



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ANÁLISIS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN
DEL EDIFICIO GUILLERMO MENSI MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA**

Trabajo de titulación previa a la obtención del

título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: BYRON VINICIO GUAYLLAS URGILES

JONNATHAN FERNANDO MOROCHO CORNEJO

TUTOR: ING. CARLOS ULICER PERALTA LOPEZ, Mgrt

Cuenca - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Byron Vinicio Guayllas Urgiles con documento de identificación N° 0106569148 y Jonnathan Fernando Morocho Cornejo con documento de identificación N° 0107468381; 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 , 26 de abril de 2024

Atentamente,



Byron Vinicio Guayllas Urgiles
0106569148



Jonnathan Fernando Morocho Cornejo
0107468381

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

Nosotros, Byron Vinicio Guayllas Urgiles con documento de identificación N° 0106569148 y Jonnathan Fernando Morocho Cornejo con documento de identificación N° 0107468381, 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 para la eficiencia energética de los sistemas de iluminación del edificio Guillermo Mensi mediante un sistema fotovoltaico de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca”, 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 , 26 de abril de 2024

Atentamente,



Byron Vinicio Guayllas Urgiles
0106569148



Jonnathan Fernando Morocho Cornejo
0107468381

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Ulicer Peralta Lopez con documento de identificación N° 0103112561, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO GUILLERMO MENSI MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, realizado por Byron Vinicio Guayllas Urgiles con documento de identificación N° 0106569148 y Jonnathan Fernando Morocho Cornejo con documento de identificación N° 0107468381, 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 , 26 de abril de 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is written in a cursive style and appears to read 'Carlos Peralta'. Below the signature, there is a horizontal line.

Ing. Carlos Ulicer Peralta Lopez, Mgtr.

0103112561

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de tesis a mis padres, Manuel y Josefa quienes con su amor, apoyo y sacrificios han sido el pilar fundamental de mi educación y desarrollo académico.

Desde el principio en mi formación, ustedes han estado a mi lado, brindándome aliento y orientación en cada paso del camino. Su fe inquebrantable en mí y su constante motivación han sido un faro de luz en los momentos de duda y desafío.

A través de su ejemplo de trabajo arduo, perseverancia y valores, me han enseñado la importancia de la dedicación y la excelencia en todo lo que emprendo. Su sacrificio y compromiso han sido la fuerza impulsora detrás de mi búsqueda de conocimiento y superación personal.

Guayllas Vinicio

El presente trabajo de titulación en primer lugar va dedicado a Dios, que durante esta etapa de formación profesional me dio fortaleza para cumplir cada objetivo y superar cualquier adversidad que se presentara.

A mis padres Manuel Morocho y María Cornejo, que me enseñaron a no rendirme sin importar la situación en la que me encontrara, quienes con mucho amor y dedicación hicieron posible mi formación profesional así como la formación en valores y actitudes, quienes también me enseñaron que todo es posible y que nunca me faltará un apoyo incondicional.

Finalmente, pero no menos importante esto es para mis compañeros, amigos y familiares que siempre estuvieron apoyándome y cuidándome, muchos de ellos forman parte muy importante de lo que soy ahora, también a J que me enseñó muchas cosas sin importar las diferencias nuestras, en especial a mis adorados hermanos, Jenny, Darwin y Diego, cuya presencia siempre ha sido el bálsamo que calma mis tormentas, la chispa que enciende mi sonrisa en medio de la oscuridad, también a Cristina y Karina que aportaron su granito de arena en mi formación personal y profesional.

Morocho Jonnathan

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres por todo el amor, el tiempo y los recursos que han invertido en mi educación. Cada sacrificio que han hecho ha sido una inversión en mi futuro, y no puedo expresar con palabras lo agradecido que estoy por ello.

Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Espero que este trabajo sea un testimonio de su influencia positiva en mi vida y un tributo a su inquebrantable apoyo.

Con todo mi amor y gratitud, Vinicio.

Guayllas Byron

Agradezco primeramente a Dios por llevarme hasta el final y culminar este trabajo de investigación, donde se ve reflejado todo el esfuerzo y los conocimientos adquiridos durante la formación profesional en esta carrera.

También me gustaría agradecer a mi compañero con el cual empezamos este proyecto de titulación, además de todos los que me apoyaron durante esta etapa final como amigos, compañeros y familiares. En especial a mis padres, que me brindaron su apoyo incondicional para lograr este objetivo.

Finalmente, agradezco a nuestro director de tesis el Ing. Carlos Peralta que nos ayudó y guió académicamente en el proceso y desarrollo de este tema con su experiencia y calidad profesional.

Morocho Jonnathan

Índice general

0.1. Resumen	1
0.2. Abstract	1
1. Introducción	2
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del problema	5
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Grupo Objetivo	6
1.4.2. Objetivo General	6
1.4.3. Objetivos Específicos	6
2. Metodología	7
2.1. Etapas de Metodología	7
3. Marco Teórico	9
3.1. Luz	9
3.1.1. Iluminación Eficiente	9
3.1.2. Flujo Luminoso	10
3.1.3. Medida de Flujo Luminoso	10
3.1.4. Cantidad de Luz	10
3.1.5. Distribución Luminosa	11
3.1.6. Iluminancia	11
3.1.7. Medida de luminancia	12
3.2. Luminarias	12
3.2.1. Luminarias LED's	12
3.2.2. Calidad de Luminarias LED's	12
Características de los LED's	12
3.3. Normativa de Iluminación	13
3.3.1. Normativa Española	13
Introducción	13
Objetivo y campo de aplicación	14
Criterios de Diseño de Iluminación	14
Consideraciones de diseño de Iluminación	19
Lista de requisitos específicos de iluminación	22
Procedimiento de Verificación	22
3.4. Sistemas Fotovoltaicos	23
3.4.1. Uso del sol como medio Energético	24

3.4.2.	Energía Solar en el Ecuador	24
3.4.3.	La radiación Solar	26
3.4.4.	Sistemas Fotovoltaicos Aislados	28
3.4.5.	Características del sistema Fotovoltaico	28
3.4.6.	Aplicaciones de Sistemas Fotovoltaicos.	31
3.4.7.	Modulo Fotovoltaico (Panel Solar)	32
3.4.8.	Estructuras para Soporte	34
3.4.9.	Regulador	35
3.4.10.	Inversor DC/AC	38
3.4.11.	Sistema de Protección	41
	Protección de Módulos Fotovoltaicos	41
	Protección del Generador Fotovoltaico	41
	Protección de Baterías Acumuladoras	42
	Protección del inversor solar y los circuitos de utilización	42
	Sistema de puesta a tierra	42
3.4.12.	Sistema de Almacenamiento	43
3.4.13.	Cargas	45
3.4.14.	Cableado	46
3.4.15.	Ecuaciones Diseño Sistema Fotovoltaico	48
	Inclinación Óptima	48
	Orientación	49
	Perdidas por Inclinación y Orientación	49
	Condiciones estándar de medida	49
	Condiciones críticas de funcionamiento	50
	Potencia Máxima	50
	Calculo de consumo	50
	Calculo de Inversor	51
	Potencia Mínima del generador fotovoltaico	51
	Calculo de numero de celdas	52
	Calculo para determinar la corriente del regulador	52
	Calculo del banco de baterías	53
	Conductores	54
	Protecciones	56
	Perdidas y Eficiencia	56

4.	Análisis del sistema de Iluminación y Diseño del sistema Fotovoltaico del Bloque Guillermo Mensi de la UPS	58
4.1.	Análisis de la Iluminación en El Bloque Guillermo Mensi de la UPS	58
	4.1.1. Método de medición del nivel y calidad de iluminación	58
	4.1.2. Análisis lumínico de un Aula	61
	4.1.3. Análisis lumínico de pasillos, Gradas y Baños	63
	4.1.4. Análisis lumínico de auditorios	76
4.2.	Consumo energético actual de los circuitos de iluminación del edificio	84
	4.2.1. Filtración de datos obtenidos del medidor inteligente	84
	Datos obtenidos del medidor inteligente del edificio	84
	4.2.2. Consumo energético de los circuitos de iluminación por áreas	85
	4.2.3. Consumo de energía de aulas	85

4.2.4.	Consumo de energía de pasillos y Baños	89
4.2.5.	Consumo de energía de auditorios	97
4.2.6.	Consumo total de energía en todos los circuitos de Iluminación	106
4.3.	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.	107
4.3.1.	Cálculo de potencia requerida en el nuevo sistema	107
4.3.2.	Componentes del sistema fotovoltaico	107
	Radicación solar en la UPS	107
	Inclinación y Orientación	109
	Cálculo del Banco de almacenamiento	109
	Cálculo de celdas o paneles fotovoltaicos	111
	Cálculo del regulador o Controlador de Carga	113
	Cálculo del inversor	114
	Cálculo de Conductores	115
	Cálculo de protecciones	121
	Puesta a Tierra	122
4.4.	Diagrama de la Conexión del Sistema Diseñado	122
4.5.	Metrado y Presupuesto para el sistema de generación fotovoltaica	124
5.	Análisis de resultados , Conclusiones y Recomendaciones	125
5.1.	Análisis	125
5.1.1.	Análisis de la eficiencia lumínica de los espacios del Edificio	125
5.1.2.	Análisis del ahorro energético con el Sistema Fotovoltaico	127
	Análisis Técnico y Económico	127
	Inversión Inicial y Mantenimiento	128
	Generación de Potencia	129
	Ahorro económico RBC	129
5.2.	Conclusiones Generales	135
5.2.1.	Conclusiones del análisis de Iluminación	135
5.2.2.	Conclusiones del Diseño del Sistema Fotovoltaico	136
5.3.	Recomendaciones	137
	Bibliografía	139
6.	Anexos	143
6.1.	Anexo A: Características de la Batería	143
6.2.	Anexo B: Características del Módulo Fotovoltaico	144
6.3.	Anexo C: Características del Regulador de Carga	145
6.4.	Anexo D: Características del Inversor	147
6.5.	Anexo E: Radiación Solar obtenido de la plataforma PVGIS	149

0.1. Resumen

Este proyecto técnico engloba un estudio de optimización del consumo eléctrico en el sistema de iluminación, utilizando un sistema fotovoltaico en los espacios interiores del edificio Guillermo Mensi de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. La evaluación del ahorro en el consumo energético se fundamenta en el análisis de los niveles de iluminación en todas las áreas, comparándolos con las normativas establecidas en el desarrollo. Este análisis verifica la idoneidad de los niveles de iluminación y, en caso necesario, propone cambios en las luminarias o su reposición, con el objetivo de reducir el consumo energético sin incrementarlo. Además, se lleva a cabo un análisis del diseño, evaluando la factibilidad, rentabilidad y beneficios de la integración de un sistema fotovoltaico al diseño lumínico original.

En última instancia, se presenta un análisis comparativo tanto técnico como económico entre el análisis de iluminación y el diseño fotovoltaico en la Universidad Politécnica Salesiana, proporcionando una visión integral de los beneficios y desafíos asociados con la adopción de sistemas fotovoltaicos en sistemas de iluminación existentes.

Palabras clave: *Optimización de iluminación, Ahorro Energético, Consumo Eléctrico, Sistemas de Iluminación, Niveles mínimos de Iluminación, Diseño sistemas, Normativas, Dimensionamiento, Sistema Fotovoltaico, Consumo Energético, VAN, TIR, RBC.*

0.2. Abstract

This technical project includes a study of optimization of electricity consumption in the lighting system, using a photovoltaic system in the interior spaces of the Guillermo Mensi building of the Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. The evaluation of savings in energy consumption is based on the analysis of lighting levels in all areas, comparing them with the regulations established in the development. This analysis verifies the suitability of the lighting levels and, if necessary, proposes changes in the lighting fixtures or their replacement, with the aim of reducing energy consumption without increasing it. In addition, a design analysis is carried out, evaluating the feasibility, cost-effectiveness and benefits of integrating a photovoltaic system into the original lighting design.

Ultimately, a comparative technical and economic analysis between the lighting analysis and the photovoltaic design at the Salesian Polytechnic University is presented, providing a comprehensive view of the benefits and challenges associated with the adoption of photovoltaic systems.

Keywords: *Lighting Optimization, Energy Saving, Electrical Consumption, Lighting Systems, Minimum Lighting Levels, System Design, Regulations, Sizing, Photovoltaic System, Energy Consumption, VAN, TIR, RBC.*

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Con el aumento de la población y los avances tecnológicos que han llevado a la creación de nuevas máquinas y equipos eléctricos, incluyendo dispositivos electrónicos, el costo y la demanda de energía eléctrica han experimentado un incremento significativo. En este contexto, se ha intensificado el interés en la reducción del consumo de energía en sistemas de iluminación. Este enfoque se justifica por la facilidad de sustitución en diversas instalaciones, ya sean de carácter industrial, comercial, institucional o residencial. La necesidad de optimizar el consumo energético en sistemas de iluminación se ha vuelto más relevante en vista de la dinámica evolución de la demanda energética y la consiguiente presión para implementar prácticas más eficientes y sostenibles. De acuerdo a investigaciones previas en eficiencia energética [1], han desarrollado 4 líneas principales para abordar este problema los cuales son: el uso de equipos de iluminación más eficientes, las prácticas de diseño de iluminación mejoradas, las mejores prácticas de gestión de energía de iluminación y el uso de energías renovables. Este documento se enfoca en la gestión de energía de los sistemas de iluminación del edificio Guillermo Mensi mediante la integración de un sistema fotovoltaico. Este proceso implica ajustes correspondientes en el sistema de iluminación y la implementación de estrategias de control destinadas a disminuir el uso excesivo de iluminación eléctrica en el edificio. La finalidad de estas intervenciones es reducir los costos económicos asociados con los consumos energéticos mensuales, mediante la optimización del uso de energía lumínica a través de fuentes fotovoltaicas, promoviendo así prácticas más eficientes y sostenibles. Dos ejemplos comunes de uso excesivo de la iluminación son: proporcionar iluminación eléctrica cuando un edificio está desocupado y usar iluminación eléctrica completa cuando existe luz natural disponible. Lemos [2], determinó que un inmueble educativo se distingue por su peculiaridad en términos de horarios de ocupación, que varían tanto a lo largo del día como de la semana, así como por los diferentes propósitos que sirve tanto durante el día como durante la noche, y por la variedad de usos de sus distintos espacios, como aulas, baños, oficinas, laboratorios y salas de ejercicios. La eficiencia en el consumo de energía en el ámbito educativo se encuentra vinculada a una serie de factores, entre los que se incluyen la estructura del edificio, el sistema de iluminación empleado, el uso de tecnología, los sistemas de calefacción y la densidad de ocupación de las instalaciones escolares. Los grandes consumidores institucionales, comerciales e industriales suelen recibir facturas eléctricas mensuales que incluyen cargos tanto por el consumo total como por la demanda pico. Jones [3], estimó que para reducir los costes económicos es necesario reducir los consumos energéticos en horas picos, para ello debemos considerar el consumo de las luminarias en general ya que estas

están en funcionamiento casi todo el tiempo del día en mayor parte por las noches y tardes. Por un lado, se conoce que la iluminación desempeña un papel importante en todos los ámbitos de la vida y debería permitirse que se desempeñe su función prevista de mejorar la calidad de nuestras vidas aumentando en gran mayoría la productividad dentro de cualquier ámbito, sin la necesidad de que su consumo energético sea alto y de la misma manera sin descuidar los niveles de luminosidad mínimos y básicos requeridos para cada área de trabajo .

Durante los últimos años, ha habido cambios significativos en los niveles de iluminación y los costos de las lámparas LED. De acuerdo a Otorongo [4], la iluminación ahora alcanza niveles de 50 a 100 lumens/watt, mientras que los costos de las lámparas se han reducido de 70 a 10 dólares entre 2010 y 2014. Se espera que para el año 2025, las luminarias LED representen el 85 % del mercado global de sistemas de iluminación. Si se sigue investigando y desarrollando la tecnología LED, se espera que para el año 2030 se pueda ahorrar 261 TWh/año, lo que representaría una reducción del 50 % en el consumo de electricidad en comparación con un escenario sin el uso de sistemas de iluminación LED. Además, si la penetración de los sistemas LED es aún mayor, el ahorro anual podría aumentar a 395 TWh en el año 2030, lo que equivaldría a una reducción del 60 % en el consumo de electricidad en comparación con un escenario sin el uso masivo de luminarias LED en los sistemas de iluminación [5].

En Ecuador, la implementación de un programa de sustitución de luminarias convencionales por luminarias LED en los sectores residencial, comercial e industrial está dando un resultado bastante positivo ya que se observa una reducción significativa en el consumo de energía eléctrica y en costos más bajos tanto para los consumidores como para el Estado [6]. La tecnología LED consume menos energía y tiene una vida útil más larga que las luminarias convencionales. Los sistemas de iluminación basados en luminarias LED son hasta un 80 % más eficientes que las fuentes de iluminación tradicionales, como las lámparas fluorescentes e incandescentes. La tecnología LED ha demostrado una elevada eficacia energética en relación a las fuentes de iluminación convencionales. Asimismo, la constante reducción de los precios de adquisición de las luminarias LED permite una recuperación de la inversión inicial en períodos de tiempo razonables [7].

En muchos sistemas de iluminación, se pueden lograr importantes ahorros de energía realizando los siguientes pasos [1]:

1. Reducir el número de lámparas en las luminarias existentes. Esta práctica resultará en una reducción de la salida y calidad de la luz y puede incluso crear condiciones de trabajo inseguras.
2. Reemplazar las luces existentes con lámparas de ahorro de energía. Este enfoque preservará la distribución de la iluminación, pero generalmente reduce el nivel de iluminación. Por lo tanto, se debe considerar cuidadosamente el efecto sobre la seguridad y la productividad. Desde la crisis energética, varios fabricantes de lámparas han introducido lámparas de ahorro de energía. La sustitución de las luces existentes con estas lámparas se puede aplicar mejor donde el nivel de iluminación es mayor que el nivel recomendado.

De acuerdo a Raimondi [8], se evidenció que debido a los cambios en el clima de nuestro planeta en las últimas décadas, la energía solar se ha convertido en una importante fuente de energía renovable obtenida a partir de la radiación solar. La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes de

energía renovable más fáciles de producir, y por lo tanto se está expandiendo en aquellas regiones con más horas de sol [9]. Los combustibles fósiles han ocasionado una gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas de energía más limpias, como la energía solar y eólica. La radiación solar puede ser utilizada como fuente primaria para generar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico, lo que permite poner en funcionamiento equipos y maquinaria eléctrica dependiendo de las características del sistema de generación y su respectivo diseño de capacidad, tensión y potencia [9]. La incorporación de este tipo de sistemas fotovoltaicos a nuestro sistema eléctrico de iluminación ayudará a reducir de manera notable el consumo de energía por parte del sistema optimizado, así como también con la tecnología que la incorporará permitirá ser energía para uso de emergencias como la de un plan de evacuación durante la noche o cortes inesperados de la energía.

1.2. Planteamiento del problema

En el contexto actual de la creciente industrialización y modernización, la eficiencia energética en sistemas de iluminación se presenta como un factor crítico en la optimización de la productividad y la sostenibilidad. La iluminación en edificaciones es esencial para garantizar condiciones de trabajo adecuadas, pero la creciente demanda de energía y los desafíos medioambientales imponen la necesidad de adoptar sistemas de iluminación que minimicen el consumo energético sin comprometer los niveles óptimos de iluminación en todas las áreas. En este sentido, la implementación de sistemas fotovoltaicos se destaca como una solución viable que combina eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovable para contribuir al cuidado del medio ambiente. Este planteamiento subraya la importancia de investigar y desarrollar estrategias que permitan mejorar la eficiencia energética en sistemas de iluminación, particularmente mediante la integración de sistemas fotovoltaicos en edificaciones.

1.3. Justificación

En la actualidad, el consumo de energía eléctrica está experimentando un aumento constante, impulsado por el crecimiento de la población y el desarrollo tecnológico. Sin embargo, este aumento de consumo a menudo se realiza sin una consideración adecuada de las posibles repercusiones futuras. Por lo tanto, es esencial abordar el ahorro de energía de manera integral, ya que incluso pequeñas pérdidas acumuladas representan un gasto considerable y una ineficiencia energética que afecta tanto a los bolsillos de los consumidores como al medio ambiente. Esta optimización no implica necesariamente la eliminación de funciones en los dispositivos eléctricos o maquinaria, sino más bien la incorporación de elementos y equipos que cumplan con las mismas funciones, pero con un consumo de energía notablemente reducido. Este enfoque permitirá la integración de más componentes en un sistema eléctrico dado, manteniendo o incluso reduciendo el consumo total de energía. De esta manera, se pueden lograr beneficios significativos tanto para los usuarios finales como para el estado, al reducir el consumo de energía en todos los sistemas eléctricos existentes en la actualidad. Además de promover e incentivar la adopción de nuevas fuentes de energía renovable respetuosas con el medio ambiente, es esencial considerar que en la actualidad, la generación de energía está mayormente dominada por centrales hidroeléctricas. No obstante, en ciertos períodos, estas centrales se ven obligadas a operar a capacidades reducidas debido a condiciones climáticas, lo que resulta en una disminución en la producción de energía y un déficit para satisfacer la demanda. Esto, a su vez, obliga al país a adquirir energía a costos que, a largo plazo, pueden tener impactos significativos en la economía nacional, dependiendo de las fluctuaciones en los costos de energía adquirida y producida. La diversificación de las fuentes de energía hacia opciones renovables puede mitigar esta dependencia y contribuir a la estabilidad económica a largo plazo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Grupo Objetivo

El proyecto planteado que se desarrollara en el edificio Guillermo Mensi de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca beneficiará a los estudiantes, docentes y parte administrativa de la universidad, debido a que está enfocado en el ahorro económico y energético, además de la contribución con el medio ambiente por la generación eléctrica renovable en el cual se basa el proyecto reduciendo así la generación tradicional que genera cantidades grandes de dióxido de carbono.

1.4.2. Objetivo General

Analizar la eficiencia y ahorro energético de los circuitos de iluminación a través de la correcta iluminación y diseño de un sistema fotovoltaico en el edificio Guillermo Mensi contribuyendo directamente a la aplicación de soluciones sostenibles y eficientes en el contexto específico para la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

1.4.3. Objetivos Específicos

- Evaluar la factibilidad de reducir el consumo energético de los circuitos de iluminación mediante la reposición de luminarias o el reemplazo de las mismas, controlando los niveles de iluminación según normativas.
- Diseño de un sistema fotovoltaico para el ahorro energético en todos los circuitos de iluminación.
- Evaluar los impactos económicos y técnicos del análisis lumínico y del sistema fotovoltaico diseñado.

Capítulo 2

Metodología

Este trabajo se centra en la reducción del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación mediante la aplicación de una metodología cuantitativa y sistemática. La metodología incluirá la medición lumínica en todos los espacios interiores del edificio Guillermo Mensi de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, con la finalidad de analizar los resultados de los niveles de iluminación de un sistema de iluminación LED, además de analizar la factibilidad de incorporar un sistema fotovoltaico para el mismo sistema eléctrico, con análisis de caso donde se incluirá una metodología de investigación.

Inicialmente, se debe adquirir la información previa necesaria como normativas y datos iniciales de los sistemas de iluminación [4]. A continuación, se procede a la toma de muestras utilizando un método específico para medir los niveles de iluminación, en este caso, se ha optado por el método de cuadrícula. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se realizara el análisis comparativo de los parámetros eléctricos, técnicos y económicos.

Después de llevar a cabo el análisis de la eficiencia lumínica en todas las áreas, se procede con el estudio y análisis de la integración de un sistema fotovoltaico en el sistema eléctrico de iluminación. El propósito es incrementar el ahorro energético de manera significativa, considerando diversos factores como la capacidad de producción y almacenamiento de energía de los sistemas fotovoltaicos, ajustándose a las necesidades del circuito de iluminación del edificio. Además, se tienen en cuenta las características del sistema de generación renovable, tomando como punto de partida el consumo energético del edificio y las horas de sol pico de la ciudad.

2.1. Etapas de Metodología

- **ETAPA 1: Medición de niveles de iluminación en los espacios interiores del edificio .**

Esta etapa consta en la medición de los niveles de iluminación en luxes de todos los espacios aplicando el método de la cuadrícula para dicho propósito.

- **ETAPA 2: Análisis de las muestras de mediciones realizadas para el nivel lumínico.**

Se calcularan los niveles de iluminación , así como la uniformidad y si cumplen con los niveles

de iluminación mínimos que proponen las normas estudiadas.

- **ETAPA 3: Filtrado de datos de consumo eléctrico obtenidos por medidores inteligentes de la universidad.**
Obtención de datos del consumo energético de todos los sistemas de iluminación del edificio Guillermo Mensi, investigación de normas vigentes y tipos de luminarias .
- **ETAPA 4: Calculo del Consumo energético del edificio.**
Mediante potencias de luminarias y horas de actividad de las mismas se procedió con el calculo del consumo en kWh por día y mes , también la potencia máxima del edificio en cuanto a circuitos de iluminación
- **ETAPA 5: Dimensionamiento de sistema fotovoltaico.**
Análisis y diseño de un sistema fotovoltaico de generación para el sistema de iluminación considerando todas las variables posibles.
- **ETAPA 6: Evaluar costos de producción e inversión inicial para el diseño.**
Análisis de costos económicos en cuanto a todo lo que implica un sistema de generación fotovoltaica.
- **ETAPA 7: Análisis de estudios y diseño realizado.**
Evaluar y concluir la factibilidad del nuevo sistema diseñado en cuanto a costos, ahorro y beneficios de la propuesta.
- **ETAPA 8: Conclusiones y Recomendaciones.**
Recomendaciones de la implementación del diseño y sistema propuesto con la ayuda de una tabla de rentabilidad , RBC para análisis de ahorro económico a futuro.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Luz

La "Luz.^{en} el ámbito de la ingeniería eléctrica representa un fenómeno esencial en el que la energía eléctrica se transforma en radiación electromagnética visible en el espectro de la luz. Siguiendo la definición de Hecht [10], "La luz es una manifestación de radiación electromagnética con longitudes de onda aproximadas que oscilan entre 400 y 700 nanómetros, y forma parte del amplio espectro electromagnético".

La generación de luz eléctrica se logra principalmente a través de dispositivos como lámparas o bombillas, diseñados con la finalidad de convertir la energía eléctrica en luz visible. Según Walker [11], "Las lámparas incandescentes, fluorescentes y tecnología LED son ejemplos habituales en la producción de luz eléctrica".

En cuanto a las mediciones, la cantidad de luz emitida se cuantifica en lúmenes (lm), tal como se explica en el documento de CIE [12], "Los lúmenes miden la cantidad total de luz visible emitida por una fuente". La iluminación de una superficie específica se cuantifica en lux (lx) y depende de factores como la distancia entre la fuente de luz y la superficie, así como la dirección de la luz incidente.

Además, en el campo de la ingeniería eléctrica, aspectos fundamentales a considerar en aplicaciones de iluminación son la calidad de la luz, su temperatura de color y su eficiencia energética, tal como lo señala la investigación de Rea [13], sobre iluminación arquitectónica. La ingeniería eléctrica desempeña un rol esencial en la creación y mejora de sistemas de iluminación eléctrica, garantizando una generación, distribución y control seguros, eficientes y confiables de la energía eléctrica utilizada en iluminación. Además, se están desarrollando tecnologías y sistemas de gestión inteligente de la iluminación para mejorar aún más la eficiencia energética, como se discute en la investigación de Dignonnet [14], sobre sistemas de iluminación controlados mediante redes de sensores.

3.1.1. Iluminación Eficiente

La eficiencia lumínica desempeña un papel crítico en la esfera de la ingeniería eléctrica y en la configuración de sistemas de iluminación que persiguen maximizar la conservación de energía y reducir su impacto ambiental. Esta prioridad se ha vuelto cada vez más relevante a medida que se busca disminuir el consumo de energía y los gastos operativos en instalaciones comerciales, industriales y residenciales [15].

La métrica clave para evaluar la eficiencia en la iluminación es la eficiencia luminosa, que se mide

en lúmenes por vatio (lm/W). La relación entre la cantidad de luz generada y la energía consumida resulta crucial en la selección de las fuentes de luz y los sistemas de iluminación. En pos de alcanzar una iluminación eficiente, se emplean fuentes de luz de alta eficiencia, como las luminarias LED, lámparas de bajo consumo y sistemas de gestión de iluminación de avanzada. Entre las alternativas actuales, las luminarias LED se destacan como una elección popular y eficiente debido a su alta eficiencia luminosa y larga vida útil. Además, los sistemas de iluminación LED son sumamente adaptables a distintas aplicaciones y entornos [16].

La regulación de la iluminación es otro aspecto fundamental en la búsqueda de eficiencia. Los sistemas de control permiten ajustar la intensidad lumínica según las necesidades, lo que conduce a un menor consumo energético. Sensores de presencia, reguladores de intensidad y sistemas de gestión de iluminación basados en la tecnología IoT (Internet de las Cosas) son algunas de las soluciones disponibles para optimizar la iluminación y reducir el desperdicio energético [17]. En términos de diseño, resulta crucial considerar la distribución de la luz y la uniformidad en la iluminación. Un diseño de iluminación adecuado puede reducir la cantidad de luminarias requeridas y asegurar que la luz se distribuya de manera eficaz, evitando zonas con sombras y el deslumbramiento de igual forma la normativa y los estándares desempeñan un papel esencial para garantizar la eficiencia en la iluminación. En muchos países, existen regulaciones que establecen los requisitos mínimos de eficiencia para productos de iluminación y sistemas de iluminación en edificios. El cumplimiento de estas normativas es esencial para asegurar que los sistemas de iluminación sean eficientes y respetuosos con el medio ambiente [16].

3.1.2. Flujo Luminoso

El flujo luminoso es un concepto fundamental en la ingeniería eléctrica y la iluminación. Representa la cantidad de luz visible emitida por una fuente de luz o transmitida a través de una superficie o medio. El flujo luminoso se mide en lúmenes (lm) y es crucial en el diseño de sistemas de iluminación y en la evaluación de la eficiencia de las fuentes de luz [17].

3.1.3. Medida de Flujo Luminoso

Diversos conceptos técnicos vinculados a la medición del flujo luminoso comprenden lo siguiente: Lumen (lm): El lumen es la unidad de medida que cuantifica el flujo luminoso. Un lumen equivale a la cantidad de luz que irradia una fuente de iluminación, la cual emite una intensidad luminosa de una candela en un ángulo sólido de un estereorradián. En resumen, representa la suma total de luz visible que emite una fuente de luz en todas las direcciones posibles [18].

Intensidad luminosa (candela, cd): La intensidad luminosa mide la cantidad de luz que se emite en una dirección específica. Representa la cantidad de luz que se expande en un cono de un estereorradián desde una fuente puntual [19]. La intensidad luminosa se emplea en conjunto con el ángulo sólido para calcular el flujo luminoso en lúmenes. Ángulo sólido (estereorradián, sr): El ángulo sólido se refiere a la extensión angular de la superficie en la que se distribuye la luz emitida por una fuente de iluminación. Para calcular el flujo luminoso, se multiplica la intensidad luminosa por el ángulo sólido en estereorradianes.

3.1.4. Cantidad de Luz

Se refiere al flujo luminoso que una fuente de iluminación emite en una dirección específica. Expresado en lúmenes (lm), este concepto técnico describe la cantidad de luz producida en una

ubicación o área específica. La luminosidad juega un papel fundamental en el diseño de sistemas de iluminación, ya que determina la intensidad de la iluminación en un espacio o superficie dada. Al calcular la cantidad de luz en una zona, es esencial considerar factores como el flujo luminoso de la fuente de luz, la distribución de la luz y la distancia entre la fuente de luz y el punto de medición. A mayor cantidad de luz en una ubicación dada, mayor será la luminosidad en esa área, lo que resulta crucial para alcanzar los niveles de iluminación deseados en diversas aplicaciones, como la iluminación de interiores, exteriores, áreas de trabajo y otros entornos [13].

3.1.5. Distribución Luminosa

La distribución luminosa se refiere al patrón o la manera en que la luz se disemina desde una fuente de iluminación en un espacio específico [17]. Este concepto técnico se utiliza para describir cómo la intensidad luminosa se propaga en diferentes direcciones y ángulos en relación con la fuente de luz. La distribución luminosa desempeña un rol fundamental en el diseño de sistemas de iluminación, ya que determina la forma en que una zona o superficie específica se ilumina. Algunos aspectos clave asociados a la distribución luminosa son los siguientes:

Tipo de distribución: Este término se relaciona con el patrón específico en el cual la luz se irradia desde la fuente luminosa. Algunos tipos comunes de distribución luminosa incluyen la simétrica, asimétrica, elipsoidal, circular, entre otros. Cada tipo de distribución está diseñado para adaptarse a diversas aplicaciones y requisitos de iluminación [4].

Ángulo de distribución: Indica la amplitud del campo angular en el cual la luz se emite desde la fuente. Puede ser estrecho y enfocado o amplio y difuso, dependiendo de la aplicación y de cómo se desee iluminar una zona específica [19].

Uniformidad luminosa: La uniformidad se refiere a qué tan constante es la distribución de la luz en una superficie. Un diseño de iluminación efectivo busca lograr una iluminación uniforme para evitar áreas excesivamente brillantes o sombras notables. **Eficiencia de la distribución luminosa:** Este concepto hace alusión a cuánta de la luz emitida por la fuente llega a la zona deseada. Un diseño eficiente en la distribución luminosa minimiza las pérdidas de luz y asegura que la mayor cantidad de lúmenes posible alcance la zona que se pretende iluminar [19].

3.1.6. Iluminancia

La iluminancia, en el ámbito de la luminotecnia, representa una medida fundamental que describe la cantidad de luz incidente que alcanza una superficie en una región específica. Se mide en unidades de lux (lx) y simboliza la densidad del flujo luminoso que llega a un objeto o un espacio. La iluminancia se erige como un concepto fundamental en el diseño de sistemas de iluminación y desempeña un rol crucial en asegurar un ambiente correctamente iluminado y funcional. Para determinar la iluminancia, se toman en consideración factores esenciales como la distancia entre la fuente lumínica y la superficie de interés, así como la potencia de la fuente de luz. Este parámetro resulta imprescindible al evaluar la calidad de la iluminación tanto en entornos interiores como exteriores, como oficinas, residencias, zonas industriales, carreteras y espacios públicos. La aplicación adecuada de la iluminancia en el diseño luminotécnico implica considerar las necesidades específicas de iluminación de una aplicación determinada, cumpliendo con los estándares y regulaciones necesarios para garantizar una iluminación segura y eficiente. Mediante mediciones precisas de iluminancia, los diseñadores de iluminación pueden asegurar que la cantidad y calidad de la luz sean óptimas para los usuarios y las tareas en un entorno dado, contribuyendo así a un ambiente más cómodo y productivo [20].

3.1.7. Medida de luminancia

La medición de la iluminancia se lleva a cabo mediante un dispositivo conocido como luxómetro. Un luxómetro es un instrumento diseñado para cuantificar la cantidad de luz que incide en una zona específica y expresarla en unidades de lux (lx). El proceso de medición se ejecuta de la siguiente manera:

Sitúa el luxómetro en el lugar donde deseas medir la iluminancia. El luxómetro detecta la cantidad de luz que alcanza su sensor desde la fuente de iluminación y su entorno circundante [12].

3.2. Luminarias

Las luminarias se definen como dispositivos diseñados para alojar y controlar fuentes de luz artificiales, proporcionando iluminación en espacios específicos. Estos sistemas integran componentes como la fuente lumínica, elementos de control y distribución de la luz, así como estructuras de soporte. Su propósito principal es emitir y dirigir la luz de manera eficiente y segura, adaptándose a distintos entornos y necesidades lumínicas. Las luminarias se caracterizan por su capacidad para optimizar la calidad y eficiencia de la iluminación, cumpliendo con estándares técnicos y normativas de eficiencia energética [21].

3.2.1. Luminarias LED's

Las luminarias mencionadas representan un progreso significativo en la optimización del uso de energía, destacándose como las más eficientes hasta la fecha. A pesar de su liderazgo en el mercado en términos de eficiencia, su integración total en el panorama de la iluminación se ve limitada por consideraciones de coste, lo que lleva a la evaluación de otras alternativas de sistemas de iluminación. El diodo emisor de luz (LED) es un componente que emite luz intensa, con mínima generación de calor y ausencia de emisión de gases perjudiciales. Además, su resistencia al alto voltaje lo posiciona como un producto reconocido globalmente, representando una nueva generación de tecnología ambientalmente amigable y de alto rendimiento [21].

3.2.2. Calidad de Luminarias LED's

Esto implica la capacidad de mantener niveles de salida de luz uniformes, colores precisos y una distribución adecuada del flujo luminoso. Factores como la estabilidad térmica, la eficiencia energética y la durabilidad de los componentes también influyen en la calidad de estas luminarias. Asimismo, la calidad se evalúa mediante estándares y pruebas que consideran la consistencia del rendimiento lumínico, la gestión térmica y la resistencia a factores ambientales, asegurando un funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo [17].

Características de los LED's

- No se desgastan fácilmente y proporcionan al mismo tiempo una intensidad de luz constante a largo período.
- Un vida de duración de aproximadamente 100000 horas , que pueden ser usados por 20 años asumiendo su uso de 12 hrs por 365 días.
- Ahorro de energía , muy bajo consumo de potencia.

- Luz súper alta dependiendo de su constitución ,además de una variedad de colores como RGB.
- Ambiente de trabajo: se utiliza con seguridad al interior o exterior debido a su soporte de temperatura que es de -40C a +85C y una humedad ¡65 %.
- Instalación rápida: Los modelos de los LED´s son a 12 Vdc , con conexiones uniformes. También aseguran un traslado seguro.
- La alta eficiencia y alta iluminación están acorde a los estándares de calidad [21].
- Alta eficiencia luminosa.
- Genera un rango muy pequeño de calor.
- Alta resistencia a golpes y vibraciones.
- Variedad en modelos y colores.
- Contiene tecnología incorporada contra armónicos en la red.

3.3. Normativa de Iluminación

Una normativa en iluminación busca una regulación y homogeneidad lumínica en donde se alude a un conjunto de pautas, criterios o instrucciones que se establecen con el fin de supervisar la iluminación en una variedad de contextos, tales como inmuebles, zonas de uso público, vías de tránsito y demás locaciones. Estas regulaciones están concebidas para asegurar que la iluminación sea segura, efectiva y apropiada para su uso previsto, al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental y se resguarda la salud y el bienestar de las personas que interactúan en dichos ambientes.

3.3.1. Normativa Española

Introducción

Una correcta y apropiada iluminación posibilita realizar tareas visuales de manera eficiente y precisa , incluso aquellas que se llevan a cabo durante un período prolongado de tiempo o tienen un carácter repetitivo . El nivel de comodidad y visibilidad requerido en una amplia gama de entornos de trabajo varía según la naturaleza y la duración de la actividad. Además de mejorar nuestro rendimiento y bienestar, la iluminación también tiene un impacto en los ritmos circadianos, y el estado emocional, contribuyendo de manera óptima el desempeño individual [22].

De acuerdo a la UNE [22], El sistema de iluminación definitivo que se planifique, instale y esté operativo, ha de suministrar una iluminación efectiva y de alta calidad, ajustada a las exigencias de los usuarios y a su capacidad visual, como, por ejemplo, los trabajadores de edad avanzada en los entornos laborales.

Objetivo y campo de aplicación

De [22], La normativa europea en cuestión establece las pautas de iluminación aplicables a los entornos laborales interiores, con el propósito de atender a las demandas de comodidad visual y eficiencia de aquellos individuos que poseen una capacidad visual normal o corregida. Se consideran todas las labores visuales habituales, abarcando también equipos de visualización, como los Dispositivos de Pantalla (DSE, Display Screen Equipment).

La presente normativa europea detalla las exigencias relativas a las propuestas de iluminación destinadas a la mayoría de los espacios de trabajo en interiores y sus zonas afines, tanto en lo que respecta a la cantidad como a la calidad de la iluminación. Asimismo, ofrece sugerencias relacionadas con las mejores prácticas en iluminación, abarcando tanto las necesidades visuales como las no visuales [22].

Criterios de Diseño de Iluminación

En un correcto diseño de iluminación se debe considerar los diferentes aspectos que lo conforman para obtener resultados óptimos y deseados para cualquier ambiente en interiores.

■ Ambiente Luminoso:

Para la buena practica de una iluminancia en necesario que se cumplan unos requerimientos de iluminancia cuantitativos y cualitativos que satisfagan lo requerido como:

- Confort Visual.
- Rendimiento Visual.
- Seguridad de Personas.
- Distribución de Luminarias.
- Iluminancia.
- Deslumbramiento.
- Dirección de Luz.
- Reproducción Cromática y Color de Luz.
- Parpadeos de luz.
- Niveles de Iluminación.

■ Distribución de Luminarias:

En esta etapa se considera y controla el nivel de adaptación de los ojos que se ven reflejados de la visibilidad, donde es necesario considerar una iluminancia equilibrada de todas las superficies para un mejor entorno visual.

En donde se deben considerar los sub temas de importancia como son los siguientes:

- Reflectancia de Superficies.
Es un factor de bastante importancia dentro del ahorro energético ya que ayuda al confort visual.
- Iluminancia sobre Superficies.
La iluminancia en las diferentes superficies junto con la reflectancia mejoran a la luminancia formando un indicador de la luminosidad de cualquier ambiente interior.

- Iluminancia:

Los espacios a iluminar son ambientes de actividades y tareas, donde se encuentran inmediatamente áreas de fondo, las paredes, el techo y objetos del espacio.

Para una correcta iluminancia es necesario considerar los siguientes aspectos o factores de iluminancia:

- Escala de Iluminancia.
- Iluminancia en las zonas de tarea o actividad
 - Aspectos psico-fisiológicos, confort visual.
 - Requisitos de tareas.
 - Ergonomía Visual.
 - Experiencia Práctica.
 - Seguridad Funcional.
 - Economía.

Además se debe considerar factores para modificar una iluminación en cualquier ambiente las mismas se reflejan en las siguientes tablas.

La visualización en el trabajo es crítica
Los errores son costosos de rectificar
La precisión, una mayor productividad o una mayor concentración son de gran importancia
Los detalles de los objetos en la tarea son de tamaño inusualmente pequeño o de bajo contraste
La tarea se realiza durante un tiempo inusualmente largo
El área de tarea o el área de actividad tiene poca luz natural
La capacidad visual del trabajador es inferior a la normal

Figura 3.1: Modificadores de contexto para aumentare la iluminancia mantenida.

los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de alto contraste;
la tarea se lleva a cabo durante un tiempo inusualmente corto.

Figura 3.2: Modificadores de contexto para disminuir la iluminancia mantenida requerida.

- Iluminancia en el área circundante inmediata.
La cantidad de luz en las zonas cercanas debe estar vinculada a la cantidad de luz en la zona de trabajo o actividad, y se debe asegurar una distribución uniforme de la luminosidad en todo el campo visual. Esta región adyacente inmediata debe abarcar al menos medio metro alrededor del área de trabajo en el campo visual [22].
- Iluminancia del área de fondo.
En entornos laborales en interiores, especialmente en aquellos que carecen de luz natural,

Iluminancia del área de tarea o área de actividad \bar{E}_m lx	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤ 150	<i>igual que el área de tarea</i>

Figura 3.3: Relación entre la iluminancia de áreas circundantes inmediatas y la iluminación del área de tarea o área de actividad.

es esencial proporcionar iluminación para una extensa zona que se extienda más allá del área inmediata [22].

- Uniformidad de Iluminancia.

Los estándares de uniformidad de la iluminación no son relevantes en situaciones con luz natural, ya que la intensidad y la disposición de la luz varían constantemente debido a factores climáticos y al entorno externo. Los beneficios adicionales de la luz natural pueden contrarrestar cualquier falta de uniformidad [22].

- Rejilla de Iluminación:

La rejilla de iluminancia es un sistema de mapeo o medición que evalúa la distribución de la iluminación en un espacio determinado, permitiendo conocer la uniformidad de la luz en ese lugar. Esto es fundamental para garantizar que un área cuente con una iluminación adecuada y que los niveles lumínicos sean consistentes en todo el espacio.

- Deslumbramiento:

El deslumbramiento es la percepción incómoda causada por áreas muy luminosas que se encuentran dentro de nuestra visión, como superficies brillantes, partes de las lámparas, ventanas o luces en el techo. Es importante controlar el deslumbramiento para prevenir errores, cansancio y situaciones de riesgo. Esta sensación incómoda puede presentarse como un deslumbramiento molesto o que perturba la visión [22].

Donde se consideran los siguientes factores para evaluar el deslumbramiento:

- Limitación de la iluminación de la luminaria.

La existencia de fuentes de luz muy intensas puede ocasionar deslumbramiento, perturbando la percepción de los objetos. Para prevenir esto, es necesario implementar adecuados dispositivos de apantallamiento en las fuentes luminosas o gestionar adecuadamente la luz intensa que ingresa a través de las aperturas destinadas a la luz natural. En situaciones donde la fuente de luz es directamente visible en las luminarias, se deben aplicar los ángulos de apantallamiento mínimos descritos en la tabla, en función de la luminancia específica de la fuente de luz y el campo visual [22].

Luminancia de la fuente de luz kcd m ⁻²	Ángulo de apantallamiento mínimo α
20 a < 50	15°
50 a < 500	20°
≥ 500	30°

Figura 3.4: Ángulos de apantallamiento mínimos para luminancias de fuente de luz especificada.

Cuando las luminarias impiden la visión directa de la fuente luminosa mediante medios ópticos, se deben observar los valores máximos que se detallan en la tabla a continuación, tomando en cuenta la luminancia promedio de la luminaria en relación con los valores del ángulo fotométrico vertical.

Ángulo fotométrico vertical γ	Luminancia media máxima de un elemento óptico luminoso kcd m ⁻²
$75^\circ \leq \gamma < 90^\circ$	≤ 20
$70^\circ \leq \gamma < 75^\circ$	≤ 50
$60^\circ \leq \gamma < 70^\circ$	≤ 500

Figura 3.5: Luminancia media máxima de un elemento óptico luminoso a los ángulos fotométricos verticales especificados.

Cabe destacar que las tablas no son aplicables a las luminarias que emiten luz únicamente hacia arriba y se instalan por encima del nivel normal de los ojos, ni a las que emiten luz solo hacia abajo y se ubican por debajo del nivel normal de los ojos [22].

- Deslumbramiento Molesto. En áreas con aporte de la luz natural por aberturas, puede producirse un deslumbramiento, ya sea por la entrada directa de la luz solar o por que la luminancia en el campo de visión es demasiado alta en comparación con los niveles de adaptación del ocupante en un momento dado.

Tener en cuenta los tipos de deslumbramiento molesto:

- Deslumbramiento molesto por luz natural.
- Deslumbramiento molesto por luz eléctrica- aplicación del método tabular del
- Reflexión de velo y deslumbramiento reflejado.
Las reflexiones pueden alterar de una manera significativa la visibilidad humanan por eso es necesario prevenirlo con las siguientes consideraciones:
 - Una distribución adecuada de los puestos de trabajo con relación a la iluminación del ambiente.
 - Los acabados de las superficies que los rodean.
 - Restricción de luminancia en las luminarias.

- La composición del material de techos y paredes brillantes.
- Iluminación en el interior de espacios.

Además de proporcionar una iluminación adecuada en las áreas destinadas a tareas y actividades, es necesario iluminar el volumen del espacio en el que se encuentran las personas. Esta iluminación adicional tiene como propósito resaltar objetos, realzar la textura y mejorar la apariencia de las personas en ese entorno. Los conceptos de "iluminancia cilíndrica media, modelado, z iluminación direccional" son términos que se utilizan para describir las condiciones específicas de iluminación en este contexto [22].

Algunas condiciones de la iluminación interior:

 - Requisito de iluminancia cilíndrica en el espacio de actividad.

Para lograr una comunicación visual efectiva y la identificación de objetos en un espacio, es esencial que el volumen del área en la que las personas se desplazan o trabajan esté bien iluminado. Esto se logra mediante la provisión de una iluminancia cilíndrica media adecuada. La iluminancia cilíndrica media mantenida requerida, se calcula en un plano horizontal en el área. Es fundamental que la uniformidad de la iluminancia cilíndrica media sea igual o superior a 0,10. La altura del plano horizontal debe ser de 1,2 m para personas sentadas y 1,6 m para personas de pie. Es particularmente importante prestar atención a los espacios en los que la identificación y la comunicación visual tienen un papel crucial. Si se considera el espacio en su totalidad como un área de tarea o actividad y se utiliza para calcular la iluminancia horizontal media requerida, la iluminancia cilíndrica media mantenida debe calcularse en base al mismo tamaño y posición del área [22].
 - Modelado.

La estética general de un espacio interior se ve beneficiada cuando la iluminación resalta las características estructurales, así como a las personas y objetos presentes en él, permitiendo que se aprecie su forma y textura con claridad y comodidad. El concepto de modelado se refiere al equilibrio entre la luz difusa y la luz directa, y es un aspecto clave a tener en cuenta. La relación entre la iluminancia cilíndrica y la horizontal en un punto específico proporciona información sobre el modelado. Es importante que los puntos de la rejilla de iluminancia cilíndrica y horizontal coincidan en sus coordenadas x, y, y z para lograr un adecuado modelado lumínico [22].
 - Iluminación direccional de las tareas visuales.

La luz que proviene de una dirección determinada puede destacar los detalles en una tarea visual, mejorando su visibilidad y facilitando su realización. Se recomienda evitar los reflejos de velo y los deslumbramientos reflejados. Aunque es importante evitar sombras extremadamente marcadas que puedan obstaculizar la tarea visual, algunas sombras pueden resultar útiles para mejorar la visibilidad en dicha tarea [22].
- Aspectos de Color:

Este tipo de factor se caracteriza por dos estancias : la apariencia de color de la luz y la capacidad de reproducción de color.

Donde se intervienen algunas características como:

- Apariencia de Color.

Este aspecto de basa en la apariencia del color (cromaticidad) de la luz que se emite. La selección de la paleta de colores se basa en factores psicológicos, estéticos y en las preferencias del usuario. Esta elección variará según la cantidad de luz disponible, los colores presentes en el entorno y el mobiliario, las condiciones climáticas circundantes y el propósito de la iluminación [22].

La siguiente tabla cuantifica los colores de acuerdo a la temperatura:

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada T_{cp}
Cálida	Menor de 3 300 K
Neutra	3 300 K a 5 300 K
Fría	Mayor de 5 300 K

Figura 3.6: Grupo de apariencia de color de la fuente de luz.

- Reproducción cromática.

Para garantizar un rendimiento visual óptimo y una sensación de comodidad y bienestar, es esencial que los colores presentes en el entorno, en objetos y en la piel humana sean representados con precisión de acuerdo con las necesidades específicas de la tarea. El índice de reproducción cromática general se emplea como una medida objetiva de las propiedades de reproducción de color de una fuente de luz, con un valor máximo de 100. Además, los colores de los elementos de seguridad, conforme a la Norma ISO 3864-1, deben ser fácilmente identificables en todo momento como tales [22].

- Aspectos de parpadeo y estroboscópicos:

El parpadeo y el efecto estroboscópico, conocidos como efectos luminosos temporales (TLA), pueden generar consecuencias no deseadas, como la disminución del confort visual y el rendimiento en tareas, así como efectos físicos como fatiga y dolores de cabeza. Los efectos estroboscópicos también pueden presentar riesgos potenciales, ya que pueden alterar la percepción del movimiento de maquinaria en movimiento alternativo o giratorio [22].

Los factores que mayor influencia tienen en este factor de iluminación son:

- Parpadeo.
- Efecto Estroboscópico.

Consideraciones de diseño de Iluminación

Para un correcto diseño se deberán tener en cuenta algunos aspectos como los siguientes:

- Requisitos de iluminación recomendados.
- Operatividad del sistema de iluminación.

- Requisitos de eficiencia energética.
- Variabilidad de la luz.
- Recomendaciones y requisitos de iluminancia:

Para esta consideración es necesario o recomendable seguir los pasos que se mencionan a continuación.

 1. Definir áreas de tarea y actividad.
 2. Determinar el tipo de tarea o actividad apropiada basada en las tareas visuales que se realizan en esa área.
 3. Seleccionar los “requisitos relacionados con la tarea o actividad” de las tablas anteriores.
 4. Seleccionar la iluminancia mantenida apropiada en pasos utilizando la escala de iluminancias, empezando con el valor requerido para la condición de trabajo real de acuerdo con los modificadores de contexto especificados.
 5. 5. Seleccionar los requisitos de iluminancia apropiados para el área circundante inmediata y el área de fondo basándose en la selección del paso 3.

Es necesario tener en cuenta también dos items dentro de este tema como son:

- Iluminación del Espacio: La iluminación de un espacio implica la planificación y el arreglo de las fuentes de luz y sistemas de iluminación en espacios interiores o exteriores, con el propósito de asegurar la cantidad de luz necesaria, realzar la visibilidad, crear una atmósfera deseada y destacar características particulares del área. Esto engloba decisiones sobre qué luminarias usar, cómo distribuir la luz, controlar su intensidad y color, y dirigirla adecuadamente para cumplir con los requisitos tanto funcionales como estéticos del entorno.
- Adaptabilidad del sistema de iluminación: La adaptabilidad en un sistema de iluminación se refiere a su capacidad de ajustarse a las necesidades cambiantes de un espacio. Esto implica la capacidad de modificar la intensidad, el color y la dirección de la luz según las condiciones específicas, como la hora del día, las actividades realizadas o las preferencias individuales. Un sistema de iluminación adaptable no solo mejora la eficiencia energética, sino también el confort visual y la experiencia del usuario, permitiendo una iluminación personalizada y versátil en diferentes situaciones. Aquí se debe garantizar lo siguiente:

1. Se maximizan los beneficios de la luz natural disponible.
2. Se considera la ocupación del espacio.
3. Se puede satisfacer las necesidades si hay cambios en las tareas visuales.
4. Se satisfacen necesidades si existen cambios en la ocupación y en las preferencias o necesidades de los ocupantes.

- Factor de mantenimiento:

El diseño del sistema de iluminación debe considerar un factor de mantenimiento general

(f_m) que se calcula en función de las características del equipo de iluminación elegido, las condiciones ambientales y el plan de mantenimiento establecido para el área de trabajo o área de actividad, conforme a las pautas de ISO/CIE TS 22012 [22].

$$\bar{E}_i = \frac{\bar{E}_m}{f_m} \quad (3.1)$$

Donde:

\bar{E}_i : *es la iluminancia mantenida.*

\bar{E}_m : *es la iluminancia inicial.*

f_m : *es el factor de mantenimiento.*

Es necesario que el diseñador considere todos los factores como:

- Declarar el f_m y todas las hipótesis hechas en el cálculo del valor.
 - Especificar el equipo e iluminación apropiado para el ambiente aplicar.
 - Preparar un programa de mantenimiento.
- Requisitos de eficiencia energética:
El diseño de la iluminación debe cumplir de manera eficiente con las necesidades lumínicas de una tarea, actividad o lugar, sin sacrificar la calidad visual por la simple reducción de consumo energético. Los niveles mínimos de iluminación establecidos en esta norma son requisitos fundamentales y deben ser sostenidos de forma constante en el tiempo [22].
Para lograr ahorros energéticos, es importante aprovechar la luz natural, ajustar la iluminación según los horarios de ocupación, mantener adecuadamente las instalaciones y hacer un uso efectivo de los sistemas de gestión lumínica. La luz natural puede cubrir total o parcialmente las necesidades de iluminación, lo que presenta un potencial de ahorro de energía. La cantidad de luz natural en el interior está influenciada por factores como la disponibilidad de luz exterior, el entorno circundante, los elementos cercanos a las aberturas de luz natural y la disposición de los espacios interiores [22].
- Beneficios de la luz natural:
La luz natural, con su alta calidad cromática y variabilidad en términos de intensidad, dirección y espectro a lo largo del día y las estaciones, puede brindar una iluminación interior significativa. En entornos de trabajo, las aberturas de luz natural, ya sean verticales, inclinadas o horizontales, son altamente beneficiosas, ya que no solo proporcionan luz, sino también una conexión visual con el entorno exterior. Esta luz natural también crea efectos de modelado y variación en la luminancia, lo que se considera beneficioso para las personas en entornos laborales interiores. Para mitigar el deslumbramiento o las molestias térmicas en espacios con luz natural, es recomendable usar dispositivos de sombreado, y es importante evitar la exposición directa al sol o sus reflejos [22].
- Variabilidad de la luz:
La luz juega un papel fundamental en la salud y el bienestar de las personas, influyendo en su estado de ánimo, emociones, y nivel de alerta mental. Además, puede desempeñar un rol importante

en la regulación de los ritmos circadianos y afectar tanto el estado fisiológico como psicológico. Variaciones en la intensidad lumínica a lo largo del tiempo y las estaciones, así como cambios en la temperatura del color o el espectro lumínico, pueden contribuir al bienestar de las personas [22].

- **Luminosidad de la sala:**

Las combinaciones de reflectancia e iluminancias en los techos, paredes y ventanas proporcionan un indicador de luminosidad percibida entre espacios donde se realizan actividades visuales.

Lista de requisitos específicos de iluminación

La normativa española sobre iluminación establece requisitos específicos que deben cumplirse en la iluminación de espacios y lugares de trabajo. Estos requisitos se centran en garantizar niveles mínimos de iluminancia para asegurar un entorno seguro y productivo, así como en la calidad de la luz, que incluye aspectos como la temperatura de color y la reproducción cromática. Además, se considera fundamental el control de deslumbramiento y molestias visuales, así como la optimización del rendimiento energético para promover la eficiencia lumínica y reducir el consumo de energía. La normativa también aborda aspectos relacionados con la iluminación de emergencia y la señalización, asegurando la seguridad en situaciones críticas.

Par estudiar a fondo este espacio de la normativa es necesario revisar la Norma Española UNE-EN 12464-1:2022 desde la pagina 34 hasta la 90 donde encontramos temas como:

- Composición de las tablas:
- Lista de la tareas y actividad:
- Requisitos de iluminación para las áreas de la tarea y áreas de actividad:

Procedimiento de Verificación

Para garantizar el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos en esta norma, es esencial llevar a cabo ciertos procedimientos de verificación. Esto incluye la declaración de cálculos y mediciones de iluminación en el diseño lumínico, así como la inclusión de las suposiciones hechas, junto con la precisión de dichas suposiciones. Además, es fundamental asegurarse de que tanto la instalación como el entorno se ajusten a las hipótesis de diseño especificadas [22].

- **Iluminancias:**

Al verificar el cumplimiento de los requisitos de iluminación, es esencial que los puntos de medición coincidan con los puntos de cálculo o las cuadrículas previamente definidas. La verificación debe centrarse en medir las áreas pertinentes, y para mediciones subsiguientes, es importante utilizar los mismos puntos de medición. Cuando se evalúan las iluminancias relacionadas con tareas específicas, se debe realizar la medición de manera perpendicular al plano de la tarea. Es crucial considerar factores como la calibración de los medidores de luz utilizados, la conformidad de la fuente de luz y las luminarias con los datos fotométricos publicados, así como las suposiciones de diseño relacionadas con la reflectancia de las superficies, comparándolas con los valores reales. Los valores medios de iluminancia y uniformidad

deben calcularse a partir de las mediciones, asegurándose de que el factor de mantenimiento no sea inferior a los valores establecidos [22].

- Índice de deslumbramiento unificado:
Es esencial que se suministren los valores UGR (Índice de Deslumbramiento Unificado) auténticos, los cuales deben ser generados por el fabricante de las luminarias y calculados utilizando el método tabular para la distribución de las luminarias. Además, se debe indicar claramente el espaciado que se ha utilizado en las tablas UGR proporcionadas [22].
- Reproducción cromática y apariencia de color:
Es necesario que se entreguen los datos genuinos, proporcionados por el fabricante de las luminarias, respecto al índice de reproducción cromática Ra y las temperaturas de color correlacionadas T_{cp} de la fuente de luz del sistema. Además, es esencial verificar que las fuentes de luz cumplan con las especificaciones de diseño establecidas [22].
- Luminancia de la luminarias:
Se debe medir y/o calcular la luminancia promedio de las partes luminosas de la luminaria en el plano C (acimut) utilizando intervalos de 15 grados, comenzando desde 0 grados, así como en el plano (elevación) a ángulos de 65°, 70°, 75°, 80° y 85°. En términos generales, el fabricante de la luminaria debe proporcionar estos datos basados en el flujo luminoso máximo (de la fuente de luz/luminaria), y se pueden consultar las Normas EN 13032-1, EN 13032-2 y EN 13032-4 para obtener más detalles al respecto [22].
- Programa de mantenimiento:
El programa de mantenimiento se debe considerar y proporcionar de acuerdo con los requerimientos además de términos y condiciones de cada diseño.

3.4. Sistemas Fotovoltaicos

Si se habla de energía solar es necesario considerar dos temas puntuales que son comunes en nuestras mentes como: Luz y Calor. Donde ambas son de vital importancia para la existencia de la vida en este planeta. La Luz solar hace posible que el reino vegetal realice el proceso conocido como fotosíntesis, si este no se diera todo los elementos que lo componen desaparecerían. El calor permite que en entorno se mantenga una temperatura y clima aceptables para la supervivencia de la vida humana como de especies a la misma vez que ayuda al proceso de evaporización que se encuentra dentro del ciclo del agua [23].

Donde el costo de aprovechar la energía solar sera nulo, ya que esta energía se presenta durante varias horas del día mientras el sol este presente. Según Punina [9].La energía solar fotovoltaica se genera al aprovechar la radiación solar y convertirla en electricidad mediante dispositivos semiconductores conocidos como células fotovoltaicas. Este enfoque respalda la idea de que la energía solar fotovoltaica se presenta como una fuente sostenible y prometedor para la humanidad en el largo plazo, debido a su naturaleza inagotable y accesibilidad sin costos asociados.

La adopción de fuentes de energía renovable se ha expandido y fomentado en diversas situaciones, principalmente debido a sus beneficios ambientales y al auge de nuevas tecnologías de generación a nivel global. El avance constante de estas tecnologías que aprovechan las energías renovables ha llevado a un aumento en la implementación de la Generación Distribuida (GD), ofreciendo una amplia gama de opciones disponibles y un continuo desarrollo de aplicaciones específicas [24].

3.4.1. Uso del sol como medio Energético

Nuestra estrella, el Sol, surgió a raíz del proceso de colapso gravitacional de materia en una extensa nube interestelar de gas frío hace unos 4.6 millones de años. El Sol concentra prácticamente la totalidad de la masa del sistema solar, representando el 99.8 % de su masa total, y supera en masa a la Tierra por alrededor de 333,000 veces [25]. En el presente, la energía solar experimenta un notable crecimiento debido a sus diversas aplicaciones en términos de generación de energía. Principalmente, se destaca por su utilidad en dos áreas fundamentales: la generación de electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos y el calentamiento del agua mediante sistemas de calefacción solar, destinados al consumo doméstico [9].

Nuestro planeta experimenta transformaciones continuas, y uno de los desafíos que enfrentamos en el futuro es el aumento de la población, lo que inevitablemente se traducirá en un consumo excesivo de servicios esenciales, incluida la electricidad. Además, nuestras fuentes de energía no renovable se agotarán. Por lo tanto, se vuelve imperativo adoptar nuevas fuentes de energía sostenible, como la energía fotovoltaica, para satisfacer la creciente demanda a nivel global [9].

Además, la energía solar se puede utilizar de manera directa, y esta utilización se clasifica según el tipo de efecto aprovechado. Por un lado, tenemos los sistemas térmicos, que emplean la energía solar para generar calor. Estos sistemas solares térmicos se aplican en diversas tareas cotidianas, como la climatización de edificios, calentamiento de agua para fines recreativos o higiénicos, y también se utilizan en la producción de vapor de agua para la generación de electricidad en centrales termosolares. Por otro lado, encontramos el efecto fotovoltaico, que se basa en la captura de la energía generada por la interacción de electrones en la capa más externa de un semiconductor. Esta interacción se produce debido al impacto de partículas llamadas fotones, que provienen de la radiación solar [24].

3.4.2. Energía Solar en el Ecuador

La estructura energética de Ecuador se fundamenta en recursos energéticos derivados de combustibles fósiles, así como en centrales hidroeléctricas, aunque en menor proporción, se encuentran presentes fuentes de energía renovable. El gráfico siguiente exhibe la capacidad instalada correspondiente a cada tipo de fuente de energía durante el año 2022. También se ilustra la relevancia de cada fuente en el sistema eléctrico ecuatoriano, revelando que las fuentes no renovables todavía ostentan una mayor capacidad instalada. Las tecnologías que aprovechan energías renovables, entre las que se incluye la energía solar, aún no cuentan con una capacidad instalada sustancial [24].

Tipo Central	Provincia	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Biomasa	Cañar	29,80	27,60
	Guayas	114,50	108,80
Total Biomasa		144,30	136,40
Eólica	Galápagos	4,65	4,65
	Loja	48,50	45,07
Total Eólica		53,15	49,72
Hidráulica	Azuay	2.042,49	2.067,39
	Bolívar	8,00	8,00
	Cañar	32,33	32,33
	Carchi	5,82	5,14
	Chimborazo	16,33	16,04
	Cotopaxi	47,39	45,27
	Guayas	213,00	213,00
	Imbabura	75,45	76,61
	Los Ríos	57,57	56,20
	Morona Santiago	138,01	137,52
	Napo	1.565,60	1.540,75
	Pichincha	201,30	199,00
	Sucumbios	64,30	64,30
	Tungurahua	505,30	476,76
Zamora Chinchipe	218,40	213,00	
Total Hidráulica		5.191,30	5.151,31
Fotovoltaica	Cotopaxi	2,00	2,00
	El Oro	5,99	5,99
	Galápagos	3,62	3,62
	Guayas	3,98	3,98
	Imbabura	4,00	3,99
	Loja	5,99	5,12
	Manabí	1,50	1,49
	Morona Santiago	0,37	0,37
	Pastaza	0,20	0,20
	Pichincha	1,00	1,00
Total Fotovoltaica		28,65	27,76

Figura 3.7: Potencia de centrales de generación con fuentes de energía renovable (MW).

Tipo Central	Provincia	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Biogás	Azuay	2,12	1,70
	Pichincha	6,20	5,50
Total Biogás		8,32	7,20
Total general		5.425,72	5.372,40

Figura 3.8: Potencia de centrales de generación con fuentes de energía renovable (MW).

En la siguiente figura se muestra los porcentajes de generación de cada tipo de energía en el Ecuador en el año 2022:

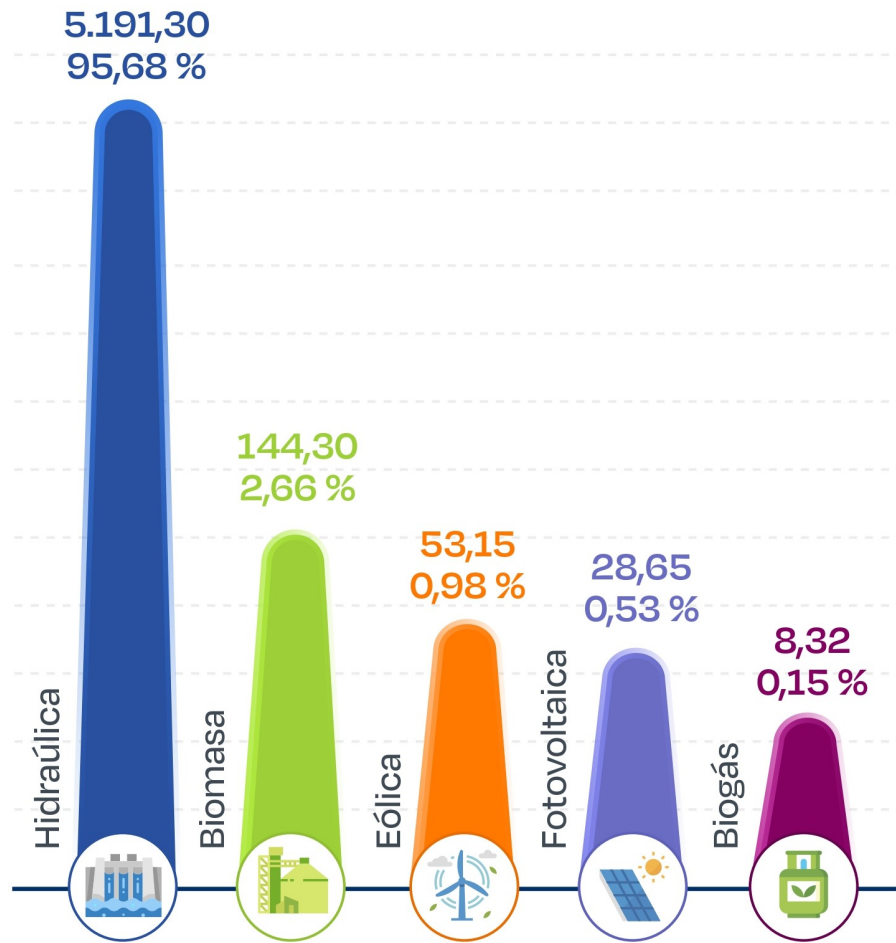


Figura 3.9: Potencia nominal de centrales de generación con fuentes de energía renovable (MW)

Con el fin de incrementar la presencia de fuentes de energía renovable en la combinación de recursos energéticos, Ecuador implementa políticas que fomentan la adopción de tecnologías como la energía solar fotovoltaica. Estas políticas encuentran respaldo en la Constitución ecuatoriana, que insta a promover tanto la eficiencia energética como un desarrollo sostenible. Este enfoque incluye la utilización de prácticas y tecnología que no generen impactos negativos en el medio ambiente [24].

3.4.3. La radiación Solar

La radiación solar se refiere a la porción del espectro electromagnético emitida por la estrella del sistema solar. La medición de la radiación solar se expresa como irradiación, que cuantifica la energía por unidad de área que alcanza la superficie terrestre, y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Es esencial destacar la diferencia entre irradiancia y irradiación, donde la irradiancia denota la intensidad de la radiación electromagnética incidente en una superficie, medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2), mientras que la irradiación solar representa la irradiancia solar en un lapso específico de tiempo, medida en vatios-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) [24].

Donde la radiación se compone de tres tipos como son las siguientes [25]:

- Radiación directa: se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. Es la radiación extraterrestre.
- Radiación difusa: se recibe del sol, después de ser desviada por la dispersión atmosférica. Los rayos solares chocan con estas moléculas de la atmósfera y otras partículas en el aire, dispersándose en múltiples direcciones y hacia el receptor. En un día nublado, por ejemplo, toda la radiación recibida es difusa
- Radiación reflejada o de albedo: es la que se refleja de los objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago.

En la siguiente imagen se muestra los componentes de la radiación:

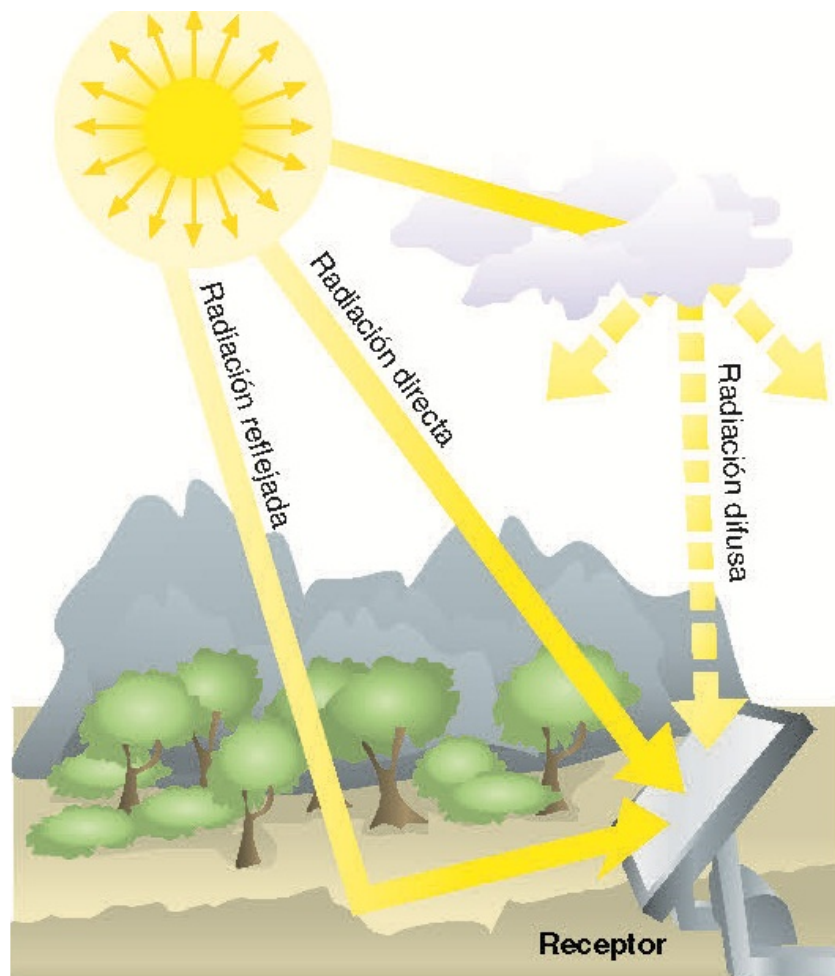


Figura 3.10: Componentes de la radiación solar sobre una superficie.

Pero es importante resaltar también la existencia de dos tipos de Irradiación como son:

- Irradiación (G): El concepto que se emplea para describir la potencia solar es la irradiancia”. La irradiancia se define como la potencia recibida del sol por unidad de área, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m^2). En la superficie terrestre, la irradiancia solar está sujeta a variaciones según la inclinación de la superficie de medición, la altura del sol sobre el horizonte y las condiciones atmosféricas. El análisis y la medición de la irradiancia solar tienen una serie de aplicaciones significativas, incluyendo la estimación de la generación de energía en instalaciones fotovoltaicas[25].
- Irradiación (I):La irradiación es el resultado de la suma o acumulación de las irradiancias durante un período específico. Se cuantifica en julios por metro cuadrado durante un intervalo de tiempo dado, como horas, días, semanas, meses, años, según corresponda. En línea con esto, la relación entre la irradiación y la irradiancia se expresa mediante la integral, en la que la irradiación se calcula para el intervalo de tiempo que abarca desde t_1 hasta t_2 [25].

3.4.4. Sistemas Fotovoltaicos Aislados

Los sistemas eléctricos aislados son aquellos que no están conectados a la red eléctrica convencional. Se suelen utilizar en áreas donde no es práctico instalar una red de distribución o en lugares de difícil acceso. Tradicionalmente, se usaban para abastecer un solo lugar, como una casa o una finca, mediante generadores pequeños que proporcionaban una cantidad limitada de energía. En la actualidad, se han evolucionado hacia las microrredes, que son sistemas que pueden suministrar electricidad a varios usuarios [24].

En este tipo de sistemas aislados y con PV, de deben considerar ciertos factores como son la continuidad del servicio el mayor tiempo posible en cualquier temporada del año [24].Dentro de esto es necesario considerar factores técnicos como la capacidad de almacenar lo que se produce y no se consume en ciertas horas en donde es necesario el uso de baterías que permiten la utilización de energía las 24 horas del día, este sistema también requiere de inversores, sistemas de control y mas componentes que permitan el correcto funcionamiento [9].

Debemos considerar dentro del sistema fotovoltaico de generación los siguientes aspectos para un funcionamiento y Diseño exitoso [24]:

- La potencia a se instalada.
- El consumo de energía promedio.
- El tipo de consumo.
- El periodo de uso (Demanda).
- La localización y sus factores climáticos como ambientales.

3.4.5. Características del sistema Fotovoltaico

La energía fotovoltaica se obtiene a través de la conversión de la energía solar en electricidad, un proceso conocido como el efecto fotovoltaico o fotoeléctrico. La base técnica para la explotación de esta fuente de energía se encuentra en este fenómeno, que se define como la capacidad de ciertos

materiales, generalmente semiconductores, para absorber el espectro de luz. Dentro de estos materiales, la energía contenida en partículas subatómicas llamadas fotones provoca movimientos en los electrones del material, desplazando parte de ellos y generando cargas bipolares en el proceso. Esto, a su vez, da lugar a la producción de energía eléctrica con valores específicos de voltaje y corriente, los cuales suelen variar según el fabricante de los paneles solares [26].

Un módulo de generación fotovoltaica está compuesto por varios elementos que se describen a continuación: un conjunto conformado por uno o más paneles solares interconectados para la generación de corriente continua (CC). Estos paneles se instalan en una estructura de soporte mecánico que puede incluir un sistema de seguimiento de la posición de la luz solar. El módulo también incluye dispositivos de regulación que aseguran el funcionamiento óptimo de las baterías dentro de sus rangos operativos [27], un inversor si se requiere suministrar energía a dispositivos de corriente alterna, así como un sistema de protección adaptativo y un contador o medidor de energía [28], el sistema de almacenamiento o conjunto de baterías, la toma de tierra y los dispositivos utilizados por los usuarios (como lámparas, radios, refrigeradores, entre otros) son componentes esenciales en un sistema fotovoltaico [29]. Además, se requiere la instalación de cables o conductores para su funcionamiento. Una característica distintiva de los sistemas fotovoltaicos es su dependencia de la radiación solar, ya que la cantidad de energía generada por el panel solar está directamente relacionada con la cantidad de luz solar que recibe. Por lo tanto, estos sistemas dejan de generar energía durante la noche. Para abastecer las necesidades de energía durante las horas sin luz solar, es necesario incorporar un conjunto de baterías u otra solución adecuada diseñada para este propósito [30].

En la imagen a continuación se muestra los componentes que hacen posible la generación de electricidad aprovechando el sol como medio de generación. El procedimiento se puede describir de la siguiente manera: inicialmente, se capta la energía a través de los módulos fotovoltaicos (PV). A continuación, la energía generada en los paneles es dirigida hacia el regulador, que se encarga de estabilizar tanto el voltaje como la corriente. Simultáneamente, la electricidad se acumula en el banco de baterías, y al mismo tiempo se suministra energía al inversor. Este dispositivo cuenta con componentes electrónicos y sistemas de control que posibilitan la conversión de la corriente continua en corriente alterna, lista para ser utilizada en la alimentación de los dispositivos eléctricos de los usuarios [24].

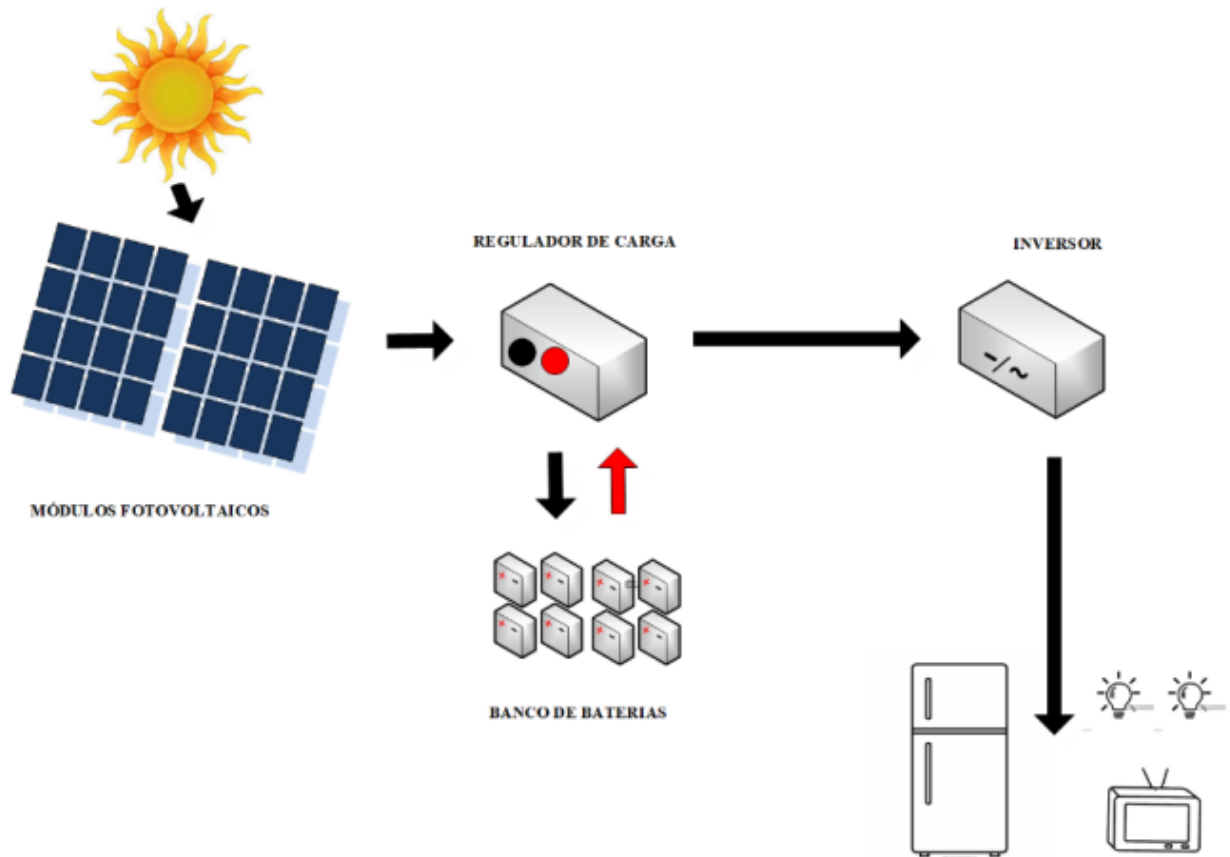


Figura 3.11: Sistema Fotovoltaico.

Donde se debe también considerar ciertas ventajas y de ventajas de este tipo de generación:
Ventajas:

- Una instalación sencilla y rápida con simples herramientas.
- Una tiempo de vida útil extendido.
- Costo de operación y mantenimiento reducido.
- Energía limpia y gratis.
- Energía Renovable.
- Sistema silencioso y amigable con el medio ambiente.
- Adaptable.

Desventajas:

- Costo de inversión inicial alto.
- Depende de las condiciones atmosféricas.

- Producción de energía limitada por el dimensionamiento.
- Producción no constante.
- Ocupa gran superficie.

3.4.6. Aplicaciones de Sistemas Fotovoltaicos.

Las aplicaciones de la energía fotovoltaica son amplias y diversificadas, abarcando desde la generación de electricidad a gran escala hasta su utilización en dispositivos electrónicos de menor envergadura. Este sistema se puede adaptar para satisfacer las necesidades específicas de los usuarios, como la producción de electricidad para inyectar en la red eléctrica, sistemas autónomos de iluminación, aplicaciones en el ámbito agrícola, dispositivos con capacidad de carga solar, y muchas otras posibilidades [9].

1. Instalaciones Autónomas (off-Grid) o SFA.

El propósito fundamental de este sistema es atender una necesidad específica de suministro de energía que no está vinculada a la red eléctrica convencional. Para lograr esto, se emplean componentes esenciales que incluyen un dispositivo de almacenamiento de energía, un regulador de carga y descarga, y un inversor. Estos componentes son particularmente útiles en contextos de electrificación rural y aplicaciones domésticas. La implementación de este sistema requiere una evaluación exhaustiva en función de la capacidad necesaria y los niveles de consumo [9]. En aplicaciones terrestres tenemos las siguientes [23]:

- Telecomunicaciones.
- Electrificación de zonas rurales y aisladas.
- Señalización.
- Alumbrado público.
- Bombeo de Agua.
- Redes VSAT (Veri Small Aperture Termical).
- Telemetría.

2. Conectados a la Red (Grid connected) o SFCR.

Este sistema está diseñado para generar electricidad en condiciones apropiadas, de manera que pueda ser inyectada en la red eléctrica convencional. Para lograr una integración efectiva con la red, el sistema dispone de un inversor que transforma la potencia generada por los paneles solares en una forma compatible con la red, asegurando así un óptimo aprovechamiento de la electricidad. Como resultado, no es necesario incluir ningún equipo adicional de almacenamiento de energía [9]. Los más comunes aplicados en todo el mundo son:

- Centrales Fotovoltaicas: El propósito de este sistema es la producción de electricidad en condiciones óptimas para su conexión a la red eléctrica estándar. Para lograr una integración eficiente con la red, se emplea un inversor que convierte la energía generada por los paneles solares en un formato compatible con la red eléctrica, garantizando la máxima utilización de la electricidad generada. Como consecuencia, no se requiere la incorporación de equipos adicionales para el almacenamiento de energía [23].

- Edificios Fotovoltaicos: El objetivo de este sistema es generar electricidad en condiciones adecuadas para su incorporación a la red eléctrica convencional. Para lograr una integración eficaz con la red, se utiliza un inversor que convierte la energía producida por los paneles solares en un formato que se ajusta a los estándares de la red eléctrica, asegurando así la máxima eficiencia en el uso de la electricidad generada. Como resultado, no es necesario añadir ningún equipo suplementario para el almacenamiento de energía [23].

3.4.7. Modulo Fotovoltaico (Panel Solar)

Son los encargados de la generación eléctrica, pueden ser de varios tipos entre los cuales encontramos los mas utilizados como son paneles con tecnología mono-cristalina y policristalina [23]. La celda fotovoltaica (PV) se considera un generador de corriente, resultado de la conexión de múltiples células en configuraciones tanto serie como paralelo. Se conectan en paralelo para lograr el voltaje nominal necesario y en serie para satisfacer los requisitos de corriente, lo que permite alcanzar niveles nominales de suministro eléctrico para alimentar las cargas y satisfacer la demanda máxima de los usuarios. Una célula PV genera electricidad cuando se cumplen tres condiciones: en primer lugar, debe haber variación en las cargas que permita el flujo de corriente eléctrica, lo que a su vez genera un voltaje [24]. La primera condición se cumple mediante la introducción de dosis de átomos dopantes en un material semiconductor, lo que modifica su estructura electrónica. Para lograr un flujo de corriente en una célula fotovoltaica (PV), se expone esta última a la energía fotónica. Cuando la energía alcanza niveles suficientes, un fotón es capaz de excitar un electrón, trasladándolo a la banda conductiva. Durante este proceso, se genera una carga positiva, y cuando estas cargas están presentes, se permite el flujo de corriente cuando se cierra el circuito. Por último, al unir materiales semiconductores con cargas opuestas, se genera un campo eléctrico que da lugar al voltaje. La célula PV es precisamente esta unión, y cuando recibe energía, las cargas generadas se desplazan debido a este campo eléctrico, lo que da lugar a la corriente eléctrica [31].

En la siguiente figura se observa los tipos de paneles fotovoltaicos con una breve descripción y algunas ventajas y desventajas:




TIPO DE PANEL	DESCRIPCIÓN	EFICIENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 <p>Monocrystalino</p>	Es el más conocido, por ser el más eficiente y además a lo largo de los años ha tenido un alto desarrollo tecnológico, cada módulo es creado a partir de un solo cristal de silicio puro, en la actualidad siendo uno de los paneles con más años en su desarrollo (Pacheco et al., 2018)	15% al 22%.	Hasta 25 años de operación Resistencia a altas temperaturas. No requiere de mucho espacio en la instalación (Pacheco et al., 2018)	Costo es elevado a comparación de otros tipos de paneles. Son muy frágiles (Pacheco et al., 2018)
 <p>Policristalino</p>	A diferencia de los otros son más económicos, pero no son tan eficientes, al estar hechos de cristales de silicio unidos entre sí. La capacidad de generación de este tipo de panel es de 5W a 250W e incluso más, y se caracteriza por el color azul de sus células (Pacheco et al., 2018)	13% al 18 %	Manufactura simple, más rentable económicamente. Gracias a su considerable desarrollo tecnológico, tiene un tiempo de vida útil de 25 años (Pacheco et al., 2018)	Requiere mucho espacio para producir la misma cantidad de energía, que con un solo panel monocrystalino. (Pacheco et al., 2018)
 <p>Amorfo</p>	Están constituidos de varias capas de material fotovoltaico en una base. Dependiendo del material los paneles pueden ser de capa fina de silicio amorfo (a-si), de telurio de cadmio (CdTe), de indio, Selenio y Galio. Se caracteriza por ser flexibles y livianas. (Planas, 2017).	7% al 13%	Más barato que los paneles cristalinos, por su proceso de fabricación sencillo. No afecta el funcionamiento por las altas temperaturas. Se puede utilizar como cubiertas flotantes de depósitos solares para reducir la evaporación del agua (Pacheco et al., 2018).	Su duración es corta contra los cristalinos, su degradación es muy rápida. Requieren de más espacio para generar una cantidad de energía eléctrica considerable (Pacheco et al., 2018).

Figura 3.12: Tipos de paneles fotovoltaicos ventajas y desventajas recuperado de [9].

Es necesario considerar también algunas propiedades de los paneles que dependen de factores como [24]:

- **Cristalinidad:** Se refiere a la ordenación estructural presente en el átomo de silicio, la cual se categoriza en tres tipos: amorfos, monocrystalinos y policristalinos.
- **Coefficiente de absorción:** Describe la manera en que la luz penetra antes de ser absorbida, y esto varía dependiendo del material y de la longitud de onda.
- **Costo de fabricación y complejidad:** Se encuentra sujeto a variaciones en función de diversos factores, tales como el número de fases de construcción, la necesidad de cumplir con condiciones operativas particulares, la naturaleza y cantidad de materiales involucrados, así como las exigencias de transporte de los componentes, entre otros aspectos.

En la imagen a continuación se observa la eficiencia y característica de las celdas solares según su tecnología:

TIPOS DE CELDAS SOLARES			
Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17
Películas de silicio cristalino sobre vidrio	-	Película delgada	9
Silicio amorfo	a-Si	Película delgada	13
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO ₂ sensibles a la humedad)	-	Película delgada	11
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)

Figura 3.13: Tipos de celdas solares.

3.4.8. Estructuras para Soporte

Los metales empleados en la construcción de paneles solares deben poseer una durabilidad de al menos 10 años de exposición al entorno sin mostrar signos de corrosión o fatiga [32]. Las estructuras de soporte pueden estar conformadas por diversos materiales, incluyendo acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado, y otros [24].

Los módulos fotovoltaicos (PV) suelen instalarse en techos y áreas al aire libre, con una disposición que garantiza que ningún objeto arroje sombras sobre ellos, especialmente durante las horas cercanas al mediodía. Al colocar las estructuras de soporte, es crucial considerar los ángulos de orientación principales [32], que incluyen:

- Ángulo azimutal de la superficie (ϕ): este ángulo se define como la diferencia angular entre la proyección de una superficie horizontal y la dirección que va de norte a sur en el hemisferio

sur, o de sur a norte en el hemisferio opuesto [23].

- **Inclinación:** El ángulo, que se representa mediante la ecuación a continuación, se mantiene a un valor mínimo de 10 °, lo cual resulta adecuado para asegurar la adecuada evacuación del agua de lluvia y para permitir la limpieza periódica de los módulos de generación [24].

$$\text{Inclinación}(\text{°}) = |\theta| + 10^\circ \quad (3.2)$$

Donde:

θ =es la latitud del lugar de instalación.

3.4.9. Regulador

El regulador de voltaje desempeña un papel crucial al salvaguardar las baterías de posibles sobrecargas ocasionadas por el módulo fotovoltaico [9]. Su función es prevenir descargas excesivas cuando la corriente continua se consume. Este dispositivo puede incorporar características, como la capacidad de ajustarse automáticamente a la temperatura ambiente[33]. Además de su función protectora, el regulador de carga también facilita el proceso de carga de las baterías. Esto se logra al definir tanto el voltaje como la corriente de salida de manera que las baterías se carguen con los parámetros eléctricos apropiados [24].

Debido a su versatilidad, los reguladores se conocen comúnmente como controladores de carga y son compatibles tanto con sistemas de 12 VDC como de 24 VDC. En términos generales, estos dispositivos se dividen en cuatro categorías de reguladores [23].

1. **Regulador Tipo Serie:** Se ubican en línea con los paneles solares y las baterías, y funcionan en función del estado de carga. Cuando la batería se ha cargado por completo, el regulador se desconecta a través de un interruptor, evitando que alcance niveles de voltaje excesivamente altos y, por ende, evitando una posible sobrecarga. De manera análoga, cuando la batería se está descargando, previene que llegue a un nivel de voltaje críticamente bajo, lo que ayudará a prevenir daños permanentes en la batería [9].

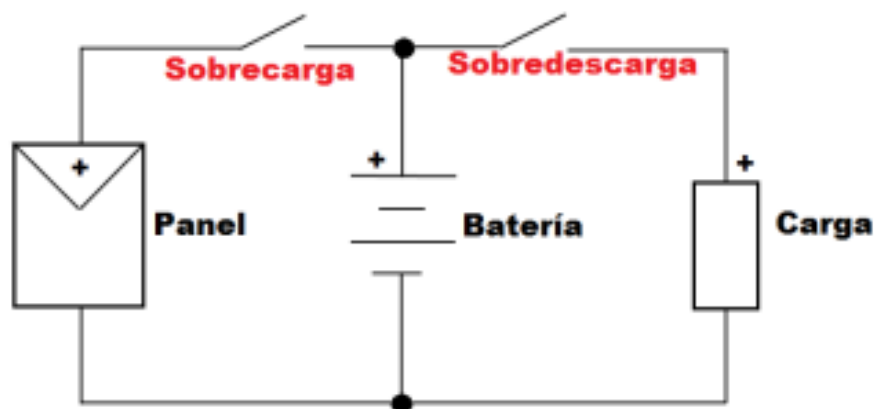


Figura 3.14: Regulador en Serie.

2. **Regulador Paralelo:** Estos reguladores particulares se encuentran conectados en una disposición paralela entre el panel solar y las baterías. Su funcionamiento principal gira en torno a un circuito de carga, que involucra una resistencia disipadora. Esta resistencia entra en acción una vez que la batería ha alcanzado su carga máxima, y aprovecha la energía generada por los paneles fotovoltaicos al desviarla lejos de las baterías. Esta medida previene sobrecargas y se logra gracias a la incorporación de circuitos con diodos que bloquean cualquier corriente inversa, evitando así que la electricidad fluya desde las baterías hacia los paneles [23].

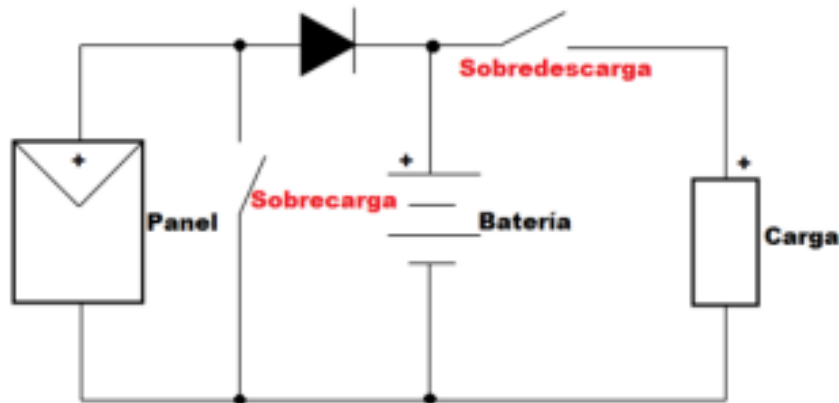


Figura 3.15: Regulador en Paralelo o Shunt.

3. **Regulador Tipo Modular de Ancho Pulso (PWM):** Este regulador específico despliega su función al ajustar el voltaje al que se carga la batería. En este escenario, el punto de operación del módulo fotovoltaico experimenta variaciones en función del voltaje al que se efectúa la carga de las baterías. Es importante tener en cuenta que, al emplear este tipo de regulador, el módulo fotovoltaico no puede operar en su nivel de potencia máxima [24]. El regulador PWM implica la modificación del ciclo de trabajo de una señal de entrada mediante la ampliación o reducción de la duración de los intervalos, evitando que sean nulos. En términos más simples, regula la capacidad de corriente que fluye hacia las baterías, asegurando que no exceda el voltaje máximo predefinido [9]. Su funcionamiento se basa en la transformación de los ciclos de trabajo de la señal de voltaje de entrada procedente de los paneles, para que el voltaje de salida coincida con el de la batería y suministre una corriente adecuada para cargarla [25]. A continuación, se analiza un controlador de carga PWM fabricado por Blue Solar.



Figura 3.16: Regulador de Carga PWM.

4. Regulador Controlador de Máxima Potencia (MPPT): El regulador MPPT, que es un dispositivo de conversión de corriente continua a corriente continua (DC-DC), tiene la función de ajustar el voltaje que proviene de los paneles solares, manteniendo constante el voltaje de salida en todo momento [25]. En otras palabras, optimiza al máximo la captación de radiación solar a lo largo del día, incluso en condiciones nubladas [9]. Esto le permite proporcionar una corriente constante para cargar las baterías de manera continua. La implementación de estos controladores específicos puede aumentar la eficiencia energética de los módulos en aproximadamente un 15 % con respecto a los reguladores de tipo PWM [24].



Figura 3.17: Regulador de Carga MPPT.

A continuación se muestra una tabla con algunas características de los reguladores de Carga PWM y MPPT:

Característica	Controlador PWM	Controlador MPPT
Tensión en conjunto de paneles	Debe ser similar a la tensión de la batería de carga.	Puede estar dentro de un rango amplio definido por el dispositivo. Usualmente mayor a la batería
Tamaño del sistema	Recomendado para sistemas pequeños donde los beneficios de operar en el punto de máxima potencia son mínimos.	Recomendado para sistemas mayores a 200 W para aprovechar la operación en el punto de máxima potencia.
Método de dimensionado	Para el dimensionado se toma en cuenta el amperaje del conjunto de paneles a la tensión de la batería.	Para el dimensionado se toma en cuenta la potencia máxima que puede suministrar el conjunto de módulos fotovoltaicos. Esta potencia debe ser inferior a la corriente máxima de carga multiplicado por la tensión de la batería.

Figura 3.18: Características de Reguladores recuperado de [24].

3.4.10. Inversor DC/AC

Un inversor solar es un dispositivo diseñado para adaptar la energía producida por los paneles fotovoltaicos de manera que se ajuste a las especificaciones eléctricas convencionales de los dispositivos que utilizan los usuarios [24]. Los sistemas fotovoltaicos autónomos producen corriente

continua (CC), pero para alimentar los dispositivos se requiere una corriente alterna (CA) de 120 voltios a 60 Hz [9], es aquí donde entra en juego la función del inversor de corriente, cuya característica principal es adaptar la energía generada para satisfacer las necesidades de las instalaciones de uso cotidiano. En un sistema fotovoltaico autónomo, es común conectar el inversor a la salida del regulador de carga [25]. En la figura a continuación se muestra las características generales para la elección de un inversor.

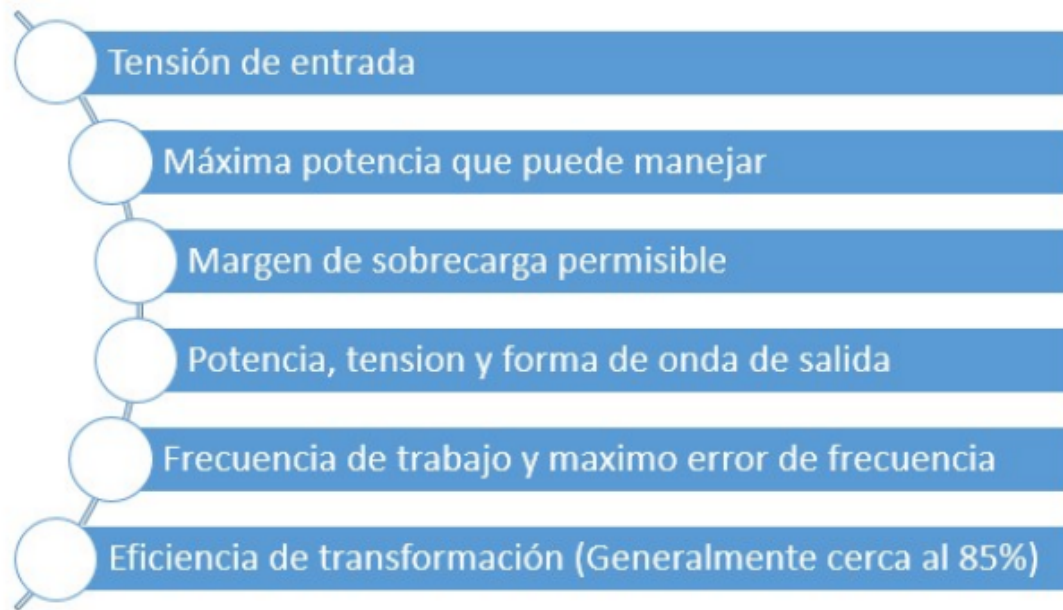


Figura 3.19: Características generales para la selección de un inversor DC/AC.

Para seleccionar o dimensionar un inversor solar más apropiado para un sistema fotovoltaico autónomo, es necesario determinar su tensión nominal de entrada y su potencia nominal, en la siguiente imagen se presenta algunas características de los inversores.

Característica	Controlador PWM
Tensión de entrada	Indica el rango de valores de tensión continua procedente del subsistema de captación en el cual el inversor puede operar.
Tensión de seguimiento de potencia máxima	Indica el rango de valores de la tensión de los módulos fotovoltaicos en donde el inversor puede realizar el seguimiento del punto de potencia máxima y, por tanto, optimizar su producción. Esta opción normalmente no está disponible en los inversores aislados.
Tensión de salida	Indica la tensión nominal de salida que entrega el dispositivo.
Corriente máxima	Representa la máxima corriente procedente del conjunto de paneles que el inversor puede admitir.
Potencia nominal	Representa la potencia nominal que puede entregar el sistema..
Potencia máxima	Indica la máxima potencia que puede entregar el sistema en un instante.
Eficiencia máxima	Representa la máxima eficiencia de conversión que tiene el inversor. Este valor solamente se da en unas condiciones de carga y tensión concretas; durante su operación, el inversor no necesariamente funciona bajo la eficiencia máxima.
Distorsión armónica	Es un indicador que muestra la proximidad de la onda de generación a la forma senoidal. Esta calidad de la onda se mide mediante la tasa de distorsión armónica global (THD) que se expresa en porcentaje. La distorsión armónica representa la razón entre la potencia de los armónicos y la potencia fundamental. Se quieren evitar valores de distorsiones armónicas muy elevadas. La distorsión armónica ideal es de un 0%; esto quiere decir que no se están generando ningún tipo de armónicos.
Elementos de seguridad	Estos inversores suelen incluir <ul style="list-style-type: none"> • Protección contra cortocircuitos • Protección contra sobretensiones • Protección contra inversión de la polaridad • Protección por Tensión y Frecuencia de red fuera de rango
Elementos adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de despliegue de información. Es siempre útil, sobre todo a la hora de dar mantenimiento al inversor, que éste cuente con algún elemento visual que permita determinar su estado. Estos elementos pueden ser luces indicadoras, pantallas, señales de alarma, etc. • Sistema de programación y ajuste: Algunos inversores incluyen un pequeño panel de control que permite ajustar algunos parámetros. Recientemente también es posible encontrar inversores que permiten una configuración remota, ya sea por medios inalámbricos o por red de datos. Este tipo de funcionalidad facilita la operación y mantenimiento del inversor. • Sistema de medición y almacenamiento de datos: Existen inversores, en especial aquellos conectados a la red, que integran un sistema de medición de energía. Estas mediciones pueden ser enviadas a un servidor remoto o ser almacenadas en una memoria interna. Esta monitorización permite determinar el desempeño y el estado de la planta fotovoltaica.

Figura 3.20: Características de un inversor DC/AC.

Los inversores más modernos son capaces de generar formas de onda prácticamente puras con

un margen de error mínimo, logrando eficiencias de hasta un 90 % cuando la carga es baja. Además, estos dispositivos mantienen niveles muy bajos de armónicos en su funcionamiento. En el mercado, se encuentran disponibles equipos que integran tanto la inversión de la energía proveniente de fuentes de generación renovable como la carga de baterías en un solo conjunto. Estos sistemas pueden aprovechar fuentes de generación de respaldo o conectarse directamente a la red eléctrica [24].

3.4.11. Sistema de Protección

Los sistemas fotovoltaicos residenciales suelen operar a niveles de voltaje relativamente bajos, generalmente dentro de un rango de entrada de 12 a 24 voltios en corriente continua (Vdc). En este contexto, se requiere una atención especial en lo que concierne a las posibles fallas, especialmente en relación a las baterías. Estos sistemas pueden experimentar corrientes de cortocircuito de valores significativos en las baterías, lo que, combinado con la presencia de ácido en las baterías, puede generar gases inflamables y representar un riesgo de explosión [24]. Para mitigar estos riesgos, es fundamental incorporar protecciones contra cortocircuitos y sobrecorrientes tanto en las baterías como en el regulador de carga. Los relés de protección deben ser utilizados en la línea que conecta los paneles solares al sistema y en las conexiones hacia las cargas. La protección de toda la estructura aislada se logra mediante la instalación de dispositivos como fusibles, diodos, disyuntores, entre otros. Estos componentes pueden o no estar ubicados en proximidad al regulador, pero se consideran esenciales en el diseño e implementación de la red para garantizar su seguridad y funcionamiento adecuado [25]. Donde podemos dividir en algunas secciones la protección para cada elemento que interfiere en el sistema.

Protección de Módulos Fotovoltaicos

En el sistema de generación fotovoltaica, existe la posibilidad de que se generen corrientes inversas en las ramas o módulos que operan en paralelo, lo que puede llevar a una disminución de la tensión de circuito abierto en comparación con la del generador en su conjunto. Por lo tanto, se hace necesario implementar un mecanismo de protección contra corrientes excesivas [25].

- Fusibles: Los fusibles se calculan de manera que sean efectivos cuando la corriente de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) en condiciones estándar (STC) sea de 1.5 a 2 veces la corriente nominal. Es fundamental que estos fusibles estén diseñados específicamente para la protección de componentes semiconductores. Además, si la tensión del generador fotovoltaico es alta, es necesario verificar que la clasificación de voltaje del fusible sea igual o superior a 1.2 veces la tensión de circuito abierto del generador (V_{Goc}) en condiciones estándar (STC) [25].

Protección del Generador Fotovoltaico

Aparte de las salvaguardias previamente descritas, tanto las ramas en paralelo del generador como el generador en su totalidad deben contar con un mecanismo de corte que facilite su desconexión del resto de la instalación. En esta situación particular, se ha elegido utilizar un interruptor principal para llevar a cabo la desconexión del generador fotovoltaico de los demás elementos de la instalación [33].

- Interruptor General del Generador: Se calcula su capacidad en función de la corriente de cortocircuito del generador (I_{Gsc}) y la tensión de circuito abierto del generador (V_{Goc}), ambas

medidas bajo condiciones estándar (STC). Este interruptor se encuentra posicionado en cercanía al regulador de carga con el propósito de habilitar la desconexión del generador [25].

Protección de Baterías Acumuladoras

Dentro del circuito que conecta las baterías de almacenamiento con el regulador, es posible que se presenten corrientes extremadamente altas en caso de un cortocircuito. Esto se debe a que los cables de conexión son muy cortos y poseen una gran sección transversal, además de que las baterías de almacenamiento tienen una resistencia interna baja. Por lo tanto, la corriente de cortocircuito solo está restringida por la suma de estas resistencias, que tienen valores muy bajos [24].

- Estos dispositivos se calculan para operar con una corriente que oscile entre 1.5 y 2 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (I_{GSC}) en condiciones estándar (STC). Además, se requiere que su tensión nominal sea al menos 1.2 veces la tensión de circuito abierto del generador (V_{GOC}) en condiciones estándar (STC) [25].

Protección del inversor solar y los circuitos de utilización

Los sistemas eléctricos de corriente alterna requieren dispositivos de protección para prevenir sobrecargas y cortocircuitos. Estos dispositivos suelen ser interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares. Además, se utilizan interruptores diferenciales bipolares con la mayor sensibilidad posible para proteger contra contactos eléctricos directos e indirectos. Las características de corriente y tensión de servicio de estos dispositivos se determinan en base a las especificaciones de potencia y tensiones nominales del inversor [25].

Sistema de puesta a tierra

Por motivos de seguridad del usuario, es imperativo evitar que el cuerpo humano pueda conducir electricidad y estar expuesto a riesgos fatales [34]. Es necesario comprender el tipo de sistema de puesta a tierra y evaluar la sección transversal del conductor de cobre (Cu) tanto en los equipos como en el sistema en su totalidad. Según las regulaciones del Código Nacional de Electricidad (CNE) [33].

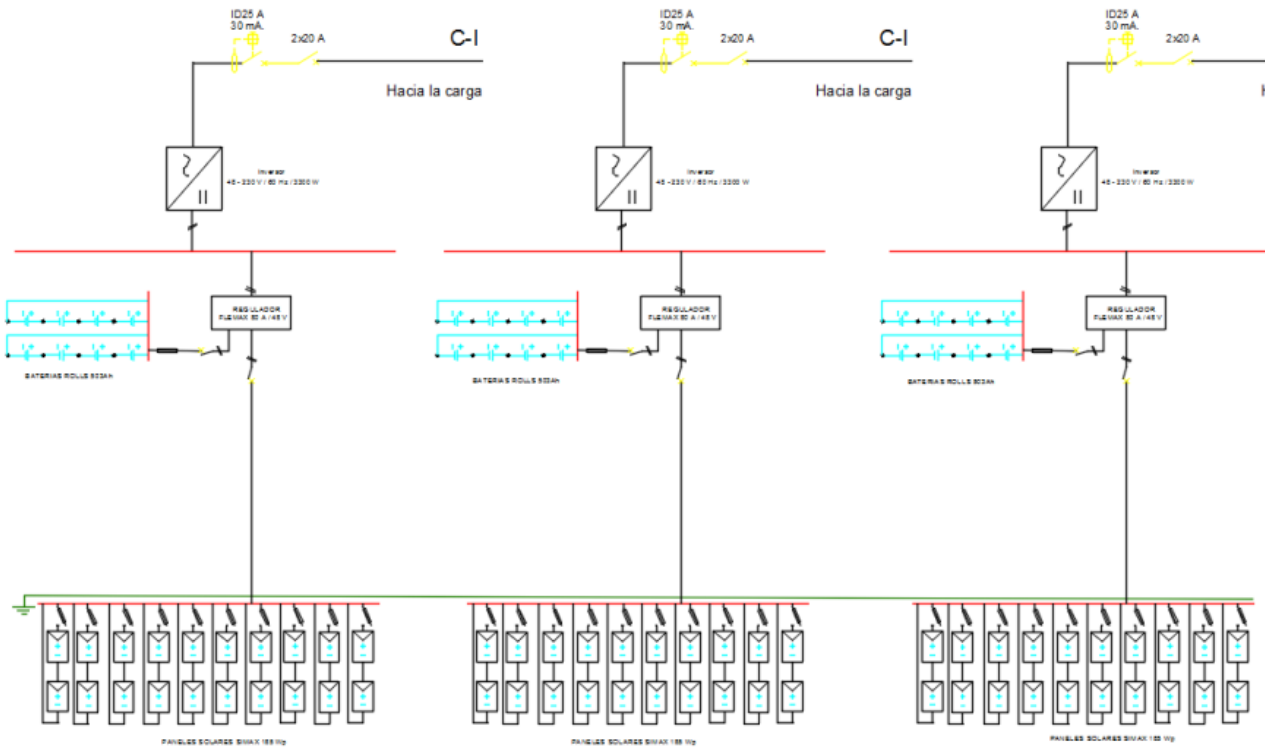


Figura 3.21: Ejemplo de diseño de puesta a tierra recuperado [33].

3.4.12. Sistema de Almacenamiento

La acumulación de energía en una estructura equipada con un sistema de generación de energía fotovoltaica (FV) suele llevarse a cabo mediante el uso de baterías de tipo plomo-ácido. Estas baterías tienen la función de almacenar la electricidad generada durante las horas de mayor radiación solar, para su posterior utilización en momentos de menor insolación, como las horas nocturnas [24]. Se trata de un componente que proporciona independencia a un sistema fotovoltaico y puede atender las demandas de consumo en cualquier instante, sin depender de la generación actual. Además, mejora el rendimiento del sistema al suministrar una corriente más elevada en comparación con la que puede generar una celda, funcionando asimismo como regulador de voltaje en el sistema, previniendo oscilaciones de tensión que podrían afectar los equipos [23]. En la siguiente tabla se observa algunas características de diferentes baterías.

	TIPO	PRECIO	CICLADO PROFUNDO	MANTENIMIENTO
Acido Plomo Líquido	Plomo - Antimonio	Bajo	Bueno	Alto
	Plomo - Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio
	Plomo - Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo
	Híbridas (Antimonio - Calcio)	Medio	Bueno	Medio
Acido Plomo Seco	Gel	Medio	Muy bueno	Bajo
	AGM	Medio	Muy bueno	Bajo

Figura 3.22: Características de las Baterías.

Para obtener una comprensión más precisa del funcionamiento de un sistema de almacenamiento, a continuación, se presenta una representación gráfica del proceso de carga y descarga de una batería de plomo-ácido. Esta batería consta de un ánodo o electrodo positivo que incorpora dióxido de plomo (PbO_2), un cátodo o electrodo negativo que contiene plomo (Pb), y un electrolito compuesto por tetraoxosulfato de hidrógeno (H_2SO_4) diluido en agua. El principio subyacente en su operación implica una reacción electroquímica de tipo oxidación-reducción [23].

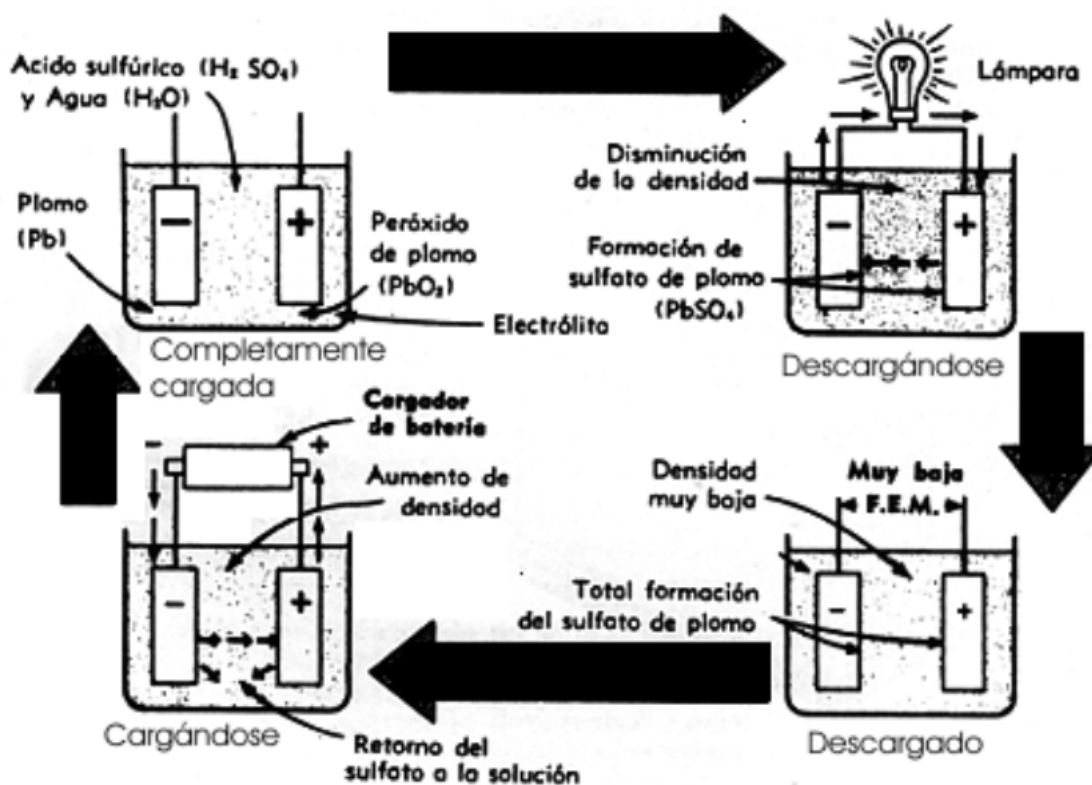


Figura 3.23: Ciclo de Carga y Descarga de una Batería de tipo ácido plomo.

La presencia de un ciclo repetitivo representa una característica significativa en el contexto del almacenamiento en sistemas fotovoltaicos (FV). Este ciclo consiste en una secuencia diaria de fases específicas de carga y descarga, y, además, se observa un ciclo estacional que se ve afectado por las fluctuaciones en los niveles de radiación solar. Tanto los ciclos mencionados como las condiciones operativas, como la corriente eléctrica y la temperatura ambiente, ejercen influencia sobre la durabilidad de los componentes y la variabilidad de los ciclos en los que se requieren tareas de mantenimiento [24]. Con la intención de aumentar la vida útil de las baterías es necesario prevenir las siguientes situaciones:

- Descargas de voltajes reducidos.
- Altos voltajes de carga, provoca pérdida de agua y corrosión.
- Descargas Profundas.
- Existencia de temperaturas que elevan el envejecimiento.
- Largos periodos sin recarga total.
- Bajas corrientes de carga.
- Estratificación del electrolito.

Después de un análisis exhaustivo de estos elementos, los parámetros cruciales que caracterizan la batería y su operación en sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

- Capacidad nominal de almacenamiento.
- La cantidad de corriente máximo que se entrega a cargas fijas en ciclo continuo durante un número determinado de horas de descarga.
- Vida útil.
- Profundidad máxima de descarga.

3.4.13. Cargas

En una configuración aislada, es fundamental que el sistema fotovoltaico tenga la capacidad de suministrar energía eléctrica a todas las cargas previamente dimensionadas [31]. Entre estas cargas, se incluyen dispositivos como lámparas, radios, televisores y electrodomésticos, siendo la iluminación la carga más frecuente en sistemas fotovoltaicos [23]. Un aspecto adicional a considerar en una instalación fotovoltaica aislada es que algunas cargas operan con corriente alterna, mientras que otras requieren corriente continua. A pesar de que, en la actualidad, la mayoría de las cargas en entornos residenciales funcionan con corriente continua, debido a la infraestructura de la red eléctrica convencional, la mayoría de estas cargas incorporan un circuito de conversión de corriente continua a corriente alterna. Por esta razón, prácticamente todas las cargas en una instalación estarán conectadas a la salida de los sistemas de inversión. En cuanto a la iluminación, se observan avances continuos en el desarrollo de nuevas tecnologías, dirigidos a prolongar la vida útil y reducir

el consumo de energía [24]. En la tabla siguiente se muestra los tipos de luminarias así como el rendimiento y costo.

Tipos de luminaria	Rendimiento	Costo
Incandescente	15 lm/w	Bajo
Fluorescente	65 lm/w	Medio
Ahorrador	70 lm/w	Medio
Led	>80 lm/w	Alto

Figura 3.24: Consumo de luminarias mas utilizadas.

3.4.14. Cableado

Como se mencionó previamente, una red fotovoltaica aislada se caracteriza por operar a voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas. Esta particularidad implica que incluso pequeñas disminuciones en el voltaje pueden tener consecuencias significativas, ya que podrían resultar en efectos adversos que afecten los dispositivos eléctricos en uso por parte de los usuarios [35]. Por lo tanto, es de vital importancia llevar a cabo un dimensionamiento preciso de las secciones de los conductores, con especial atención a fin de garantizar que las pérdidas de voltaje se mantengan por debajo del 3% entre el regulador de carga y el panel fotovoltaico. Entre la batería y el regulador de carga, la pérdida de voltaje no debe exceder el 1%, mientras que entre el regulador y las cargas, no debe superar el 5%. Estas cifras corresponden a las pérdidas de voltaje que se experimentan cuando todas las cargas están conectadas y operando a máxima intensidad de corriente [24].

Cada residencia debe contar con un circuito dedicado, el cual abarca aspectos tales como la iluminación, las tomas de corriente, y las cargas de alta demanda eléctrica. Este circuito debe cumplir con las especificaciones detalladas que se presentan en la figura adjunta [9].



Figura 3.25: Características de cualquier circuito eléctrico.

Cada circuito debe ser independiente y no debe compartir conductores con otros circuitos ni con distintos niveles dentro de la vivienda. Asimismo, las regulaciones ya establecen los estándares para el código de colores, el calibre de los conductores y su capacidad de corriente, tal como se detalla en las tablas siguientes. [9].

CÓDIGO DE COLORES

Conductor	Color
Neutro	Blanco
Tierra	Verde, verde con franja amarilla
Fase	Rojo azul, negro, amarillo o cualquier otro color diferente a neutro y tierra.

Figura 3.26: Código de colores en Conductores.

CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO H1Z2Z2-K 1,0 kV AC (1,5 kV DC) 90°C HF FR

Conductor		Aislamiento		Cubierta		Peso Total Aproximado	Ampacidad ⁽¹⁾		
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Espesor Nominal	Diametro Aproximado	Espesor Nominal	Diametro Aproximado		Un Cable al Aire	Un Cable Sobre una Superficie	Dos Cables en Contacto Sobre Superficie
mm ²	Ω/km	mm	mm	mm	mm	kg/km	A		
1,5	13,2980	0,70	3,06	0,80	4,74	31	30	29	24
2,5	7,9693	0,70	3,53	0,80	5,21	42	41	39	33
4	4,9408	0,70	4,08	0,80	5,76	58	55	52	44
6	3,2906	0,70	4,66	0,80	6,34	78	70	67	57
10	1,8928	0,70	5,65	0,80	7,33	120	98	93	79
16	1,2036	0,70	6,54	0,90	8,44	183	132	125	107
25	0,7717	0,90	8,21	1,00	10,31	280	176	167	142
35	0,5484	0,70	9,38	1,10	11,66	380	218	207	176
50	0,3815	1,00	11,08	1,20	13,58	537	276	262	221
70	0,2689	1,10	13,05	1,20	15,55	752	347	330	278
95	0,2038	1,10	15,24	1,30	17,94	980	416	395	333
120	0,1592	1,20	17,26	1,30	19,96	1254	488	464	390
150	0,1281	1,40	19,31	1,40	22,23	1549	566	538	453
185	0,1048	1,60	21,40	1,60	24,72	1893	644	612	515
240	0,0793	1,70	27,77	1,70	31,31	2593	775	736	620

CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO PV XLPE 2000 V 90°C SR

Conductor		Aislamiento		Peso Total Aproximado	Ampacidad ⁽²⁾	
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Espesor Nominal	Diametro Aproximado		Un Cable al Aire	Hasta Tres Conductores en Ducto
AWG	Ω/km	mm	mm	kg/km	A	
14	8,4443	1,90	5,92	50	30	23
12	5,3149	1,90	6,42	65	41	30
10	3,3436	1,90	7,06	88	56	41
8	2,1021	2,16	8,36	126	78	55
6	1,3226	2,16	9,42	182	106	73
4	0,8478	2,16	10,44	263	141	96
2	0,5332	2,16	11,98	389	190	129
1/0	0,3351	2,67	14,94	604	259	172
2/0	0,2659	2,67	16,08	739	300	194
4/0	0,1688	2,67	19,52	1140	405	260
250	0,1429	3,05	21,56	1365	455	290
500	0,0728	3,05	30,69	2650	703	430

Figura 3.27: Calibres de conductor según amperaje.

3.4.15. Ecuaciones Diseño Sistema Fotovoltaico

Inclinación Óptima

Con el propósito de calcular la inclinación ideal de una superficie estática, se emplea una fórmula derivada de análisis estadísticos de la radiación solar anual en diversas superficies con variadas inclinaciones, ubicadas en regiones de distintas latitudes. Esta fórmula proporciona la inclinación óptima en relación a la latitud geográfica del emplazamiento [33].

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69(|\varphi|) \quad (3.3)$$

Donde:

β_{opt} : ángulo de inclinación óptimo.

$|\varphi|$: latitud del lugar sin signo.

Orientación

La orientación y posición de los módulos dependerá de la ubicación geográfica del sitio donde se realice el análisis, este paso se puede realizar con la ayuda de herramientas digitales.

Perdidas por Inclinación y Orientación

Las perdidas por estos factores pueden variar dependiendo el caso por lo general va de un 10 % a 40 %, en un caso general cubre un 10 % cuando se instale celdas sobre una losa o en caso de superposición se permite un 20 % todo dependerá de la integración arquitectónica [36].

$$P_{OI} = 1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2; \quad \beta \leq 15 \quad (3.4)$$

Donde:

β_{opt} : ángulo de inclinación óptimo.
 β : inclinación.
 P_{OI} : Pérdidas por orientación e inclinación.

Condiciones estándar de medida

Es esencial examinar las condiciones de referencia en las que operan los paneles solares, teniendo en consideración las propiedades intrínsecas de las células, a fin de comprender cómo se comportan eléctricamente en distintos escenarios de irradiancia y temperatura [36]. Es necesario conocer la irradiancia, temperatura de trabajo de la célula y la distribución espectral o masa de aire estos datos vienen dados por el catalogo del fabricante.

Temperatura de Célula:

$$T_C = T_A + \frac{T_{ONC} - 20}{800 \frac{W}{m^2}} * G_{STC} \quad (3.5)$$

Donde:

T_C : Temperatura de la célula.
 T_A : Temperatura ambiente.
 G_{STC} : Irradiancia en STC.
 T_{ONC} : Temperatura de operación nominal de la célula.

Masa de aire: El Ecuador debido a que se encuentra una posición perpendicular, se considera una masa de aire en el sitio de 1 debido a que el recorrió del haz de luz es mas corto.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (3.6)$$

Donde:

AM : Masa de aire.
 θ : Altura solar ; $\theta = 90^\circ - \text{Lat.} - 23.45^\circ$.

Condiciones críticas de funcionamiento

El principal objetivo de los sistemas fotovoltaicos autónomos es la garantía de suministro energético incluso en los meses más críticos, es específico en verano ya que existen pérdidas por las temperaturas altas y en invierno donde hay menos irradiación [36].

Eficiencia de Módulos:

$$\eta_{Temp} = 100 + (T_C - T_{stc}) * Coef_{Temp} \quad (3.7)$$

Donde:

- η_{Temp} : Eficiencia de temperatura.
 T_{stc} : Temperatura estándar de la célula (Catálogo proveedor).
 $Coef_{Temp}$: Coeficiente de temperatura del modulo (Catálogo proveedor).
 T_C : Temperatura de la célula.

Potencia Máxima

Para el calculo de la potencia máxima es necesario conocer la cantidad de elementos y potencias del mismo, además de las horas de funcionamiento.

$$P_{max} = P_l * T \quad (3.8)$$

Donde:

- P_{max} : Potencia máxima ($\frac{Wh}{d}$).
 P_l : Potencia de luminaria (W).
 T : Tiempo de consumo (h).

Calculo de consumo

En esta sección podemos destacar algunos consumos como son:

Consumo General:

$$E_{CM} = 1,2 * C \quad (3.9)$$

Donde:

- E_{CM} : Consumo de energía general.
 P_l : Consumo (Wh).

Corriente máxima:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{V_B} \quad (3.10)$$

Donde:

- I_{max} : Corriente máxima ($\frac{Ah}{dia}$).
 P_{max} : Potencia máxima ($\frac{Wh}{d}$).
 V_B : Voltaje de batería (V).

Consumo Máximo:

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{R} \quad (3.11)$$

Donde:

- I_{max} : Corriente máxima ($\frac{Ah}{día}$).
 C_{max} : Consumo máximo.
 R : Pérdidas de rendimiento global.

Pérdidas de rendimiento global (R):

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - \frac{K_a * N}{P_d}) \quad (3.12)$$

Donde:

- R : Pérdidas de rendimiento global.
 K_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías.
 K_a : Coeficiente de auto descarga diario de las baterías.
 K_c : Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el inversor.
 K_v : Coeficiente de pérdidas varia.
 P_d : Profundidad de descarga de las baterías.

Calculo de Inversor

Para el dimensionamiento de un inversor es necesario considerar la potencia máxima que puede generar un panel o celda fotovoltaica con la siguiente ecuación.

$$P_{GFV} = \frac{E_T}{HSP * N * PR} \quad (3.13)$$

Donde:

- P_{GFV} : Potencia generada del panel fotovoltaico.
 E_T : Energía consumida mensualmente.
 HSP : Hora solar pico.
 N : Numero de días de consumo en el mes.
 PR : Factor de rendimiento por lo general esta entre 0,7 a 0,8.

Potencia Mínima del generador fotovoltaico

Se considerara una hora solar pico dependiendo de la radiación solar en la zona.

$$P_{min} = \frac{E_l}{HSP * R} \quad (3.14)$$

Donde:

- P_{min} : Potencia mínima del generada fotovoltaico (Wh/día).
 E_l : Energía consumida por carga (Wh/día).
 HSP : Hora solar pico.
 R : Rendimiento global de instalación.

Calculo de numero de celdas

Par el calculo de la cantidad de paneles necesarios se pueden definir estas dos ecuaciones.

$$N_P = \frac{E_T}{P_{MPP} * HSP} \quad (3.15)$$

Donde:

- N_P : Número de paneles.
 E_T : Energía consumida diaria.
 HSP : Hora solar pico.
 P_{MPP} : Potencia máxima del panel.

$$E_{panel} = I_{panel} * HSP * \eta_{panel} \quad (3.16)$$

Donde:

- E_{panel} : Energía generada por el panel.
 I_{panel} : Corriente máxima del panel.
 HSP : Hora solar pico.
 η_{panel} : Rendimiento del panel (85 %-95 %).

Calculo para determinar la corriente del regulador

Es necesario considerar algunas ecuaciones para esta sección como las que se mencionan a continuación.

Intensidad Nominal I_R

$$I_R = 1,25 * I_{GSC} \quad (3.17)$$

Donde:

- I_R : Intensidad nominal.
1,25: Factor de seguridad.
 I_{GSC} : Intensidad de cortocircuito del panel.

Corriente del generador I_{SC}

$$I_{scgenerator} = N_{pfv} * I_{scpanel} \quad (3.18)$$

Donde:

- $I_{scgenerator}$: Corriente de cortocircuito del generador.
 N_{pfv} : Número de paneles fotovoltaicos.
 $I_{scpanel}$: Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.

Corriente de carga

$$I_l = N_l * \frac{P_l}{V_s} \quad (3.19)$$

Donde:

- I_l : Corriente que consume carga.

- N_l : Número de cargas.
 P_l : Potencia de la carga.
 V_s : Voltaje de SFV.

Calculo del banco de baterías

Calculo para una Batería

Para llevar a cabo la determinación de la capacidad de las baterías en un contexto de un sistema fotovoltaico, es fundamental adquirir un entendimiento sólido de los días de autonomía. Este parámetro es crítico, ya que proporciona información relevante sobre la disponibilidad de radiación solar durante el período invernal en la ubicación de interés [23].

$$C_n = \frac{C_{max} * N}{P_D} \quad (3.20)$$

Donde:

- C_n : Capacidad total de baterías (Ah).
 C_{max} : Consumo máximo (Ah/día).
 N : Autonomía (días).
 P_D : Factor de descarga de baterías (50 %-70 %).

Capacidad de Baterías

$$C_{SB} = \frac{E_{CM} * D_{AUT}}{V_{SB} * MPD} \quad (3.21)$$

Donde:

- C_{SB} : Capacidad del sistema de baterías.
 E_{CM} : Energía de consumo máximo.
 D_{AUT} : Días de autonomía.
 V_{SB} : Voltaje del sistema de baterías.
 MPD : Máxima profundidad de descarga (%).

Consumo medio diario del banco

$$Q_d = \frac{W_d}{V_n} \quad (3.22)$$

Donde:

- Q_d : Consumo medio diario (Ah).
 W_d : Consumo medio de energía diario (Wh).
 V_n : Tensión nominal del sistema de acumulación (v).

Capacidad mínima del banco de baterías

$$C_T = \frac{N_D * E_{elec}}{P_{Dmax} * V_T * \eta_{inv} * \eta_{rb}} \quad (3.23)$$

Donde:

- C_T : Capacidad mínima de banco de baterías (Ah).

- N_D : Número de días de autonomía.
 E_{elec} : Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).
 P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga profunda (0.6 - 0.8).
 V_T : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico.
 η_{inv} : Eficiencia del inversor.
 η_{rb} : Eficiencia del conjunto de regulador de batería.

Número de Baterías en Serie

$$V_{SB} = N_S * V_B \quad (3.24)$$

Donde:

- V_{SB} : Voltaje del sistema de baterías.
 N_S : Número de baterías en serie.
 V_B : Voltaje de batería.

Entonces:

$$N_S = \frac{V_{SB}}{V_B} \quad (3.25)$$

Número de Baterías en Paralelo

$$C_{SB} = N_P * C_B \quad (3.26)$$

Donde:

- C_{SB} : Capacidad del sistema de baterías.
 N_P : Número de baterías en paralelo.
 C_B : Capacidad de la batería.

Entonces:

$$N_P = \frac{C_{SB}}{C_B} \quad (3.27)$$

Número total de baterías

$$N_{totalBaterias} = N_S * N_P \quad (3.28)$$

Donde:

- $N_{totalBaterias}$: Numero total de baterías para el banco acumulador.
 N_P : Número de baterías en paralelo.
 N_S : Número de baterías en serie.

Conductores

En esta instancia, se hace imperativo la segmentación y distinción de cada sección de la configuración, donde se procede a la recolección de información relativa a intensidades, tensiones y

extensiones. Estas últimas se estiman a partir de las dimensiones del generador y la distribución aproximada de sus elementos constituyentes [9].

- Tramo 1: Conexión de los módulos solares conectados en serie y en paralelo que componen el generador fotovoltaico.
- Tramo 2: Conexión entre la caja de conexiones del generador fotovoltaico al regulador de carga.
- Tramo 3: Conexión del regulador de carga con la batería de acumuladores.
- Tramo 4: Conexión del regulador de carga con el inversor.
- Tramo 5: Conexión del inversor con la caja general del mando y protección de la instalación de utilización.

Los conductores serán seleccionados según la máxima caída de tensión, que se calcula para un porcentaje de la tensión nominal [23].

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V} \quad (3.29)$$

Donde:

- S : Sección del conductor (mm^2).
 L : Longitud total del tramo (m).
 I : Intensidad de corriente (A).
 δ : Conductividad de cobre para temperatura de 20 °C es 56.
 ΔV : Caída de tensión (V).

Se debe considerar ciertos porcentajes de caída de tensión dependiendo el tramo que se encuentre en la tabla siguiente se puede observar los porcentajes de caída de tensión [25].

TRAMO DEL SISTEMA	CAÍDA DE TENSIÓN
PANELES-REGULADOR	3 % recomendado 1 %
REGULADOR-BATERÍAS	1 % recomendado 0,5 %
BATERÍA-INVERSOR	1 % recomendado 1 %
REGULADOR-INVERSOR	1 % recomendado 1 %
LÍNEAS DE ILUMINACIÓN	3 % recomendado 3 %
OTROS EQUIPOS	5 % recomendado 3 %

Figura 3.28: Caída de tensión por tramo.

A continuación se presenta la ecuación de caída de tensión para los conductores:

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%} \quad (3.30)$$

Donde:

ΔV : Caída de tensión máxima permitida (v).

V_T : Tensión de trabajo del sistema.

$V_{caida\%}$: Caída de tensión en porcentaje elegidos por tramo (%).

Protecciones

- Panel Fotovoltaico y Regulador de carga:

$$I_{F1} = 2 * I_{scpanel} \quad (3.31)$$

Donde:

I_{F1} : Corriente del fusible PFV-R.

$I_{scpanel}$: Corriente de cortocircuito del panel FV.

- Regulador y Batería:

$$I_{F2} = 2 * 1,1 * I_{panel} \quad (3.32)$$

Donde:

I_{F2} : Corriente del fusible R-B.

I_{panel} : Corriente del panel FV (se suma un 10 % de la corriente del panel).

- Regulador e Inversor:

$$I_{F3} = 1,25 * I_{INV} \quad (3.33)$$

Donde:

I_{F3} : Corriente del fusible R-I.

I_{INV} : Corriente del Inversor.

- Inversor y Carga:

$$I_{F4} = \frac{P_{luminarias}}{V_S} \quad (3.34)$$

Donde:

I_{F4} : Corriente del fusible I-Carga.

$P_{luminarias}$: Potencia de luminarias.

V_S : Voltaje del sistema.

Perdidas y Eficiencia

El índice de Rendimiento (Performance Ratio o PR) desempeña un papel crucial en la evaluación de las pérdidas y las eficiencias en un sistema fotovoltaico autónomo. Se trata de un parámetro

adicional que proporciona una visión integral sobre el rendimiento, permitiéndonos evaluar el impacto global de las pérdidas en el sistema [17].

$$PR = (\eta_{INV} * \eta_{Temp} * \eta_{REG} * \eta_{BAT} * \eta_{AC} * \eta_{DC} * \eta_{SS} * \eta_{OI} * \eta_{MM}) * [1 - (\frac{P_{DESC} * D_{AUT}}{MPD})] \quad (3.35)$$

Donde:

PRV :	Performance Ratio (PR).
η_{INV} :	Eficiencia del inversor.
η_{Temp} :	Eficiencia por temperatura.
η_{REG} :	Eficiencia del regulador.
η_{BAT} :	Eficiencia de batería.
η_{AC} :	Eficiencia de cables AC.
η_{DC} :	Eficiencia de cables DC.
η_{SS} :	Eficiencia de suciedad y sombra.
η_{OI} :	Eficiencia de orientación e inclinación.
η_{MM} :	Eficiencia de interconectado (MISS MATCH).
P_{DESC} :	Perdidas por descarga de baterías.
D_{AUT} :	Días de autonomía.
MPD :	Máxima profundidad de descarga.

Capítulo 4

Análisis del sistema de Iluminación y Diseño del sistema Fotovoltaico del Bloque Guillermo Mensi de la UPS

4.1. Análisis de la Iluminación en El Bloque Guillermo Mensi de la UPS

Este capítulo presenta la propuesta del método de evaluación de la calidad lumínica, junto con el diseño y simulación de un nivel óptimo de iluminación con el fin de reducir el consumo energético a través de la integración de un sistema fotovoltaico a la red preexistente. Además, se detalla el proceso incluyendo todos los cálculos y mediciones necesarios para el desarrollo del sistema de iluminación eficiente y la implementación del sistema fotovoltaico planificado. Se hace referencia a las normativas internacionales para determinar los niveles de iluminación requeridos en los sectores designados del bloque Guillermo Mensi de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Por último, se presenta un análisis exhaustivo de la eficiencia energética, niveles lumínicos y los potenciales ahorros futuros con el nuevo diseño y la integración del sistema fotovoltaico a la red, evidenciando las necesidades de ahorro tanto en términos energéticos como económicos.

4.1.1. Método de medición del nivel y calidad de iluminación

Para abordar la medición lumínica, se llevó a cabo una investigación de diversas normativas a nivel global. Se dio prioridad a la normativa española, reconocida por su papel pionero en la regulación de la iluminación artificial, destacando su enfoque en la inteligencia lumínica. Asimismo, se exploraron las regulaciones argentinas, reconocidas por su aceptación significativa en América Latina. Por último, se examinó la normativa ecuatoriana. Esta fase incluyó una comparación detallada entre las diferentes normativas para determinar y validar los niveles de calidad lumínica necesarios en los sectores abordados en este proyecto.

En las siguientes tablas se muestran los niveles de iluminación mínima en las diferentes áreas según la norma especificada en cada título.

Niveles de Iluminación según Norma Española

Zona o Parte del lugar de trabajo.	Nivel mínimo de iluminación (Lux)
Zona donde se ejecuten las tareas tales como: 1. Bajas exigencias visuales 2. Exigencias visuales moderadas 3. Exigencias visuales altas 4. Exigencias visuales muy altas	100 200 500 1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Figura 4.1: Niveles de Iluminación según Norma Española [22].

Niveles de Iluminación según Norma Argentina

Zona o Parte del lugar de trabajo.	Nivel mínimo de iluminación (Lux)
Tareas que no exigen esfuerzo visual: tránsito por vestíbulos y pasillos, almacenajes, carga y descarga de elementos no peligrosos	50
Tareas que exigen poco esfuerzo visual: trabajos generales que se realizan en sala de calderas, depósitos de materiales, habitaciones de aseo, escalares, etc.	100
Tareas que exigen esfuerzo visual corriente. Distinción moderada de detalles, grado normal de contraste y especificaciones de tiempo intermitentes, tales como: trabajos de máquinas automáticas, mecánica automotriz, embalaje y expedición, sala de salas de archivos y conferencias, etc.	200
Tareas que exigen bastante esfuerzo visual: trabajos prolongados que requieren, fina distinción de detalles, grado moderado de contraste y largos espacios de tiempo, tales como: trabajos comunes de banco en taller y montajes, trabajos de maquinarias, inspección y montaje, trabajos de oficina, etc.	400
Tareas que exigen gran esfuerzo visual: trabajos de precisión que requieren, fina distinción de detalles, grado mediano de contraste y largos espacios de tiempo, tal como: trabajos a gran velocidad, acabados finos, pintura extrafina, costuras de ropa oscura, mesas de dibujo, etc.	700
Tareas que exigen máximo esfuerzo visual: trabajos de precisión máxima que se requieren finísima distinción de detalles, condiciones de contraste deficientes y largos espacios de tiempo.	1500

Figura 4.2: Niveles de Iluminación según Norma Argentina [37].

Niveles de Iluminación según Norma Ecuatoriana

Zona o Parte del lugar de trabajo.	Nivel mínimo de iluminación (Lux)
Pasillos, patios y lugares de paseo .	20
Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.	50
Sea necesaria una ligera distinción de detalles, cómo: de fabricación de productos de hierro y acero, talleres textiles y de Industria manufacturera, salas de máquinas y calderones, ascensores.	100
Esencial una distinción moderada de detalles , como: talleres de metal mecánica, costura, industrias de conserva, imprentas.	200
Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.	300
Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo .	500
Trabajos en que se exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, como: trabajo con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería .	1000

Figura 4.3: Niveles de Iluminación según Decreto Ejecutivo 2393 [38].

A continuación, se presenta en la tabla comparativa los distintos niveles mínimos de iluminación establecidos por las regulaciones mencionadas para las áreas específicas abordadas en este proyecto. Es importante resaltar que ciertos espacios pueden presentar rangos de iluminación en lugar de valores únicos establecidos.

Norma	Aulas	Baños	Pasillos	Auditorios
Española	200 a 500 lux	100 lux	50 a 100 lux	100 a 500 lux
Argentina	300 a 750 lux	50 a 100 lux	50 a 100 lux	300 a 750 lux
Ecuatoriana	100 a 300 lux	50 a 100 lux	20 a 100 lux	100 a 300 lux

Se empleó un método de evaluación para determinar la luminosidad en áreas específicas, utilizando una cuadrícula de puntos de medición que abarca las zonas a analizar. Esta técnica se basa en dividir el área en cuadrículas similares, midiendo la iluminación en el centro de cada una a 0.8 metros del suelo. Se calcula un promedio de la iluminación, teniendo en cuenta que la precisión de estas mediciones está ligada a la cantidad de puntos de medición empleados [37]. Se establece una relación para determinar el número mínimo de puntos de medición en un área específica en función del índice característico de dicho lugar, permitiendo así calcular la cantidad adecuada de muestras necesarias.

$$\text{Índice del Local} = \frac{\text{Largo} * \text{Ancho}}{\text{Altura de Montaje} * (\text{Largo} + \text{Ancho})} \quad (4.1)$$

Es aquí donde el largo y ancho, son las dimensiones del área o recinto además de la altura de montaje es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo. La relación que se mencionó se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Número mínimo de puntos de medición} = (x + 2)^2$$

Donde:

x : El valor de Índice de local redondeando al entero superior.

Para los índices de localización que sean iguales o superiores a 3, se asigna un valor de 4 a la

variable "x". Después de este paso, se procede a realizar mediciones en diversas áreas utilizando un luxómetro [37]. Se hace el cálculo de la iluminancia media y mínima empleando las ecuaciones siguientes.

Iluminancia Media:

$$E \text{ Media} = \frac{\sum \text{Valores Medidos (Lux)}}{\text{Cantidad de puntos Medidos}} \quad (4.2)$$

Iluminancia Mínima:

$$E \text{ Mínima} \geq \frac{E \text{ Media}}{2} \quad (4.3)$$

Una vez que se adquieren estos valores, se realiza una comparación con la información contenida en la tabla 1 y 2 del Decreto 351/79, específicamente en su Anexo IV, así como con las normativas previamente revisadas.

4.1.2. Análisis lumínico de un Aula

Datos para el cálculo de la cuadrícula de las Aulas.

Largo: 8 mts

Ancho: 7.4 mts

Altura: 2.5 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{8\text{m} \times 7,4\text{m}}{2,5\text{m} (8\text{m} + 7,4\text{m})} = 1,53$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.4 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

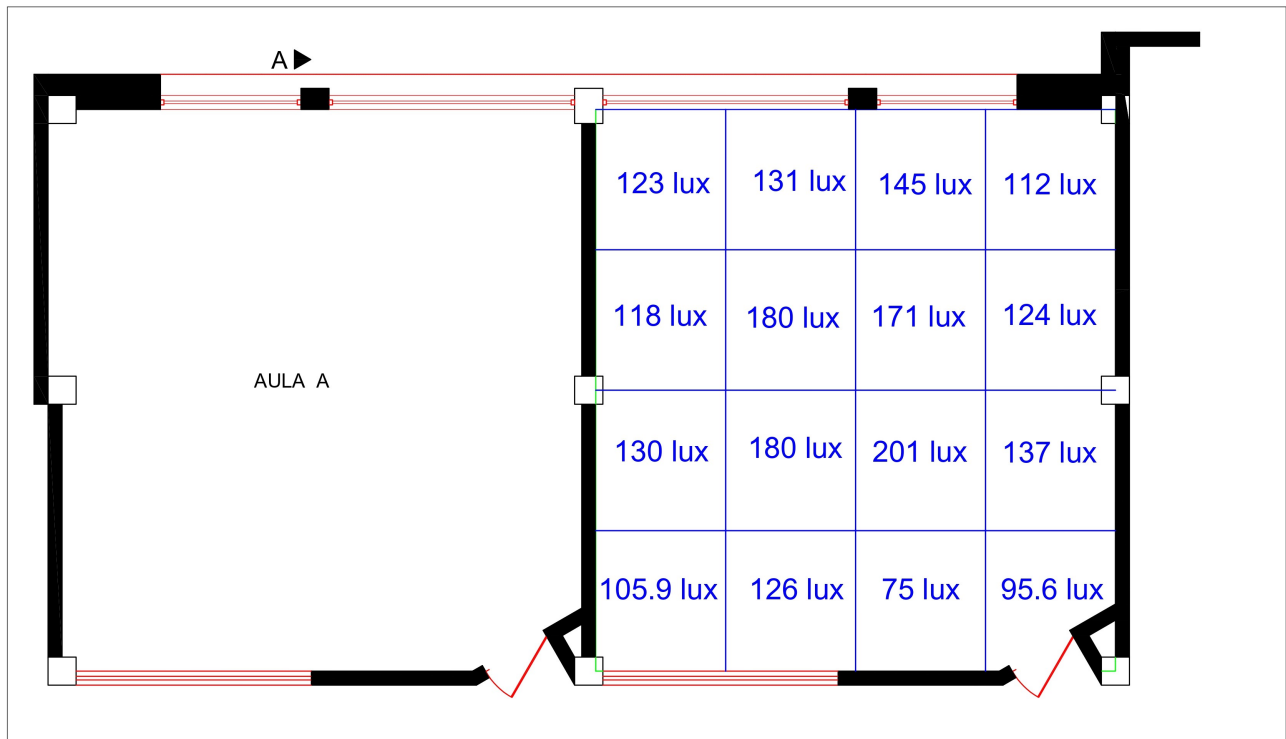


Figura 4.4: Cuadrícula Aula.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{123+131+145+112+118+180+171+124+130+180+201+137+105,9+126+75+95,5}{16}$$

$$E_{media} = 134,65 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a una aula. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 100 a 300 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 134.65 lux, lo que indica que no se cumple con el requisito mínimo establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$75 \geq \frac{134,65}{2}$$

$$75 \geq 67,32$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (75 lux) y supera el umbral mínimo requerido de 67.32.

4.1.3. Análisis lumínico de pasillos, Gradass y Baños

- Pasillos: En este espacio es solo de circulación no se encuentran elementos algunos a continuación se detallan algunas especificaciones, donde fue necesario dividir el espacio en 5 áreas que las nombramos como P01, P02, P03, P04 y P05, para todos los pasillos excepto el Pasillo 03 que cuenta con otra medición dejando el pasillo de la siguiente manera:

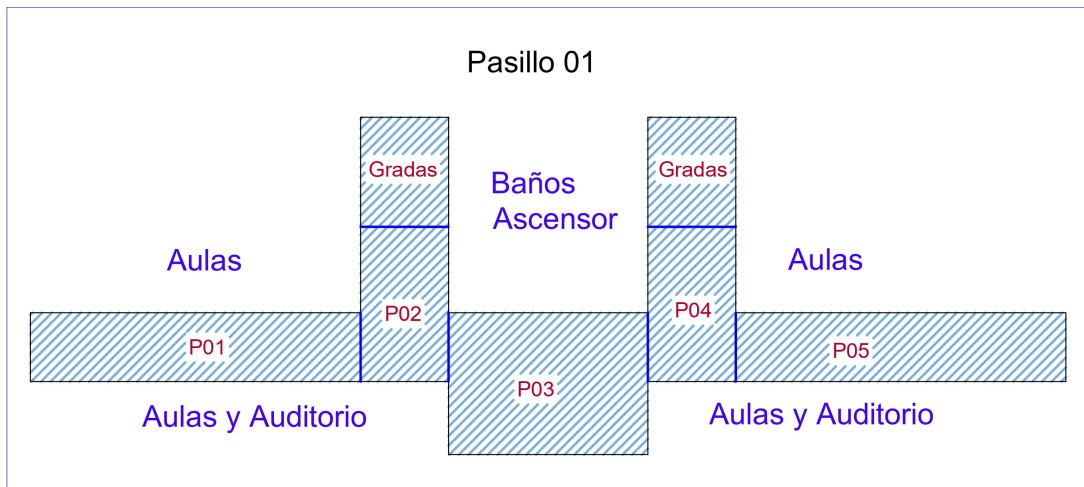


Figura 4.5: Pasillo01 en dividida por zonas.

Pasillos 00, 01, 02

P01 = P05:

Datos para el cálculo de la cuadrícula del P01:

Largo: 7.4 mts

Ancho: 8 mts

Altura: 3 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{7,4\text{m} \times 8\text{m}}{3\text{m} (7,4\text{m} + 8\text{m})} = 1,28$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.6 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

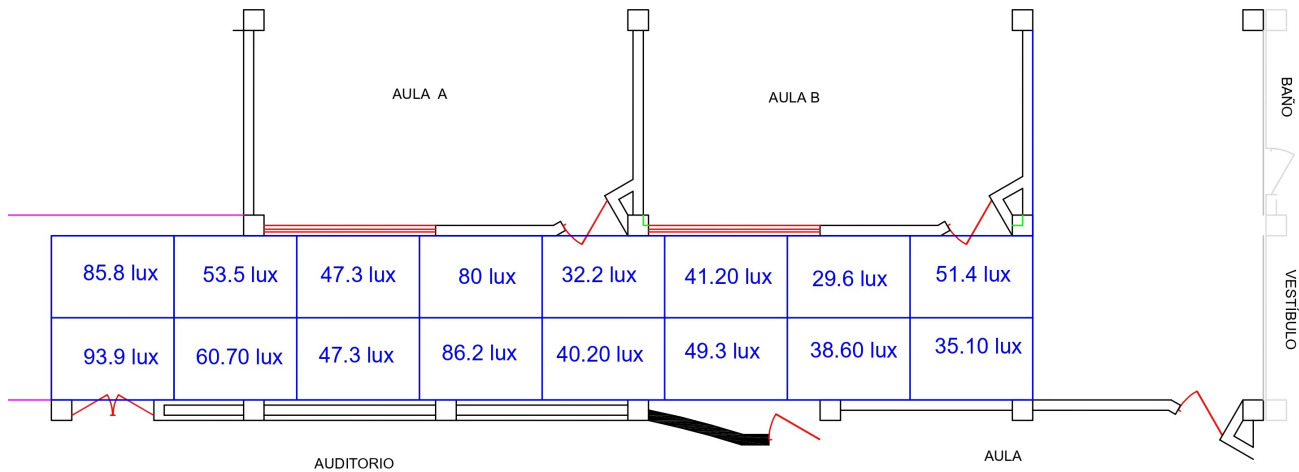


Figura 4.6: Parte P01 del Pasillo01.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{85,8+53,5+47,3+80+32,2+41,20+29,6+51,4+93,9+60,7+47,3+86,2+40,2+49,3+38,6+35,1}{16}$$

$$E_{media} = 54,51 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos mediciones en un entorno específico, que corresponde a pasillos. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 50 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 54.51 lux, lo que indica que se cumple con el requisito estando dentro del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$29,6 \geq \frac{54,51}{2}$$

$$29,6 \geq 27,25$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo (29.6)

supera el umbral mínimo requerido de (27.25).

P02 = P04:

Datos para el cálculo de la cuadrícula del P02.

Largo: 7.2 mts

Ancho: 4.5 mts

Altura: 3 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{7,2\text{m} \times 4,5\text{m}}{2,5\text{m} (7,2\text{m} + 4,5\text{m})} = 1,11$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.7 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

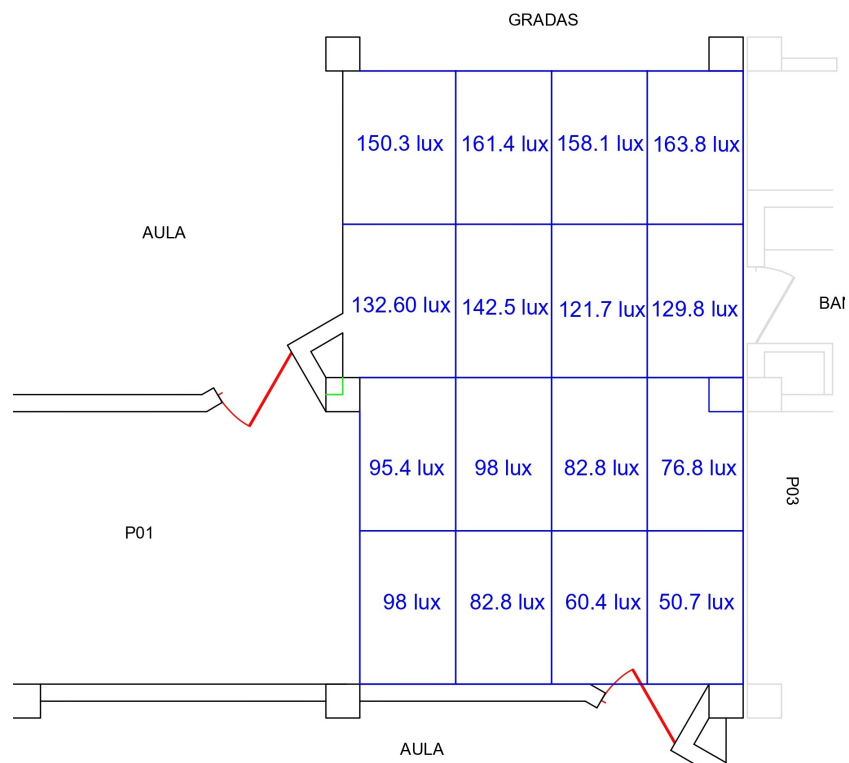


Figura 4.7: Parte P02 del Pasillo 01.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E media).

$$E \text{ media} = \frac{150,3+161,4+158,1+163,8+132,60+142,50+121,7+129,80+95,4+98+82,8+76,8+98+82,8+60,4+50,7}{16}$$

$$E \text{ media} = 112,82 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a pasillos. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 50 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E media) es de 112.82 lux, lo que indica que se cumple con el requisito mínimo establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$50,70 \geq \frac{112,82}{2}$$

$$50,70 \geq 56,41$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación no cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (50.70) y no supera el umbral mínimo requerido de (56.41).

P03:

Datos para el cálculo de la cuadrícula de P03 del pasillo 01.

Largo: 10.1 mts

Ancho: 8.4 mts

Altura: 2.5 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{10,1\text{m} \times 8,4\text{m}}{2,5\text{m} (6,5\text{m} + 4,03\text{m})} = 1,83$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.8 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

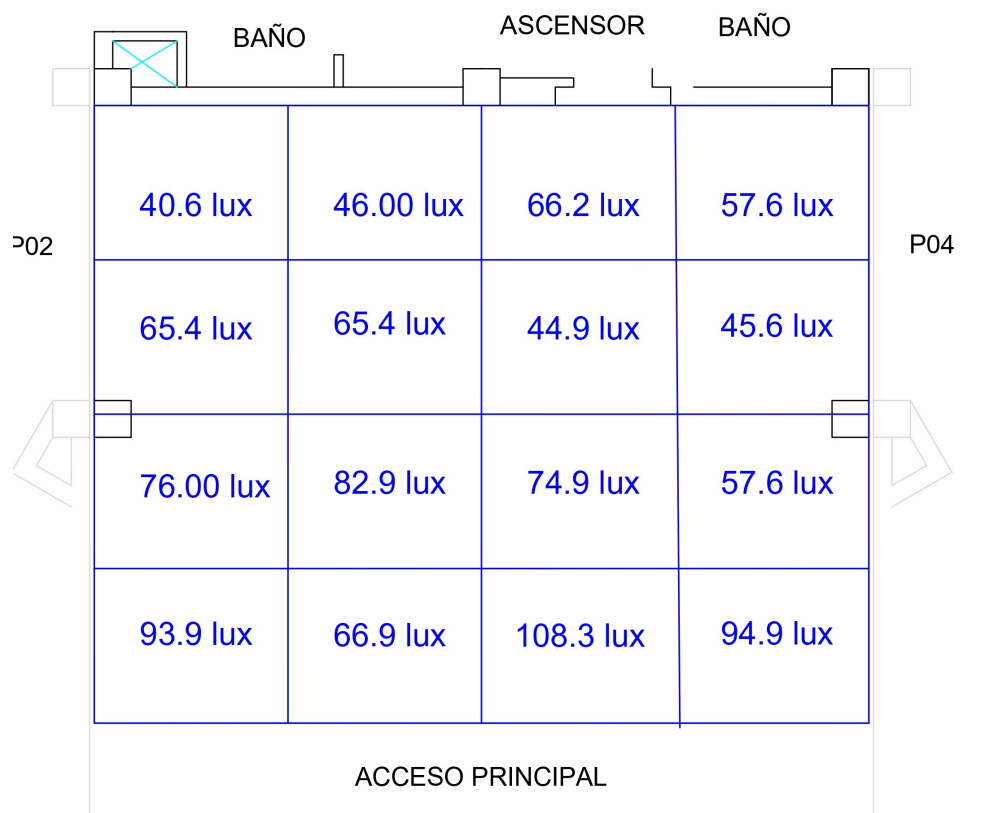


Figura 4.8: Parte P03 del Pasillo 01.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{40,6+46+66,2+57,6+65,4+65,4+44,9+45,6+76+82,9+74,9+57,6+93,9+66,9+108,3+94,9}{16}$$

$$E \text{ media} = 90,78 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a un pasillo. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 200 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E media) es de 90.78 lux, lo que indica que no se cumple con el requisito mínimo establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$40,6 \geq \frac{90,78}{2}$$

$$40,6 \geq 45,39$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación no cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (45.39 lux) y no supera el umbral mínimo requerido de 40.6.

Pasillo 00 espacio de entrada

Datos para el cálculo de la cuadrícula del acceso al edificio.

Largo: 8.40 mts

Ancho: 2.80 mts

Altura: 2.20 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{8,40\text{m} \times 2,8\text{m}}{3,5\text{m} (8,40\text{m} + 2,8\text{m})} = 0,6$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (1 + 2)^2 = 9$$

La cuadrícula tendrá 9 partes iguales como se muestra en la figura 4.9 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

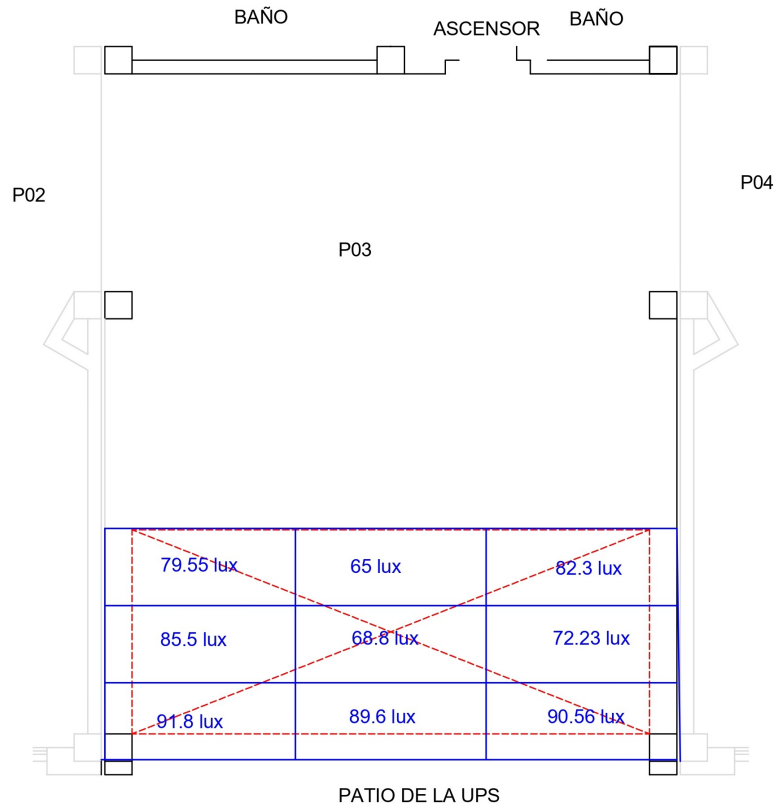


Figura 4.9: Acceso Principal del edificio.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E media).

$$E_{media} = \frac{79,55+65+82,3+85,5+68,8+72,23+91,8+89,6+90,56}{9}$$

$$E_{media} = 72,37 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde al acceso principal del edificio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 50 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E media) es de 72.37 lux, lo que indica que se cumple con el requisito estando dentro del

rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$62,3 \geq \frac{72,37}{2}$$

$$62,3 \geq 36,28$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación si cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (40.6 lux) y supera el umbral mínimo requerido de 36.28.

Pasillo 03

Datos para el cálculo de la cuadrícula del Pasillo 03.

Largo: 8.45 mts

Ancho: 3.65 mts

Altura: 2.5 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{8,45\text{m} \times 3,2\text{m}}{2,5\text{m} (8,45\text{m} + 3,20\text{m})} = 1,1$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.10 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

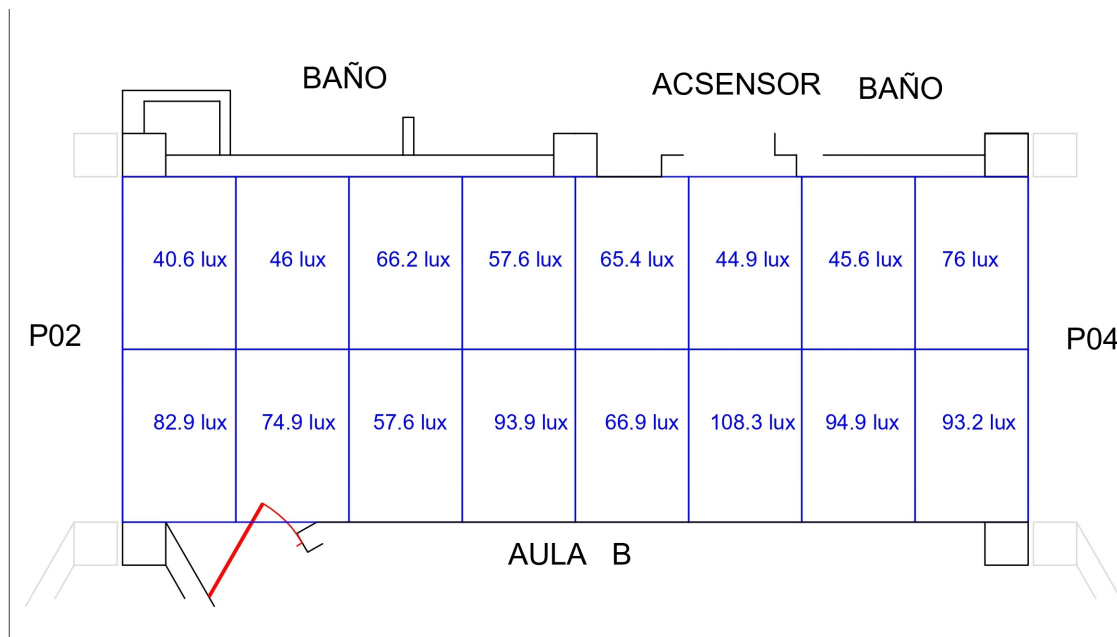


Figura 4.10: Cuadrícula del Pasillo 03.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{40,6+46+66,2+57,6+65,4+44,9+45,6+76+82,9+57,6+57,6+93,9+66,9+108,3+94,9+93,2}{16}$$

$$E_{media} = 68,6 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a pasillos. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 20 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 68.6 lux, lo que indica que se cumple con el requisito estando dentro del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$40,6 \geq \frac{68,6}{2}$$

$$40,6 \geq 34,3$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación si cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (40.6) y no supera el umbral mínimo requerido de (34.3).

- Gradadas: Este espacio es solo para circulación peatonal.
Datos para el cálculo de la cuadrícula de gradadas.
Largo: 5.1 mts
Ancho: 4.1 mts
Altura: 2.20 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{10,1\text{m} \times 8,4\text{m}}{2,5\text{m} (6,5\text{m} + 4,03\text{m})} = 1,03$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.11 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

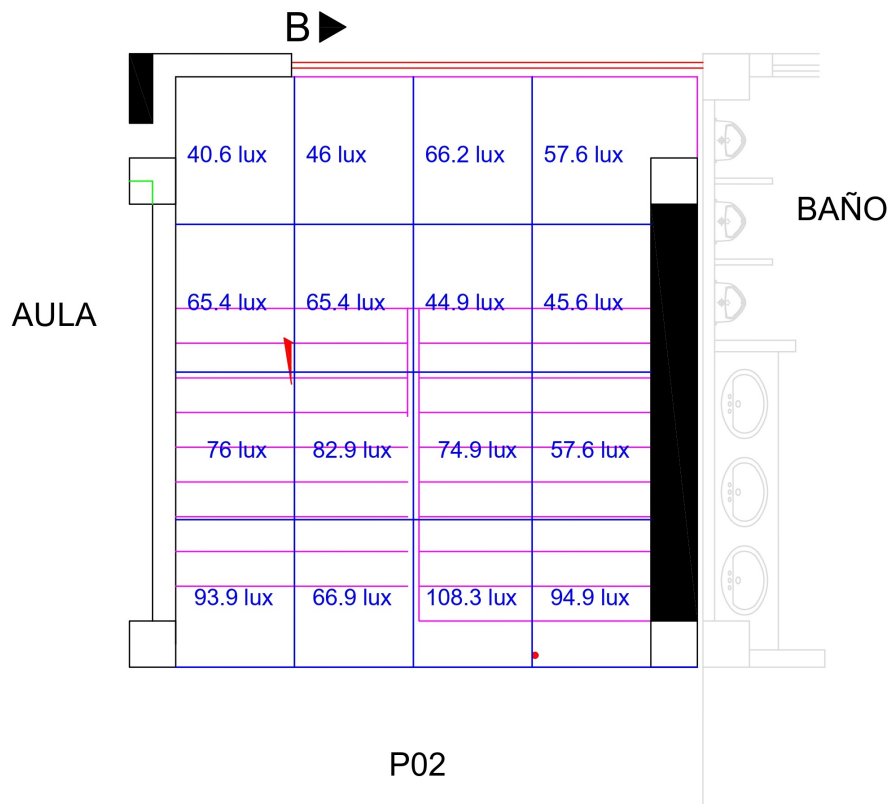


Figura 4.11: Cuadrícula Gradas.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{40,6+46+66,2+57,6+65,4+65,4+44,9+45,6+76+82,9+74,9+54,6+93,9+66,9+108,3+94,9}{16}$$

$$E_{media} = 67,94 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a las gradas del edificio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 50 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 67.94 lux, lo que indica que se cumple con el requisito estando dentro del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$40,6 \geq \frac{67,94}{2}$$

$$40,6 \geq 33,97$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación si cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (40.6 lux) y supera el umbral mínimo requerido de 33.97.

- Baños: Instalaciones diseñadas para satisfacer las necesidades de higiene y comodidad.
Datos para el cálculo de la cuadrícula de baños.
Largo: 6.5 mts
Ancho: 4.03 mts
Altura: 2.5 mts

$$\text{Indice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Indice del local} = \frac{6,5\text{m} \times 4,03\text{m}}{2,5\text{m} (6,5\text{m} + 4,03\text{m})} = 1,24$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.12 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

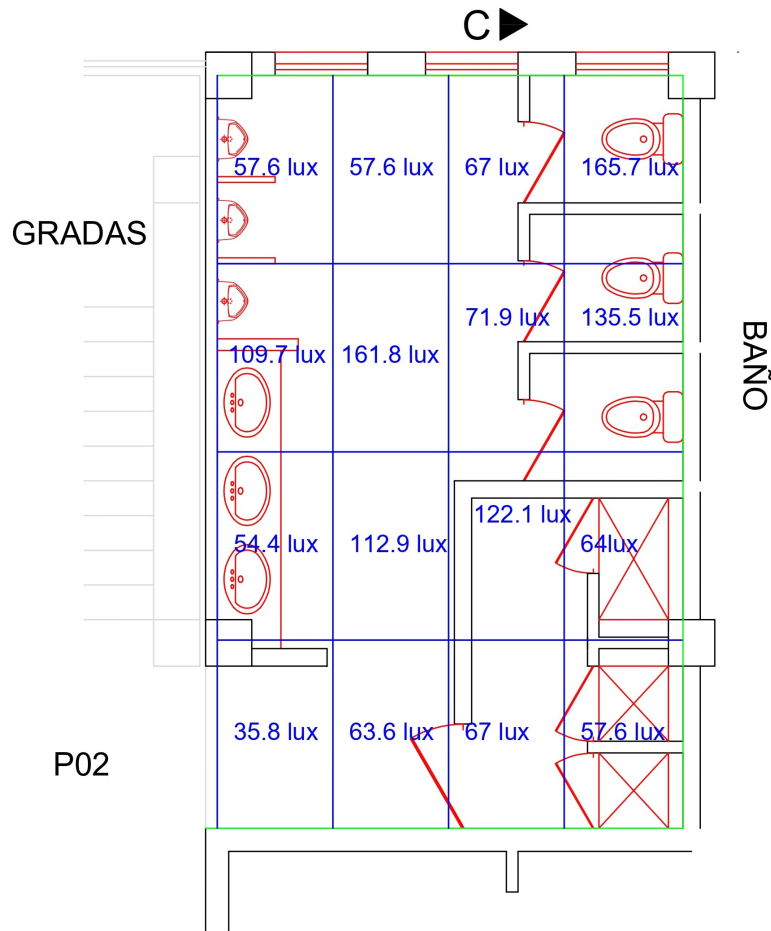


Figura 4.12: Cuadrícula en Baño.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{57,6+57,6+57+165,7+109,7+161,8+71,9+135,5+54,4+112,9+122,1+64+35,8+63,6+67+57,6}{16}$$

$$E_{media} = 87,76 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a los baños del edificio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 50 a 100 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 87.76 lux, lo que indica que se cumple con el requisito mínimo establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$35,8 \geq \frac{87,76}{2}$$

$$35,8 \geq 43,88$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación no cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (35.8 lux) y no supera el umbral mínimo requerido de 43.88.

4.1.4. Análisis lumínico de auditorios

- Auditorio Leonidas Proaño.

Datos para el cálculo de la cuadrícula del Auditorio Leonidas Proaño.

Largo: 14.60 mts

Ancho: 12.80 mts

Altura: 4.15 mts

$$\text{Indice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Indice del local} = \frac{14,60\text{m} \times 12,80\text{m}}{4,15\text{m} (14,60\text{m} + 12,80\text{m})} = 1,64$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.13 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

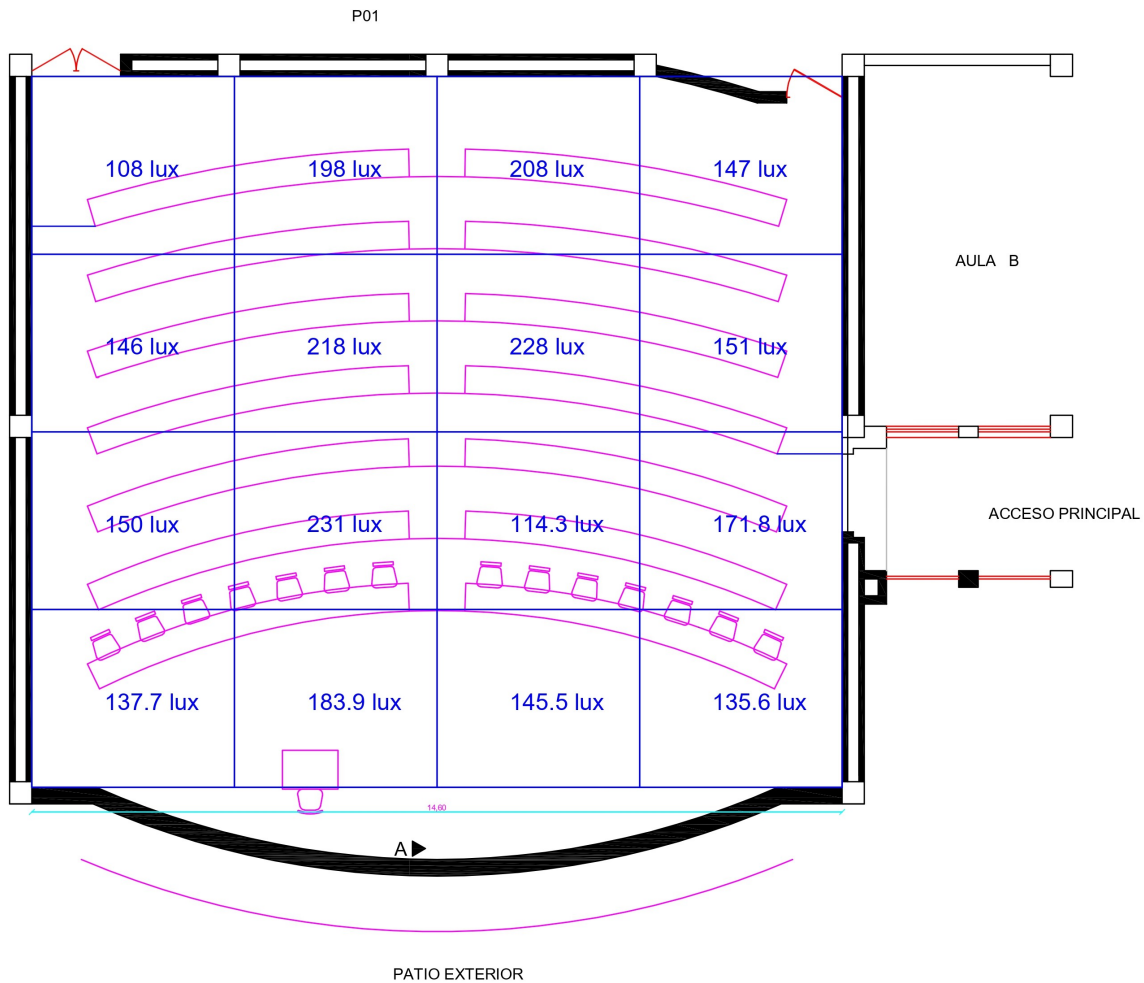


Figura 4.13: Cuadrícula de Auditorio Leonidas Proaño.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{108+198+208+147+146+218+228+151+150+231+114,3+171,8+137,7+183,9+145,5+135,6}{16}$$

$$E_{media} = 167,11 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a una aula. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 100 a 300 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 167.11 lux, lo que indica que se cumple con el requisito estando dentro del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$108 \geq \frac{167,11}{2}$$

$$108 \geq 83,55$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (108 lux) y supera el umbral mínimo requerido de 83.55.

■ Auditorio Luna Tobar.

Datos para el cálculo de la cuadrícula del Auditorio Luna Tobar.

Largo: 14.60 mts

Ancho: 12.80 mts

Altura: 4.15 mts

$$\text{Indice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Indice del local} = \frac{14,60\text{m} \times 12,80\text{m}}{4,15\text{m} (14,60\text{m} + 12,80\text{m})} = 1,64$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.14 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

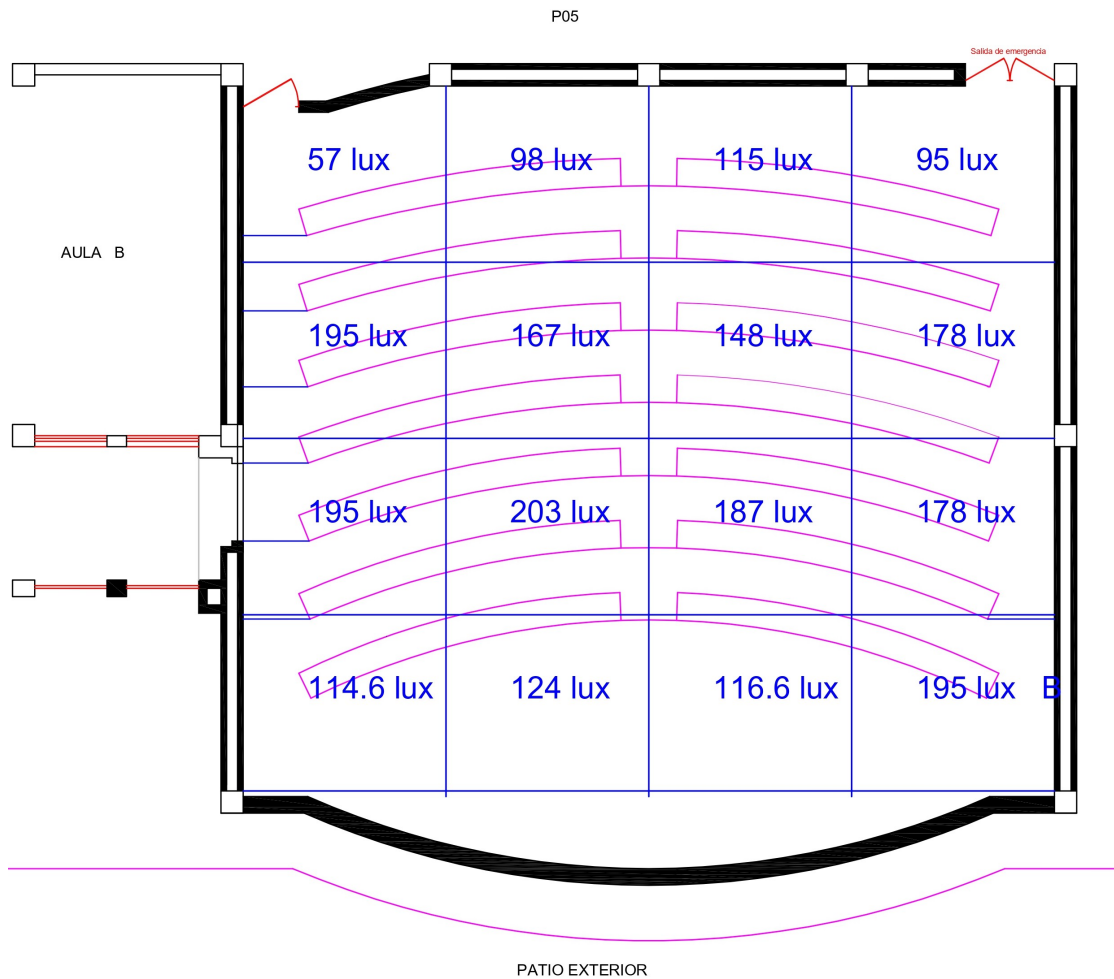


Figura 4.14: Cuadrícula Auditorio Luna Tobar.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{57+98+115+95+195+167+148+178+195+203+187+178+195+203+187+178+114,6+124+116,6+195}{16}$$

$$E_{media} = 147,89 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a una auditorio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 100 a 300 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 147.89 lux, lo que indica que si se cumple con el requisito estando dentro

del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$57 \geq \frac{147,89}{2}$$

$$57 \geq 73,94$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación NO cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (57 lux) y no supera el umbral mínimo requerido de 73.94.

- Auditorio Aurelio Pisheda.

Datos para el cálculo de la cuadrícula del Auditorio Aurelio Pisheda.

Largo: 15.20 mts

Ancho: 11.80 mts

Altura: 4.15 mts

$$\text{Indice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Indice del local} = \frac{15,20\text{m} \times 11,40\text{m}}{4,15\text{m} (15,20\text{m} + 11,40\text{m})} = 1,56$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Indice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.15 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

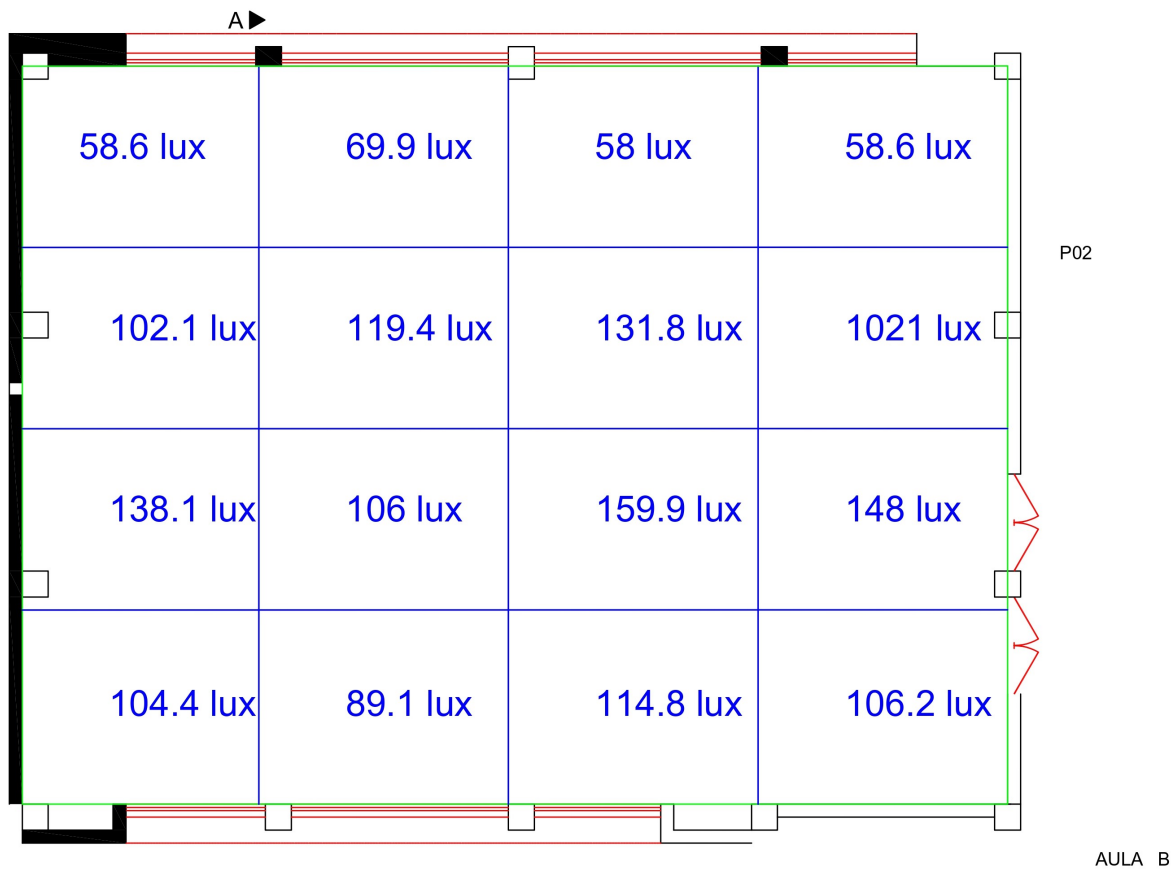


Figura 4.15: Cuadrícula Auditorio Aurelio Pisheda.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{58,60+69,9+58+58,60+102,1+119,4+131,8+102,1+138,1+106+159,9+148+104,4+89,1+114,8+106,2}{16}$$

$$E_{media} = 104,18 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a una auditorio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 100 a 300 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 104.18 lux, lo que indica que si se cumple con el requisito estando dentro del rango establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$56,8 \geq \frac{104,18}{2}$$

$$56,8 \geq 52,09$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación si cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (56.8 lux) y supera el umbral mínimo requerido de 52.09.

- Auditorio Luis Arba.

Datos para el cálculo de la cuadrícula del Auditorio Luis Arba.

Largo: 15.20 mts

Ancho: 11.80 mts

Altura: 4.15 mts

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$\text{Índice del local} = \frac{15,20\text{m} \times 11,40\text{m}}{4,15\text{m} (15,20\text{m} + 11,40\text{m})} = 1,56$$

como se mencionó antes se debe elevar al inmediato superior.

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (x + 2)^2$$

$$\text{Índice mínimo de puntos} = (2 + 2)^2 = 16$$

La cuadrícula tendrá 16 partes iguales como se muestra en la figura 4.16 a las cuales se le ha realizado las mediciones correspondientes.

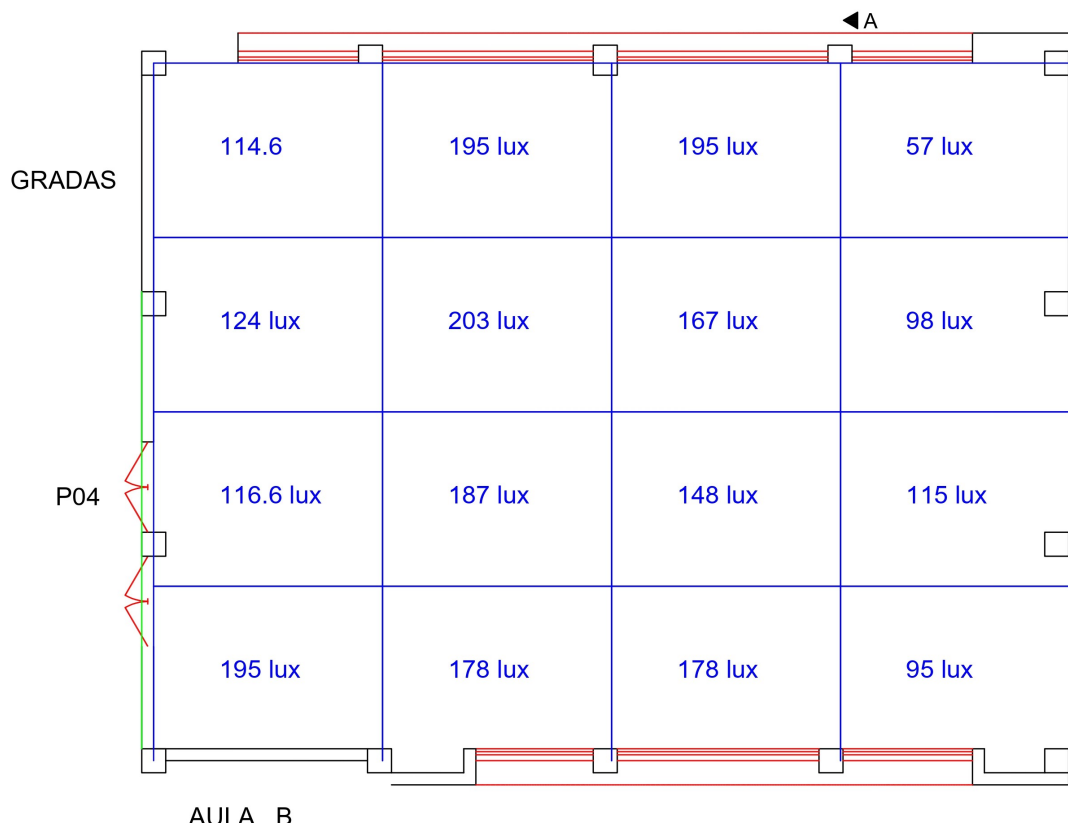


Figura 4.16: Cuadrícula Auditorio Luis Arba.

A partir de los datos de la medición se obtiene la iluminación media (E_{media}).

$$E_{media} = \frac{114,6+195+195+57+124+203+167+98+116,6+187+148+115+195+178+178+95}{16}$$

$$E_{media} = 147,88 \text{ lux}$$

En nuestro caso, realizamos las mediciones en un entorno específico, que corresponde a una auditorio. Al revisar la legislación pertinente, observamos que para este tipo de establecimiento, la normativa exige un valor mínimo de servicio de iluminación es de 100 a 300 lux.

Sin embargo, al evaluar los resultados obtenidos, observamos que el promedio de iluminación (E_{media}) es de 147.88 lux, lo que indica que si se cumple con el requisito mínimo establecido por la legislación vigente.

A continuación, se lleva a cabo la verificación de la uniformidad de la iluminancia, conforme a lo estipulado en el Anexo IV del Decreto 351/79.

$$57 \geq \frac{147,88}{2}$$

$$57 \geq 73,94$$

El cálculo de la relación verifica que la uniformidad de la iluminación no cumple con los estándares establecidos por la legislación vigente, dado que el valor de iluminancia más bajo es (57 lux) y no supera el umbral mínimo requerido de 73.94.

4.2. Consumo energético actual de los circuitos de iluminación del edificio

En este ítem se baso mas en tabulación y filtración de datos debido a que nos existen medidores de consumo energético colocados en cada circuito de iluminación, debido a los costes elevados que significarían el tener estos elementos en cada circuito.

4.2.1. Filtración de datos obtenidos del medidor inteligente

A continuación se muestra algunos datos obtenidos por el medidor inteligente con terminal N° DTGA00027719 del edificio en el periodo 01/05/22 - 03/05/23. También considerando el precio del kWh que es de 0.149246577 promedio [17] se estiman costos.

Datos obtenidos del medidor inteligente del edificio

Voltajes y Corrientes

Item	Voltaje (v)	Corriente (A)	Fp
Línea 1	127.1	0.55	1
Línea 2	127.8	0.21	1
Línea 3	127.5	0.43	1

Consumo de energía

Promedio de consumo medido por cada 15 minutos en el periodo:

$$C_{Total\ Edificio} = 0,031\ kWh$$

Consumo por minuto:

$$C_{Total\ Edificio/min} = 0,4663\ kWh$$

Lo que representa un consumo diario total por cada hora de:

$$C_{Total\ Edificio} = (0,4663 * 60)\ kWh$$

$$C_{Total\ Edificio} = 27,9820\ kWh$$

En la tabla siguiente se muestra el consumo de energía por mes con una medición constante cada 15 minutos, obtenida del medidor instalado para el edificio con código de terminal DTGA00027719 los datos del medidor fueron proporcionados por la Universidad.

Mes	Consumo kWh	Costo Total \$
Mayo	1625.201	242.55
Junio	1108.256	165.40
Julio	1497.606	223.51
Agosto	865.920	129.23
Septiembre	790.037	117.91
Octubre	1717.353	256.3091
Noviembre	1985.049	296.26
Diciembre	1574.512	234.99
Enero	1908.588	284.85
Febrero	1285.697	191.88
Marzo	1440.896	215.04
Abril	2095.781	312.78
Mayo	200.040	329.85

Por lo tanto el consumo en un año regular es el siguiente:

$$C_{TotalEdificio} = \sum kWh/meses$$

$$C_{TotalEdificio} = 17894,894 kWh$$

En cuanto al costo económico de ese periodo es:

$$Costo_{TotalEdificio} = 2670,75 \$$$

4.2.2. Consumo energético de los circuitos de iluminación por áreas

Se llevó a cabo el cálculo del consumo de energía en los espacios mediante un proceso tabular que considera el número de luminarias, la potencia de cada una y las horas de uso diario en cada área. Este proceso implica la aplicación de principios fundamentales de circuitos eléctricos, utilizando una fórmula específica para calcular el consumo y gasto energético de cada espacio.

$$C_{aula} = \frac{N^{\circ} Luminarias * Potencia Luminaria}{1000} * hrs \quad (4.4)$$

4.2.3. Consumo de energía de aulas

Las lámparas que poseen todas las aulas son de tipo empotrable de 60x60 cm con 3 tubos Led marca SILVANIA de 600 mm con consumo de 9 watts, con tipo de luz día 6500K (Blanca). A

contención se muestra las características de la luminaria:

Voltaje	127	Voltios
Potencia	9	Watts
Corriente	0.0708	Amperios

En la siguiente tabla se muestra los datos necesarios para la tabulación de consumo de un aula: Con el levantamiento realizado se constata que existen 9 lamparas por aula.

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	27	Unidades
Potencia de Luminaria	9	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0708	Amperios

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula la potencia total (kW) que contiene de un aula (Considerar el numero de luminarias es debido a que cada lampara cuenta con 3 LED´s en su interior):

$$C_{aula} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000}$$

$$C_{aula} = \frac{27 \text{ (uni)} * 9 \text{ (Watts)}}{1000}$$

$$C_{aula} = 0,243 \text{ kW}$$

Total consumo de energía de las aulas:

Como se conoce el número de aulas (21) y la potencia que consumen los circuitos de iluminación de un aula obtenemos lo siguiente:

Numero Total de horas de uso de aulas

De acuerdo a los registros estas son las horas que se utilizan las aulas en una semana completa:

N° Aula	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
1	8 hrs	6 hrs	10 hrs	6 hrs	6 hrs	4 hrs
2	2 hrs	6 hrs	8 hrs	2 hrs	4 hrs	2 hrs
3	8 hrs	6 hrs	10 hrs	8 hrs	4 hrs	4 hrs
4	6 hrs	10 hrs	6 hrs	4 hrs	2 hrs	2 hrs
5	6 hrs	4 hrs	6 hrs	2 hrs	8 hrs	-
6	6 hrs	4 hrs	6 hrs	4 hrs	2 hrs	-
7	-	2 hrs	6 hrs	4 hrs	2 hrs	2 hrs
8	4 hrs	6 hrs	4 hrs	4 hrs	2 hrs	-
9	2 hrs	4 hrs	4 hrs	4 hrs	2 hrs	-
10	4 hrs	4 hrs	6 hrs	4 hrs	4 hrs	2 hrs
11	8 hrs	4 hrs	4 hrs	4 hrs	2 hrs	-
12	6 hrs	4 hrs	6 hrs	8 hrs	2 hrs	-
13	8 hrs	4 hrs	6 hrs	2 hrs	-	-
14	2 hrs	8 hrs	6 hrs	6 hrs	2 hrs	-
15	4 hrs	2 hrs	6 hrs	6 hrs	2 hrs	-
16	12 hrs	4 hrs	2 hrs	4 hrs	4 hrs	-
17	8 hrs	8 hrs	6 hrs	8 hrs	2 hrs	-
18	6 hrs	10 hrs	4 hrs	4 hrs	6 hrs	-
19	8 hrs	6 hrs	10 hrs	2 hrs	6 hrs	-
20	6 hrs	8 hrs	6 hrs	6 hrs	6 hrs	-
21	4 hrs	2 hrs	-	2 hrs	4 hrs	-
Total Hrs/Día	118 hrs	112 hrs	122 hrs	94 hrs	72 hrs	16 hrs

De la tabla presentada se puede extraer el siguiente dato que la actividad de las aulas en una semana es de 534 hrs.

Calculo de consumo en kWh

Por día:

- Lunes:

$$C_{Total\ aulas} = N^{\circ} horas * C_{aula}$$

$$C_{Total\ aulas} = 118 (hrs) * 0,243 (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 28,674 kWh$$

- Martes:

$$C_{Total\ aulas} = 112 (hrs) * 0,243 (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 27,216\ kWh$$

- Miércoles:

$$C_{Total\ aulas} = 122\ (hrs) * 0,243\ (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 29,646\ kWh$$

- Jueves:

$$C_{Total\ aulas} = 94\ (hrs) * 0,243\ (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 22,854\ kWh$$

- Viernes:

$$C_{Total\ aulas} = 72\ (hrs) * 0,243\ (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 17,496\ kWh$$

- Sábado:

$$C_{Total\ aulas} = 16\ (hrs) * 0,243\ (kW)$$

$$C_{Total\ aulas} = 3,888\ kWh$$

Por lo tanto el consumo en una semana es la suma de los días de actividad y consumo diario.

$$C_{Total\ aulas} = [28,674 + 27,216 + 29,646 + 22,496 + 17,496 + 3,888]\ kWh$$

$$C_{Total\ aulas} = 129,416\ kWh$$

Por mes:

Para el mes se tomo como referencia el mes de octubre que cuenta con 31 días de los cuales se considera 4 semanas y 2 días (Lunes y Martes) de actividad en el edificio durante el mes por lo que el consumo quedo de la siguiente manera.

$$C_{Total\ aulas} = 4 * (Consumo\ por\ Semana) + Consumo\ Lunes + Consumo\ Martes$$

$$C_{Total\ aulas} = 4 * 129,416 (kWh) + 28,674 (kWh) + 27,216 (kWh)$$

$$C_{Total\ aulas\ max} = 573,554 (kWh)$$

Potencia Máxima en Aulas: Se considero el día con mayor consumo.

$$P_{Aulas} = \frac{C_{Total\ Aulas}}{Hrs}$$

$$P_{Aulas} = \frac{29,646\ kWh}{122\ Hrs}$$

$$P_{Aulas} = 0,243\ kW$$

4.2.4. Consumo de energía de pasillos y Baños

Las lámparas que poseen pasillos como baños son de tipo empotrable de 60x60 cm con 3 tubos Led marca SILVANIA de 600 mm con consumo de 9 watts. También se considero las luminarias de las gradas que son 10 lamparas conformados por 2 tubos Led de consumo 18 watts y 2 reflectores en el pasillo del piso 3 con un consumo de 50 watts. A continuación se muestra las características de las luminarias:

Característica de luminarias de Pasillos y Baños:

Voltaje	127	Voltios
Potencia	9	Watts
Corriente	0.0708	Amperios

Características de la lámpara de halógeno:

Voltaje	127	Voltios
Potencia	500	Watts
Corriente	3.9370	Amperios

Característica de luminarias en gradas:

Voltaje	127	Voltios
Potencia	18	Watts
Corriente	0.1417	Amperios

Consumo de pasillos, baños y gradas

- Pasillo y Baños Piso 00:

En la siguiente tabla se muestra los datos necesarios para la tabulación de consumo de energía, en esta planta el número de lámparas en los pasillos es de 21 y en los baños de 12 teniendo un total de 33 lámparas:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	99	Unidades
Potencia de Luminaria	9	Vatios
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0708	Amperios
Horas de consumo	15	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Pasillo00} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Pasillo00} = \frac{99 \text{ (uni)} * 9 \text{ (Watts)}}{1000} * (15 \text{ hrs})$$

$$C_{Pasillo00} = 13,365 \text{ kWh}$$

Potencia Máxima en Pasillo 00

$$P_{Pasillo00} = \frac{C_{Pasillo00}}{Hrs}$$

$$P_{Pasillo00} = \frac{13,365 \text{ kWh}}{15 \text{ Hrs}}$$

$$P_{Pasillo00} = 0,891 \text{ kW}$$

- Pasillo, Gradadas y Baños Piso 01:

En esta planta el número de lámparas en los pasillos es de 20 y en los baños de 12 teniendo un total de 32 lámparas, y 4 lámparas de grada :

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	96	Unidades
Potencia de Luminaria	9	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0708	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Pasillo} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Pasillo} = \frac{96 (uni) * 9 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{Pasillo} = 3,456 kWh$$

Donde el consumo de las lámparas de la grada esta dado por los siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	8	Unidades
Potencia de Luminaria	18	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Gradas} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Gradas} = \frac{8 (uni) * 18 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{Gradas} = 0,576 kWh$$

Total consumo energético de pasillo, gradas y baños en el piso 01:

$$C_{Pasillo01} = C_{Pasillo} + C_{Gradas}$$

$$C_{Pasillo01} = (3,456 + 0,576) kWh$$

$$C_{Pasillo01} = 4,032 kWh$$

Potencia Máxima en Pasillo 01

$$P_{Pasillo01} = \frac{C_{Pasillo01}}{Hrs}$$

$$P_{Pasillo01} = \frac{4,032 kWh}{4 Hrs}$$

$$P_{Pasillo01} = 1,008 kW$$

■ Pasillo, Gradas y Baños Piso 02:

En este planta el número de lámparas en los pasillos es de 20 y en los baños de 12 teniendo un total de 32 lámparas, además de dos lámparas de halógeno de 500 watts y 4 lamparas en gradas:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	96	Unidades
Potencia de Luminaria	9	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0708	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo y gasto energético en (kW/h):

$$C_{Pasillo} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Pasillo} = \frac{96 (uni) * 9 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{Pasillo} = 3,456 kWh$$

Donde el consumo de las lamparas de halógeno es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	2	Unidades
Potencia de Luminaria	500	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	3.9370	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo y gasto energético en (kW/h):

$$C_{LamparasH} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{LamparasH} = \frac{2 (uni) * 500 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{LamparasH} = 4 kWh$$

Donde el consumo de las lámparas de la grada esta dado por los siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	8	Unidades
Potencia de Luminaria	18	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Gradas} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Gradas} = \frac{8 \text{ (uni)} * 18 \text{ (Watts)}}{1000} * (4 \text{ hrs})$$

$$C_{Gradas} = 0,576 \text{ kWh}$$

Total consumo energético de pasillo 02:

$$C_{Pasillo02} = C_{Pasillo} + C_{LamparasH} + C_{Gradas}$$

$$C_{Pasillo02} = (3,456 + 4 + 0,576) \text{ kWh}$$

$$C_{Pasillo02} = 8,032 \text{ kWh}$$

Potencia Máxima en Pasillo 02

$$P_{Pasillo02} = \frac{C_{Pasillo02}}{Hrs}$$

$$P_{Pasillo02} = \frac{8,032 \text{ kWh}}{4 \text{ Hrs}}$$

$$P_{Pasillo02} = 2,008 \text{ kW}$$

- Pasillo, Gradas y Baños Piso 03:

En esta planta el número de lámparas en los pasillos es de 13 y en los baños de 12 teniendo un total de 25 lámparas y 2 lámparas en gradas:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	75	Unidades
Potencia de Luminaria	9	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0708	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Pasillo} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Pasillo} = \frac{75 \text{ (uni)} * 9 \text{ (Wattios)}}{1000} * (4 \text{ hrs})$$

$$C_{Pasillo} = 2,7 \text{ kWh}$$

Donde el consumo de las lámparas de la grada esta dado por los siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
N° de Luminarias	4	Unidades
Potencia de Luminaria	18	Watts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Gradas} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Gradas} = \frac{4 \text{ (uni)} * 18 \text{ (Watts)}}{1000} * (4 \text{ hrs})$$

$$C_{Gradas} = 0,288 \text{ kWh}$$

Total consumo energético de pasillo 03:

$$C_{Pasillo03} = C_{Pasillo} + C_{LamparasH} + C_{Gradas}$$

$$C_{Pasillo03} = (2,7 + 0,288) kWh$$

$$C_{Pasillo03} = 2,988 kWh$$

Potencia Máxima en Pasillo 03

$$P_{Pasillo03} = \frac{C_{Pasillo03}}{Hrs}$$

$$P_{Pasillo03} = \frac{2,988 kWh}{4 Hrs}$$

$$P_{Pasillo03} = 0,747 kW$$

Total consumo de energía de pasillos, gradas y baños:

Se sumo el consumo diario de cada área especificada para obtener el consumo de energía por día y para obtener por mes se considero un mes de 31 días donde se considero 24 días laborables teniendo en cuenta que se en el edificio se laboran los sábados pero con menos horas de uso.

Por día:

$$C_{Total Pasillos} = C_{Pasillo00} + C_{Pasillo01} + C_{Pasillo02} + C_{Pasillo03}$$

$$C_{Total Pasillos} = (13,365 + 4,032 + 8,032 + 2,988) kWh$$

$$C_{Total Pasillos} = 28,417 kWh$$

Por mes:

$$C_{Total Pasillos} = C_{Total Pasillos} * dias$$

$$C_{Total Pasillos} = 28,417 (kWh) * 24 (dias)$$

$$C_{Total Pasillos} = 682,008 kWh$$

Potencia Máxima en Pasillos, Baños y Gradadas

$$P_{TotalPasillos} = P_{Pasillo00} + P_{Pasillo01} + P_{Pasillo02} + P_{Pasillo03}$$

$$P_{TotalPasillos} = (0,891 + 1,032 + 2,008 + 0,747) kW$$

$$P_{TotalPasillos} = 4,678 kW$$

4.2.5. Consumo de energía de auditorios

En los auditorios, la iluminación se compone de una variedad de dispositivos, como mangueras LED, dicroicos y paneles empotrables, cada uno con distintas potencias. En los cálculos de consumo energético para cada área específica de los auditorios, se ha detallado minuciosamente las especificaciones técnicas de cada elemento luminoso, incluyendo sus respectivas potencias y características particulares.

Horas de consumo máximo de energía en los auditorios

Estas horas de consumo se tomo en consideración cuando se realiza la semana del estudiante ya que es cuando mas uso se les da a estas áreas.

Auditorio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Leonidas Proaño	1 hrs	5 hrs	4 hrs	2 hrs	1 hrs
Luna Tobar	3 hrs	7 hrs	3 hrs	3 hrs	-
Aurelio Pisheda	2 hrs	4 hrs	4 hrs	2 hrs	1 hrs
Luis Arba	5 hrs	4 hrs	3 hrs	-	3 hrs

- Auditorio 01: Leonidas Proaño

En la siguientes tablas se muestran los datos necesarios para la tabulación de consumo energético del auditorio las horas de consumo se toma el valor mas alto de la tabla de consumo máximo anteriormente vista:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	66	mts
Potencia de Luminaria	4.4	Watts/mts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0346	Amperios/mts
Horas de consumo	5	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{MangueraLed} = \frac{(Metros\ de\ Manguera\ Led * Potencia\ Luminaria)}{1000} * hrs$$

$$C_{MangueraLed} = \frac{66\ (mts) * 4,4\ (Watts)}{1000} * (5\ hrs)$$

$$C_{MangueraLed} = 1,452\ kWh$$

Donde el consumo de los paneles empotrables es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Panel Led	6	unid
Potencia de Luminaria	18	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	5	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Paneles} = \frac{N^{\circ}\ Luminarias * Potencia\ Luminaria}{1000} * hrs$$

$$C_{Paneles} = \frac{6\ (Unidades) * 18\ (Watts)}{1000} * (5\ hrs)$$

$$C_{Paneles} = 0,54\ kWh$$

Donde el consumo de los Dicroicos es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Dicroico Led	24	unid
Potencia de Luminaria	5	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0393	Amperios
Horas de consumo	5	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Dicroicos} = \frac{N^{\circ} \text{ Dicroicos} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Dicroicos} = \frac{24 (\text{Unidades}) * 5 (\text{Watts})}{1000} * (5 hrs)$$

$$C_{Dicroicos} = 0,6 kWh$$

Consumo total del Auditorio 01:

$$C_{Auditorio01} = C_{MangueraLed} + C_{Paneles} + C_{Dicroicos}$$

$$C_{Auditorio01} = (1,452 + 0,54 + 0,6) kWh$$

$$C_{Auditorio01} = 2,592 kWh$$

Potencia Máxima en Auditorio 01:

$$P_{Auditorio01} = \frac{C_{Auditorio 01}}{Hrs}$$

$$P_{Auditorio01} = \frac{2,592 kWh}{5 Hrs}$$

$$P_{Auditorio01} = 0,5184 kW$$

■ Auditorio 02: Luna Tobar

En la siguiente tabla se muestra los datos necesarios para la tabulación de consumo energético del auditorio:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	66	mts
Potencia de Luminaria	4.4	Watss/mts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0346	Amperios/mts
Horas de consumo	7	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{MangueraLed} = \frac{\text{Metros de Manguera Led} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{MangueraLed} = \frac{66 (mts) * 4,4 (Watts)}{1000} * (7 hrs)$$

$$C_{MangueraLed} = 2,0328 kWh$$

Donde el consumo de los paneles empotrables es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	6	Unidades
Potencia de Luminaria	22	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1732	Amperios
Horas de consumo	7	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Paneles} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Paneles} = \frac{6 (Unidades) * 22 (Watts)}{1000} * (7 hrs)$$

$$C_{Paneles} = 0,924 kWh$$

Donde el consumo de los Dicroicos es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Dicroico Led	56	unid
Potencia de Luminaria	5	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0393	Amperios
Horas de consumo	7	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Dicroicos} = \frac{N^{\circ} Dicroicos * Potencia Luminaria}{1000} * hrs$$

$$C_{Dicroicos} = \frac{56 (Unidades) * 5 (Watts)}{1000} * (7 hrs)$$

$$C_{Dicroicos} = 1,96 kWh$$

Consumo total del Auditorio 02:

$$C_{Auditorio02} = C_{MangueraLed} + C_{Paneles} + C_{Dicroicos}$$

$$C_{Auditorio02} = (2,0328 + 0,924 + 1,96) kWh$$

$$C_{Auditorio02} = 4,9168 kWh$$

Potencia Máxima en Auditorio 02:

$$P_{Auditorio02} = \frac{C_{Auditorio 02}}{Hrs}$$

$$P_{Auditorio02} = \frac{4,9168 kWh}{7 Hrs}$$

$$P_{Auditorio02} = 0,7024 kW$$

- Auditorio 03: Aurelio Pisheda

En la siguiente tabla se muestra los datos necesarios para la tabulación de consumo energético del auditorio:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	80	mts
Potencia de Luminaria	4.4	Watss/mts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0346	Amperios/mts
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{MangueraLed} = \frac{\text{Metros de Manguera Led} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{MangueraLed} = \frac{80 (mts) * 4,4 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{MangueraLed} = 1,408 kWh$$

Donde el consumo de los paneles empotrables es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	4	Unidades
Potencia de Luminaria	18	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Paneles} = \frac{N^{\circ} \text{ Luminarias} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{Paneles} = \frac{4 (Unidades) * 18 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{Paneles} = 0,288 \text{ kWh}$$

Consumo total del Auditorio 03:

$$C_{Auditorio03} = C_{MangueraLed} + C_{Paneles}$$

$$C_{Auditorio03} = (1,048 + 0,288) \text{ kWh}$$

$$C_{Auditorio03} = 1,336 \text{ kWh}$$

Potencia Máxima en Auditorio 03:

$$P_{Auditorio03} = \frac{C_{Auditorio\ 03}}{Hrs}$$

$$P_{Auditorio03} = \frac{1,336 \text{ kWh}}{4 \text{ Hrs}}$$

$$P_{Auditorio03} = 0,334 \text{ kW}$$

■ Auditorio 04: Luis Arba

En la siguiente tabla se muestra los datos necesarios para la tabulación de consumo energético del auditorio:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	80	mts
Potencia de Luminaria	4.4	Watts/mts
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.0346	Amperios/mts
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{MangueraLed} = \frac{\text{Metros de Manguera Led} * \text{Potencia Luminaria}}{1000} * hrs$$

$$C_{MangueraLed} = \frac{80 (mts) * 4,4 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{MangueraLed} = 1,408 kWh$$

Donde el consumo de los paneles empotrables es la siguiente:

Item	Cantidad	Unidad
Manguera Led	4	Unidades
Potencia de Luminaria	18	Watss
Voltaje de Luminaria	127	Voltios
Corriente de Luminaria	0.1417	Amperios
Horas de consumo	4	Horas

Con los datos mostrados en la tabla anterior se calcula lo siguiente el consumo energético en (kW/h):

$$C_{Paneles} = \frac{N^{\circ} Luminarias * Potencia Luminaria}{1000} * hrs$$

$$C_{Paneles} = \frac{4 (Unidades) * 18 (Watts)}{1000} * (4 hrs)$$

$$C_{Paneles} = 0,288 kWh$$

Consumo total del Auditorio 04:

$$C_{Auditorio04} = C_{MangueraLed} + C_{Paneles}$$

$$C_{Auditorio04} = (1,048 + 0,288) kWh$$

$$C_{Auditorio04} = 1,336 kWh$$

Potencia Máxima en Auditorio 04:

$$P_{Auditorio04} = \frac{C_{Auditorio\ 04}}{Hrs}$$

$$P_{Auditorio04} = \frac{1,336\ kWh}{4\ Hrs}$$

$$P_{Auditorio04} = 0,334\ kW$$

Total consumo de energía de auditorios:

Como se conoce los consumo energéticos de los auditorios cuando están en su máximo uso se calculó mediante una suma de consumos diario y para el consumo de un mes de multiplico el consumo diario por 10 días laborables de un mes normal ya que dentro de estos días se encuentra la semana del estudiante donde el uso de estos espacios es mayor con 5 días y el resto de días se coloca por ocasiones variadas.

Por día:

$$C_{Total\ auditorios} = C_{Auditorio01} + C_{Auditorio02} + C_{Auditorio03} + C_{Auditorio04}$$

$$C_{Total\ auditorios} = (2,592 + 4,9168 + 1,336 + 1,336)\ kWh$$

$$C_{Total\ auditorios} = 10,1808\ kWh$$

Por mes:

$$C_{Total\ auditorios} = C_{Total\ auditorios}\ (kWh) * (dias)$$

$$C_{Total\ auditorios} = (10,1808 * 10)\ kWh$$

$$C_{Total\ auditorios} = 101,808\ kWh$$

Demanda Máxima de Auditorios:

$$P_{Auditorios} = P_{Auditorio01} + P_{Auditorio02} + P_{Auditorio03} + P_{Auditorio04}$$

$$P_{Auditorios} = (0,5184 + 0,7024 + 0,334 + 0,334)\ kW$$

$$P_{Auditorios} = 1,8888\ kW$$

4.2.6. Consumo total de energía en todos los circuitos de Iluminación

Para este apartado se considera la tabulación del consumo de todas las áreas donde los circuitos de iluminación interfieren como son aulas, auditorios, pasillos y baños. En la tabla siguiente se muestran los consumos máximos de cada áreas calculada anteriormente por día y por mes.

Item	Consumo/Día	Consumo/Mes
Aulas	29.646 kWh	573.554 kWh
Pasillos, Baños y Gradadas	28.417 kWh	682.008 kWh
Auditorios	10.1808 kWh	101.808 kWh

Mediante Tabulación

Por día:

$$C_{Total\ EdificioI} = C_{Total\ aulas} + C_{Total\ Pasillos} + C_{Total\ auditorios}$$

$$C_{Total\ EdificioI} = (29,417 + 28,417 + 10,1808) kWh$$

$$C_{Total\ Edificio} = 68,0148 kWh$$

Por mes:

$$C_{Total\ Edificio} = [C_{Total\ aulas} + C_{Total\ Pasillos} + C_{Total\ auditorios}]$$

$$C_{Total\ Edificio} = (573,554 + 682,008 + 101,808) kWh$$

$$C_{Total\ Edificio} = 1357,37 kWh$$

En cuanto a costos energéticos mensuales por el consumo de potencia de estos circuitos analizados quedo de la siguiente manera considerando la tarifa mencionada al principio.

$$Costo_{\$} = C_{Total\ Edificio} * Tarifa_{kWh}$$

$$Costo_{\$} = (1357,37 kWh) * (0,149246577 \$/kWh)$$

$$Costo_{\$} = 202,5828 \$$$

4.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.

El diseño de un sistema fotovoltaico implica la planificación cuidadosa de componentes clave como paneles solares, inversores y estructuras de montaje, considerando factores como la ubicación geográfica, la inclinación óptima de los paneles y la capacidad de generación requerida. El cálculo preciso de la capacidad del sistema se basa en el análisis detallado de la radiación solar incidente, la eficiencia de los paneles y la demanda energética proyectada. Los aspectos técnicos incluyen la selección de cables de conexión, dispositivos de protección y sistemas de monitoreo para garantizar la eficiencia operativa y la seguridad del sistema fotovoltaico [33].

4.3.1. Cálculo de potencia requerida en el nuevo sistema

En la tabla siguiente se muestra las especificaciones del consumo máximo diaria consumida por cada espacio y el total de todo el edificio en los circuitos de iluminación.

Áreas	Energía diaria consumida	Energía Mensualmente consumida	Máxima Demanda
Aulas	29.646 kWh	573.554 kWh	0.243 kW
Pasillos, Baños, Gradas	28.417 kWh	682.008 kWh	4.678 kW
Auditorios	10.1808 kWh	101.808 kWh	1.8888 kW
Total	68.2438 kWh	1357.37 kWh	6.8098 kW

4.3.2. Componentes del sistema fotovoltaico

En este espacio se deberán considerar todas las variables necesarias para la selección correcta de los equipos y elementos que interfieren dentro del sistema generador fotovoltaico.

Radicación solar en la UPS

Para obtener la radiación mensual que existe en el lugar donde se ubicarán los generadores fotovoltaicos se tomaron datos del año 2020 de la plataforma PVGIS [39] creada por European Commission en donde se obtuvieron los siguientes datos de radiación en la localidad.

Radiación Solar Año						
Mes	Global [kWh/m ²]	Directa [kWh/m ²]	Global con ángulo Óptimo [kWh/m ²]	Global con ángulo calculado [kWh/m ²]	Ratio Entre Difusa y Directa	HSP
Enero	140.55	118.68	135.9	131.59	0.41	5.51
Febrero	136.6	103.36	133.96	131.23	0.45	5.42
Marzo	135.33	94.88	135.08	134.31	0.48	5.09
Abril	108.99	75.85	110.54	111.36	0.53	4.97
Mayo	112.74	93.49	116.19	118.5	0.44	5.30
Junio	120.71	109.42	125.57	128.96	0.4	4.89
Julio	123.75	106.17	128.14	131.14	0.42	5.38
Agosto	152.59	138.08	156.29	158.57	0.37	5.66
Septiembre	142.02	123.57	142.69	142.59	0.4	6.35
Octubre	153.96	132.84	151.84	149.42	0.4	6.35
Noviembre	144.44	121.6	140.33	136.35	0.42	5.61
Diciembre	127.86	98.36	123.5	119.45	0.49	6.29
Anual	1599.54	1316.3	1600.03	1593.47	0.4341	5.568

En las tablas siguientes se obtiene datos de la plataforma PVGIS [39], del estimado teórico de la producción solar eléctrica de la instalación eléctrica tomando en cuenta los perfiles de horarios en un día promedio de todos los meses, estos perfiles permiten observar los cambios de patrones en producción entorno al tiempo.

Producción eléctrica fotovoltaica específica - promedio horarios [Wh/m²]

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
5am-6am	21.92	8.52	10.71	3.29	0.48	9.92
6am-7am	110.31	65.29	64.32	70.02	64.7	49.81
7am-8am	224.8	183.4	180.78	181.48	169.81	144.19
8am-9am	329.69	297.15	283.22	284.41	270.07	237.67
9am-10am	374.13	354.87	324.4	317.42	320.3	288.69
10am-11am	380.19	352.31	316.64	308.48	314.99	293.99
11am-12am	352.18	311.78	284.56	271.7	289.06	286.32
12pm-13pm	320.59	283.49	252.87	235.29	251.21	240.04
13pm-14pm	251.29	219.22	187.87	173.62	188.14	183.56
14pm-15pm	179.46	146.31	125.79	113.39	118.94	118.3
15pm-16pm	115.12	84.98	68.76	56.24	55.43	59.56
16pm-17pm	58.98	35.48	24.23	16.53	12.48	13.47
17pm-18pm	3.08	7.68	0.42	0.1	0.12	0.15
Total	2721.74	2350.48	2124.57	2031.97	2055.73	1925.67

Hora	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5am-6am	7.91	0.96	19.26	39.76	46.93	33.84
6am-7am	49.35	76.62	130.77	156.38	162.58	121.56
7am-8am	150.75	206.85	289.82	315.06	319.87	254.92
8am-9am	253.82	333.43	415.64	425.76	430.79	360.26
9am-10am	314.88	393.09	455.28	442.28	462.32	398.78
10am-11am	324.01	403.58	458.33	430.47	440.08	391.68
11am-12am	313.52	388.11	420.23	372.66	371.67	351.08
12pm-13pm	263.61	321.37	345.54	286.08	287.15	292.65
13pm-14pm	214.38	252.18	264.11	212.28	208.18	219.63
14pm-15pm	141.94	166.11	171.36	134.78	134.29	143.56
15pm-16pm	74.19	87.06	91.44	69.26	70.35	80.52
16pm-17pm	19.76	26.27	28.62	22.89	24.8	30.74
17pm-18pm	0.19	0.1	0.1	0.05	0.03	0.02
Total	2128.31	2655.73	3090.5	2907.71	2959.04	2679.24

Inclinación y Orientación

Inclinación : para la correcta selección de este factor se utilizara la ecuación (3.3).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 (2,8865)$$

$$\beta_{opt} = 5,69$$

Este seria en ángulo correcto sin embargo con las investigaciones de Peñas [40], demostró depuse de varias pruebas que el ángulo de inclinación mas óptimo para esta ubicación geográfica es 10°, debido a esta inclinación se logra obtener un mejor rendimiento en cuanto a producción de voltaje.

Orientación: En el caso de la orientación se considera investigaciones anteriores de Peñas [40] que ayudaron a identificar que la mejor orientación para los paneles en esta localidad debido a la ubicación geográfica son con las caras colaterales hacia el norte esta orientación se lo realiza con la ayuda de una brújula o alguna aplicación móvil.

Cálculo del Banco de almacenamiento

Se empelo el siguiente cuadro para seleccionar la tensión a la cual debe funcionar el sistema:

VOLTAJE DEL SISTEMA POR POTENCIA	
POTENCIA	VOLTAJE
< 1000 W	12 V DC
1000 W ≤ P ≤ 2500 W	24 VDC
2500 W ≤ P ≤ 5000 W	48 VDC
P > 5000 W	120 VDC

Figura 4.17: Voltaje del sistema por potencia recuperado de [35].

- Promedio Consumo Ah/día:

$$C_{Ah/día} = \frac{C_{Diario}}{\eta_{INV} * V_S}$$

$$C_{Ah/día} = \frac{68243,8 \text{ Wh}}{0,8 * 120 \text{ V}}$$

$$C_{Ah/día} = 710,8729 \text{ [Ah/día]}$$

- Baterías en Paralelo:

$$N_p = \frac{C_{Ah/día} * N_D}{P_{Dmax} * C_n}$$

$$N_p = \frac{710,8729 * 2}{0,7 * 400}$$

$$N_p = 5,07766 \approx 5$$

- Baterías en series:

$$N_s = \frac{V_{SB}}{V_B}$$

$$N_s = \frac{120}{51,2}$$

$$N_s = 2,34 \approx 3$$

- Total de Baterías:

$$N_{TotalBaterias} = N_s * N_p$$

$$N_{TotalBaterias} = 3 * 5$$

$$N_{TotalBaterias} = 15 \text{ [Unidades]}$$

Esto implica tres grupos con 5 baterías cada uno. En la siguiente imagen se muestra algunas características de la batería seleccionada para este sistema fotovoltaico, para mas detalles revisar anexo A.

Technical Data		LP19-48300	LP19-48400	LP19-48500
Nominal Voltage		51.2V		
Nominal Capacity		300 Ah	400 Ah	500 Ah
Nominal energy		15360 Wh	20480 Wh	25600 Wh
Life Cycles		6000 cycles @ 80% DOD, 25°C		
Recommended Charge Voltage		57.6V		
Recommended Charge Current		60A	80A	100A
End Of Discharge Voltage		44.0V		
Standard Method	Charge	60A	80A	100A
	Discharge	100A	100A	100A
Maximum Continuous Current	Charge	100A	100A	100A
	Discharge	100A	100A	100A
BMS Cut-Off Voltage	Charge	58.4 V (3.65V/Cell)		
	Discharge	44.0V (2s) (2.75V/Cell)		
Temperature	Charge	-4 ~ 113 F (0 ~ 45°C)		
	Discharge	-4 ~ 131 F (-20 ~ 55 °C)		
Storage Temperature		23~95 F (-5~35°C)		
Shipment voltage		≥51.2V		
Module Parallel		Up to 8 units		
Communication		CAN2.0/RS232/RS485		

Figura 4.18: Características de Batería.

Cálculo de celdas o paneles fotovoltaicos

Consiste en unidades de células fotovoltaicas, que son dispositivos de estado sólido diseñados para transformar la radiación solar, la principal fuente de energía disponible en la Tierra, en energía eléctrica de manera directa.

La elección se orientó hacia el panel Monocristalino SPR-540-BMA-HV debido al elevado consumo diario del lugar, posee una extensa área de captación de radiación solar, generando así una corriente considerablemente elevada. La cual posee las la características siguientes:

- Potencia máxima (P_{max}): 540 Wp
- Tensión de potencia máxima (V_{mp}): 41.55 V

- Corriente de potencia máxima (I_{mp}): 13 A
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): 49.50 V
- Corriente de corto circuito (I_{sc}): 13.81 A
- Eficiencia del módulo en STC (): 21.13 %

Para mas detalles del panel fotovoltaico se encuentra la ficha técnica en el Anexo B.

- Corriente Pico:
Para este espacio la Hora sol Pico (HSP) se considero el mes con menos horas sol el cual es de 4.97 hrs.

$$I_p = \frac{C_{Ah/dia}}{\eta_{BAT} * HSP}$$

$$I_p = \frac{701,8729}{0,9 * 4,97}$$

$$I_p = 156,9132 [A]$$

- Módulos en Paralelo:

$$NO_{ModP} = \frac{I_p}{I_{mp}}$$

$$NO_{ModP} = \frac{156,9132}{13}$$

$$NO_{ModP} = 12,0702 \approx 12 \text{ Modulos}$$

- Módulos en serie:

$$NO_{ModS} = \frac{V_S}{V_{mp}}$$

$$NO_{ModS} = \frac{120}{41,55}$$

$$NO_{ModS} = 2,8880 \approx 3 \text{ Modulos}$$

- Módulos Totales:

$$NO_{Mod} = NO_{ModS} * NO_{ModP}$$

$$NO_{Mod} = 12 * 3$$

$$NO_{Mod} = 36 [Modulos]$$

Cálculo del regulador o Controlador de Carga

Este elemento cumple la función de mantener cargado el banco de baterías. Aplicando la siguiente ecuación obtenemos la corriente necesaria que debe tener el arreglo del controlador.

- Corriente máxima que debe soportar el regulador:

$$I_R = I_{SC} * NO_{ModP} * 1,25$$

$$I_R = 13,81 * 12 * 1,25$$

$$I_R = 207,15 [A] \approx 210 [A]$$

- Voltaje Máximo que debe soportar el regulador:

$$V_R = V_{oc} * NO_{ModS} * 1,25$$

$$V_R = 49,50 * 3 * 1,25$$

$$V_R = 185,625 [V] \approx 200 [V]$$

- Número de Reguladores en Paralelo:

$$N_{Rp} = \frac{I_R}{I_{Reg}}$$

$$N_{Rp} = \frac{207,15}{100}$$

$$N_{Rp} = 2,5893 [Unid] \approx 3 [Unid]$$

- Ramas a Conectarse en cada Regulador:

$$N_{Ramas} = \frac{N_{O_{ModP}}}{N_{Rp}}$$

$$N_{Ramas} = \frac{12}{3}$$

$$N_{Ramas} = 4 \text{ Ramas por Regulador}$$

Esto nos indica que el número de módulos fotovoltaicos serán de 12 módulos por cada regulador. A continuación en la imagen se detalla algunas características del regulador de carga seleccionado, mas detalles en el anexo C.

Modelo:	FLEXmax 100	
Voltaje nominal del sistema de batería	24 VCC / 36 VCC / 48 VCC	
Corriente de salida continua máxima	100 A	
Corriente de entrada máxima (cortocircuito)	64 A	
Arreglo FV máxima (placa de identificación STC)	3000 W / 4500 W / 6000 W (salida de carga limitada a 100A en voltaje de batería)	
Voltaje máximo del sistema FV ¹	300 VCC	
Rango operativo de voltaje de entrada ²	30 VCC a 290 VCC	
Consumo de energía en espera	~2.5 W	
Eficacia de conversión de energía	24 V: 96 % 48 V: 97 %	
Eficiencia pico	24 V: 97,5 % 48 V: 98,8 %	
Regulación de carga	Tres etapas	
Puntos de ajuste de regulación de voltaje	Absorción, flotación, silencioso y equalización	
Carga de compensación	Tiempo de inicio programable, punto de ajuste y duración de voltaje, finalización automática al completar	
Compensación de la temperatura de la batería	Ajustable de 2 mV/celda/°C a 6 mV/celda/°C	
Capacidad de reducción gradual de voltaje	Reducción de cualquier voltaje de matriz aceptable a cualquier voltaje de batería (ejemplo: matriz de 72 VCC a batería de 24 VCC)	
Salida de control auxiliar programable	Señal de salida de 12 VCC que se puede programar para diferentes aplicaciones de control (máximo de 0,25 ADC)	
Pantalla de estado	Indicadores luminosos	
Pantalla y regulador remotos	Compatible con MATE3s	
Cableado de red	Sistema exclusivo de red con conectores modulares RJ-45	
Registro de datos	128 días	
Rango operativo de temperatura ³	Ambiente, -25 °C a 60 °C (-13 °F a 140 °F), potencia de salida reducida por encima de 25 °C	
Calificación de protección de ingreso	IP54	
Tipo de gabinete	3R	
Clasificación de altura máxima	10.000 pies	
Troquelados de conductos	Parte inferior y lados	
Garantía	5 años	
Peso (lb/kg)	Unidad: 18,3 / 8,3 Envío: 22 / 10	
Dimensiones (alto x ancho x profundidad) (pulg./cm):	Unidad: 22 x 8,8 x 6 / 55,9 x 22,4 x 15,2 Envío: 25,5 x 12 x 10 / 64,8 x 30,5 x 25,4	
Opciones	Sensor remoto de temperatura (RTS), HUB4, HUB10.3, MATE3s	
Certificaciones	UL 1741, CSA C22.2 No. 107.1, IEC 62109-1	
Tamaño mínimo del banco de baterías	100 Ah	

Figura 4.19: Características de Regulador de Carga.

Cálculo del inversor

Para la selección del inversor es necesario considerar la potencia de la carga y el voltaje del sistema, para un funcionamiento correcto por lo general se considera una compensación de 1.2 para la potencia en carga para evitar problemas en arranques que generan potencias picos.

- Potencia del Inversor:

$$P_{INV} = P_{Carga} * 1,2$$

$$P_{INV} = 6809,8 * 1,2$$

$$P_{INV} = 8171,76 [W]$$

- Calculo del numero de Inversores:

$$N_{INV} = \frac{P_{INV}}{P_{Individual\ del\ Inversor}}$$

$$N_{INV} = \frac{8171,76}{5000}$$

$$N_{INV} = 1,6343 [Unid] \approx 2 [Unid]$$

Los detalles del inversor de encuentran en el Anexo D.

Cálculo de Conductores

En la tabla siguiente se muestran las longitudes para cada tramo de acuerdo con los planos de la edificación, además de la ubicación de cada elemento con respecto a los ductos existentes para la alimentación de cada piso.

Tramo	Longitud [mts]
Interconexión Módulos	1.50
Módulos-Regulador de Carga	10
Regulador de Carga-Banco de Baterías	10
Regulador de Carga-Inversor	5
Inversor-Tablero de Mando y Protección	15

Obtenemos la conductividad de los conductores de Cobre:

$$\rho = 0,01786[\Omega]$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = \frac{1}{0,01786}$$

$$\sigma = 56$$

Conexión entre Módulos

- Corriente entre Módulos:

$$I_{Módulos} = 1,25 * I_{SC}$$

$$I_{Módulos} = 1,25 * 13,81$$

$$I_{Módulos} = 17,26 [A]$$

- Caída de Tensión en Conductores: Para este apartado se considera la figura 3.28 con la ecuación 3.30

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%}$$

$$\Delta V = \frac{120 * 3,5}{100\%}$$

$$\Delta V = 4,2 \%$$

- Sección del Conductor:

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 1,5 * 17,26}{56 * 3,6}$$

$$S = 0,2568 [mm^2]$$

- Selección de conductor: De acuerdo a la Figura 3.27
Para la interconexión de los módulos ya sea en serie o paralelo se deberá utilizar el cable 14 AWG modelo PV XLPE 2000 V 90°C SR, con una sección de 2.5 mm^2 además de una mínima corriente de 33 A.

Módulos - Regulador de Carga

- Corriente:

$$I_{M-R} = 1,25 * I_{SC} * N_{Ramas \ Paralelo}$$

$$I_{M-R} = 1,25 * 13,81 * 4$$

$$I_{M-R} = 69,05 \text{ [A]}$$

- Caída de Tensión en Conductores: Para este apartado se considera la figura 3.28 con la ecuación 3.30

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%}$$

$$\Delta V = \frac{120 * 2}{100\%}$$

$$\Delta V = 2,4 \%$$

- Sección del Conductor:

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 10 * 69,05}{56 * 2,4}$$

$$S = 10,2752 \text{ [mm}^2\text{]}$$

- Selección de conductor: De acuerdo a la Figura 3.27
Para el tramo visto el calibre del cable es el 8 AWG modelo PV XLPE 2000 V 90°C SR, el cual su sección es de 10 mm^2 con una capacidad de corriente mínima de 79 A. Considerar que este cable sera para cada tramo de los 3 reguladores de carga.

Regulador de Carga-Banco de Baterías

- Corriente:

$$I_{R-B} = I_{SC} * N_{Modulos \ Paralelo} * 1,25$$

$$I_{R-B} = 13,81 * 4 * 1,25$$

$$I_{R-B} = 69,05 [A]$$

- Caída de Tensión en Conductores: Para este apartado se considera la figura 3.28 con la ecuación 3.30

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%}$$

$$\Delta V = \frac{120 * 0,6}{100\%}$$

$$\Delta V = 0,72 \%$$

- Sección del Conductor:

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 10 * 69,05}{56 * 0,72}$$

$$S = 17,1254 [mm^2]$$

- Selección de conductor: De acuerdo a la Figura 3.27
Para la conexión de este tramo se deberá utilizar el cable 6 AWG modelo PV XLPE 2000 V 90°C SR, el cual su sección es de 16 mm^2 con una capacidad de corriente mínima de 107 A.

Regulador de Carga-Inversor

- Corriente:

$$I_{R-I} = \frac{1,25 * P_{Individual \ Inversor}}{V_{Min \ Trabajo} * \eta_{INV}}$$

$$I_{R-I} = \frac{1,25 * 5000}{96 * 0,93}$$

$$I_{R-I} = 70,0044[A]$$

- Caída de Tensión en Conductores: Para este apartado se considera la figura 3.28 con la ecuación 3.30

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%}$$

$$\Delta V = \frac{120 * 0,98}{100\%}$$

$$\Delta V = 0,96 \%$$

- Sección del Conductor:

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 5 * 70,0044}{56 * 0,96}$$

$$S = 13,0215 [mm^2]$$

- Selección de conductor: De acuerdo a la Figura 3.27
Para la conexión de este tramo se deberá utilizar el cable 8 AWG modelo PV XLPE 2000 V 90°C SR, el cual su sección es de 10 mm^2 con una capacidad de corriente mínima de 79 A. Considerar esto para cada tramo entre inversor y regulador.

Inversor-Tablero de Mando

- Corriente:

$$I_{I-TD} = 1,25 * I_{INVac}$$

$$I_{I-TD} = 1,25 * 30$$

$$I_{I-TD} = 37,5[A]$$

- Caída de Tensión en Conductores: Para este apartado se considera la figura 3.28 con la ecuación 3.30

$$\Delta V = \frac{V_T * V_{caida\%}}{100\%}$$

$$\Delta V = \frac{120 * 3,5}{100\%}$$

$$\Delta V = 4,2 \%$$

- Sección del Conductor:

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 15 * 37,5}{56 * 4,2}$$

$$S = 4,7831 [mm^2]$$

- Selección de conductor: De acuerdo a la Figura 3.27
Para la conexión de este tramo se deberá utilizar el cable 8 AWG modelo PV XLPE 2000 V 90°C SR, el cual su sección es de 10 mm^2 con una capacidad de corriente mínima de 79 A.

Cálculo de protecciones

Paneles o Módulos Fotovoltaicos

$$I_{Fusible1} = I_{sc} * 1,5$$

$$I_{Fusible1} = 13,81 * 1,5$$

$$I_{Fusible1} = 20,715 [A]$$

Con el propósito de salvaguardar el sistema, se ha decidido implementar una salvaguardia mediante fusibles alojados en bases de porta fusibles. Esta elección se fundamenta en la accesibilidad óptima de estos espacios y en la eficacia mejorada que ofrecen para llevar a cabo labores de mantenimiento. El fusible seleccionado para esta aplicación específica es el modelo QR25-gPV (1000 Vdc) con una corriente nominal de 20 A, identificado mediante el código QR25-20gPV1K.

Paneles- Regulador de Carga

$$I_{Fusible2} = I_{sc} * N_{Ramas}$$

$$I_{Fusible2} = 13,81 * 4$$

$$I_{Fusible2} = 55,24 [A]$$

Para la protección general de los módulos fotovoltaicos, se considero un interruptor termomagnético modelo Serie S800 PV-S con cuatro polos de 60 [A].

Banco de Baterías

$$I_{Fusible3} = I_{sc} * 1,1 * N_{ModulosP}$$

$$I_{Fusible3} = 13,81 * 1,1 * 12$$

$$I_{Fusible3} = 182,292 [A]$$

Para la protección del banco de baterías, se considero un interruptor termomagnético de caja moldeada marca ABB serie XT3N 250 Tripolar con 3 polos de 200 [A].

Inversor

$$I_{Fusible4} = \frac{1,25 * P_{INV}}{V_{INV Sald}}$$

$$I_{Fusible4} = \frac{1,25 * 5000}{230}$$

$$I_{Fusible4} = 27,1739 [A]$$

Para la protección de los inversores, se considero un interruptor termomagnético marca ABB serie S800 PV-S Tripolar de 30 [A].

Puesta a Tierra

En [41] se establece que para el dimensionamiento de una puesta a tierra para estos sistemas es necesario cumplir ciertos estándares como el estándar UL 3703 [42] y UL 3703 [43] que nos indica que todas las estructuras de los paneles solares pueden ser una ruta continua de puesta a tierra donde se podrá drenar corrientes de falla. Con el propósito de garantizar la seguridad del usuario, es esencial prevenir la conducción de corriente a través del cuerpo humano para evitar posibles daños fatales, en donde la investigación de [41] recomienda una resistencia inferior a 10Ω . Se requiere una comprensión detallada de la conexión a tierra, incluyendo la determinación de la sección transversal del conductor de cobre (Cu) en los equipos y en el sistema en su conjunto. De acuerdo con las normativas establecidas por el Código Nacional de Electricidad (CNE), se especifica una sección mínima de $10mm^2$ para la línea principal de tierra, la cual deberá ser implementada [33]. El sistema de puesta a tierra adoptado consistirá en una malla compuesta por tres varillas. Es imperativo que los conductores de enlace a tierra de equipos y estructuras instaladas compartan la misma canalización o cableado, o que estén dispuestos de tal manera que se conecten con los conductores del circuito del sistema fotovoltaico al alejarse de la cercanía del arreglo fotovoltaico [41].

4.4. Diagrama de la Conexión del Sistema Diseñado

Para elaborar el diagrama del sistema propuesto, se empleó la herramienta AutoCAD. La figura que sigue exhibe la representación consolidada del sistema correspondiente al proyecto propuesto.

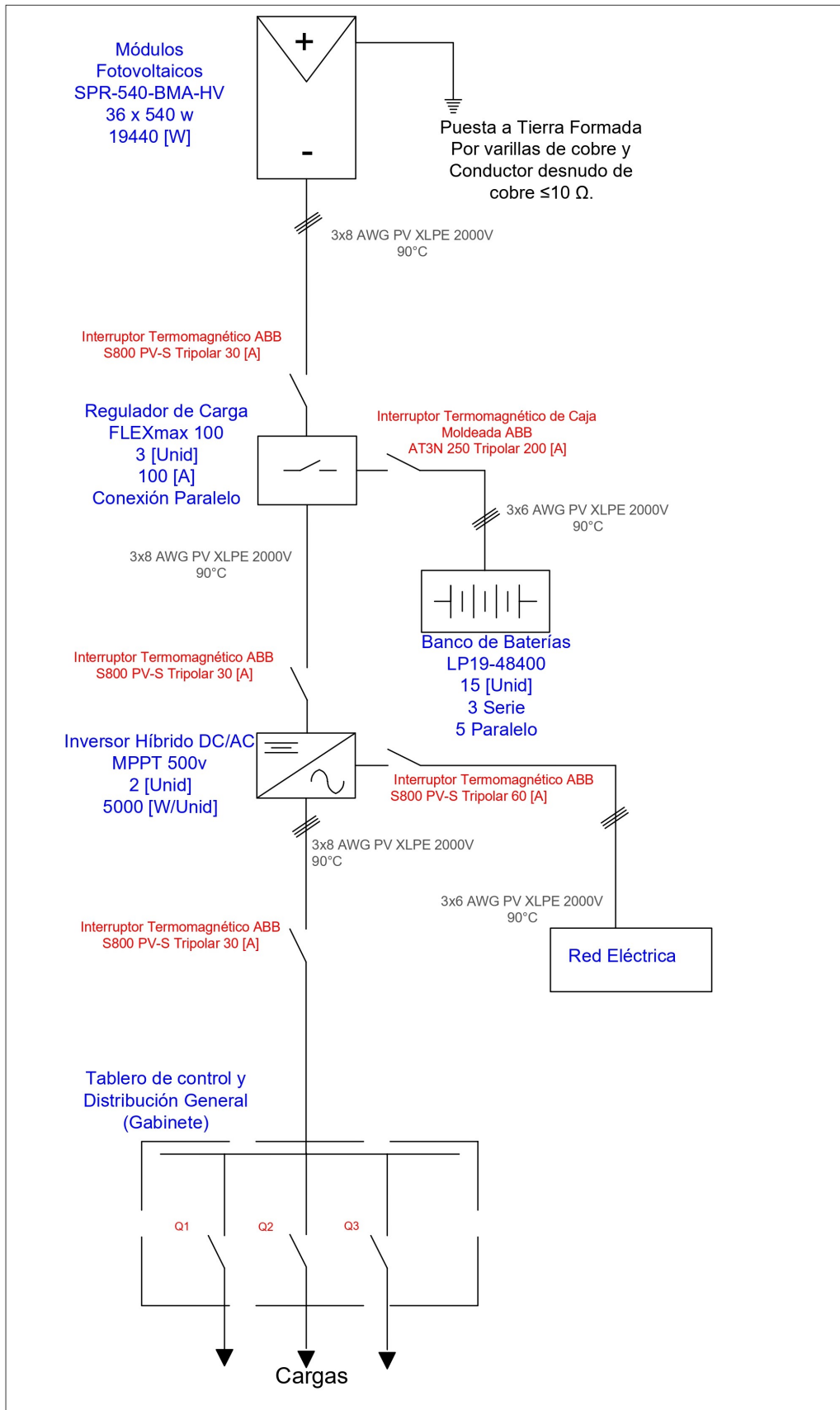


Figura 4.20: Diagrama Unificar del Sistema Fotovoltaico.

Para determinar el tamaño adecuado de las protecciones en el tablero o gabinete seleccionado, es esencial realizar una lista detallada de las cargas conectadas a cada puerto disponible. Estos puertos pueden consistir en barras de conexión, permitiendo la creación de múltiples circuitos individuales, cada uno con sus propias protecciones distintas.

4.5. Medrado y Presupuesto para el sistema de generación fotovoltaica

La siguiente tabla proporciona una estimación detallada de los precios y costos asociados con el material para el sistema fotovoltaico diseñado. Es crucial destacar que estos valores son aproximados y están sujetos a variaciones dependiendo del proveedor, condiciones del mercado y otros factores circunstanciales.

Medrado y Presupuesto Sistema Fotovoltaico					
Suministro de Materiales.					
Item	Descripción	Unid	Medrado	Precio Unitario	Precio Parcial[\$]
1	Módulos fotovoltaicos de 450 w	Unid	36	251.77	9063.72
2	Reguladores de Carga FLEXmax 100	Unid	3	243.37	730.11
3	Batería LP19-48400 400A-h	Unid	15	500.12	7501.8
4	Inversor MPPT 500v 5kW	Unid	2	350	700
5	Estructura de Soporte	Unid	36	105.32	3791.52
6	Conectores de Paneles	Unid	72	0.40	28.8
7	Porta-fusible y Fusibles QR25-20gPV1K	Unid	3	7.50	22.5
8	Termomagnético S800 PV-S	Unid	2	428.45	856.9
9	Termomagnético Caja Moldeada XT3N 250	Unid	1	1085.25	1085.25
10	Conductor #14 AWG PV XLPE 2000v	mts	55	0.85	46.75
11	Conductor #8 AWG PV XLPE 2000v	mts	50	1.25	62.5
12	Conductor #6 AWG PV XLPE 2000v	mts	20	1.50	30
Subtotal con 12 % IVA					\$26790.232
13	Transporte	-	1		2000
14	Mano de Obra	-	1		17215.974
Total					\$ 46006.206

Capítulo 5

Análisis de resultados , Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Análisis

En esta sección, se han presentado los diversos análisis realizados tanto sobre la eficiencia lumínica como sobre el diseño del sistema fotovoltaico. Estos análisis se han enfocado en dos aspectos fundamentales: uno relacionado con la iluminación de los interiores del edificio y otro centrado en la viabilidad de implementar el diseño del sistema fotovoltaico para los circuitos de iluminación del mismo. A través de la exposición detallada de estos dos enfoques, se destacarán los distintos puntos de vista respaldados por los datos obtenidos, calculados y medidos.

Este capítulo pretende ser un compendio de información valiosa que no solo contribuye al entendimiento actual de la eficiencia lumínica y la implementación de sistemas fotovoltaicos, sino que también se proyecta como una referencia importante para investigaciones futuras en estos ámbitos. Los datos recopilados y analizados en este estudio no solo tienen relevancia inmediata para la comprensión de los temas abordados, sino que también representan una sólida base de conocimientos que puede enriquecer futuras investigaciones relacionadas con energías renovables, ahorro energético y eficiencia lumínica. Este aporte pretende contribuir al avance continuo de los estudios en estas áreas, proporcionando información sólida y confiable para investigaciones subsiguientes.

5.1.1. Análisis de la eficiencia lumínica de los espacios del Edificio

En la evaluación de los niveles de iluminación, se ha tomado en cuenta el siguiente protocolo, el cual proporciona información técnica detallada del edificio. Este enfoque protocolar se ha implementado con el objetivo de obtener datos precisos y relevantes sobre la iluminación en diferentes áreas del edificio, contribuyendo así a un análisis técnico integral y preciso. La selección de este protocolo específico responde a la necesidad de obtener mediciones confiables que sirvan como base para evaluaciones posteriores y la toma de decisiones relacionadas con mejoras en la iluminación.

PROTOCOLO PARA MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN		
Razon Social: Universidad Politécnica Salesiana.		
Sede: Matriz Cuenca		
Localidad: Edificio Guillermo Mensi		
Dirección: Calle Vieja 12-30 y, Cuenca 010105		
Provincia: Azuay		
DATOS DE LA MEDICIÓN		
Marca, modelo y número de serie del instrumento utilizado: AMPROBE LM-120 (S/N:10081268)		
Metodología Utilizada en la Medición: Se utilizó el método de la grilla o cuadrícula.		
Fecha de medición: 5/12/2023	Hora de inicio: 18:00	Hora de finalización: 22:00
Condiciones atmosféricas: Al inicio de la medición los espacios como: pasillos, aulas, auditorios, baños y gradas requerían del encendido necesario de las luminarias, para tener visibilidad por lo que los ambientes tenían influencia solo de la luz de dichas luminarias.		
Observaciones: Las mediciones correspondientes en cada uno de los espacios del edificio Guillermo Mensi se realizaron en un horario y fecha adecuada, para que los espacios no se encuentren ocupados por los docentes y estudiantes.		

Para el análisis de los niveles de iluminación en el edificio se realizó la siguiente tabla:
Tabla de resultados de iluminación en todas las Áreas

DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DEL EDIFICIO GUILLERMO MENSI					
DATOS DE MEDICIÓN					
Item	Hora	Áreas	Valor de la uniformidad de Iluminancia E mínima $\geq (E_{media})/2$	Valor medido en Lux	Valor requerido según la normativa en Luxes
1	18:30	Aula	$75 \geq 67,32$	134.65	100-300
2	18:40	Pasillo P01	$29.6 \geq 27,25$	54.51	20-100
3	18:50	Pasillo P02	$50.70 \geq 56,41$	112.82	20-100
4	19:10	Pasillo P03	$40.6 \geq 45,39$	90.78	50-100
5	19:30	Acceso Principal	$62.3 \geq 36.28$	72.37	50-100
6	19:40	Pasillo 03	$40.6 \geq 34.3$	68.6	20-100
7	19:50	Gradas	$40.6 \geq 33.97$	67.94	50-100
8	20:20	Baños	$35.8 \geq 43,88$	87.76	50-100
9	20:30	Auditorio Leonidas Proaño.	$108 \geq 83.55$	167.11	100-300
10	21:00	Auditorio Luna Tobar.	$57 \geq 73,94$	147.89	100-300
11	21:30	Auditorio Aurelio Pisheda.	$56.8 \geq 52.09$	104.18	100-300
12	21:45	Auditorio Luis Arba.	$57 \geq 73,94$	147.88	100-300

De la tabla presentada se data los siguientes análisis:

- Todas las áreas cumplen con el nivel de luxes requeridos según el rango dispuesto por la normativa Ecuatoriana, considerando la metodología de cálculo basada en la normativa Argentina.
- Según la tabla proporcionada, en ciertos sectores no se cumple con el valor de uniformidad; sin embargo, esto no implica una deficiencia en el nivel de iluminación. Más bien, resalta la ausencia de iluminación directa en algunas áreas específicas, sin que ello afecte de manera significativa a la iluminación global.

5.1.2. Análisis del ahorro energético con el Sistema Fotovoltaico

Análisis Técnico y Económico

En este capítulo se proporciona un análisis detallado de la inversión requerida para llevar a cabo la implementación del sistema fotovoltaico diseñado específicamente para el edificio en cuestión. Con este propósito, se ha realizado un cálculo exhaustivo del período de retorno de la inversión, considerando una vida útil estimada de 15 a 20 años, estableciendo este último como el límite máximo para alcanzar la inversión positiva. En el contexto de la evaluación de la inversión, es imperativo tener en cuenta diversos factores críticos que influyen en la viabilidad y eficacia del

sistema fotovoltaico propuesto. Algunos de los aspectos más relevantes que merecen atención son los siguientes:

- Costo de equipamiento necesario para el sistema fotovoltaico.
- Mano de obra y montaje electromecánico.
- Mantenimiento Programado.
- Costo de mano de obra calificada i no calificada.

Inversión Inicial y Mantenimiento

Como se evidenció en la sección 4.7, el presupuesto correspondiente a la implementación del sistema de generación fotovoltaica para el edificio asciende a aproximadamente \$46006.206. Este cálculo tiene en cuenta diversas variables que podrían influir en el costo total del proyecto.

Mantenimiento

En el cálculo del mantenimiento del sistema fotovoltaico, se ha contemplado un porcentaje del 1-2 % con respecto a la inversión total. Adicionalmente, se ha tenido en cuenta la vida útil de los componentes del sistema, asignándole un 5-10 % debido a la garantía de los elementos que varían entre 12 a 15 años. Estas especificaciones se encuentran detalladas de manera pormenorizada en la tabla que se presenta a continuación:

Año	Descripción	Costo por Mtto.	Inversión [\$]
0	Adquisición de materiales y equipos	—	46006.206
1	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
2	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
3	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
4	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
5	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
6	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
7	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
8	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
9	Mtto. SFV	1.5 %	690.09
10	Mtto. SFV, Adquisición Batería y RC	5 %	2300.31
11	Mtto. SFV	2 %	920.12
12	Mtto. SFV	2 %	920.12
13	Mtto. SFV	2 %	920.12
14	Mtto. SFV	2 %	920.12
15	Mtto. SFV	2 %	920.12
16	Mtto. SFV	2 %	920.12
17	Mtto. SFV	2 %	920.12
18	Mtto. SFV	2 %	920.12
19	Mtto. SFV	2 %	920.12
20	Mtto. SFV, Adquisición Batería y RC	10 %	4600.62
Costo Total para 20 años			25763.4

Los datos extraídos de la tabla revelan que la inversión total destinada al mantenimiento del sistema fotovoltaico asciende a \$25763.62 para un período de 20 años, considerando una vida útil mínima del proyecto. Es importante destacar que la vida útil mínima no necesariamente significa que el sistema dejará de funcionar después de ese período, sino que puede experimentar una disminución gradual en su rendimiento a lo largo del tiempo. El mantenimiento adecuado, la limpieza periódica de los paneles solares y la monitorización del sistema pueden contribuir a prolongar su vida útil y mantener su eficiencia.

Generación de Potencia

El sistema de generación fotovoltaica proyecta una producción diaria de 68.2438 kWh, respaldada por una potencia mínima de 6.8098 kW. Es crucial destacar que el diseño se basa en condiciones críticas de trabajo y climáticas que pueden afectar la eficiencia de la generación renovable. Este enfoque garantiza un rendimiento robusto, incluso en situaciones adversas, consolidando así la confiabilidad operativa del sistema.

Además, la implementación de esta tecnología solar no solo cumple con los requisitos para mantener el funcionamiento continuo de los circuitos de iluminación a lo largo del día, sino que también ofrece un beneficio ambiental significativo al prescindir de la necesidad de depender exclusivamente de la red eléctrica convencional. Este aspecto, alineado con las demandas actuales de sostenibilidad, posiciona al edificio como un ejemplo de prácticas ecoamigables y eficiencia energética.

El presupuesto mencionado anteriormente abarca no solo los costos directos del sistema fotovoltaico, sino también los relacionados con la instalación, mantenimiento preventivo y correctivo, así como los posibles ajustes necesarios para optimizar el rendimiento en el tiempo. Esta inversión inicial se traduce en una mayor autonomía energética y una reducción significativa de la huella de carbono asociada al consumo eléctrico del edificio, fortaleciendo su posición como un modelo a seguir en la implementación de soluciones renovables.

Ahorro económico RBC

Con el objetivo de evaluar el ahorro económico asociado, se ha realizado una cuidadosa consideración de la producción proyectada del sistema fotovoltaico a lo largo de varios años. Es esencial destacar que la implementación de este tipo de infraestructura de generación conlleva un costo inicial significativo. No obstante, la recuperación y el ahorro económico resultante se manifiestan de manera más palpable en el transcurso de los años futuros. Esta perspectiva temporal se alinea con la naturaleza de los sistemas fotovoltaicos, los cuales son considerados como inversiones a largo plazo.

Rentabilidad del Proyecto

Para determinar el tiempo de recuperación de la inversión inicial, se llevó a cabo un análisis que abarcó el cálculo del flujo de caja, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período total de recuperación de la inversión. Este proceso incluyó la aplicación del flujo neto de efectivo, permitiendo una evaluación integral de la rentabilidad y eficiencia financiera del proyecto. Para este punto es necesario considerar los siguientes datos:

- Costo de Energía con SFV:

Item	Costo Unitario [kWh (\$)]	Energía kWh/Mes	Costo de Energía
Energía Eléctrica	0.149246577	1357.37	202.5828
		Mensual	\$ 202.58
		Anual	\$ 2430.99

- Consumo anual del edificio:
Como visto anteriormente el consumo anual del edificio es de 17894.894 kWh, esto representa un costo económico de 2670.75\$
- Costo a pagar por los circuitos no instalados al sistema fotovoltaico:

$$C_{Otras\ Cargas} = C_{Energía\ Convencional} - C_{Energía\ Fotovoltaica}$$

$$C_{Otras\ Cargas} = 2670,75 - 2430,99$$

$$C_{Otras\ Cargas} = 239,76 \$$$

- Ahorro económico anual:

$$AE_{eng} = C_{Energía\ Convencional} + C_{Energía\ Fotovoltaica}$$

$$AE_{eng} = 2670,75 + 2430,99$$

$$AE_{eng} = 5101,742 \$$$

En la siguiente tabla se representa el ahorro económico para unos 25 años en donde la eficiencia del sistema empieza a representar perdidas notables pero con cambios de algunos elemento que lo componen se recupera el rendimiento ideal , considerar que para los egresos anuales se considero el valor a pagar por cargas no conectadas al sistema.

Años	Ingresos Totales	Egresos Totales	Costo Fijo	Flujo Efectivo	Flujo neto Efectivo
0	0	0	-46006.20		-46006.20
1	5101.74	929.85		4171.88	-41834.31
2	5101.74	929.85		4171.88	-37662.42
3	5101.74	929.85		4171.88	-33490.53
4	5101.74	929.85		4171.88	-29318.64
5	5101.74	929.85		4171.88	-25146.75
6	5101.74	929.85		4171.88	-20974.86
7	5101.74	929.85		4171.88	-12631.083
8	5101.74	929.85		4171.88	-8459.19
9	5101.74	929.85		4171.88	-4287.30
10	5101.74	2540.07		2561.66	-1725.63
11	5101.74	1159.88		3941.85	2216.22
12	5101.74	1159.88		3941.85	6158.08
13	5101.74	1159.88		3941.85	10099.94
14	5101.74	1159.88		3941.85	14041.80
15	5101.74	1159.88		3941.85	17983.66
16	5101.74	1159.88		3941.85	21925.52
17	5101.74	1159.88		3941.85	25867.38
18	5101.74	1159.88		3941.85	29809.24
19	5101.74	1159.88		3941.85	33751.102
20	5101.74	4840.382		261.3596	34012.46
21	5101.74	1159.88		3941.85	37954.32
22	5101.74	1159.88		3941.85	41896.18
23	5101.74	1159.88		3941.85	45838.04
24	5101.74	1159.88		3941.85	49779.9
25	5101.74	1159.88		3941.85	53721.76

El análisis económico no solo se centra en los beneficios a corto plazo, sino que también abarca aspectos clave como la depreciación de los costos asociados, la durabilidad de los componentes, y las proyecciones de mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema. Esta metodología garantiza una evaluación integral de la rentabilidad del proyecto, considerando tanto los aspectos financieros inmediatos como aquellos vinculados a la sostenibilidad económica a largo plazo.

De los valores obtenido en la tabla anterior se genera la siguiente tabla que ayuda a definir la rentabilidad del sistema:

Indicadores Económicos	Valores
Tasa de Interés	7 %
VAN (Valor Actual Neto)	680.39 \$
TIR (Tasa interna de Retorno)	7 %
PRI (Periodo de Retorno)	11.39 Años

Basándonos en la información proporcionada en la tabla previa, se plantea la necesidad de cuestionar la viabilidad de la implementación del sistema fotovoltaico. Esto se atribuye tanto al

elevado costo de la inversión inicial como al extenso periodo de 11 años y 3 meses requerido para el retorno de la inversión. La evaluación de este tipo de proyectos debe ser abordada exhaustivamente desde una perspectiva financiera, considerando diversos aspectos y variables asociadas a la rentabilidad a largo plazo.

Adicionalmente, se deben tener en cuenta las posibles fluctuaciones en los costos de la energía convencional en el mercado a lo largo del tiempo. El análisis financiero incorpora escenarios diversos para evaluar la resistencia del proyecto frente a cambios en las condiciones económicas y energéticas, garantizando así una toma de decisiones informada y estratégica.

Asimismo, es importante mencionar que la implementación de sistemas fotovoltaicos puede ser elegible para incentivos fiscales y programas gubernamentales de apoyo a las energías renovables. Estos factores adicionales contribuyen a fortalecer la viabilidad económica del proyecto y a acelerar el retorno de la inversión a largo plazo. En conjunto, la adopción de tecnologías fotovoltaicas no solo representa un ahorro económico sostenido, sino también una contribución a la resiliencia financiera y ambiental del edificio a lo largo del tiempo.

Disponibilidad de Espacio Físico

Para este análisis, es fundamental tener en cuenta las dimensiones del espacio físico destinado a la instalación de las estructuras y paneles fotovoltaicos. En este sentido, se llevó a cabo el cálculo del área total disponible en la parte superior del edificio.

- Cálculo del área disponible del edificio.

La figura siguiente presenta las dimensiones del edificio en su parte superior, donde es importante destacar que las medidas mostradas en la imagen están escaladas a una proporción de 1:10.

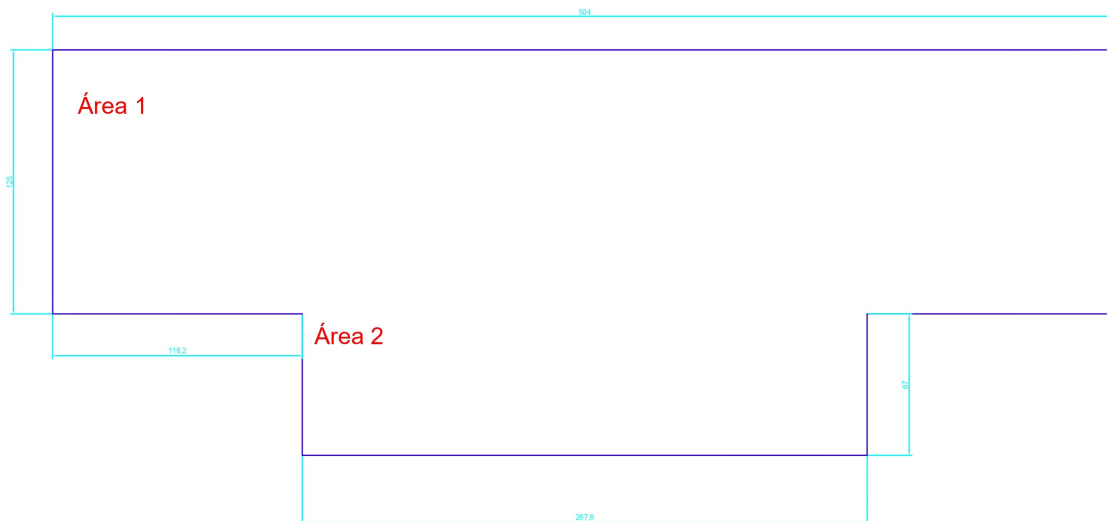


Figura 5.1: Dimensiones del Edificio.

Se calculó el área total del espacio a partir de la imagen, dividiendo el espacio en dos rectángulos. Para obtener el área, se aplicó la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que la división por 10 se debe a la escala utilizada en la representación gráfica.

$$A_1 = \frac{b * h}{100}$$

$$A_1 = \frac{504 * 125}{100}$$

$$A_1 = 630 [m^2]$$

$$A_2 = \frac{b * h}{100}$$

$$A_2 = \frac{267,6 * 67}{100}$$

$$A_2 = 179,292 [m^2]$$

Área Total:

$$A_T = A_1 + A_2$$

$$A_T = 630 + 179,292$$

$$A_T = 809,292 [m^2]$$

- Dimensión a utilizar por Paneles Fotovoltaicos.
Considerando las características de los paneles además de su configuración se obtuvo lo siguiente.

1. Total paneles : 36 [Unid]
2. Paralelo: 12 [Unid]
3. Serie : 3 [Unid]
4. Largo: 2.256 [m]
5. Ancho: 1.133 [m]

Con base en los datos previos, se generó una representación de los paneles solares conforme a sus dimensiones y disposición, resultando en la siguiente imagen que fue ajustada a una escala de 10.

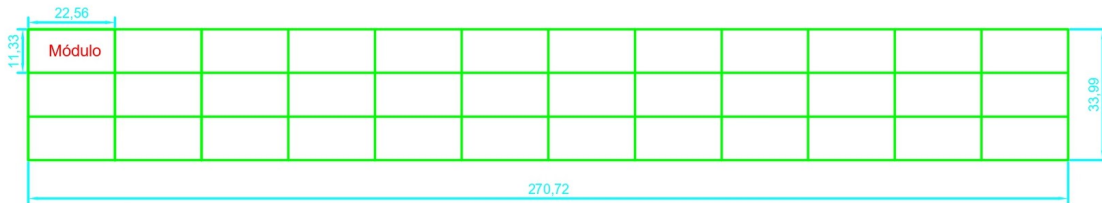


Figura 5.2: Dimensiones de los paneles.

La representación visual muestra un rectángulo que resulta de la disposición de los módulos solares organizados en tres filas y doce columnas. Las dimensiones generales se aumentan en 1 cm por cada unión entre los módulos, lo cual se debe a la necesidad de utilizar conectores, lo que nos da como resultado las siguientes medidas:

Largo: 380.72 [m]

Ancho: 53.99 [m]

Área Total:

$$A_T = \frac{b * h}{100}$$

$$A_T = \frac{380,72 * 53,99}{100}$$

$$A_T = 205,55072 [m^2]$$

- Resultado.

Item	Área Total [m ²]
Edificio	809.292
Paneles Fotovoltaicos	205.55072

A partir de la información tabulada, es evidente que el edificio dispone de espacio adecuado para instalar los paneles fotovoltaicos. La imagen adjunta ofrece una propuesta sobre la ubicación potencial de los mismos. Además, esto se vió como una estrategia concreta para aprovechar eficientemente el espacio disponible en el edificio para la instalación de los paneles solares.

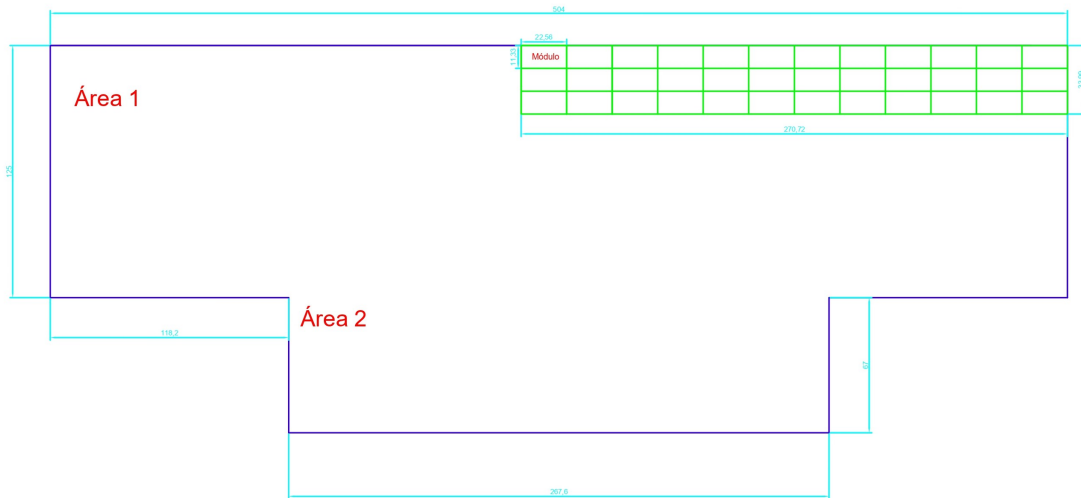


Figura 5.3: Opción de ubicación de Paneles.

5.2. Conclusiones Generales

En esta sección de conclusiones, consolidamos los hallazgos obtenidos a lo largo de los análisis detallados sobre la eficiencia lumínica y el diseño del sistema fotovoltaico en el contexto de la iluminación de interiores de un edificio. La exhaustiva evaluación de estos aspectos críticos ha proporcionado un panorama integral de los desafíos y oportunidades asociados con la implementación de tecnologías renovables en el ámbito de la iluminación.

Al reflexionar sobre los resultados de los análisis, se evidencian las implicaciones prácticas y teóricas de nuestras investigaciones, tanto en términos de mejora de la eficiencia energética como en la viabilidad económica de adoptar sistemas fotovoltaicos. La sinergia entre la eficiencia lumínica y el diseño del sistema fotovoltaico se revela como un factor clave para optimizar el rendimiento energético y ambiental de un edificio.

5.2.1. Conclusiones del análisis de Iluminación

Como resultado del análisis de los niveles de iluminación, se destaca la posibilidad de considerar cambios en las luminarias o su aumento, pero más orientado hacia el futuro, se contemplaría una reubicación de las mismas para lograr una mayor uniformidad. Esta perspectiva no solo apunta a optimizar la eficiencia lumínica actual, sino también a proyectar soluciones a largo plazo que contribuyan a la uniformidad en la iluminación de los espacios. La planificación anticipada de estas medidas busca no solo abordar las necesidades inmediatas, sino también anticiparse a posibles cambios en la distribución espacial y las demandas lumínicas del edificio.

En esta sección de conclusiones, consolidamos los hallazgos obtenidos a lo largo de los análisis detallados sobre la eficiencia lumínica y el diseño del sistema fotovoltaico en el contexto de la iluminación de interiores de un edificio. La exhaustiva evaluación de estos aspectos críticos ha proporcionado un panorama integral de los desafíos y oportunidades asociados con la implementación de tecnologías renovables en el ámbito de la iluminación.

Al reflexionar sobre los resultados de los análisis, se evidencian las implicaciones prácticas y teóricas de nuestras investigaciones, tanto en términos de mejora de la eficiencia energética como en

la viabilidad económica de adoptar sistemas fotovoltaicos. La sinergia entre la eficiencia lumínica y el diseño del sistema fotovoltaico se revela como un factor clave para optimizar el rendimiento energético y ambiental de un edificio.

5.2.2. Conclusiones del Diseño del Sistema Fotovoltaico

Se llevó a cabo el cálculo del consumo diario de energía en los circuitos de iluminación interior de todo el edificio, abarcando espacios como aulas, pasillos, baños, gradas y auditorios. Este análisis resultó en una potencia de 6.8098 kW, considerando el período de utilización de cada elemento. La obtención de datos mensuales de radiación se realizó mediante la plataforma Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), la cual provee información integral relevante. A través de esta fuente, se extrajeron tanto el rango máximo como el mínimo de radiación, elementos esenciales para la adecuada planificación y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Según el análisis llevado a cabo sobre el recurso solar proyectado en la investigación, se observa que el nivel de radiación promedio mensual presenta variaciones, oscilando desde un mínimo de 1.92 kWh/m²/día en el mes de Junio hasta un máximo de 3.09 kWh/m²/día en el mes de Septiembre, considerando un ángulo óptimo de 10°. En el proceso de diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se ha aplicado el criterio de trabajar con una radiación solar desfavorable, tomando como referencia la del mes de Junio. Este enfoque garantiza un diseño robusto y eficiente que puede hacer frente a condiciones subóptimas, maximizando la eficacia del sistema en situaciones adversas.

En los análisis del sistema fotovoltaico, se destaca que el diseño en consideración tiene la capacidad de satisfacer la demanda del usuario, cumpliendo con los criterios técnicos establecidos. Además, presenta una rentabilidad positiva al tener en cuenta una tasa de interés del 7 %, la cual se aplica en el financiamiento de proyectos respaldados por el gobierno. Este interés se establece con el propósito de incentivar la adopción de energías renovables, especialmente en contextos de crisis energética a nivel nacional. La evaluación financiera respaldada por estos parámetros demuestra la viabilidad económica del proyecto, alineando así los objetivos técnicos con los incentivos gubernamentales para promover la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

Es imprescindible evaluar la viabilidad de sistemas como este, especialmente en escenarios en los cuales la falta de suministro energético no constituye una opción viable. Este análisis debe contemplar la inversión inicial, considerando los costos operativos y las fases de mantenimiento, siendo una preocupación significativa el reemplazo de las baterías debido a su vida útil y su correspondiente costo asociado. De igual manera, es esencial abordar con detenimiento el aspecto relativo al dimensionamiento del almacenamiento. Este proceso debe realizarse con el objetivo de teóricamente prevenir irregularidades en el almacenamiento y garantizar la continuidad ininterrumpida del suministro energético. Este enfoque técnico es crucial para asegurar la eficiencia y confiabilidad operativa del sistema a lo largo de su ciclo de vida útil.

La central eléctrica fotovoltaica diseñada se compone de 36 paneles con una potencia individual de 540 Wp cada uno, respaldada por un conjunto de 15 baterías de acumuladores, 3 reguladores, 2 inversores y otros componentes esenciales como conductores y conectores, entre otros, para garantizar su óptimo funcionamiento. El resultado de esta configuración es una potencia instalada de 34.020 kWp. Paralelamente, se realizó una cotización aproximada para la implementación y adquisición de los elementos necesarios para el sistema fotovoltaico. Esta cotización arrojó un

costo de \$ 46,006.20, el cual fue utilizado para generar un flujo de efectivo. Este análisis financiero ha sido instrumental para evaluar la factibilidad de implementar el diseño propuesto del sistema, proporcionando una visión clara de la inversión requerida y su potencial retorno a lo largo del tiempo.

5.3. Recomendaciones

- Este proyecto debe someterse a la evaluación de las autoridades pertinentes y del sector financiero con el objetivo de llevar a cabo un análisis exhaustivo sobre la factibilidad de la implementación del sistema propuesto. La consideración detallada de factores como los costos asociados, la recepción financiera, que implica una demora prolongada debido a la elevada potencia operativa del edificio, así como la inversión inicial considerable y el período de recuperación que se extiende a 10 años, junto con la consideración de eventos imprevistos del sistema, se presentan como aspectos cruciales que demandan atención meticulosa.
- En términos generales, la viabilidad económica puede lograrse mediante la implementación de políticas en el sector energético del país que fomenten y estimulen el empleo de fuentes renovables. De esta forma, sería posible reducir los costos de inversión, aplicar reducciones fiscales parciales o totales, y ofrecer incentivos por iniciativas que beneficien al medio ambiente, entre otras medidas.
- Desde una perspectiva técnica, la construcción de una instalación fotovoltaica autónoma se muestra factible. No obstante, desde un enfoque financiero, presenta desafíos significativos. Esta limitación se fundamenta principalmente en el alto consumo energético del edificio, lo que resulta en una capacidad de almacenamiento del sistema considerablemente elevada. Además, según el análisis económico efectuado, se identifica que los componentes con mayor impacto en los costos son, específicamente, las baterías del sistema de almacenamiento.
- Implementar un plan de mantenimiento integral resulta crucial para garantizar el funcionamiento eficiente y duradero del sistema fotovoltaico. Asimismo, es esencial llevar a cabo un análisis destinado a proyectos futuros que contemplen la ampliación de la capacidad operativa de los sistemas fotovoltaicos previamente diseñados. Este enfoque estratégico contribuirá a maximizar la eficiencia y la durabilidad de la infraestructura existente, al tiempo que proporcionará una base sólida para la planificación y ejecución de proyectos futuros de expansión.
- Es imperativo tener en consideración que, conforme a la carga proyectada, se requiere la instalación de paneles solares o un sistema fotovoltaico con potencias superiores. Esta necesidad se deriva de las pérdidas generadas por diversos elementos inherentes a los sistemas de generación fotovoltaica. La consideración de potencias adicionales es esencial para compensar eficazmente estas pérdidas y asegurar un rendimiento óptimo del sistema en condiciones reales de operación.
- Una recomendación crítica para sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Cuenca consiste en considerar la investigación previa que establece el punto de inclinación óptimo para los paneles solares, situado en 10° . Este ángulo optimizado contribuye significativamente a la eficiencia del panel, permitiéndole operar a aproximadamente el 99 %. Adoptar esta información previa

evita la necesidad de realizar investigaciones adicionales o pruebas, agilizando así el proceso de implementación y asegurando un rendimiento óptimo desde la fase inicial del proyecto.

- Para garantizar el cuidado y la protección tanto del personal de mantenimiento como del sistema fotovoltaico en sí, es imperativo realizar un cálculo preciso y dimensionamiento adecuado de la puesta a tierra. Este aspecto se posiciona como uno de los factores más significativos en lo que respecta a la protección de un sistema fotovoltaico, especialmente dado su entorno expuesto a la intemperie. La instalación está sujeta a cambios ambientales y fenómenos atmosféricos, los cuales representan riesgos considerables al generar campos electromagnéticos, corrientes y voltajes que pueden impactar directamente en el sistema o afectar al personal que opera en su proximidad. Por ende, la correcta implementación de la puesta a tierra es esencial para mitigar estos riesgos y preservar la seguridad y eficiencia del sistema fotovoltaico.

Bibliografía

- [1] Kao Chen., Melvin C. Unglert, and Richard L. Malafa. Energy-saving lighting for industrial applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-14(3):242–246, may 1978. doi: 10.1109/tia.1978.4503529.
- [2] J. Lemos, D. Coelho, and M. Valdez. Efficient lighting in a portuguese school technology tondela’s professional school. In *Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE)*, pages 1–7, July 2011.
- [3] J. Jones, M. Navvab, and Y. Hill. Operation and climate impact on electrical demand for institutional buildings. In *Conference Record of the 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*. IEEE. doi: 10.1109/ias.1992.244543.
- [4] Alberto Rios Diego Taipe Manuel Otorongo. Optimization of the electric consumption of lighting systems in interiorspaces of the technical university of ambato. *energía*, 1(15):70–79, July 2018. ISSN 602-8492.
- [5] Patrizio Primiceri and Paolo Visconti. Solar-powered led-based lighting facilities: An overview on recent technologies and embedded iot devices to obtain wireless control, energy savings and quick maintenance. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(1):11, January 2017. ISSN ISSN 1819-6608.
- [6] Juan José Almeida Almeida. Eficiencia energética eimplementación de focos led en el sistema residencial ecuatoriano. *Tesis, Pontificia Univerdidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía*, page 120, 2016.
- [7] Marie-Claude Dubois, Fabio Bisegna, Niko Gentile, Martine Knoop, Barbara Matusiak, Werner Osterhaus, and Eino Tetri. Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy use in buildings: A literature review. *Energy Research Journal*, 6(1):25–41, jan 2015. doi: 10.3844/erjsp.2015.25.41.
- [8] Francesco Maria Raimondi, Domenico Curto, Vincenzo Frazitta, and Daniele Milone. Energy savings for indoor lighting in a shopping mall: A case of study. In *2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*. IEEE, apr 2018. doi: 10.1109/ever.2018.8362351.
- [9] Punina Punina Darwin Danilo. Implementación de un sistema fotovoltaico, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda en la ciudad de puyo de la provincia de pastaza. *mathesis, ESPE*, September 2020.
- [10] Eugene Hecht. *Optics*. Addison-Wesley, 2002. ISBN 0321188780.

- [11] David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker. *Fundamentals of Physics*. Unknown, 2010. ISBN 9780470469118.
- [12] International Commission on Illumination. *Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources*. CIE technical report. Commission internationale de l'éclairage, CIE Central Bureau, 1995. ISBN 9783900734572.
- [13] M.S. Rea and Illuminating Engineering Society of North America. *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application*. IESNA LIGHTING HANDBOOK. Illuminating Engineering Society of North America, 2000. ISBN 9780879951504.
- [14] M. J. F. Dignonnet. *Smart Lighting: Sensor Network Applications and Case Studies*. John Wiley & Sons, 2015.
- [15] Jinsung Byun, Sunghoi Park, Byeongkwan Kang, Insung Hong, and Sehyun Park. Design and implementation of an intelligent energy saving system based on standby power reduction for a future zero-energy home environment. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 59(3): 507–514, aug 2013. doi: 10.1109/tce.2013.6626231.
- [16] Jeff Tsao, Harry Saunders, J. Creighton, Michael Coltrin, and J Simmons. Solid-state lighting: an energy-economics perspective. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 43: 0–17, 09 2010. doi: 10.1088/0022-3727/43/35/354001.
- [17] Fabián Pesantéz y Andrés Valdez. Diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la universidad politécnica salesian sede cuenca. Master's thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Diciembre 2014.
- [18] Safaa Alzubaidi and Prashant Kumar Soori. Study on energy efficient street lighting system design. In *2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference*. IEEE, jun 2012. doi: 10.1109/peoco.2012.6230877.
- [19] Anuradhi Malshika Welhenge. Lighting control system for energy saving. In *2014 8th Asia Modelling Symposium*. IEEE, sep 2014. doi: 10.1109/ams.2014.21.
- [20] E. Hecht. *Optics*. Pearson education. Addison-Wesley, 2002. ISBN 9780321188786.
- [21] Fernando Ricardo Chuquín Vasco, Nelson Santiago Márquez Sañay. Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (zelio). Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, November 2011.
- [22] Norma española: Iluminación de los lugares de trabajo. parte 1: Lugares de trabajo en interiores EN 12464-1, AENOR, Marzo 2022.
- [23] Christian Rene Alvarado Guanín. Diseño y construcción de un sistema de iluminación auto-sostenible fotovoltaico para una parada de buses y su valla inform'atica del sistema integrado de transporte de cuenca. Master's thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Diciembre 2015.
- [24] Byron Xavier Prado Gaibor. Análisis técnico - económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en Áreas rurales aisladas. *Trabajo Previo a la obtencion del título de: Ingeniero Eléctrico, Universidad Poltécnica Salesiana Sede Quito*, page 118, 2020.

- [25] Frank Muñoz Cano. Propuesta de iluminación tipo led y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio ime de la UDEP. Tesis, Universidad de Piura, March 2021.
- [26] V. Vermeulen, J. M. Strauss, and H. J. Vermeulen. Optimisation of solar PV plant locations for grid support using genetic algorithm and pattern search. In *2016 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*. IEEE, nov 2016. doi: 10.1109/pecon.2016.7951536.
- [27] J. Driesen and R. Belmans. Distributed generation: challenges and possible solutions. In *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. IEEE, 2006. doi: 10.1109/pes.2006.1709099.
- [28] Sebastijan Seme, Niko Lukač, Bojan Štumberger, and Miralem Hadžiselimović. Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems in urban distribution networks. *Energy*, 139:1261–1266, 2017. ISSN 0360-5442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.088>.
- [29] K.K. Prajapat, Abhishek Katariya, Ashok Kumar, and Shuchi Shukla. Simulation and testing of photovoltaic with grid connected system. In *2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*. IEEE, oct 2011. doi: 10.1109/cicn.2011.150.
- [30] B. Decker and U. Jahn. Performance of 170 grid connected PV plants in northern germany—analysis of yields and optimization potentials. *Solar Energy*, 59(4-6):127–133, apr 1997. doi: 10.1016/s0038-092x(96)00132-6.
- [31] Marta Jofra Pep Puig. Energías renovables para todos, energía solar fotovoltaica. *Fundacion de la Energía*, *Fundacion de la energía de la comuniad de Madrid*, page 20, 2007.
- [32] Editorial Eleartning S.L. *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Eleartning S.L., 7 edition, 2003.
- [33] Alex Joel Chapoñan Cuzo. Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico aislado para suministrar energía eléctrica a la localidad de cruz de pañala-morrope-lambayeque. Tesis de Grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018.
- [34] Jesús Alberto Pérez Zulueta. Diseño de un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología led para el parque central de la provincia de jaén -cajamarca. *Tesis, Universidad Nacional de Jaén*, pages 1–92, 2019.
- [35] Oswaldo Joshua Villao Miranda and Erick Rolando Consuegra Mite. Dimensionamiento Óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas. Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, October 2021.
- [36] Esteban Santiago Villegas Tapia y Luis Enrique Alcivar Tello. Diseño de un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica simón bolívar en la comunidad masa 2, golfo de guayaquil. Proyecto de titulación previo a la obtención de : Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana, October 2023.
- [37] Empleo y Seguridad Social de Argentina Ministerio de trabajo. La iluminación en el ambiente laboral. Norma Argentina en Iluminación, Enero 2022.
- [38] Ministerio del Trabajo del Ecuador. Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores. Decreto Ejecutivo 2393, February 2003.

- [39] European Commission. Photovoltaic geographical information system. European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2018.
- [40] Pablo Andrés Peña Ortiz y Franklin Satlin Pinos Vergara. Parametrización de los sistemas eléctricos fotovoltaicos basado en las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca, aplicado en la Universidad Politécnica Salesiana. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, October 2014.
- [41] Paúl Sebastián Garay Córdova and Carmen María Todelo Illescas. Análisis de normativa de puesta a tierra para sistemas fotovoltaicos. Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana, February .
- [42] Timothy Zgonena and Christopher Flueckiger. Photovoltaic module grounding: Issues and recommendations, July 2012.
- [43] Flicker and Jack David. Module level power electronics reliability and accelerated testing standards development., June 2013.

Capítulo 6

Anexos

Elementos del Sistema Fotovoltaico

6.1. Anexo A: Características de la Batería

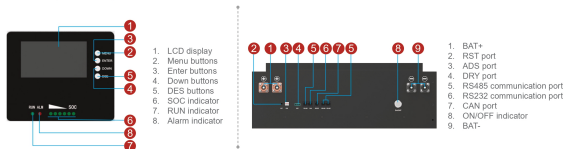


MUST LP1900 Series is a lithium iron phosphate (LiFePO4) battery that offers multiple energy storage options through an expandable modular design (3-5 modules combined), which further simplifies installation and O&M with multiple smart functions.

* Custom capacity is acceptable.



Pic of Input & Output Port



LP1900 Series



Technical Data	LP19-48300	LP19-48400	LP19-48500
Nominal Voltage		51.2V	
Nominal Capacity	300 Ah	400 Ah	500 Ah
Nominal energy	15360 Wh	20480 Wh	25600 Wh
Life Cycles	6000 cycles @ 80% DOD, 25°C		
Recommended Charge Voltage	57.6V		
Recommended Charge Current	60A	80A	100A
End Of Discharge Voltage	44.0V		
Standard Method	Charge	60A	80A
	Discharge	100A	100A
Maximum Continuous Current	Charge	100A	100A
	Discharge	100A	100A
BMS Cut-Off Voltage	Charge	58.4 V (3.65V/Cell)	
	Discharge	44.0V (2s) (2.75V/Cell)	
Temperature	Charge	-4 ~ 113 °F (0 ~ 45°C)	
	Discharge	-4 ~ 131 °F (-20 ~ 55 °C)	
Storage Temperature	23~95 °F (-5~35°C)		
Shipment voltage	>51.2V		
Module Parallel	Up to 8 units		
Communication	CAN2.0/RS232/RS485		
Case Material	SPCC		
Dimension (L x W x H)	537 x 498 x 642 mm 21.0 x 19.6 x 25.2"	537 x 498 x 815 mm 21.0 x 19.6 x 32"	537 x 498 x 982 mm 21.0 x 19.6 x 38.6"
	Approx. Weight	330.69 lbs (150 kg)	429.90 lbs (195 kg)
Charge Retention And Capacity Recovery Capability	Standard charge the battery, and then put aside at room temperature for 28d or 55 °C for 7d, Charge retention rate>90%, Recovery rate of charge>90		
Certification & Standards	CE-EMC (EN 61000-6-3: 2007+A1: 2011+AC, 2012 EN IEC 61000-6-1: 2019) UN38.3/ MSDS		

The technical specifications of this document are subject to change without any notice.

Figura 6.1: Características de Batería.

6.2. Anexo B: Características del Módulo Fotovoltaico

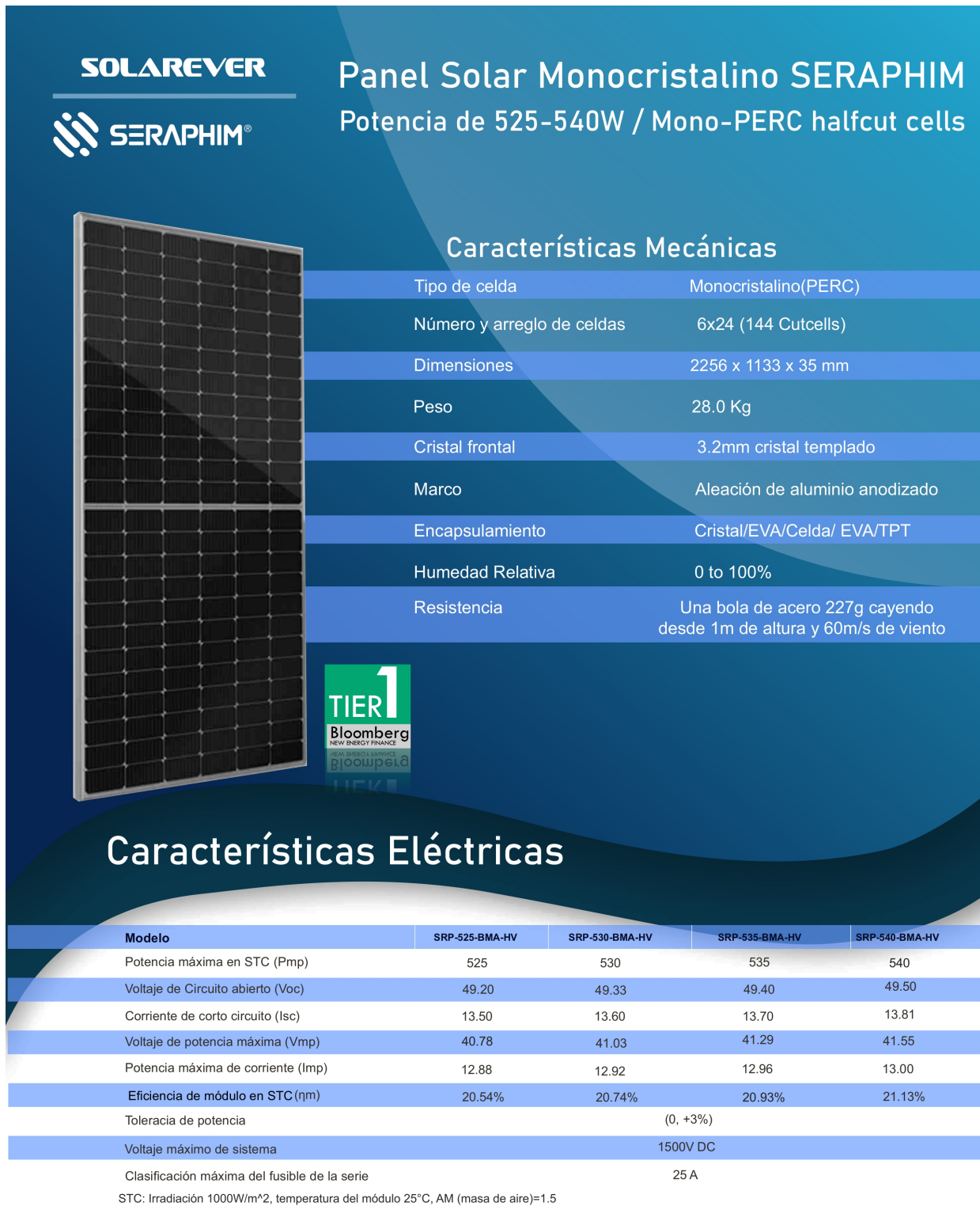


Figura 6.2: Características de Módulo.

6.3. Anexo C: Características del Regulador de Carga



FLEXmax 100 REGULADOR DE CARGA 300V MPPT

Tres razones para elegir el regulador de carga FLEXmax 100 de OutBack Power:

1. DISEÑADO PARA ALTO RENDIMIENTO

- **Eleva los estándares** de los creadores de reguladores de carga MPPT de voltaje múltiple
- El algoritmo actualizado de software MPPT mejora la recolección de energía en comparación con otros reguladores
- Salida de 100 A hasta para 5 kW de carga
- Compatible con bancos de baterías de 24, 36 y 48 Vcc
- Eficiencia de hasta un 99 %

2. DISEÑADO PARA CONFIABILIDAD

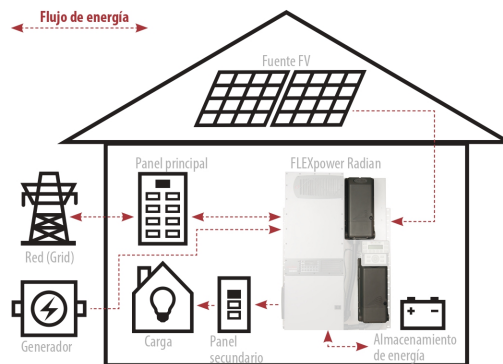
- **Extensas pruebas de calidad y confiabilidad**, que incluyen pruebas de vida altamente aceleradas (HALT)
- Gabinete clasificado para exteriores, el cual evita que el polvo y la humedad dañen los componentes internos
- Experiencia de 15 años en la fabricación de productos para aplicaciones de intolerancia a las fallas y esenciales para el buen funcionamiento
- Garantía estándar de 5 años

3. FÁCIL DE INSTALAR, MONITOREAR Y CONTROLAR

- **El sistema se configura rápidamente** con asistentes de programación inteligentes (se requiere MATE3s)
- El límite de voltaje en circuito abierto de 300 Vcc permite una configuración de 2 cadenas que minimiza el BOS
- Protección de falla a tierra incorporada y descarga de capacitor de cierre rápido para una fácil instalación conforme a norma
- Con OPTICS RE, monitoree, dirija y controle el sistema por Internet
- Red de OutBack totalmente integrada y programable
- Salida de control auxiliar programable para controles de carga inteligente
- Registro de datos incorporado de hasta 128 días



Integración típica del sistema FLEXmax 100 de OutBack (con FLEXpower Radian):



OUTBACK POWER—MAESTROS DE LOS SISTEMAS DESCONECTADOS DE LA RED ELÉCTRICA. PRIMERA ELECCIÓN PARA LA NUEVA RED ELÉCTRICA.



CREAR LA ENERGÍA

- Sistemas integrados FLEXpower
- Inversores/cargadores y reguladores de carga



ALMACENAR LA ENERGÍA

- Baterías EnergyCell
- Gabinetes y estantes para baterías



ADMINISTRAR EL SISTEMA

- Tenga acceso a su sistema en cualquier momento y controle más de 600 parámetros con OPTICS RE

OutBack se reserva el derecho de hacer cambios a los productos y la información contenida en este documento sin previo aviso. Copyright © 2017 OutBack Power. Todos los derechos reservados. OutBack es una marca comercial registrada de The Alpha Group.

1

Figura 6.3: Características del Regulador de Carga.

Modelo:		FLEXmax 100
Voltaje nominal del sistema de batería	24 VCC / 36 VCC / 48 VCC	
Corriente de salida continua máxima	100 A	
Corriente de entrada máxima (cortocircuito)	64 A	
Arreglo FV máxima (placa de identificación STC)	3000 W / 4500 W / 6000 W (salida de carga limitada a 100A en voltaje de batería)	
Voltaje máximo del sistema FV¹	300 VCC	
Rango operativo de voltaje de entrada²	30 VCC a 290 VCC	
Consumo de energía en espera	~2.5 W	
Eficacia de conversión de energía	24 V: 96 % 48 V: 97 %	
Eficiencia pico	24 V: 97,5 % 48 V: 98,8 %	
Regulación de carga	Tres etapas	
Puntos de ajuste de regulación de voltaje	Absorción, flotación, silencioso y equalización	
Carga de compensación	Tiempo de inicio programable, punto de ajuste y duración de voltaje, finalización automática al completar	
Compensación de la temperatura de la batería	Ajustable de 2 mV/celda/°C a 6 mV/celda/°C	
Capacidad de reducción gradual de voltaje	Reducción de cualquier voltaje de matriz aceptable a cualquier voltaje de batería (ejemplo: matriz de 72 VCC a batería de 24 VCC)	
Salida de control auxiliar programable	Señal de salida de 12 VCC que se puede programar para diferentes aplicaciones de control (máximo de 0,25 ADC)	
Pantalla de estado	Indicadores luminosos	
Pantalla y regulador remotos	Compatible con MATE3s	
Cableado de red	Sistema exclusivo de red con conectores modulares RJ-45	
Registro de datos	128 días	
Rango operativo de temperatura³	Ambiente, -25 °C a 60 °C (-13 °F a 140 °F), potencia de salida reducida por encima de 25 °C	
Calificación de protección de ingreso	IP54	
Tipo de gabinete	3R	
Clasificación de altura máxima	10.000 pies	
Troquelados de conductos	Parte inferior y lados	
Garantía	5 años	
Peso (lb/kg)	Unidad: 18,3 / 8,3 Envío: 22 / 10	
Dimensiones (alto x ancho x profundidad) (pulg./cm):	Unidad: 22 x 8,8 x 6 / 55,9 x 22,4 x 15,2 Envío: 25,5 x 12 x 10 / 64,8 x 30,5 x 25,4	
Opciones	Sensor remoto de temperatura (RTS), HUB4, HUB10.3, MATE3s	
Certificaciones	UL 1741, CSA C22.2 No. 107.1, IEC 62109-1	
Tamaño mínimo del banco de baterías	100 Ah	
Rango de carga (salida)	20 VCC a 68 VCC	
Características adicionales	GFCI incorporado, ventilador de refrigeración reemplazable en campo	

¹Voltaje máximo en circuito abierto antes de dañar el equipo. ²Límites operativos. ³Se reduce a 50 A a 60 °C en un sistema de 48 VCC con una entrada de 220 VCC. Un voltaje de entrada más bajo mejora el rendimiento térmico.

Figura 6.4: Características del Regulador de Carga.

6.4. Anexo D: Características del Inversor

Link para mas consultas: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/inverter-120-vdc-to-120-vac-60456579925.html>

Corriente de salida	10-30A
---------------------	--------

Otros atributos

Soporte personalizado	Sí
Lugar del origen	Guangdong, China
Red	SDK, NFC
Marca	TANFON
Número de Modelo	SC
Tipo	Inversores DC/AC
Tipo de salida	Solo
Frecuencia de salida	50HZ o 60HZ
Talla	450*230*570mm
Peso	32-88kg
Certificado	Ce

Figura 6.5: Características del Inversor.

Nombre del producto	1kw-10kw inversor Solar con controlador de cargador principal
Inversor Solar forma de trabajo	Solar fuera de la red de los sistemas de
Inversor Solar de materiales	Transformador de cobre
Inversor híbrido pantalla	Pantalla LCD inversor controlador y toda la información
Inversor de tiempo de entrega	Orden de la muestra para 1-5 días
Inversor de garantía	12-18 meses
Inversor Solar de servicio	La nave partes gratis
Inversor Solar de la marca	Tanfón o OEM aceptar
Inversor de pago	T/T L/C W.U
TANFON promesa	El mejor precio y apoyo técnico

Embalaje y entrega

Paquete	2000W-5000W solar inverter with controller 1 pc in one wooden box package.
---------	--

Figura 6.6: Características del Inversor.

6.5. Anexo E: Radiación Solar obtenido de la plataforma PVGIS

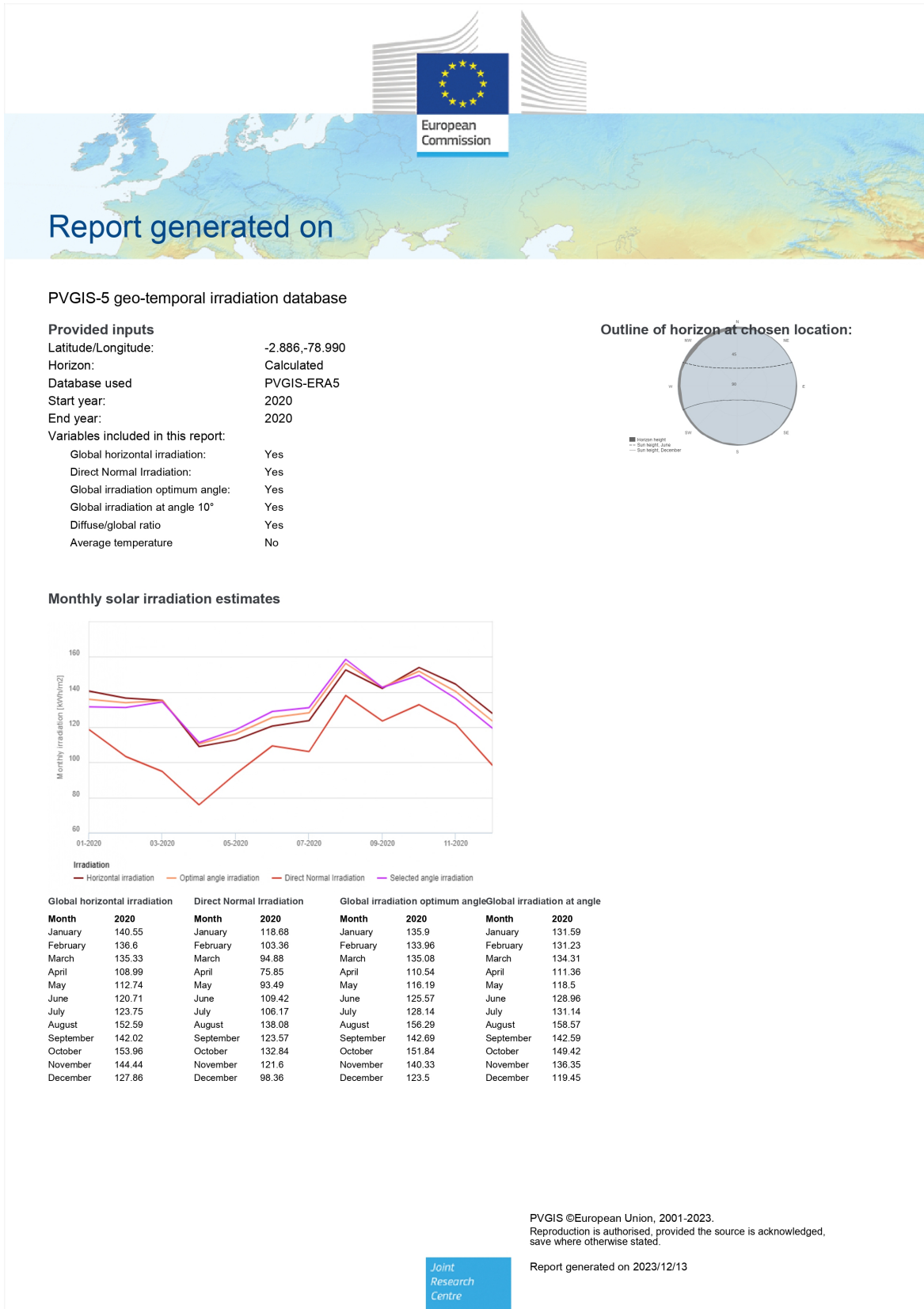


Figura 6.7: Radiación en la UPS.

Monthly average diffuse to global ratio



Diffuse/global ratio

Month	2020
January	0.41
February	0.45
March	0.48
April	0.53
May	0.44
June	0.4
July	0.42
August	0.37
September	0.4
October	0.4
November	0.42
December	0.49

Figura 6.8: Radiación en la UPS.