $p = 25$  es el número de años.
- $C_0 = 25,103,00$  es el costo total del sistema a 25 años.

**Sustituyendo los valores:**

$$VAN = \sum_{n=1}^{25} \frac{1,215}{(1+0,05)^n} - 24,127,75$$

Calculando la suma:

$$VAN = 1,215 \times \sum_{n=1}^{25} \frac{1}{(1+0,05)^n} - 24,127,75$$

$$VAN = 1,215 \times 14,0939 - 24,127,75$$

$$VAN = 17,1224 - 24,127,75$$

$$VAN = -1,66$$

## Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para encontrar la Tasa Interna de Retorno (TIR) del Sistema Individual, debemos resolver la siguiente ecuación:

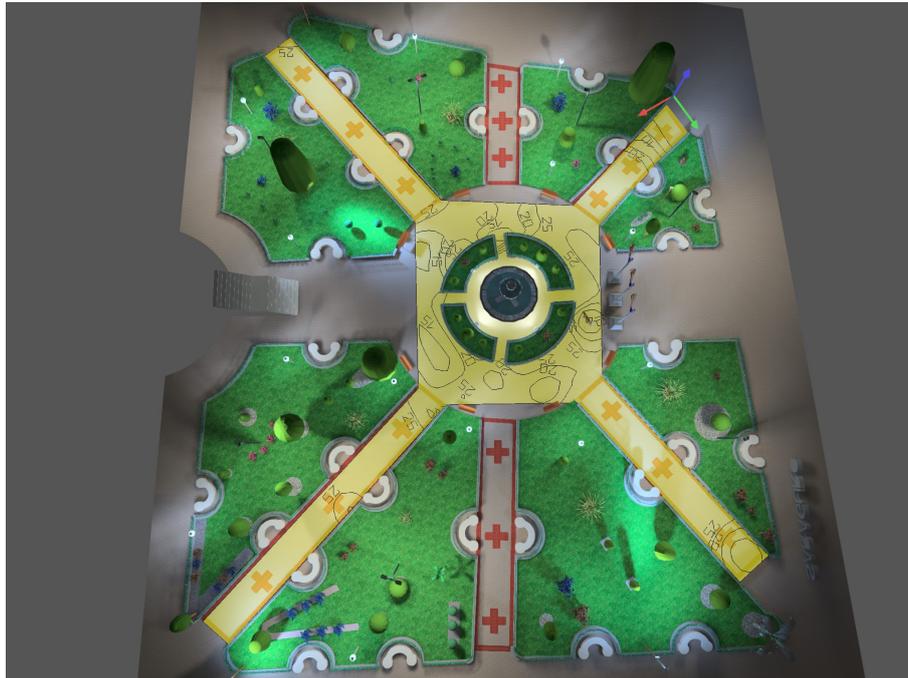
$$0 = \sum_{n=1}^{25} \frac{1,215}{(1 + \text{TIR})^t} - 24127,75$$

Utilizando software financiero o una calculadora, encontramos que la TIR para el Sistema Individual es aproximadamente 4,45 %.

### 3.4. Presentación del renovado Parque Central de Saraguro con luminarias fotovoltaicas diseñadas en Dialux Evo

A continuación, se presentará la simulación en el software Dialux Evo del Parque Central de Saraguro con la implementación del sistema fotovoltaico concentrado y las luminarias proyectadas. El análisis se realizó por fases, como se ilustra en las figuras y se detalla en las tablas, donde se especifican tanto los valores promedio de los parámetros de iluminación como los índices de uniformidad.

### 3.4.1. Caminera Central



**Figura 3.21:** Caminera Central.  
**Fuente:** Autores.

Se realizó el mallado tanto para la pileta central como para las cuatro camineras, como se muestra en la Figura 3.21. Posteriormente, se procedió a la simulación y se obtuvieron los siguientes datos, que se presentan en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12:** Caminera Central  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Central	
Media	34 lx
Mínima	3.04 lx
Máxima	135 lx
Uniformidad	0.59

En la Tabla 3.12 se exhiben los valores de luminancia media, mínima y máxima, obtenidos mediante la simulación realizada con las nuevas implementaciones de luminarias. Estos resultados se lograron con una uniformidad de 0.59 y una iluminancia de 34 lx.

### 3.4.2. Caminera secundaria 1



**Figura 3.22:** Caminera Secundaria 1.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.22 se realizó un mallado en las camineras secundarias, se procedió a colocar con el nombre de caminera uno, en consecuencia de que tiene tres camineras más por lo cual se procedió a realizar las mallas a todas las camineras del parque. En la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.13

**Tabla 3.13:** Caminera Secundaria 1  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 1	
Media	23.3 lx
Mínima	0.00 lx
Máxima	43.4 lx
Uniformidad	0.350

En la tabla 3.13 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.350 y la iluminación es de 23.3 lx.

### 3.4.3. Caminera secundaria 2



**Figura 3.23:** Caminera Secundaria 2.  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.23 se muestra la caminera secundaria 2. Durante la simulación, se recopilaban nuevos datos relevantes enfocados a las nuevas luminarias implementadas con sistema fotovoltaico, los cuales se detallan en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14:** Caminera Secundaria 2  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 2	
Media	25.9 lx
Mínima	0.00 lx
Máxima	44.4 lx
Uniformidad	0.406

En la tabla 3.14 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se ejecutó se obtuvo una uniformidad de 0.406 y la iluminación es de 25.9 lx.

### 3.4.4. Caminera secundaria 3



**Figura 3.24:** Caminera Secundaria 3.  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.24 se muestra la caminera secundaria 3. Durante la simulación, se recopilaban nuevos datos relevantes enfocados a las nuevas luminarias implementadas con sistema fotovoltaico, los cuales se detallan en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15:** Caminera Secundaria 3  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 3	
Media	18.1 lx
Mínima	2.27 lx
Máxima	52.0 lx
Uniformidad	0.380

En la tabla 3.15 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se llevó a cabo se obtuvo una uniformidad de 0.380 y la iluminación es de 18.1 lx.

### 3.4.5. Caminera secundaria 4



**Figura 3.25:** Caminera Secundaria 4.  
**Fuente:** Autores.

En la Figura 3.25 se muestra la caminera secundaria 4. Durante la simulación, se recopilaban nuevos datos relevantes enfocados a las nuevas luminarias implementadas con sistema fotovoltaico, los cuales se detallan en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16:** Caminera Secundaria 4  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Caminera Secundaria 4	
Media	42.4 lx
Minima	0.33 lx
Maxima	63.5 lx
Uniformidad	0.485

En la tabla 3.16 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.485 y la iluminación es de 42.4 lx.

### 3.4.6. Jardinera 1



**Figura 3.26:** Jardinera 1

**Fuente:** Autores.

En la figura 3.26 se procedió a realizar un mallado de todas las jardineras para poder obtener los nuevos datos una vez implementados las luminarias con sistemas fotovoltaicas. En la Jardinera 1 se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.17.

**Tabla 3.17:** Jardinera 1

**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 1	
Media	30.2 lx
Minima	0.33lx
Maxima	56.2 lx
Uniformidad	0.45

En la tabla 3.17 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se ha hecho se obtuvo una uniformidad de 0.089 y la iluminación es de 30.2 lx.

### 3.4.7. Jardinera 2



**Figura 3.27:** Jardinera 2.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.27 se presenta la Jardinera 2. En la tabla 3.18 se observara los datos que se obtuvieron en la simulación hecha con las luminarias con sistemas fotovoltaicas.

**Tabla 3.18:** Jardinera 2  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 2	
Media	51.8 lx
Minima	4.11 lx
Maxima	293 lx
Uniformidad	0.60

En la tabla 3.18 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.60 y la iluminación es de 51.8 lx.

### 3.4.8. Jardinera 3



**Figura 3.28:** Jardinera 3.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.28 se presentara la Jardinera 3 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.19

**Tabla 3.19:** Jardinera 3  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 3	
Media	43.2 lx
Minima	0.42 lx
Maxima	213 lx
Uniformidad	0.358

En la tabla 3.19 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se ejecutó se obtuvo una uniformidad de 0.358 y la iluminación es de 43.2 lx.

### 3.4.9. Jardinera 4



**Figura 3.29:** Jardinera 4.  
**Fuente:** Autores.

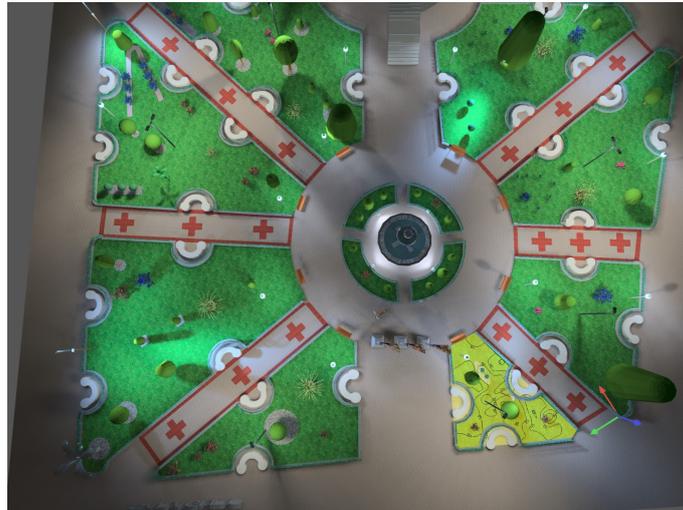
En la figura 3.29 se presentara la Jardinera 4 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.20

**Tabla 3.20:** Jardinera 4  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 4	
Media	29.2 lx
Minima	0.026 lx
Maxima	72.7 lx
Uniformidad	0.459

En la tabla 3.20 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizó se obtuvo una uniformidad de 0.459 y la iluminación es de 29.2 lx.

### 3.4.10. Jardinera 5



**Figura 3.30:** Jardinera 5.  
**Fuente:** Autores.

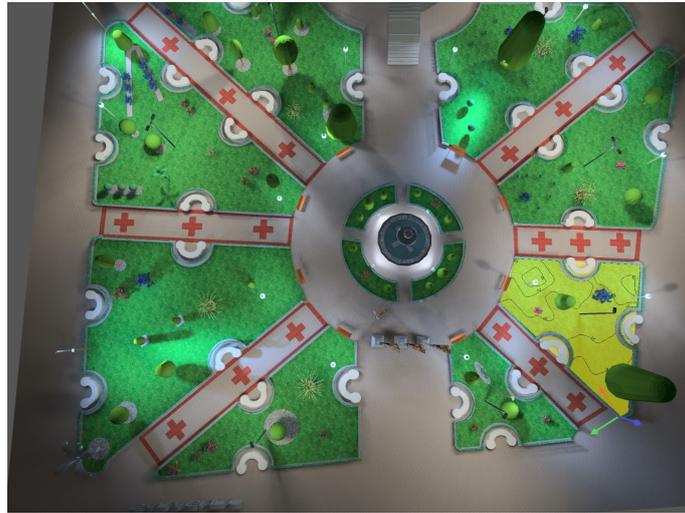
En la figura 3.30 se presentara la Jardinera 5 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.21

**Tabla 3.21:** Jardinera 5  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 5	
Media	38.0 lx
Minima	0.38 lx
Maxima	73.3 lx
Uniformidad	0.395

En la tabla 3.21 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.395 y la iluminación es de 89.4 lx.

### 3.4.11. Jardinera 6



**Figura 3.31:** Jardinera 6.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.31 se presentara la Jardinera 6 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.22

**Tabla 3.22:** Jardinera 6  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 6	
Media	42.4 lx
Minima	2.23 lx
Maxima	91.9 lx
Uniformidad	0.329

En la tabla 3.22 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se llevo a cabo se obtuvo una uniformidad de 0.329 y la iluminación es de 42.4 lx.

### 3.4.12. Jardinera 7



**Figura 3.32:** Jardinera 7.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.32 se presentara la Jardinera 7 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.23

**Tabla 3.23:** Jardinera 7  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 7	
Media	44.2 lx
Minima	1.19 lx
Maxima	82.9 lx
Uniformidad	0.50

En la tabla 3.23 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.022 y la iluminación es de 6.30 lx.

### 3.4.13. Jardinera 8



**Figura 3.33:** Jardinera 8.  
**Fuente:** Autores.

En la figura 3.33 se presentara la Jardinera 8 con las nuevas luminarias implementando el sistema fotovoltaico. Y en la simulación se obtuvieron los siguientes datos que se observan en la tabla 3.24

**Tabla 3.24:** Jardinera 8  
**Fuente:** Autores.

Valores de Luminancia	
Jardinera 8	
Media	64.3 lx
Minima	0.045 lx
Maxima	823 lx
Uniformidad	0.50

En la tabla 3.24 se puede apreciar los valores de luminancia media, mínima y máxima, en la simulación que se realizo se obtuvo una uniformidad de 0.015 y la iluminación es de 16.6 lx.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

A lo largo del presente estudio, se ha demostrado de manera integral la viabilidad y los beneficios que conlleva la implementación de sistemas de iluminación fotovoltaica en parques urbanos, con un enfoque específico en el Parque Central de Saraguro. El análisis se ha desarrollado a través de un enfoque multidimensional que abarca desde la comprensión detallada de los componentes clave de los sistemas fotovoltaicos hasta el análisis económico y técnico de diferentes configuraciones de estos sistemas, con el objetivo de optimizar tanto la eficiencia energética como la sostenibilidad a largo plazo.

En el primer capítulo, se destacó la importancia de los sistemas fotovoltaicos como una solución efectiva para la generación de energía renovable, subrayando la relevancia de comprender cada uno de sus componentes para garantizar un funcionamiento óptimo. Se abordaron aspectos técnicos esenciales, como la conversión de energía, el almacenamiento, y la selección de tecnologías adecuadas, resaltando cómo estos factores inciden en la eficiencia global del sistema y en la sostenibilidad energética.

El segundo capítulo proporcionó un análisis exhaustivo de las condiciones de radiación solar y el estado actual de la iluminación en el Parque Central de Saraguro. Se evidenció que, aunque la región cuenta con un recurso solar considerable, la infraestructura de iluminación existente presenta deficiencias que afectan tanto la seguridad como la estética del parque. Este análisis resaltó la urgencia de adoptar soluciones basadas en energía renovable para mejorar la infraestructura de iluminación y promover un desarrollo más sostenible.

Finalmente, en el tercer capítulo, se realizó un estudio detallado de la viabilidad económica y técnica de dos sistemas de iluminación fotovoltaica: uno concentrado y otro individual. Los resultados indicaron que el sistema concentrado ofrece ventajas significativas en términos de costos iniciales, eficiencia energética y retorno de inversión, lo que lo convierte en una opción más favorable para la implementación en el parque. Además, se propusieron mejoras y recomendaciones que refuerzan la importancia de continuar con un enfoque planificado y técnicamente sólido para maximizar los beneficios a largo plazo.

En conjunto, este estudio subraya la capacidad transformadora de los sistemas fotovoltaicos en la infraestructura urbana, destacando cómo un diseño y planificación adecuados pueden contribuir significativamente a la sostenibilidad energética y a la mejora de la calidad de vida en entornos urbanos. La implementación de estas tecnologías no solo es viable desde un punto de vista técnico y económico, sino que también representa una oportunidad para avanzar hacia un futuro más respetuoso con el medio ambiente y eficiente en el uso de recursos.

## 4.2. Recomendaciones

Una vez finalizado el proyecto, se han identificado diversas deficiencias en el sistema de iluminación del Parque Central de Saraguro. El conjunto de luminarias existentes está obsoleto y no cumple con los parámetros mínimos necesarios para proporcionar confort ni para realzar la apariencia del lugar. Por ello, se recomienda reemplazar las luminarias actuales, revisando también el cableado y las protecciones, como los interruptores Termomagnéticos de cada circuito, así como la potencia y diseño de las luminarias, y por supuesto, los mástiles o postes que deben cumplir con una serie de normativas.

En caso de que se ejecute el sistema fotovoltaico, es importante considerar que el mantenimiento de los equipos es casi nulo. Sin embargo, ante cualquier eventualidad, es necesario contar con un técnico responsable de la supervisión, manejo y control del sistema, ya que la conexión de los paneles implica corrientes significativas que pueden ser peligrosas al contacto humano. Por último, aunque en la tesis no se abordó este tema, no se debe subestimar su importancia, a pesar de que podría aumentar el costo de la instalación. Para proteger tanto los equipos como a las personas, se podría añadir al sistema fotovoltaico un circuito de conexión a tierra, dado que existe el espacio necesario para realizarlo y se garantizaría la seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A. Abella, “Sistemas fotovoltaicos,” *SAPT Publicaciones Técnicas, SL*, 2005.
- [2] P. Martín Turiel *et al.*, “Determinación experimental del incremento de producción en sistemas solares fotovoltaicos con seguimiento en un eje y en dos ejes,” 2016.
- [3] W. S. Romero Ramón y D. A. Jiménez Criollo, “Automatización e implementación de un sistema de iluminación solar fotovoltaico para dos paradas de buses,” B.S. thesis, 2024.
- [4] F. H. López Andrade y R. F. Olivo Orozco, “Iluminación automática de los espacios verdes y áreas de circulación de la esfot controlado por un plc y un tablero de control,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2005, 2006.
- [5] J. C. Pidre y C. J. C. González, “Equipos de medida en iluminación,” in *Seminario técnico sobre iluminación. 2015 Año Internacioanal de la luz.: Vigo. 29 y 30 de Junio de 2015. Auditorio del Edificio Municipal del Arenal (Antiguo Edificio del Rectorado)*. Asociación de Ingenieros Industriales de Galicia, 2015, pp. 114–117.
- [6] F. D. Vélez Mosquera y C. X. Grijalva Campoverde, “Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio unidad educativa dr. francisco falquéz ampuero,” B.S. thesis, 2020.
- [7] C. Conelec, “Atlas solar del ecuador con fines de generación eléctrica,” *Obtenido de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09>*, 2008.
- [8] O. Guillermo Soto y J. Hernández Venegas, “Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos,” Artículo Investigativo, Chile, Nov. 2018.

- [9] M. I. Aucay Lalvay y J. A. Criollo Criollo, “Evaluación de la iluminación actual en los parques del perímetro del centro urbano de la ciudad de Cuenca y propuesta de repotenciación de luminarias,” B.S. thesis, 2022.
- [10] G. S. Salazar Pérez, “Análisis técnico y económico de la implementación del net metering para diferentes tipos de consumidores de electricidad en el Ecuador,” B.S. thesis, Quito, 2020., 2020.
- [11] C. R. Alvarado Guanín, “Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de Cuenca,” B.S. thesis, 2015.
- [12] E. A. Basantes Torres y L. F. Lechón Gonza, “Análisis técnico económico para la implementación de una central solar fotovoltaica en la parroquia de San Antonio de Pichincha,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2012, 2012.
- [13] G. Arencibia-Carballo, “La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica,” *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, no. 9, pp. 1–4, 2016.
- [14] A. Leyzaola Sanchez y R. Martínez Lopez, “Propuesta de sistemas fotovoltaicos y sistema de iluminación de áreas comunes para un parque industrial en Querétaro.”
- [15] A. Iciar del Río, “Diseño de una luminaria led,” B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [16] L. A. Fuentes Guzmán, I. Gómez Pórtela, y V. A. Guerrero Martínez, “Conceptos generales sistemas de Iluminación,” Artículo Investigativo, Institutos Tecnológicos, Veracruz, Oct. 2015. [En línea]. Recuperable: [https://www.academia.edu/19527767/1UNIDAD\\_Sistemas\\_de\\_iluminacion\\_CONC](https://www.academia.edu/19527767/1UNIDAD_Sistemas_de_iluminacion_CONC)
- [17] M. P. Guallpa Bajaña y O. L. Jiménez Cajamarca, “Evaluación de la influencia de los niveles de iluminación y temperatura del color en la atención a clases, aplicado en un caso en la universidad politécnica salesiana sede Cuenca,” B.S. thesis, 2019.
- [18] C. Morente Montserrat, “Fundamentos de Iluminación,” Curso On-line de Iluminación, Aug. 2020. [En línea]. Recuperable: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/fundamentosIluminacion-magnitudesLuminosas.php>
- [19] J. F. Mora Freire, “Optimización de iluminación de parques conforme a la norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas,” B.S. thesis, 2018.

- [20] J. Ballester-Olmos y Anguís *et al.*, “Iluminación artificial de las zonas verdes,” *Hojas Divulgadoras-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España)*, no. 2121, 2006.
- [21] “Investigación sobre las características de carga de lámparas de bajo consumo y lámparas led,” in *Conferencia Internacional IEEE 2016 sobre Tecnología de Sistemas de Energía (POWERCON)*.
- [22] D. Witzel, “Dialux evo–new calculation method,” *DIAL,[Online].*, *nd Acceso em*, vol. 20, no. 03, 2022.
- [23] C. Sánchez Pacheco *et al.*, “Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano,” Master’s thesis, Universidad Internacional de Andalucía, 2010.
- [24] E. , “Innovación en Energías Renovables: Últimas Tendencias y Avances Tecnológicos,” Sep. 2023. [En línea]. Recuperable: <https://ekidom.com/innovacion-y-sostenibilidad/innovacion-energias-renovables-ultimas-tendencias-avances-tecnologicos/>