



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
ALCALDÍA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO
MÉRIDA.**

TS. Amilcar Gilberto González Vergara

Mérida, noviembre 2022



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
ALCALDÍA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO
MÉRIDA.**

Trabajo de grado presentado en cumplimiento parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

TS. Amilcar Gilberto González Vergara
Tutor: Prof. Pedro Omar Mora.

Mérida, noviembre 2022

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO MÉRIDA**

TS. Amilcar Gilberto Gonzalez Vergara

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente jurado.

Prof. Oscar Enrique Blanco Ortiz
Jurado

Prof. Jesus Manuel Marquez
Jurado

Prof. Pedro Omar Mora
Tutor

Br. Amilcar Gilberto Gonzalez Vergara. Diseño de un sistema fotovoltaico para la Alcaldía del municipio Libertador del estado Mérida. Universidad de Los Andes. Tutor: Prof. Pedro Omar Mora. Noviembre 2022.

RESUMEN

Actualmente el país atraviesa una de las peores crisis energéticas que ha existido, debido a la escasa generación de energía eléctrica en el mismo, por lo que se producen cortes eléctricos prolongados, afectado significativamente el desarrollo de la nación; por lo que se ha buscado nuevas alternativas que permitan a las instituciones seguir en funcionamiento a pesar de la situación. Dicha alternativa consiste en la generación de energía eléctrica a través de energías renovables, energía limpia, que evita gases de efecto invernadero, garantizando un futuro próspero para las futuras generaciones; así como también implementación tecnologías que contribuyan al ahorro energético, como es el caso del uso lámparas LED, que garantizan eficiencia energética, iluminando mejor consumiendo menos energía. En vista de la situación, se propone un nuevo sistema de iluminación en la Alcaldía del municipio Libertador, implementando las lámparas LED y que este sistema sea alimentado por un sistema de generación fotovoltaico, que integre un almacenamiento de energía, para que, en presencia de fallas en el sistema eléctrico, la institución pueda seguir en funcionamiento. Una vez desarrollado los objetivos se destacó que efectivamente el sistema de iluminación actual de la Alcaldía no cumple con los índices mínimos de iluminación requerido en la norma COVENIN, mientras que el sistema propuesto si, permitiendo un ahorro del 30%, dicho sistema fue representado mediante DIALUX; por otra parte, el sistema fotovoltaico propuesto, que consiste en el aprovechamiento de la energía solar, estará integrado por 4 inversores, que permitirán a la institución tener un día de autonomía del sistema eléctrico, por lo que ante cortes eléctricos, la institución seguiría en funcionamiento; la producción y eficiencia del sistema se estimó mediante PVGIS. Es importante destacar, que dicha instalación evita 54,9 toneladas del equivalente de CO₂ en un año, lo que contribuiría significativamente al medio ambiente.

Descriptor: fotovoltaico, ahorro energético, eficiencia energética, energía limpia.

INDICE GENERAL

Contenido	Pag.
RESUMEN	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	4
ASPECTOS GENERALES	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 JUSTIFICACIÓN	6
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4 METODOLOGÍA	7
1.5 ALCANCE	7
1.6 LIMITACIONES	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTE	9
2.1.1 Lámparas	9
2.1.2 Luminarias:	9
2.1.3 Balastos	10
2.1.4 Dispositivos de control	10
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	10
2.2.1 Vida nominal	10
2.2.2 Vida económica	10
2.2.3 Rango de potencia	10
2.2.4 Tiempo de encendido	10

2.2.5 Índice de rendimiento de color	10
2.2.6 Temperatura de color correlacionada (TCC):.....	10
2.2.7 Eficacia:	11
2.3 ILUMINACIÓN DE INTERIORES	11
2.3.1 Nivel de iluminación	12
2.3.3 Color de la luz	13
2.5 ILUMINACIÓN DE OFICINAS	14
2.6 ILUMINACIÓN DE EXTERIORES	15
2.6.1 Iluminación de estacionamientos.....	15
2.7 ILUMINACIÓN EN AREAS DE SALUD	15
2.8 EFICIENCIA ENERGETICA	16
2.9 ENERGIAS RENOVABLES	17
2.9.1 La energía renovable en el mundo.....	17
2.9.2 Energía solar	18
2.10 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	19
2.10.1 Producción de electricidad mediante energía solar fotovoltaica	20
2.10.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	21
2.10.3 Efecto fotovoltaico	21
2.10.4 Consideraciones ambientales.....	24
2.11 ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA HIBRIDA	25
2.11.1 Generador fotovoltaico	25
2.11.2 Inversor híbrido	25
2.11.3 Acumulador	26
2.11.4 Canalización y puesta a tierra.....	27
CAPITULO III	29
SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL Y PROPUESTO DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	29
3.1 ESTUDIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL DE LA ALCALDÍA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	30
3.1.1 Estado del sistema de iluminación actual de la Alcaldía.....	31
3.1.2 Potencia del sistema de iluminación actual	39
3.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	39
3.2.1 Sistema de iluminación propuesto para oficinas	39
3.2.2 Sistema de iluminación propuesto para salón de reuniones	45
3.2.4 Sistema de iluminación propuesto para pasillos.....	45

3.2.5 Sistemas de iluminación propuesto para consultorios.....	46
3.2.6 Sistema de iluminación propuesto para estacionamientos	47
CAPITULO IV	50
ENERGIA ELECTRICA CONSUMIDA EN LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	50
4.1 CARGA INSTALADA	50
4.2 CONSUMO ENERGETICO DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR	55
4.3 CARGA ELECTRICA PRIORITARIA DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	56
CAPITULO V	57
PROPUESTA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.....	57
5.1 Carga.....	58
5.2 Sistema de Captación	59
5.2.1 Coordenadas geográficas	59
5.2.2 Temperatura.....	60
5.2.3 Radiación solar	60
5.2.4 Horas solar pico	62
5.2.5 Ubicación de los paneles fotovoltaicos	62
5.3 Sistema de Conversión	64
5.3.1 Conexión generador fotovoltaico e inversor	66
5.4 Sistema de Almacenamiento	68
5.4.1 Baterías	68
5.4.2 Ubicación de las baterías e inversor	70
5.5 Canalizaciones y estructura soporte	71
5.5.1 Conductores	71
5.5.2 Protecciones.....	75
5.5.3 Puesta a tierra.....	76
5.5.4 Estructura soporte de los paneles.....	77
5.6 Análisis económico	77
5.7 Análisis ambiental	79
5.7.1 Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero	80
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85

www.bdigital.ula.ve

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Temperatura del color	11
Figura 2.2 Generación de energía eléctrica con energías renovables a nivel mundial	18
Figura 2.3 Generación de energía eléctrica con energías renovables en Venezuela	18
Figura 2.4 Esquema de las energías renovables procedentes de la transformación de la energía solar.....	19
Figura 2.5 Esquema ilustrativo de la composición de un panel fotovoltaico	23
Figura 2.6 Conexión de baterías	27
Figura 3.1 Alcaldía del Municipio Libertador.....	29
Figura 3.2 Salón Mérida de la Alcaldía del Municipio Libertador	31
Figura 3.3 Oficina de obras públicas de la Alcaldía del Municipio Libertador	31
Figura 3.4 Oficina de gerencia de vialidad de la Alcaldía del Municipio Libertador	32
Figura 3.5 Estacionamiento A de la Alcaldía del Municipio Libertador	32
Figura 3.6 Pasillos de la Alcaldía del municipio Libertador.....	37
Figura 3.8 Sistema de iluminación propuesto para el Salón Mérida de la Alcaldía.....	45
Figura 3.10 Sistema de iluminación propuesto para el consultorio 1 de medicina general	46
Figura 3.11 Luminaria philips BSD492 propuesto para los estacionamientos	47
Figura 3.12 Luminaria philips BVP651 propuesto para los estacionamientos	47
Figura 3.13 Luminaria philips RC531B propuesto para los estacionamientos	48
Figura 3.14 Sistema de iluminación propuesto para los estacionamientos A/B de la Alcaldía	48
Figura 4.1 Entrada de la Alcaldía del municipio libertador	50
Figura 4.2 Equipos conectados en la Alcaldía del municipio Libertador.....	51
Figura 5.1 Esquema de un sistema fotovoltaico hibrido	58
Figura 5.2 Características de la cubierta propuesta para la implantación del generador fotovoltaico.....	60
Figura 5.3 Radiación sobre una superficie horizontal en la Alcaldía del municipio Libertador según PVGIS.	61
Figura 5.4 Cubierta propuesta para la instalación de los módulos fotovoltaicos	63
Figura 5.5 Panel mono-facial JINKO SOLAR tipo JKM570M-7RL4-V	64
Figura 5.6 Inversor hibrido Sol-Ark-12k.....	65

Figura 5.7 Conexión propuesta de los módulos fotovoltaicos.....	66
Figura 5.8 Implantación de los paneles fotovoltaicos en cubierta.....	67
Figura 5.9 Batería de litio 3.5 kW Pylontech US3000 48V	68
Figura 5.10 Conexión de baterías propuesto	69
Figura 5.11 Tablero de distribución secundario propuesto	70
Figura 5.12 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto	71
Figura 5.12 Estructura coplanar.....	77
Figura 5.13 Resultados de la simulación realizada en PVGIS para el sistema fotovoltaico propuesto	78
Figura 5.14 Producción mensual del sistema fotovoltaico propuesto	79
Figura 5.15 Calculadora de gases de efecto invernadero evitados	80

www.bdigital.ula.ve

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.2 Iluminación media recomendada para las áreas de la Alcaldía.....	12
Tabla 2.4 Iluminación recomendada para estacionamientos según su actividad	15
Tabla 2.4 Iluminación recomendada para consultorios general y odontológico	16
Tabla 2.5 Índice de eficiencia energética recomendado para la Alcaldía del municipio Libertador	16
Tabla 3.1 Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador.....	32
Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador	33
Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador	34
Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador	35
Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador	36
Tabla 3.2 Luminarias existentes en los estacionamientos de la Alcaldía.....	37
Tabla 3.3 Iluminación actual en estacionamientos y pasillos de la Alcaldía del municipio Libertador	38
Tabla 3.4 Lámparas en funcionamiento	38
Tabla 3.5 Potencia del sistema de iluminación actual	39
Tabla 3.6 Luminaria philips SM350C propuesta para las oficinas	40
Tabla 3.7 Luminaria philips RC340B propuesta para las oficinas	40
Tabla 3.8 Sistema de iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,.....	41
Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,	42
Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,	43
Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,	44
Tabla 3.9 Sistema de iluminación propuesto para el salón de Mérida	45
Tabla 3.10 Sistema de iluminación propuesto para los pasillos de la Alcaldía.....	46
Tabla 3.11 Sistema de iluminación propuesto para el área de salud de la Alcaldía.....	47
Tabla 3.12 Sistema de iluminación propuesto para los estacionamientos de la Alcaldía ...	48
Tabla 3.13 Potencia de sistema de iluminación propuesto para la Alcaldía.....	49
Tabla 4.1 Equipos conectados según áreas de la Alcaldía	51

Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la Alcaldía.....	52
Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la Alcaldía.....	53
Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la Alcaldía.....	54
Tabla 4.2 Carga conectada en la Alcaldía del municipio libertador.....	54
Tabla 4.3 Estimación de consumo energético de la Alcaldía del municipio Libertador.....	55
Tabla 4.4 Carga prioritaria de la Alcaldía del municipio libertador.....	56
Tabla 5.1 Coeficientes de perdidas de los elementos del sistema fotovoltaico propuesto ..	58
Tabla 5.2 Coordenadas geográficas de la Alcaldía del municipio libertador.....	59
Tabla 5.3 Coordenadas geográficas de la Alcaldía del municipio libertador.....	61
Tabla 5.4 Factor de corrección según inclinación de los paneles y latitud de la ubicación	62
Tabla 5.5 Características del panel JKM570M	64
Tabla 5.6 Características del inversor Sol-Ark-12k	65
Tabla 5.7 Conexión modulo – inversor	66
Tabla 5.8 Características de la batería Pylontech US3000.....	68
Tabla 5.10 Clasificación de las series propuestas para el generador fotovoltaicos.....	73
Tabla 5.11 Conductor seleccionado para el tramo modulo – inversor	73
Tabla 5.12 Conductor seleccionado para el tramo inversor – Tablero de distribución fotovoltaico.....	74
Tabla 5.13 Conductor seleccionado para el tramo baterías – Tablero de distribución baterías	74
Tabla 5.14 Conductor seleccionado para el tramo Tablero de distribución baterías - Inversor	74
Tabla 5.15 Conductor seleccionado para el tramo tablero de distribución fotovoltaico – tablero de distribución de la Alcaldía.....	75
Tabla 5.16 Protecciones propuesta para tramo módulos – inversor	75
Tabla 5.17 Conductor puesta a tierra.....	76

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica a nivel global presenta un aumento más acelerado que la población mundial, siendo esta energía indispensable para el desarrollo de las naciones, por lo que las mismas se han visto en la de implementar nuevas tecnologías que permitan satisfacer los requerimientos energéticos que exige el mundo para su desarrollo sin comprometer el futuro de las nuevas generaciones en cuanto a nivel ambiental se refiere [1].

La electricidad se utiliza con mayor frecuencia en edificios para iluminación y electrodomésticos, en procesos industriales para producir bienes y en el transporte para alimentar trenes y vehículos ligeros [1]; las nuevas tecnologías implementadas a nivel mundial se centran en las energías renovables y la eficiencia energética, la primera hace referencia a aquellas fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales como: el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal [2], y la segunda, al conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos [3].

El futuro de la humanidad y del planeta depende de la manera en la que se produzca energía, por lo que un sistema energético fiable, asequible y des-carbonizado es fundamental. Las energías renovables son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas; diferenciándose de los combustibles fósiles principalmente por su diversidad, abundancia y potencial aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo porque no producen gases de efecto invernadero, ni emisiones contaminantes, causantes del cambio climático [4].

La energía solar es una de las fuentes de energía que mayor se presenta a nivel mundial, utilizada desde hace décadas, que ha sido aprovechada mediante sistemas fotovoltaicos y térmicos. Los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por transformar la energía solar en eléctrica mediante células fotovoltaicas. Estos sistemas, además de proporcionar energía limpia y ecológica, presentan un coste de instalación que se ha reducido significativamente,

debido a alta implementación de estos sistemas y el futuro prometedor que garantiza, tanto en viabilidad económica como en sostenibilidad medioambiental [5].

Los altos niveles de consumo de energía eléctrica que se presenta en la actualidad, además de exigir la implementación de nuevas formas de generación de electricidad que no cause daños al medio ambiente, también ha requerido que el consumo de la misma sea reducido por parte de la población, lo que ha motivado a la sociedad a centrarse en la eficiencia energética, como el caso la implementación de lámparas modernas que permitan iluminar adecuadamente cada área pero generando menos consumo energético, como lo son lámparas con tecnología LED [6].

La Alcaldía del municipio Libertador, es una de las instituciones encargadas de administrar los recursos destinados por la nación para el desarrollo del mismo, se encuentra ubicada en la avenida Urdaneta, a lado del colegio de médicos del estado Mérida [7]. Debido a la importancia que tiene la Alcaldía para el crecimiento del municipio y la implementación de nuevas tecnologías que garanticen sostenibilidad económica y medio ambiental, se propone el diseño de un sistema de iluminación en la institución, implementando lámparas de tecnología LED, garantizando eficiencia energética y cumpliendo con lo establecido por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) en su sección 2249-93, así como también un sistema fotovoltaico que alimente el sistema de iluminación propuesto y el resto de carga eléctrica conectada en la institución, permitiendo así estar en funcionamiento sin interrupciones en el servicio eléctrico.

El presente trabajo de investigación, consta de cinco capítulos que se componen de la siguiente manera;

En el Capítulo I se establece la problemática actual, en la que se evidencia la necesidad e importancia de la investigación, así como también los objetivos, alcance y limitaciones que se presentan en la realización de la misma.

Por otra parte, en el Capítulo II, se encuentra la teoría referente al tema en estudio, que permite adquirir el conocimiento necesario para la ejecución de la investigación.

El Capítulo III, está compuesto por el estudio realizado al sistema de iluminación actual de la Alcaldía del municipio Libertador, y a su vez, la propuesta del sistema de iluminación eficiente que cumple con lo establecido en la norma COVENIN 2249-93 y que se establece en los objetivos de la investigación.

Por otra parte, en el Capítulo IV, se encuentra el estudio de carga que existe en la institución pública, que debe ser alimentado por el sistema fotovoltaico propuesto, diseñado en el Capítulo V de la presente investigación y que cumple con la normativa establecida por la norma COVENIN.

Para finalizar, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la realización del estudio, resaltando la importancia de la implementación de sistemas sostenibles y que garanticen un futuro conservador en cuanto a medio ambiente se refiere.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se exponen los aspectos generales considerados para la realización de la investigación, partiendo de los objetivos, el alcance de la misma, su justificación y limitaciones, así como también la metodología implementada para llevarla a cabo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la pandemia mundial generada por la COVID-19 y los confinamientos han provocado la peor crisis económica desde la segunda guerra mundial, los efectos se han dejado sentir sobre todo en el sector terciario, el transporte y la generación de electricidad con gran intensidad de carbono. Las nuevas capacidades instaladas de energía eólica y solar fotovoltaica han gozado de una mayor tasa de crecimiento durante la crisis, que se espera que se mantenga en este alto nivel. No obstante, en las previsiones efectuadas para el 2022, se espera que la recuperación económica sea positiva en los países del G20. Por otra parte, el nivel de emisiones de CO_2 en el 2021, hasta junio, fue de 1% inferior al de 2019 [8].

Las ventajas medioambientales de la energía renovable, incluidas las menores emisiones de carbono y la reducción de la contaminación del aire, se conocen ampliamente desde hace décadas. Sin embargo, sus numerosos beneficios socioeconómicos solo se han hecho evidentes en las últimas décadas a medida que el despliegue de tecnologías de energía renovable se ha generalizado [9].

La acción para reducir el impacto del cambio climático es fundamental. El Acuerdo de París establece el objetivo de limitar el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales e intentar limitar el aumento a 1,5°C. Implícita en estos objetivos está la necesidad de una transición a un sector energético bajo en carbono, que representa dos tercios de las emisiones globales. La energía renovable, junto con las ganancias de eficiencia energética, puede proporcionar el 90% de las reducciones de

emisiones de CO_2 necesarias para 2050 según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [10].

Venezuela cuenta con la cuarta central hidroeléctrica más grande del mundo por su capacidad instalada: la planta Simón Bolívar. Originalmente, más del 70% del equipamiento y capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) correspondía a instalaciones hidroeléctricas. Por otra parte, en algunas áreas de Venezuela, como la península de Paraguaná, las velocidades de los vientos son de las más altas a nivel mundial, alcanzando 9 metros por segundo [11].

Dada su ubicación y clima tropical, Venezuela cuenta la mayor parte del año con una alta tasa de irradiación solar, lo que conlleva a un alto potencial de generación de energía fotovoltaica. La instalación de paneles solares tanto en tierra como en el mar (dada la extensa fachada marina venezolana), es otra oportunidad energética con la que cuenta el país [11].

Una nación requiere para su desarrollo, que tanto las instituciones públicas como privadas se encuentren en funcionamiento, ya que cada una de ellas cumple un rol indispensable en cuanto al crecimiento social y económico se refiere, como es el caso de las Alcaldías. La función de una Alcaldía radica principalmente en producir directrices que den lugar a la ejecución del plan de gobierno propuesto a la comunidad, garantizar a los habitantes el acceso a los servicios que mejoren su calidad de vida y fomentar su participación e integración en las actividades de la comunidad, dirigir una estrategia que provea al pueblo de espacios públicos adecuados a sus necesidades de desarrollo y brindar a los habitantes una atención integral que apunte al resguardo de sus derechos y a un constante desarrollo [12].

La Alcaldía del municipio Libertador, se encuentra ubicada en la avenida Urdaneta, al lado del Colegio de Médicos del estado Mérida, es este el municipio capital del estado, se encuentra a cargo de 15 parroquias, cuenta con una infraestructura integrada por oficinas, estacionamientos, salones de reuniones y baños. [13].

En la actualidad, el SEN presenta un gran déficit en generación, es decir, la capacidad de generación de energía eléctrica se encuentra por debajo de la demanda que exige la nación, por lo que el país se ha visto sometido a cortes eléctricos por largos periodos de tiempo, afectando directamente el desarrollo de la sociedad.

En busca de reducir el consumo de energía eléctrica y de que la misma sea generada mediante fuentes de energía que no perjudiquen al medio ambiente, se diseña un sistema de iluminación garantizando eficiencia energética en las instalaciones de la Alcaldía del Municipio Libertador, estado Mérida, así como también, un sistema fotovoltaico que alimente la carga eléctrica conectada en la institución y el sistema de iluminación diseñado, esto con el fin de contribuir al desarrollo de la nación, permitiendo a la institución realizar sus actividades con normalidad aun cuando existan fallas en el SEN.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el crecimiento poblacional e industrial se ha incrementado a gran escala, generando un mayor consumo de energía eléctrica a nivel global, lo que ha motivado al mundo a reducir el consumo de la misma y a que su vez esta energía sea generada por fuentes renovables, fuentes que no causen deterioro al planeta, para que el futuro de las nuevas generaciones no se vea comprometido.

Los sistemas de generación eléctrica provenientes de fuentes renovables se caracterizan por la contribución que generan al medio ambiente, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y a su vez, preservando el planeta. Las energías renovables pueden ser obtenidas del viento, el mar, la tierra y/o el sol.

Venezuela, es un país que posee una radiación solar suficientemente elevada para la implementación de sistemas de generación eléctrica que utilicen esta energía como fuente; además, actualmente el SEN del país presenta un déficit de generación, produciendo interrupciones del servicio por prologados periodos de tiempo, obligando a que el desarrollo de ciertas actividades no se realice con normalidad, afectado de manera directa el crecimiento de la nación.

En vista de la necesidad de mantener en funcionamiento instituciones públicas, como es el caso de la Alcaldía de municipio Libertador del estado Mérida, aun cuando existan fallas en el SEN, se diseñará un sistema fotovoltaico que suministre energía a toda la demanda de la institución y a su vez, un sistema de iluminación propuesto que garantizará eficiencia energética.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema fotovoltaico que alimente la demanda eléctrica de la Alcaldía del municipio Libertador, estado Mérida.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el sistema de iluminación existente en la Alcaldía del municipio Libertador.
- Estimar el consumo energético de la institución.
- Diseñar un nuevo sistema de iluminación para la institución que garantice eficiencia energética.
- Evaluar las condiciones para la instalación de un sistema fotovoltaico en la Alcaldía del municipio Libertador.
- Proponer un sistema fotovoltaico capaz de alimentar la demanda eléctrica de la institución y del sistema de iluminación diseñado.

1.4 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la siguiente investigación, se requiere de la recaudación de información directamente de la realidad en cuanto al sistema de iluminación a diseñar y el sistema fotovoltaico propuesto, para realizar recomendaciones de aplicación práctica contribuyendo a la solución del problema planteado.

1.5 ALCANCE

La presente investigación tuvo como finalidad el diseño de un sistema fotovoltaico que alimentará toda la carga conectada en la Alcaldía del municipio Libertador, estado Mérida, aprovechando las condiciones del tejado de la institución y la óptima radiación solar que presenta el estado; la implementación del sistema fotovoltaico propuesto, permitirá a la institución estar en funcionamiento aun cuando existan fallas en el SEN, a su vez, dispondrá de un almacenamiento de energía para ocasiones en las que existan fallas en el SEN y radiación solar nula.

En busca de la reducción del consumo de energía eléctrica, se diseñará un sistema de iluminación en la Alcaldía del municipio Libertador, que garantice eficiencia energética y cumpla con los niveles lumínicos adecuados para cada recinto, según lo establece la norma COVENIN 2249-93; para cumplir con el objetivo se implementan lámparas de tecnología LED; el sistema de iluminación diseñado estará alimentado por el sistema fotovoltaico mencionado con anterioridad.

1.6 LIMITACIONES

- Límites de uso de la cubierta de la Alcaldía para la instalación de paneles fotovoltaicos por sombra generada por árboles aledaños a la institución.
- Dificultad de acceder a determinadas áreas de la Alcaldía para tomar las medidas correspondientes para el estudio y diseño del sistema de iluminación.
- Debido a que las medidas para el estudio del sistema de iluminación actual se tomaron en el horario laboral, el personal se encontraba en las áreas de trabajo lo que limitaba una correcta medición con el luxómetro, teniendo que tomar menos medidas por área.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de diseñar un sistema fotovoltaico para la Alcaldía del municipio Libertador, se estudian cada uno de los elementos que lo integran, así como las características geográficas, meteorológicas y de radiación solar de la ubicación donde se tiene planificado instalar. En busca de contribuir a la eficiencia energética se prevé diseñar un sistema de iluminación eficiente, implementando lámparas de tecnología LED en la institución; los conceptos relevantes se presentan en el siguiente capítulo.

2.1 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTE

Un sistema de iluminación eficiente es un conjunto de elementos que se diseñan para proporcionar una visibilidad clara y cumplir con los aspectos estéticos requeridos en un espacio según sus actividades. Esto se realiza seleccionando las mejores luminarias y lámparas que proporcionan eficiencia energética, es decir, que cumplan con el nivel de iluminación adecuado para cada tarea y se minimicen efectos de brillo directo y reflejado buscando en todos los casos optimizar el uso de energía y reducir el costo operativo [14].

Un sistema de iluminación está integrado por los siguientes elementos:

2.1.1 Lámparas: Son las encargadas de transformar la energía eléctrica en luminosa, son la parte fundamental de un sistema de iluminación, se clasifican en, lámparas incandescentes, lámparas de alta intensidad de descarga, lámparas a base de LED, Lámparas de inducción, lámparas fluorescentes [14].

Cada tipo de lámpara tiene características especiales y su aplicación dependerá de la evaluación de sus parámetros principales como pueden ser su costo, vida útil, CRI, flujo luminoso, depreciación del flujo luminoso, etc

2.1.2 Luminarias: Son los gabinetes que contienen a las lámparas y en algunos casos también el balastro, además sirven para controlar y dirigir el flujo luminoso de una o más lámparas [14].

2.1.3 Balastos: Son dispositivos electromagnéticos, electrónicos o híbridos, los cuales limitan la corriente de las lámparas y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido [14].

2.1.4 Dispositivos de control: Son dispositivos tales como apagadores, fotoceldas, controladores de tiempo, sensores de movimiento, etc. Para el control de los sistemas de iluminación [14].

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Los sistemas de iluminación se pueden clasificar de diferentes maneras. En la práctica es más importante hacer los análisis comparativos evaluando el sistema completo lámpara-balastro-luminario-control y no solamente la fuente de luz, pero la clasificación por tipo de fuente luminosa arroja información muy relevante que sirve como punto de partida para un análisis más profundo, considerando los siguientes parámetros [15]:

2.2.1 Vida nominal: Es el número de horas que aparece en los catálogos de los fabricantes [15].

2.2.2 Vida económica: Las lámparas y balastos se deprecian y bajan su desempeño. En las lámparas donde la depreciación es mayor el reemplazo debe hacerse aun cuando la lámpara encienda, porque la eficacia puede ser tan baja que es más rentable cambiarla por una nueva [15].

2.2.3 Rango de potencia: Son las potencias en las que cada lámpara se fabrica y por lo tanto las potencias que se encuentran disponibles comercialmente [15].

2.2.4 Tiempo de encendido: Es el tiempo que tarda una lámpara en emitir el 90% de su flujo nominal [15].

2.2.5 Índice de rendimiento de color: Conocido generalmente como CRI por sus siglas en inglés (Color Rendition Index), es un parámetro de calidad de luz que depende de la capacidad de una lámpara para reproducir fielmente los colores [15].

2.2.6 Temperatura de color correlacionada (TCC): Es una temperatura virtual que no tiene relación con la temperatura real de las lámparas. Se le llama correlacionada porque está en relación a un cuerpo sólido usado en laboratorio llamado “cuerpo negro”, formado por

distintos metales cuyo color en conjunto depende de la temperatura a la que se encuentre [15]. Ver figura 2.1.

Cuando una lámpara se prueba, el cuerpo negro se calienta artificialmente hasta que su aspecto cromático se iguala con la lámpara bajo prueba. En ese momento se le mide en grados Kelvin la temperatura real al cuerpo negro y esa es la temperatura de color de la lámpara. La convención es opuesta a la de fenómenos naturales porque las lámparas que producen luz fría que tienden a los azules tienen muchos Kelvin mientras que las lámparas que producen luz cálida que tienden a los amarillos y rojos tienen pocos Kelvin. La TCC es un parámetro importante al seleccionar las lámparas porque mediante la selección de diferentes TCC se pueden dar distintos ambientes en interiores [15].

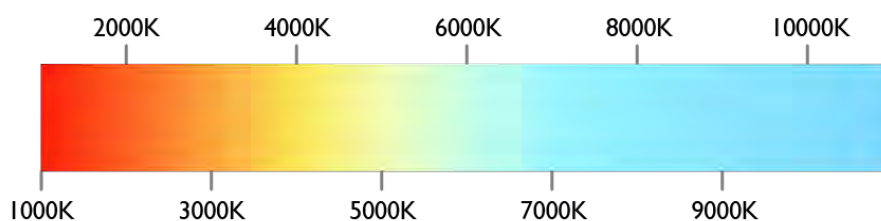


Figura 2.1 Temperatura del color

Fuente: [22].

2.2.7 Eficacia: Desde el punto de vista de eficiencia energética es el parámetro más importante y es el cociente entre los lúmenes emitidos y la potencia demandada (lm/W). La eficacia nominal se calcula rápidamente a través de los catálogos de fabricantes, pero la eficacia promedio es mucho más importante y más difícil de calcular, ya que el flujo y la potencia cambian a lo largo de la vida de las lámparas [15].

2.3 ILUMINACIÓN DE INTERIORES

En todas las áreas interiores ya sean residenciales, comerciales, industriales o de trabajo, se recomienda en lo posible el mayor aprovechamiento de la luz natural del sol, usando para esto grandes ventanas, tragaluces, claraboyas, bioedificios, etc. Sin embargo, existen restricciones en el uso de estos elementos o en ocasiones son insuficientes a altas horas de la noche, y en ese momento es imposible no hacer uso de la iluminación artificial de interiores [16].

Todos los ambientes son distintos, ya sean en un proyecto de iluminación residencial, comercial, industrial o de trabajo, y es por esta razón que deben ser tratados

independientemente cada uno e iluminados de acuerdo a su función. Por consiguiente, la función básica de un sistema de iluminación es la de garantizar el desarrollo de las tareas visuales efectuadas por los individuos dentro de un entorno determinado, considerando unos aspectos o condicionantes fundamentales, los cuales son: el tipo de individuo, la propia tarea y el entorno donde se está desarrollando la tarea [16].

Un sistema de iluminación para interiores debe diseñarse cumpliendo con los requerimientos en cuanto al nivel de iluminación, color de luz y dirección de luz se refiere, dependiendo de la función de cada recinto [16].

2.3.1 Nivel de Iluminación: Existen niveles recomendados de iluminación mínima para cada tarea específica, según lo establece la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) en su sección 2249-93, como se muestra en la Tabla 2.2. En el diseño del sistema de iluminación se debe garantizar que los niveles de iluminación no deben estar por debajo de estos, independientemente de la edad y estado de la instalación. Estos valores son válidos para condiciones visuales normales y en su valoración se tienen en cuenta los siguientes factores: Los aspectos psico-fisiológicos como confort visual y el bienestar, requisitos de la tarea visual, ergonomía visual, experiencias prácticas, seguridad, economía [16].

Por otra parte, la iluminancia o nivel de iluminación es la intensidad de luz en el plano de trabajo y se expresa como la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su área, y se mide en lux [14].

Para determinar la iluminación media en un área, se utiliza la siguiente ecuación;

$$I_{m} = \frac{\sum P_{m1} + P_{m2} \dots + P_{mn}}{P_m} \text{ [lux]} \quad (2.1)$$

Donde;

- $P_{m1,2..n}$: Iluminancia medida en cada a punto (lux)
- P_m : Cantidad de puntos medidos

Tabla 2.2 Iluminación media recomendada para las áreas de la Alcaldía
Fuente: [21].

Espacio	Bajo (lux)	Medio (lux)	Alto (lux)	Tipo de Iluminación
Áreas de Oficinas	500	750	1000	General
Áreas de Reuniones	100	150	200	General

Áreas de servicios (Sanitarios Públicos)	100	150	200	General
Áreas de circulación (Pasillos y Escaleras)	100	150	200	General
Estacionamientos	22	N/A	N/A	General
Depósitos	100	150	200	General
Consultorio dental	500	750	1000	General y localizada
Consultorio general	500	750	1000	General y localizada

2.3.2 Distribución de luminarias: Es importante tener sumo cuidado en la distribución de las luminarias en el ambiente a iluminar, ya que por medio de ella se asegura la uniformidad en el campo de visión, lo cual puede afectar el nivel de adaptación de los ojos y por ende afectar la visibilidad de la tarea a desempeñar [16].

Es necesario tener una buena distribución uniforme para aumentar: la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la eficiencia de las funciones oculares (como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc) [16].

2.3.3 Color de la luz: Las cualidades de color de la lámpara a usar están caracterizadas por dos atributos principales: La apariencia de color de la propia lámpara, que se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. Cuantificada por la temperatura de color y sus capacidades para la reproducción del color, que afectan la apariencia de color de objetos y personas iluminadas por la lámpara. Cuantificada por su índice de rendimiento del color [16].

La elección de apariencia de color es una cuestión psicológica, estética y gusto personal. La elección dependerá del nivel de iluminancia, colores del ambiente (techo, pared y suelo), colores de los muebles, clima circundante y la aplicación. Generalmente se usan lámparas de tonalidades de color cálido para ambientes como: restaurantes, cafés, salas, habitaciones, zonas comerciales, etc, es decir en zonas en donde se desee dar la sensación de calidez, confort y socialización. En cambio, las tonalidades de luz fría se usan, en centros médicos, educativos, oficinas, etc, para dar sensaciones de higiene, sobriedad y concentración [16].

El modelado consiste en lograr el equilibrio entre la luz difusa y la luz direccional. Es un factor que refleja calidad en la iluminación de interiores. Por medio del modelado se revela la forma y la textura de una manera clara y agradable, logrando así que la apariencia general de un ambiente interior resulte mejorada. Esto se consigue cuando la luz procede predominantemente de una dirección, y las sombras se forman sin confusión [16].

No obstante, dependiendo del efecto que se quiera lograr, se debe encontrar el equilibrio, ya que la iluminación no debe ser demasiado direccional, debido a que producirá fuertes sombras, ni deberá ser muy difusa, o el efecto de modelado se perderá completamente, resultando un ambiente poco interesante, muy apagado o monótono, debido a la pérdida de contraste de la luminancia [16].

2.5 ILUMINACIÓN DE OFICINAS

Las oficinas contienen muchos espacios diferentes: espacios de trabajo, espacios públicos, pasillos, salas de reuniones, salas de exposiciones, cocinas, lugares de descanso, todos con necesidades de iluminación diferentes. Algunos espacios se rigen por criterios determinados, otros pueden alumbrarse con más libertad. Además del confort visual, el bienestar y la seguridad son consideraciones importantes a tener en cuenta. La iluminación también está en relación directa con la productividad. Los controles electrónicos modernos permiten regular la iluminación artificial en equilibrio con la luz natural, según la fase de la jornada. Unos tonos más cálidos a baja intensidad al comienzo y al final del día puede disminuir el estrés, y unos tonos más fríos durante el día pueden tener un efecto estimulante. Todo esto se basa en la filosofía de iluminación centrada en el ser humano (HCL, por sus siglas en inglés) y es muy importante, incluso vital, en interiores donde pasamos muchas horas al día rodeados de luz artificial [17].

No cabe duda de que la calidad de la luz que se recibe a diario influye en el bienestar humano, tanto en lo personal como profesional. Además, tiene vital importancia en la salud mental y emocional. Una buena o mala calidad de la luz puede generar jaquecas continuas, ansiedad, trastornos en la vista, mareos y otras patologías dañinas para la salud y, además, muy poco productivas para el rendimiento de las tareas en el trabajo. [17].

Según la norma COVENIN 2249-93, la iluminación recomendada para una oficina son los siguientes;

- Pasillos y zonas de paso: de 100 a 200 lux
- Espacios dedicados a archivo: de 100 a 200 lux
- Puestos de trabajo administrativo: 500 a 1000 lux.
- Puestos de trabajo creativo, mesas de dibujo y diseño: de 600 a 1500 lux.
- Salas de reuniones: 100 a 200 lux.

2.6 ILUMINACIÓN DE EXTERIORES

En la iluminación de exteriores el objetivo normalmente es iluminar un gran espacio al aire libre con una luz uniforme y de gran alcance. Un estacionamiento necesita altos niveles de iluminación para asegurar una buena visibilidad y seguridad, pero también debe minimizarse la luz intrusa. [20].

2.6.1 Iluminación de estacionamientos

Un buen diseño de iluminación en estacionamientos debe favorecer que el tráfico vehicular se vea con mayor claridad, lo que reduce el riesgo de accidentes, así como a fomentar una mejor orientación en general, permitir a los vehículos ser localizados con mayor rapidez y puede ayudar a que los conductores identifiquen límites y obstáculos con anticipación.

Hay diversas consideraciones que deben revisarse incluso antes de tomar acción en el proceso de diseño, ya que tanto la traza del estacionamiento, las características de la luminaria (distribución, color, etc.) o la forma en que se colocan los equipos alrededor del área afectan el uso y distribución de la energía [20].

Tabla 2.4 Iluminación recomendada para estacionamientos según su actividad
Fuente: [21].

Tipo de Actividad	Iluminación
Actividad baja	5 lux
Actividad media	11 lux
Actividad alta	22 lux

2.7 ILUMINACIÓN EN ÁREAS DE SALUD

Una iluminación adecuada juega un papel fundamental para la productividad del personal que se encarga de ejercer el arte de curar. En las instalaciones del área de salud es imprescindible que los factores de iluminación, limpieza y buena atención estén conectados dinámicamente para garantizar un buen servicio a los pacientes [23]. En la norma COVENIN 2249-93 se especifica cuáles son los niveles óptimos de iluminación, como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Iluminación recomendada para consultorios general y odontológico
Fuente: [21].

Consultorio General			
Área	Iluminación (lux)		
	Bajo	Medio	Alto
Inspección general	500	750	1000
Inspección local	1000	1500	2000
Consultorio Odontológico			
General	200	300	500
Bandeja de Instrumentos	500	750	1000

2.8 EFICIENCIA ENERGETICA

La eficiencia energética es una manera que se tiene para ayudar a mantener la sostenibilidad del planeta. La energía es un insumo como cualquier otro que se utiliza en el proceso de producción, sin duda, por esa razón lo que se busca con su uso eficiente es producir más gastando menos energía. El indicador del nivel de consumo energético respecto a su rendimiento se conoce como, índice de eficiencia energética IEEE. La unidad de medida es

$\frac{W}{m^2}$ por cada 100 lux.

$$IEEE = \frac{P \times 100}{S \cdot E_m} \quad (2.2)$$

Donde;

- **P**: Es la potencia total instalada (W)
- **S** Es la superficie iluminada (m^2)
- **E_m** Iluminancia media (lux)

Tabla 2.5 Índice de eficiencia energética recomendado para la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: [21].

Zona de Actividad	IEEE Límite
Administrativo en general	3
Zonas Comunes en edificios no residenciales	6
Almacenes archivos, salas técnicas y cocinas	4
Salones de actos, auditorios, y sala de usos múltiples y convenciones	8
Baños	4
Consultorio Medico	8
Estacionamientos	5

2.9 ENERGÍAS RENOVABLES

Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo determinado.

Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas.

En la actualidad, la contribución de las energías renovables (con respecto al consumo total de energía primaria) a nivel mundial ronda el 8% y en Europa es del 6%; estos porcentajes corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa.

Existe una creciente concienciación a nivel mundial en lo que se refiere a la problemática energética, debido fundamentalmente a:

- La gran dependencia energética del exterior de los países industrializados.
- El agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles.
- Los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico (causado por el hombre) del cambio climático.

2.9.1 La energía renovable en el mundo

En 2020, la capacidad de generación renovable se expandió mucho más que en los últimos años, muy por encima de la tendencia a largo plazo. La mayor parte de la expansión se produjo en China y, en menor medida, en Estados Unidos. La mayoría de los demás países continuaron aumentando la capacidad renovable a un ritmo similar al de años anteriores. A finales de 2020, la capacidad global de generación renovable ascendía a 2799 GW. La capacidad de generación renovable aumentó en 260 GW (+ 10,3%) en 2020. La energía solar continuó liderando la expansión de capacidad, con un aumento de 127 GW (+ 22%), seguida de cerca por la energía eólica con 111 GW (+ 18%). La capacidad hidroeléctrica aumentó en 20 GW (+ 2%) y la bioenergía en 2 GW (+ 2%). La energía geotérmica aumentó en 164 MW. La energía solar y eólica continuaron dominando la expansión de la capacidad renovable, representando conjuntamente el 91% de todas las adiciones renovables netas en 2020 [10].

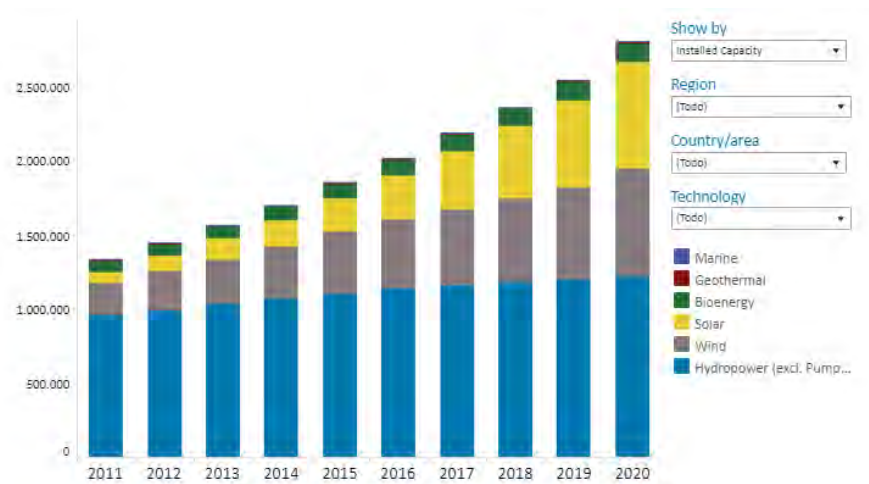


Figura 2.2 Generación de energía eléctrica con energías renovables a nivel mundial
Fuente: [10].

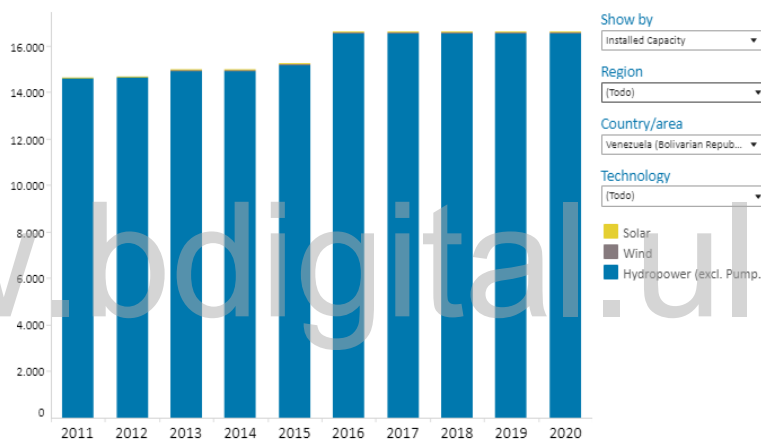


Figura 2.3 Generación de energía eléctrica con energías renovables en Venezuela
Fuente: [10].

2.9.2 Energía Solar

Es la fuente principal de vida en la Tierra: dirige los ciclos biofísicos y geofísicos y químicos que mantienen la vida en el planeta, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El Sol suministra alimentos mediante la fotosíntesis, y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento y del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de fuentes de energía renovables, tanto de la energía eólica, la hidroeléctrica, la biomasa, y la de las olas y corrientes marinas, como de la energía solar propiamente dicha.

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar se clasifican en dos tipos:

- Sistemas solares térmicos, en los que los rayos del Sol se usan para generar calor en colectores solares (con objeto de obtener agua caliente sanitaria, por ejemplo, aunque incluso se puede producir vapor para generar electricidad en las denominadas centrales termosolares). También puede considerarse en este apartado la aplicación de conceptos bioclimáticos en la construcción de edificios, en donde la radiación solar se aprovecha para mejorar el confort térmico en un edificio por medio de elementos arquitectónicos bioclimáticos.
- Sistemas solares fotovoltaicos, que se emplean para la obtención de energía eléctrica directamente.

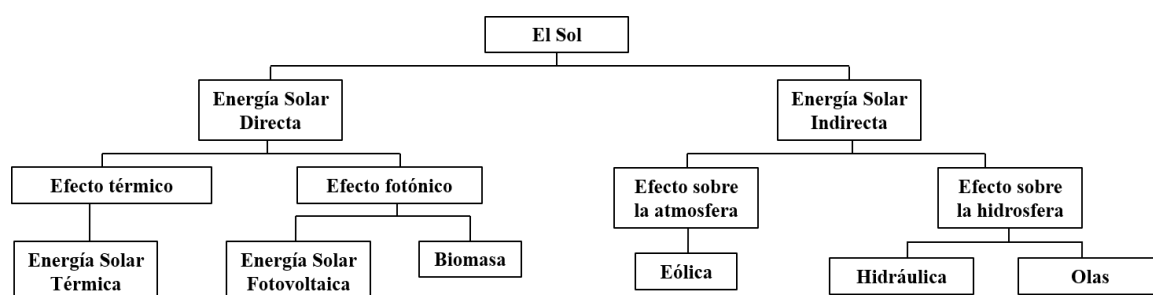


Figura 2.4 Esquema de las energías renovables procedentes de la transformación de la energía solar
Fuente: [24].

2.10 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Edmund Becquerel en 1839, cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apreció un aumento de la generación eléctrica con la luz. En 1873, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio, y en 1877 W. G. Adams y R. E. Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio. En 1904, Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad. En 1921, Einstein gana el premio Nobel por sus teorías de 1904, explicando el efecto fotovoltaico.

La tecnología fotovoltaica tuvo un importante desarrollo a finales de los años cincuenta como parte de los programas espaciales, con la finalidad de desarrollar una fuente de energía económica e inagotable. En 1955, se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa

de Illinois (EE.UU.), ofrece células del 3% de 14mW a 1.500 \$/Wp y en 1957 Hoffman Electronic alcanza el 8% de rendimiento en sus células, y el 10% en 1959.

El 17 de marzo de 1958, se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica. El satélite lleva 0,1 W, en una superficie aproximada de 100 cm², para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética muestra, en la Exposición Universal de Bruselas, sus células fotovoltaicas con tecnología de silicio.

En 1977, la producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW. En 1980, ARCO Solar (después Siemens, después Shell Solar) es la primera empresa con una producción industrial de 1 MW de módulos al año.

Gracias al descenso de los costes y a la mejora del rendimiento, los sistemas fotovoltaicos han extendido su utilización a numerosas aplicaciones, incrementándose sustancialmente la potencia instalada [25].

2.10.1 Producción de electricidad mediante energía solar fotovoltaica

Mediante células fotovoltaicas, la radiación solar se transforma directamente en electricidad, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. El material base para la fabricación de las células fotovoltaicas es el silicio, que se obtiene a partir de la arena.

Las células fotovoltaicas, por lo general de color negro o azul oscuro, se asocian en grupos y se protegen de la intemperie formando módulos fotovoltaicos. Los módulos fotovoltaicos tienen el aspecto de un vidrio de entre 0,5m² a 1m² de superficie, del mismo color que las células; de hecho, a menudo los módulos se protegen con una lámina de vidrio.

En el mercado se encuentra una gran cantidad y variedad de tipos de módulos fotovoltaicos: grandes o pequeños; rígidos o flexibles (y enrollables); en forma de placa, de teja o de ventana; con soporte incorporado o no; con soporte orientable mecánicamente o no (a través de sensores se orienta hacia donde se percibe mayor radiación solar); de distintas tonalidades (negro, azul, pardo, amarillento, etc.). Naturalmente, los precios de los mismos también son muy diversos.

Para su caracterización, los módulos se miden en unas condiciones determinadas: 1 kW/m² de iluminación solar y 25°C de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico).

La electricidad producida por un generador fotovoltaico es en corriente continua, y sus características instantáneas (intensidad y tensión) varían con la irradiancia (intensidad energética) de la radiación solar que ilumina las células, y con la temperatura ambiente. Mediante diferentes equipos electrónicos, la electricidad generada con fuente solar o energía solar se puede transformar en corriente alterna, con las mismas características que la electricidad de la red convencional [25].

2.10.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en 3 grupos, los cuales se describen a continuación:

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Este sistema alimenta durante el día la casa o edificio donde se instala, si la casa consume más energía de la que los paneles solares pueden generar, se toma energía de la red eléctrica. Este tipo de configuración no usa baterías, y solo funciona durante el día, cuando el sol está irradiando energía; en la noche toma la energía eléctrica de la red [26].

Sistema fotovoltaico autónomo a base de baterías (Aislados): Este tipo de configuración se caracteriza por almacenar la energía producida por los paneles en baterías para ser usada de día y de noche [26].

Sistema fotovoltaico híbrido: Este tipo de configuración se caracteriza por integrarse a otra fuente de energía externa a los paneles solares. Generalmente esta configuración usa un inversor de potencia híbrido que integra la energía producida por los paneles solares, la energía almacenada en las baterías y la energía de otra fuente externa. La fuente externa puede ser: una turbina eólica, un generador de diésel o simplemente la red eléctrica [26].

2.10.3 Efecto fotovoltaico

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotovoltaico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del Sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que, artificialmente, se ha creado un campo eléctrico constante (mediante una unión p-n).

Célula solar fotovoltaica: Los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas son los semiconductores. La principal propiedad de este tipo de materiales es que la energía necesaria para separar a ciertos electrones de su núcleo es similar a la energía

de los fotones que constituyen la luz solar. Se les llama semiconductores debido a su comportamiento eléctrico.

El semiconductor más utilizado para la construcción de células solares fotovoltaicas es el silicio, y en función de la ordenación de los átomos en la célula puede presentarse como silicio amorfo, policristalino o monocristalino. Además, existen otros materiales semiconductores que también se utilizan en la fabricación de células solares, como el germanio, el arseniuro de galio o el telurio de cadmio, por ejemplo.

El silicio es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno. En su estado natural puede existir en cuatro formas (cristobalita, tridimita, cuarzo y lechatelierita).

Un cristal semiconductor de silicio puro se denomina semiconductor intrínseco. En la práctica los semiconductores se utilizan con impurezas añadidas voluntariamente, denominándose entonces semiconductores extrínsecos.

La impurificación viene al incorporar a la estructura cristalográfica de un semiconductor intrínseco átomos de un elemento diferente, que tenga mayor o menor número de electrones de valencia que el material base.

La creación de zonas con distintos tipos de dopado en un mismo cristal da lugar a lo que se conoce como uniones p-n. Entre ambas zonas se establece un campo eléctrico que evita el movimiento de electrones de una zona a otra.

El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona n la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona p. Ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la célula solar cumplen la función de recoger esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta al sol sólo se cubre parcialmente mediante una rejilla metálica. Esto permite recoger de forma eficiente los electrones generados en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares alcancen un porcentaje alto del área del material semiconductor.

Se obtiene así una especie de pila que sólo funciona cuando recibe luz solar. Esa “pila”, cuando incide sobre ella la luz solar, ofrece una diferencia de tensión de 0,5 V si es de silicio.

El cociente entre la potencia eléctrica que suministra la célula y la potencia de la radiación que incide sobre la misma en ese momento, se denomina eficiencia de la célula.

Las primeras células, desarrolladas en 1954, alcanzaban una eficiencia de un 6%. En los actuales procesos de fabricación de células se consiguen eficiencias entre 10 y 18%. En laboratorio se alcanzan rendimientos del 22-26%.: Una célula solar proporciona muy poca energía, y a muy baja tensión. Además, una sola célula es frágil y muy difícil de comercializar. El fabricante, agrupándolas para procurar que trabajen como una sola, busca suministrar niveles de tensión y potencia adecuados a cada aplicación, y las protege de los agentes climatológicos adversos. Es lo que se llama panel o módulo solar fotovoltaico [26].

En el panel se asocian eléctricamente un determinado número de células solares y se protege todo el compacto sellándolo al vacío.

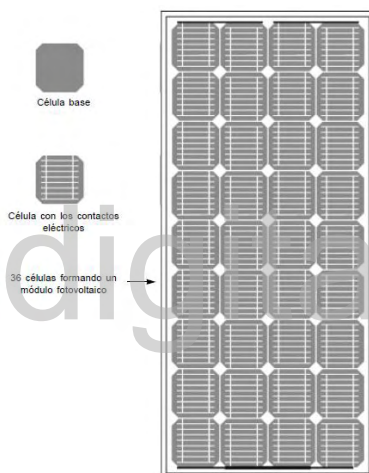


Figura 2.12 Esquema ilustrativo de la composición de un panel fotovoltaico
Fuente: [24].

Normalmente, un módulo fotovoltaico está constituido por células conectadas en serie, aunque también se comercializan otras combinaciones. Hay módulos constituidos por 154 células, otros utilizan 72.

Las tensiones de trabajo lógicamente dependen del número de células del panel. Tensiones típicas son 6V, 12V y 24V.

Actualmente, los módulos más utilizados tienen 36 células de silicio cristalino (monocristalino o policristalino), con una tensión teórica de trabajo de 12 V en condiciones normales de operación. Es una tensión de trabajo muy frecuente en corriente continua y coincide con la tensión de trabajo de los acumuladores [26].

Existen diferentes clases de paneles fotovoltaicos y distintos procesos de fabricación, pero en la actualidad la gran mayoría de módulos del mercado profesional presentan características comunes.

Un módulo fotovoltaico normalmente consta de:

- Células solares fotovoltaicas y sus conexiones eléctricas.
- El encapsulado que cubre las células por arriba y por abajo.
- Una cubierta exterior transparente (cara activa del panel).
- Un protector posterior especialmente diseñado contra la humedad.
- El bastidor o marco que permite una estructura manejable.
- Los contactos de salida (el positivo y el negativo) en su caja de conexiones.
- Unos diodos para protección que van en la caja de conexiones.

2.10.4 Consideraciones ambientales

Una de las principales ventajas de la energía solar fotovoltaica es que se trata de una energía limpia, sin gran incidencia negativa en el medioambiente. Al no producirse ningún tipo de combustión, no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen efectos como la lluvia ácida, efecto invernadero por CO_2 , etc. Tampoco se produce alteración de los acuíferos o aguas superficiales ni por consumo, ni contaminación por residuos o vertidos. Su incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o erosionabilidad es nula.

Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita pistas, cables, postes, no se requieren grandes tendidos eléctricos, y su impacto visual es reducido. Tampoco tiene unos requerimientos de suelo necesario excesivamente grandes (1 kWp puede ocupar entre 10 y 15 m^2). Prácticamente se produce la energía con ausencia total de ruidos.

Además, no precisa ningún suministro exterior (combustible) ni presencia relevante de otros tipos de recursos (agua, viento).

El Silicio, elemento base para la fabricación de la mayoría de las actuales células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.

2.11 ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA HIBRIDA

Una instalación fotovoltaica se puede describir como una instalación eléctrica que incluye todos o algunos de los siguientes elementos:

2.11.1 Generador fotovoltaico

Compuesto de un número determinado de módulos fotovoltaicos conectados en un arreglo de serie y paralelo que no permita superar la corriente y tensión máxima soportada por la entrada mppt del inversor, situados de tal forma que reciban sobre su superficie la energía solar necesaria para la generación fotovoltaica calculada en cada aplicación.

La conexión eléctrica entre paneles o módulos solares puede ser de tres clases:

- Conexión en serie. Aumenta la tensión.
- Conexión en paralelo. Aumenta la Intensidad de corriente eléctrica.
- Combinando las dos primeras hasta lograr la intensidad y tensión necesaria.

Al conectar dos paneles iguales en paralelo, la tensión que se obtiene es igual que la de un solo módulo, sin embargo, la intensidad es el doble. Si por el contrario la conexión es en serie, la intensidad que se obtiene es la misma que en un solo módulo, pero la tensión es el doble. Para obtener el mayor rendimiento del generador fotovoltaico se ha de procurar que reciba la mayor cantidad posible de luz solar sobre su superficie activa. Y como el sol varía su posición en el cielo cambiando su altura y la inclinación de sus rayos, se debe determinar cuál será la colocación ideal.

2.11.2 Inversor híbrido

Se trata de un dispositivo, cuya finalidad es la de adaptar las propiedades de la corriente eléctrica generada o acumulada a las de la corriente eléctrica requerida total o parcialmente por los consumos.

Se pueden hacer unas distinciones muy básicas:

- Existen determinadas aplicaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica en las que se necesita un convertidor CC/CC. Un ejemplo: pueden existir consumos que precisen 12 Vcc

en instalaciones que generan y acumulan a 24 V ó 48 Vcc. Y para resolver esta situación, el convertidor CC/CC adapta la energía disponible (a 24 V ó 48 V), a la exigida por la carga (a 12 V).

- En instalaciones autónomas, y en las utilidades que demandan de equipos y/o consumos de corriente alterna es necesaria la presencia dentro del sistema fotovoltaico de un convertidor CC/CA. Es decir, un convertidor que proporcione CA a partir del sistema de acumulación que es de CC.
- Muchos de los fabricantes actuales tienen un modelo de convertidor que se denomina reversible. Es decir, no solamente extraen energía de la batería (CC/CA) como en el anterior apartado, también son capaces de inyectar energía a la batería para proceder a su carga (CA/CC). Se llaman entonces convertidores/cargadores o convertidores reversibles. En algunas ocasiones son una pieza fundamental en la instalación fotovoltaica no conectada a la red ya que proporcionan un número de combinaciones superior al normal.
- En los generadores fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, el convertidor de conexión a red es el corazón del sistema, siendo su función de una importancia extraordinaria.

Es parecido a un convertidor CC/CA pero con prestaciones diferentes, como por ejemplo, la corriente alterna que proporciona se encuentra sincronizada con la existente en la red en ese momento. Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red tienen un futuro prometedor.

2.11.3 Acumulador

En las instalaciones fotovoltaicas autónomas o híbridas, los módulos solares fotovoltaicos, una vez instalados, siempre se encuentran disponibles para generar electricidad. Sin embargo, la cantidad de radiación solar que reciben se presenta variable, sometida al ciclo diario de los días y las noches, al ciclo anual de las estaciones y a la variación aleatoria del estado de la atmósfera con sus días claros, nubosos, tormentas, etc.

Por ello, puede ocurrir muchas veces que la energía que una instalación fotovoltaica entrega difiere, por exceso o por defecto, de la que demandan los consumos conectados a ella. Y en la mayoría de los casos, el correcto abastecimiento exige almacenar energía cuando la producción es superior a la demanda, para utilizarla en situación contraria.

El acumulador almacena energía siendo capaz de transformar la energía potencial química en energía eléctrica, y cumple las siguientes funciones:

- Es capaz de suministrar energía en cada momento independientemente de la producción eléctrica de los módulos fotovoltaicos en ese momento, pudiendo alimentar los consumos durante varios días.

Es capaz de mantener un nivel de tensión estable, proporcionando un voltaje constante dentro de un cierto rango independientemente de que el generador funcione en ese momento o no.

- Es capaz de suministrar una potencia superior a la que el generador solar podría dar en un momento propicio

Al igual que a la hora de conectar paneles entre sí, se pueden asociar los paneles en serie, en paralelo, o mediante una combinación de ambos, ocurre igual con los acumuladores. Si en un panel se asocian en serie entre 30 y 36 células para alcanzar una tensión teórica de trabajo de 12 V, en un acumulador se asocian en serie seis vasos acumuladores de 2 V cada uno para alcanzar esa misma tensión de trabajo. Y además se pueden asociar grupos de acumuladores para alcanzar otras tensiones de trabajo. En la figura 2.13 se muestra un esquema con dos tipos de asociaciones, un grupo de acumuladores compactos con tensión de salida de 12 V, y un vaso acumulador de 2 V de tensión de trabajo.

Normalmente, las grandes bancadas de acumuladores se obtienen asociando varios grupos de seis vasos de 2 V como el de la figura 2.13, obteniendo así tensiones de trabajo típicas de 12 V, 24 V ó 48 V.



Figura 2.13 Conexión de baterías
Fuente: [24].

2.11.4 Canalización y Puesta a tierra

Para seleccionar el calibre de los conductores de la conexión fotovoltaica, es importante considerar lo establecido en el Código Eléctrico Nacional (CEN), sección 690-8, en esta sección se encuentran los criterios de caída de tensión y corrientes máximas que pueden circular por los conductores, sin que estos pierdan sus propiedades.

El sistema fotovoltaico propuesto contará con sistemas de puesta a tierra y protecciones, en el cual existirá la tierra de protección de las masas de la instalación fotovoltaica y del lado de referencia de continua y la tierra de servicio del lado de alterna, neutro de la distribución de alterna. La central de instalación generadora deberá estar provista de sistemas de puesta a tierra que, en todo momento, que aseguren que las tensiones que se puedan presentar en las masas metálicas de la instalación no superen los valores establecidos en la sección 690-5 y 41 del CEN. Es importante destacar que se dispondrá de las protecciones que se incorporan de forma interna en los inversores, en su parte de CC, entre otros se dispondrá de seccionador de corte en carga para poder realizar la conexión, y comprobaciones o mantenimiento. Así mismo el inversor dispondrá de descargador de sobretensiones en CC.

El conjunto del inversor cuenta con las pertinentes protecciones que desconectan el inversor en caso de que los rangos de tensión sean inadecuados. En caso de que la tensión en alterna esté fuera de los rangos aceptados por la compañía distribuidora, actúa un interruptor automático de desconexión en carga integrado en el conjunto del inversor. Este interruptor es de rearme automático, una vez se han restablecido las condiciones normales de suministro de la red, aunque el circuito también sea susceptible de ser abierto manualmente. El estado del contactor debe señalizarse con claridad en el frontal del equipo en un lugar destacado

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO III

SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL Y PROPUESTO DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR

La Alcaldía del municipio Libertador tiene como finalidad administrar los asuntos municipales y prestar los servicios públicos que determine la ley así como también ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal. Para que dichos objetivos se cumplan, se necesita de una organización que permita coordinar adecuadamente las actividades, contar con áreas que les permita a los trabajadores laborar con un confort adecuado; la iluminación representa una parte muy significativa de dicho confort, ya que potencia la productividad y mejora la motivación, por lo que es de suma importancia que las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador cuenten con los niveles de iluminaciones establecidos por las norma COVENIN 2249-93 para el cumplimiento de sus objetivos y crecimiento de la nación.

La infraestructura donde la Alcaldía realiza sus funciones, está integrada por oficinas, salones de reuniones, archivos, estacionamientos y un área de salud para la atención de los empleados de la institución. La Alcaldía del municipio libertador, cuenta con un sistema eléctrico integrado por tensiones de 120 V/ 220 V que alimentan cada uno de los equipos existentes, está integrado por un tablero principal y sub-tableros que distribuyen la energía eléctrica por todas las áreas.



Figura 3.1 Alcaldía del Municipio Libertador
Fuente: Autor

3.1 ESTUDIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL DE LA ALCALDÍA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.

Para realizar un estudio al sistema de iluminación existente y comprobar que el mismo carece de las condiciones establecidas por la norma COVENIN en su sección 2249-93 en cuanto a iluminación de áreas de trabajo e índices de eficiencia energética se refiere; se deben seguir los siguientes pasos; inicialmente se toma nota de las dimensiones del área en estudio, diseñando una malla de puntos imaginaria, con una separación de 0,5 m aproximadamente, que luego se debe recorrer con un luxómetro a una altura de 0,8 m, representando el plano de trabajo; el recorrido debe realizarse sin generar sombras en el sensor del luxómetro (tomando en cuenta que para realizar las mediciones se utilizaron dos dispositivos una app del teléfono denominada luxómetro y un equipo más especializado LX1330B). Por cada punto, el instrumento generara una medida de iluminación en lux; para determinar la iluminancia media del área, se aplica la siguiente ecuación 2.1; Este valor obtenido debe ser comparado con los índices de iluminación recomendados por la norma COVENIN 2249-93, según la tabla 2.2.

Por otra parte, una vez determinada la iluminación media, se procede a estudiar los índices de eficiencia energética existentes en cada área; dicho índice se define como el índice que evalúa la eficiencia energética VEEI de una instalación, tiene como objetivo reducir el consumo de energía eléctrica, que se trata de iluminar mejor consumiendo menos electricidad, disminuyendo costos y promoviendo la sostenibilidad económica y ambiental definido por la siguiente ecuación.

$$VEEI = \frac{L (W)}{S (m^2)} \cdot \frac{100}{Im (lux)} \left[\frac{W}{m^2 \cdot lux} \right] \quad (3.1)$$

Donde;

- **L:** Potencia total de las lámparas instaladas;
- **S:** Superficie iluminada;
- **Im:** Iluminancia media

Al determinar el índice de eficiencia energética por área, se compara con lo establecido en la tabla 2.5.

Adicionalmente se debe tomar nota de las características de cada una de las áreas estudiadas, con la finalidad de ser utilizadas al momento de realizar el diseño del nuevo sistema de

iluminación para la Alcaldía del municipio Libertador; por otra parte, con el objetivo de realizar una comparación en cuanto a consumo eléctrico se refiere, se toma nota del tipo y características eléctricas de las luminarias y lámparas instaladas.

Una vez comprobado el déficit de iluminación en la Alcaldía del municipio Libertador, se diseña el nuevo sistema de iluminación mediante la herramienta de simulación denominada Dialux evo 8.1, cumpliendo con lo establecido por la norma. Para garantizar la eficiencia energética en cada área, se implementarán lámparas de tecnología LED, que a su vez generarán mejoramiento estético en el cumplimiento de la normativa en cuanto a la iluminación media y observando el mejoramiento estético que genera la implementación de lámparas de tecnología LED en el sistema de iluminación.

3.1.1 Estado del sistema de iluminación actual de la Alcaldía

La Alcaldía del municipio Libertador, está integrada por 55 oficinas, un área de salud, con consultorios de medicina general, laboral y odontología, 6 estacionamientos y 8 baños, así como también, el salón Mérida que ha funcionado durante años, como lugar de reuniones para diversas actividades de ámbito social.



Figura 3.2 Salón Mérida de la Alcaldía del Municipio Libertador
Fuente: Autor

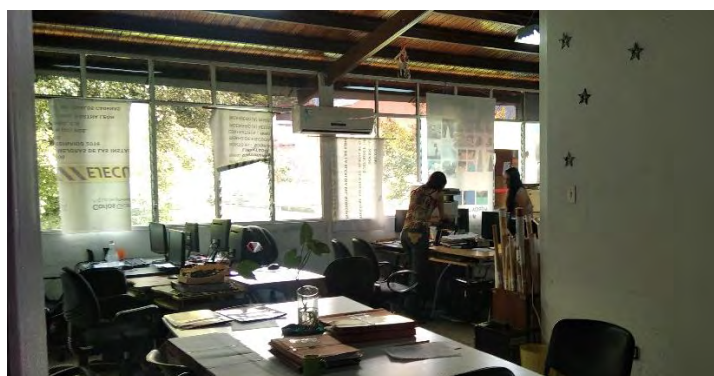


Figura 3.3 Oficina de Obras Públicas de la Alcaldía del Municipio Libertador

Fuente: Autor



Figura 3.4 Oficina de Gerencia de vialidad de la Alcaldía del Municipio Libertador
Fuente: Autor



Figura 3.5 Estacionamiento A de la Alcaldía del Municipio Libertador
Fuente: Autor

A continuación, se presentan las áreas que conforman la Alcaldía, la iluminancia media, características y eficiencia energética existente en cada una de ellas.

Tabla 3.1 Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Colores			Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
		Pared	Piso	Techo				
2da Planta								
Obras Publicas	41,9	Blanco	Gris	Marrón	351,21	General 500-1000	6,4	3
Jefe de Obras Publicas	11,1	Blanco	Gris	Marrón	264,24	General 500-1000	4,4	3
Archivo de Obras Publicas	9,6	Blanco	Gris	Marrón	321,74	General 200-500	5,4	4
Conservación ambiental	26,8	Verde	Gris	Marrón	240,21	General 500-1000	4,6	3

Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Colores			Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
		Pared	Piso	Techo				
Secretaría de conservación ambiental	11,8	Verde/Beige	Gris	Marrón	254,20	General 500-1000	5,2	3
Jefe de conservación ambiental	10,8	Verde	Gris	Marrón	460,21	General 500-1000	5,2	3
Baño Damas C	13,6	Blanco	Gris	Marrón	74,06	General 100-200	4,2	4
Baño Caballero C	13,1	Blanco	Gris	Marrón	86,12	General 100-200	3,9	4
Gerencia de ordenamiento territorial y urbanístico	26,5	Blanco	Gris	Marrón	450,25	General 500-1000	5,7	3
Secretaría de ordenamiento territorial	13,65	Blanco	Gris	Marrón	480,21	General 500-1000	4,9	3
Administración de Sergidesol	18,15	Blanco	Gris	Marrón	410,15	General 500-1000	5,4	3
Ingeniería Municipal	2,78	Azul	Gris	Marrón	244,15	General 500-1000	5,9	3
Asesoría Legal	8,64	Beige	Gris	Marrón	219,25	General 500-1000	4,4	3
Permisología	8,58	Azul	Gris	Marrón	140,58	General 500 -1000	1,5	3
Secretaría de Permisología	14,7	Azul	Gris	Marrón	45,85	General 500 -1000	4,8	3
Jefe de Planificación	9,52	Azul	Gris	Marrón	50,75	General 500 - 1000	7,3	3
Sindicato trabajadores	18,9	Blanco	Gris	Marrón	240,15	General 500-1000	5,6	3
Determinación	18,81	Blanco	Gris	Marrón	264,21	General 500-1000	3,5	3
Contraloría Principal	53,2	Blanco	Gris	Marrón	432,54	General 500-1000	4,8	3
Contralor Principal	8,25	Blanco	Gris	Marrón	417,15	General 500-1000	5,4	3
Despacho Contraloría	29,37	Blanco/Beige	Gris	Marrón	374,2	General 500-1000	6,2	3
Servicios Públicos	39,49	Azul/Verde	Gris	Marrón	184,05	General 500 - 1000	4,7	3

Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador

Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Colores			Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
		Pared	Piso	Techo				
Cemento-rio	7,68	Verde	Gris	Marrón	142,52	General 500-100	5,3	3
Patrimonio histórico	5,4	Blanco	Gris	Marrón	78,50	General 500-1000	3,5	3
Sala técnica de proyectos	30,53	Azul	Gris	Marrón	415,20	General 500-1000	4,2	3
Jefe sala técnica de proyectos	6,21	Azul	Gris	Marrón	314,15	General 500-1000	5,4	3
Baño Damas D	14,4	Blanco	Gris	Marrón	140,45	General 100-200	5	4
Baño Caballeros D	11,39	Blanco	Gris	Marrón	65,75	General	5,	4
Gerencia Presupuesto	77,18	Azul/Blanco	Gris	Marrón	241,0	General 500 - 1000	4,6	3
Jefe de Gerencia Presupuesto	11,38	Beige	Gris	Marrón	170	General 500 - 1000	3,6	3
Gerencia de vialidad	66,04	Verde/Blanco	Gris	Marrón	90,52	General 500 - 1000	4,2	3
Contrataciones públicas	12,99	Azul	Gris	Marrón	75,02	General 500 - 1000	5,4	3
Salón Mérida	103,86	Verde/Azul	Gris	Marrón	215,15	General 100-200	5,3	3
Consulta Jurídica	13,32	Blanco	Gris	Marrón	140,45	General 500 - 1000	4,8	3
1era Planta								
Catastro	87,56	Beige/Blanco	Gris	Blanco	480,95	General 500 - 1000	0,21	3
Secretaría de Catastro	8,96	Beige	Gris	Blanco	125,25	General 500 - 1000	1,06	3
Jefe de Catastro	15,86	Beige	Gris	Blanco	66,11	General 500 - 1000	0,38	3
Recursos humanos	41,75	Azul/Blanco	Gris	Blanco	144,62	General 500 - 1000	3,58	3
Secretaría de recursos humanos	16,28	Azul/Blanco	Gris	Blanco	89,40	General 500 - 1000	14,84	3
Archivo de recursos humanos	15,91	Azul/Blanco	Gris	Blanco	32,77	General 200 - 500	20,71	4
Jefe Recursos Humanos	15,91	Azul/Blanco	Gris	Blanco	21,44	General 500 - 1000	31,66	3
Gerencia de administra	17,23	Blanco	Gris	Blanco	386,00	General 500 - 1000	1,62	3
Jefe de Gerencia administración	12,03	Blanco	Gris	Blanco	388,50	General 500 - 1000	1,61	3

Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador

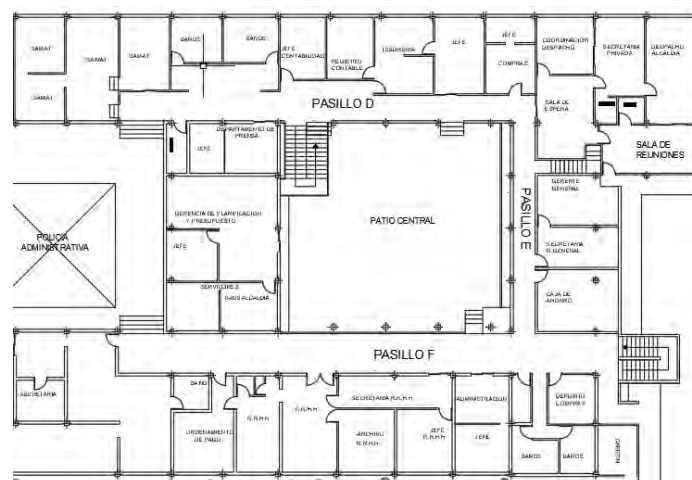
Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Colores			Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
		Pared	Piso	Techo				
Baños Damas A	8,68	Blanco	Gris	Blanco	75,5	General 100 - 200	6,2	4
Baños Caballeros A	7,87	Blanco	Gris	Blanco	85,3	General 100-200	7,4	4
Depósito de Compras	9,3	Blanco	Gris	Blanco	150,21	General 200 - 500	2,5	4
Caja de Ahorro	23,56	Beige	Gris	Blanco	231,35	General 500 - 1000	1,98	3
Gerente General	19,38	Blanco	Gris	Blanco	311,75	General 500 - 1000	1,19	3
Secretaria General	16,18	Blanco	Gris	Blanco	669,11	General 500 - 1000	0,07	3
Pre-despacho	22,4	Blanco	Gris	Blanco	70,54	General 500 - 1000	9,11	3
Secretaria privada	17,15	Azul/Blanco	Gris	Blanco	96,4	General 500 - 1000	4,59	3
Sala de espera	17,6	Azul/Blanco	Gris	Blanco	41,73	General 100 - 200	16,36	3
Coordinación despacho	15,21	Azul/Blanco	Gris	Blanco	71,88	General 500 - 100	13,17	3
Recepción Compras	11,49	Blanco	Gris	Blanco	281,85	General 100 - 200	2,22	3
Jefe de Compras	5,2	Blanco	Gris	Blanco	150,20	General 500 - 1000	1,5	3
Tesorería	19,72	Blanco	Gris	Blanco	80,7	General 500 - 1000	4,77	3
Contabilidad	26,34	Beige	Gris	Blanco	215,46	General 500 - 1000	7,61	3
Baños Damas B	14,4	Azul	Gris	Blanco	84,2	General 100 - 200	5,3	4
Baños Caballeros B	11,39	Azul	Gris	Blanco	74,3	General 100-200	6,4	4
Atención al Ciudadano	16,66	Azul	Gris	Blanco	140,57	General 500 - 100	13,8	3
Desarrollo social	49,0	Blanco	Gris	Blanco	362,5	General 500 - 1000	2,43	3
Samat	74,9	Azul	Gris	Blanco	193,45	General 500 - 1000	8	3
Recepción Samat	28,7	Azul/Verde	Gris	Blanco	262,54	General 100 - 200	9	3
Caja Samat	17,54	Azul	Gris	Blanco	271,1	General 500 - 1000	15,8	3
Recepción de la Alcaldía	5,04	Blanco	Gris	Blanco	317,0	General 100 - 200	6,25	3
Prensa	11,78	Beige	Gris	Blanco	136,11	General 500 - 1000	0,24	3
Jefe de Prensa	8,02	Beige	Gris	Blanco	59,9	General 500 - 1000	1,66	3
Sergidesol	40,93	Beige	Gris	Blanco	152,89	General 500 - 1000	4,5	3

Tabla 3.1 (Continuación) Iluminación actual en las áreas de la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Colores			Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
		Pared	Piso	Techo				
Caja Sergidesol	25,08	Blanco	Gris	Blanco	115,5	General 500 - 1000	8,5	3
Sótano								
Sindicato Obreros	10,56	Blanco	Rojo	Blanco	405,22	General 500-1000	4,7	3
Depósito de Compras 2	13,61	Blanco	Rojo	Blanco	120,52	General 200-500	5,2	4
Archivo	52,99	Blanco	Rojo	Blanco	195,2	General 200-500	5,7	4
Bienes Ambientales	15,09	Blanco	Rojo	Blanco	351,25	General 500-1000	4,8	3
Departamento de Salud								
Consultorio 1 de medicina general	13,3	Beige/Blanco	Marrón	Blanco	456,45	General 500-1000	4,7	3
Consultorio 2 de medicina general y laboral	13,3	Beige/Blanco	Marrón	Blanco	369,25	General 500-1000	4,2	3
Consultorio 3 de Odontología	11,29	Beige	Marrón	Blanco	250,12	General 200-500 Localizada 500-1000 G+L 5.000-10.000	4,7	3

La representación de los pasillos se muestra en la figura 3.3



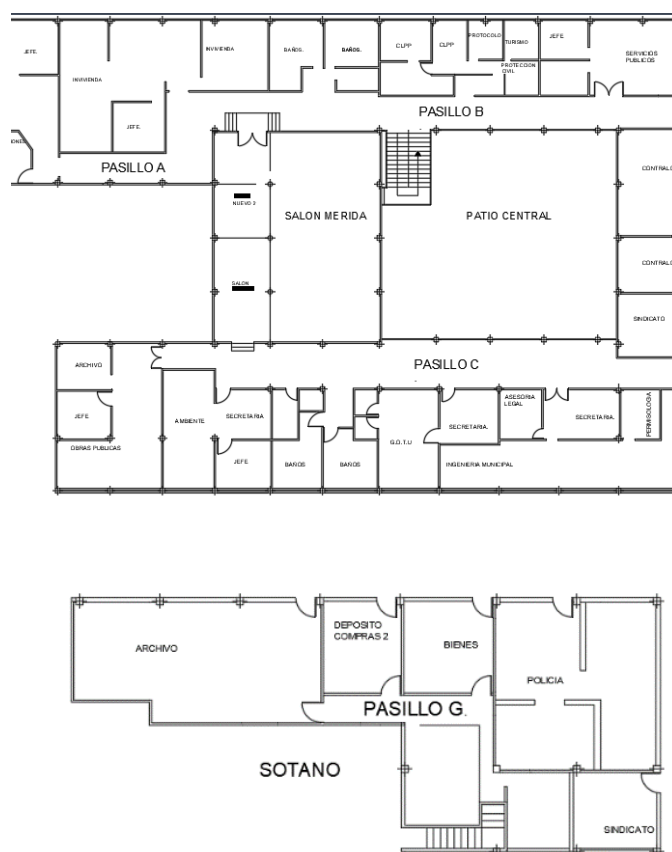




Figura 3.6 Pasillos de la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: Autor

En el caso de los estacionamientos, el sistema de iluminación actual está conformado por poste y reflectores como se muestran a continuación;

Tabla 3.2 Luminarias existentes en los estacionamientos de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Luminaria	Características
Poste 	Elementos mecánicos que trabajan a flexión y cuya única forma es la de sostener la luminaria y su brazo, están a la intemperie, en climas que van desde cálido hasta frío y desde húmedo hasta seco.
Reflectores 	Son resistentes al agua y al polvo, la superficie reflectora tiene la forma de una parábola y por ello todos los haces que chocan en ellas se reflejan en un punto en común, llamado foco.

Las características lumínicas de los pasillos y estacionamientos se muestran a continuación;

Tabla 3.3 Iluminación actual en estacionamientos y pasillos de la Alcaldía del municipio Libertador

Fuente: Autor.

Área	Área (m ²)	Iluminación media (lux)	Iluminación Recomendada (lux)	IEEE Actual	IEEE Recomendado
Estacionamiento A	957,6	14	22	2,23	5
Estacionamiento B	666,4	17	22	2,64	5
Estacionamiento C	388,7	12	22	6,43	5
Estacionamiento D	741,1	14	22	2,89	5
Estacionamiento E	820,7	13	22	2,81	5
Estacionamiento F	630,1	17	22	2,80	5
Pasillo A	31,0	320,02	General 100-200	2,41	6
Pasillo B	75,5	420,12	General 100-200	1,51	6
Pasillo C	97,7	240,15	General 100-200	2,55	6
Pasillo D	53,0	471,02	General 100-200	1,92	6
Pasillo E	22,9	264,21	General 100-200	3,96	6
Pasillo F	94,9	470,15	General 100-200	1,34	6
Pasillo G	41,8	350,12	General 100-200	3,27	6
Pasillo Salud	18,8	360,21	General 100-200	3,64	6
Patio Central	224,7	450,15	General 100-200	0,54	6

En la tabla 3.3 se puede evidenciar que los índices de iluminación que existen actualmente no cumplen con lo establecido por la norma COVENIN 2249-93, aún cuando la luz natural contribuye con la iluminación del área ya que el sistema de iluminación actual no se encuentra en funcionamiento en su totalidad, tal como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Lámparas en funcionamiento

Fuente: Autor.

Tipo de Lámpara	Cantidad de lámparas en funcionamiento	Cantidad de lámparas dañadas
Fluorescente Lineal 30 W	113	40
Fluorescente Lineal 29 W	154	56
Fluorescente Circular 22 W	3	0
Incandescente Convencional 100 W	63	7
LED 12 W	49	19
Total	382	122

3.1.2 Potencia del sistema de iluminación actual

En vista de que la finalidad de un nuevo sistema de iluminación para la Alcaldía del municipio libertador se basa en la reducción del consumo energético, se muestra a continuación el consumo del sistema de iluminación para ser comparado con el sistema de iluminación propuesto.

Tabla 3.5 Potencia del sistema de iluminación actual
Fuente: Autor.

Tipo de Lámpara	Cantidad	Potencia por Lámpara (W)	Potencia Total (W)
Fluorescente Lineal	153	30	4.590
Fluorescente Lineal	210	29	6.090
Fluorescente Circular	3	22	66
Incandescente Convencional	70	100	7.000
LED	68	12	816
Total			18.562

3.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO PARA LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR

Una vez realizado el estudio al sistema de iluminación actual y comprobar el incumplimiento de los índices establecidos por la norma COVENIN 2249-93, se propone un nuevo sistema de iluminación en todas las áreas de la institución, implementando lámparas de tecnología LED que permitan un mejoramiento en cuanto a iluminación, eficiencia energética y estética se refiere. Las luminarias a implementar son fabricadas por la marca PHIPLIS catalogadas por ser una marca innovadora en el área.

3.2.1 Sistema de iluminación propuesto para oficinas

Para las oficinas de la Alcaldía del municipio Libertador se proponen los siguientes tipos de luminarias, que mejoran estéticamente la apariencia del área y a su vez permiten iluminar de manera adecuada las oficinas. Las características eléctricas se muestran a continuación;

Tabla 3.6 Luminaria Philips SM350C propuesta para las oficinas
Fuente: Autor.


SM350C 40S/840 PSD PCS L1200 ALU 	Características	
	Color de la fuente de luz	840 blanco neutro
	Flujo lumínico inicial	4.000 lm
	Potencia de entrada	30W
	Eficacia de la luminaria LED inicial	133 lm / W
	Corriente de arranque	23,1 A
	Dimensiones	70 x 70 x 1127 mm

Tabla 3.7 Luminaria Philips RC340B propuesta para las oficinas
Fuente: Autor.

RC340B W60L60 LED36S/940 O 	Características	
	Color de la fuente de luz	940 blanco neutro
	Flujo lumínico inicial	3.600 lm
	Potencia de entrada	29 W
	Eficacia de la luminaria LED inicial	124 lm / W
	Corriente de arranque	22 A
	Dimensiones	60 x 597 x 597 mm

Los equipos propuestos poseen una potencia máxima de entrada de 220V, elementos con los cuales se realizan las simulaciones por sus características de potencia y flujo lumínico, pero existen diferentes equipos que permiten lograr lo esperado. A continuación, se presenta el diseño de la Oficina de Obras Públicas de la Alcaldía, simulada con la herramienta DIALUX, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la norma COVENIN en su sección 2249-93.

Las luminarias propuestas para la oficina de obras públicas de la Alcaldía son Philips SM350C L1200 PSD PCS 40S/840 NO, el sistema está integrado por 13 luminarias de este tipo, generando una iluminancia media de 755 lux y una eficiencia energética de 0,94; cumpliendo con lo establecido en la norma. A continuación, se muestra la simulación del área mediante DIALUX.

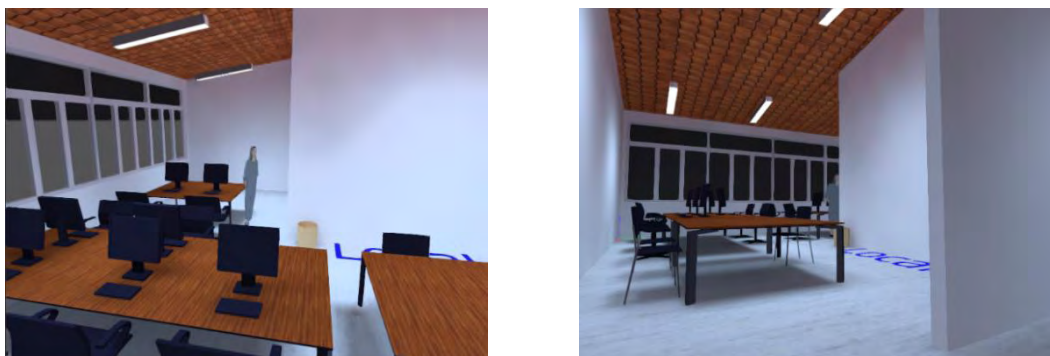


Figura 3.7 Sistema de Iluminación propuesto para la oficina de Obras Públicas.

Fuente: Autor

Los índices de iluminación media e índice de eficiencia energética de las oficinas de la Alcaldía, se muestran a continuación;

Tabla 3.8 Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,

Fuente: Autor.

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesto (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Obras Publicas	SM350C L1 2000 40S/840	755	500 – 1.000	0,94	3
Conserva-ción ambiental	SM350C L1 2000 40S/840	673	500 – 1.000	0,49	3
Secretaria de conserva-ción ambiental	SM350C L1 2000 40S/840	567	500 – 1.000	0,45	3
Jefe de conservación ambiental	SM350C L1 2000 40S/840	581	500 – 1.000	0,47	3
Gerencia de ordenamiento territorial	SM350C L1 2000 40S/840	736	500 – 1.000	0,47	3
Secretaria de ordenamiento territorial	SM350C L1 2000 40S/840	864	500 – 1.000	0,51	3
Administración de Sergidesol	SM350C L1 2000 40S/840	785	500 – 1.000	0,59	3
Ingeniería Municipal	SM350C L1 2000 40S/840	776	500 – 1.000	0,53	3
Asesoría Legal	SM350C L1 2000 40S/840	615	500 – 1.000	1,12	3
Permiso-logía	SM350C L1 2000 40S/840	640	500 – 1.000	1,09	3
Secretaria de Permiso-logía	SM350C L1 2000 40S/840	697	500 – 1.000	1,17	3
Jefe de Planifica-ción	SM350C L1 2000 40S/840	576	500 – 1.000	0,54	3
Sindicato trabajado-res	SM350C L1 2000 40S/840	631	500 – 1.000	0,50	3

**Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,
Fuente: Autor.**

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesta (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Determinación	SM350C L1 2000 40S/840	634	500 – 1.000	0,51	3
Contraloría Principal	SM350C L1 2000 40S/840	736	500 – 1.000	0,45	3
Contralor Principal	SM350C L1 2000 40S/840	691	500 – 1.000	0,52	3
Despacho Contraloría	SM350C L1 2000 40S/840	590	500 – 1.000	0,52	3
Servicios Públicos	SM350C L1 2000 40S/840	717	500 – 1.000	0,31	3
Cemente-rio	SM350C L1 2000 40S/840	807	500 – 1.000	0,48	3
Patrimonio histórico	SM350C L1 2000 40S/840	847	500 – 1.000	0,65	3
Sala técnica de proyectos	SM350C L1 2000 40S/840	670	500 – 1.000	0,43	3
Jefe sala técnica de proyectos	SM350C L1 2000 40S/840	774	500 – 1.000	0,62	3
Gerencia Presupuesto	SM350C L1 2000 40S/840	650	500 – 1.000	0,41	3
Jefe de Gerencia Presupuesto	SM350C L1 2000 40S/840	769	500 – 1.000	0,38	3
Gerencia de vialidad	SM350C L1 2000 40S/840	662	500 – 1.000	0,41	3
Contrataciones publicas	SM350C L1 2000 40S/840	648	500 – 1.000	0,71	3
Consulta-ría Jurídica	SM350C L1 2000 40S/840	670	500 – 1.000	0,33	3
Catastro	RC34OB W60L60 O LED365/940	750	500 – 1.000	0,42	3
Secretaria de Catastro	RC34OB W60L60 O LED365/940	649	500 – 1.000	0,53	3
Jefe de catastro	RC34OB W60L60 O LED365/940	553	500 – 1.000	1,32	3
Recursos humanos	RC34OB W60L60 O LED365/940	711	500 – 1.000	1,21	3
Secretaria de recursos humanos	RC34OB W60L60 O LED365/940	650	500 – 1.000	1,64	3
Archivo de recursos humanos	RC34OB W60L60 O LED365/940	275	100-200	1,32	4

**Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,
Fuente: Autor.**

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesta (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Jefe Recursos Humanos	RC34OB W60L60 O LED365/940	572	500 – 1.000	1,22	3
Gerencia de administración	RC34OB W60L60 O LED365/940	551	500 – 1.000	1,22	3
Jefe de Gerencia de administración	RC34OB W60L60 O LED365/940	563	500 – 1.000	1,71	3
Depósito de Compras	RC34OB W60L60 O LED365/940	193	100-200	1,61	4
Caja de ahorro	RC34OB W60L60 O LED365/940	567	500 – 1.000	1,30	3
Gerente General	RC34OB W60L60 O LED365/940	634	500 – 1.000	0,94	3
Secretaria General	RC34OB W60L60 O LED365/940	643	500 – 1.000	1,11	3
Despacho del Alcalde	RC34OB W60L60 O LED365/940	561	500 – 1.000	1,38	3
Secretaria privada	RC34OB W60L60 O LED365/940	698	500 – 1.000	1,45	3
Sala de espera	RC34OB W60L60 O LED365/940	127	100-200	0,24	3
Coordinación despacho	RC34OB W60L60 O LED365/940	527	500 – 1.000	1,44	3
Recepción de Compras	RC34OB W60L60 O LED365/940	670	500 – 1.000	0,75	3
Jefe de Compras	RC34OB W60L60 O LED365/940	675	500 – 1.000	0,45	3
Tesorería	RC34OB W60L60 O LED365/940	645	500 – 1.000	1,36	3
Contabilidad	RC34OB W60L60 O LED365/940	572	500 – 1.000	1,27	3
Atención al Ciudadano	RC34OB W60L60 O LED365/940	714	500 – 1.000	1,46	3

**Tabla 3.8 (Continuación) Sistema de Iluminación propuesto para las oficinas de la Alcaldía,
Fuente: Autor.**

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesta (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Desarrollo social	RC34OB W60L60 O LED365/940	608	500 – 1.000	1,36	3
Samat	RC34OB W60L60 O LED365/940	594	500 – 1.000	0,78	3
Recepción Samat	RC34OB W60L60 O LED365/940	215	200-500	0,94	6
Caja Samat	RC34OB W60L60 O LED365/940	825	500 – 1.000	1,05	3
Recepción de la Alcaldía	RC34OB W60L60 O LED365/940	244	200-500	2,35	6
Prensa	RC34OB W60L60 O LED365/940	620	500 – 1.000	1,58	3
Jefe de Prensa	RC34OB W60L60 O LED365/940	779	500 – 1.000	1,85	3
Sergidesol	RC34OB W60L60 O LED365/940	569	500 – 1.000	1,24	3
Caja Sergidesol	RC34OB W60L60 O LED365/940	523	500 – 1.000	1,32	3
Sindicato Obreros	RC34OB W60L60 O LED365/940	664	500 – 1.000	1,65	3
Depósito de Compras 2	RC34OB W60L60 O LED365/940	155	100-200	1,37	4
Archivo	RC34OB W60L60 O LED365/940	294	100-200	1,11	4
Bienes Ambientales	RC34OB W60L60 O LED365/940	776	500 – 1.000	1,48	3

3.2.2 Sistema de iluminación propuesto para salón de reuniones

El salón Mérida de la Alcaldía es un espacio dedicado a realizar conferencias, ponencias, exposiciones o distintos eventos para el disfrute y mejoras del municipio Libertador, por lo que se propone un sistema de iluminación integrado por luminarias de tipo colgantes SM350C L1 2000 40S/840, las cuáles garantizaran que quienes disfrutan de los eventos realizados en este salón pueden tener la satisfacción de contar con niveles óptimos en la iluminación del lugar, así como el índice de eficiencia energética adecuado, en este caso es 8. La tabla 3.9 se muestran las del sistema propuesto.

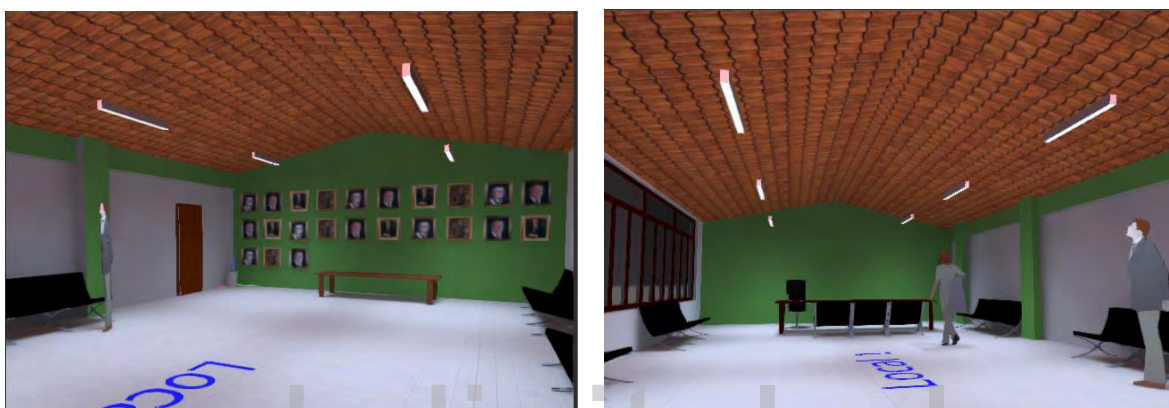


Figura 3.8 Sistema de Iluminación propuesto para el salón Mérida de la Alcaldía
Fuente: Autor

Tabla 3.9 Sistema de Iluminación propuesto para el salón de Mérida
Fuente: Autor.

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesto (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Salón Mérida	SM350C L1 2000 40S/840	260	200-500	0,91	8

3.2.4 Sistema de iluminación propuesto para pasillos

Los pasillos ubicados en la planta baja de la institución contarán con luminarias empotradas tipo SM350C L1 2000 40S/840, mientras que los pasillos de la primera planta contarán con luminarias colgantes tipo RC34OB W60L60 O LED365/940, usando las luminarias descritas anteriormente en los pasillos, se cumple con la iluminancia media recomendada, todas estas características se muestran en la tabla 3.10

Tabla 3.11 Sistema de iluminación propuesto para los pasillos de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesta (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Pasillo A	SM350C L1 2000 40S/840	196	100- 200	2,96	6
Pasillo B	SM350C L1 2000 40S/840	202	100- 200	1,57	6
Pasillo C	SM350C L1 2000 40S/840	179	100- 200	1,71	6
Pasillo D	RC34OB W60L60 O LED365/940	189	100- 200	0,29	6
Pasillo E	RC34OB W60L60 O LED365/940	192	100- 200	2,04	6
Pasillo F	RC34OB W60L60 O LED365/940	124	100- 200	2,03	6
Pasillo G	RC34OB W60L60 O LED365/940	141	100- 200	1,01	6
Pasillo del departamento de Salud	RC34OB W60L60 O LED365/940	192	100- 200	2,49	6
Patio Central	BVP651 T25 DX0 LED450/740	154	100- 200	1,8	6

3.2.5 Sistemas de iluminación propuesto para consultorios

En el área de salud es importante contar con la iluminación adecuada, esto se logrará con luminarias empotradas RC34OB W60L60 O LED365/940 las cuales garantizaran los niveles de iluminación adecuados en esta importante área de la Alcaldía. En la tabla 3.12 puede observarse que se cumple con la iluminación recomendada y con el índice de eficiencia energética.

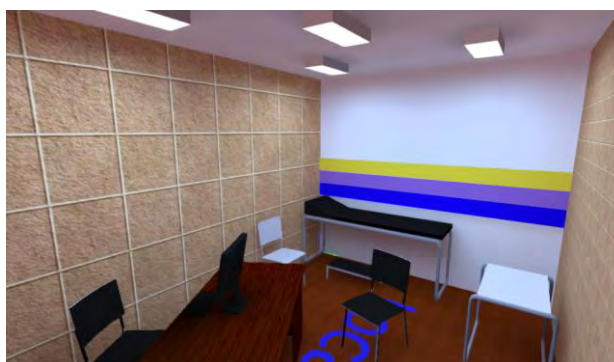


Figura 3.9 Sistema de Iluminación propuesto para el consultorio 1 de medicina general
Fuente: Autor

Tabla 3.12 Sistema de iluminación propuesto para el área de salud de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesto (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Consultorio 1 de medicina general	RC34OB W60L60 O LED365/940	638	500- 1000	1,2	8
Consultorio 2 de medicina general y laboral	RC34OB W60L60 O LED365/940	758	500- 1000	1,78	8
Consultorio 3 de Odontología	RC34OB W60L60 O LED365/940	637	500- 1000	1,66	8

3.2.6 Sistema de iluminación propuesto para estacionamientos

Para los estacionamientos de la Alcaldía del municipio Libertador, se proponen los siguientes tipos de luminarias;

- BDS492 T25 DV GNB LED90/722 con potencia 76 W y flujo luminoso de 7.091 lm



Figura 3.10 Luminaria Philips BSD492 propuesto para los estacionamientos
Fuente: Autor

- BVP651 T25 S LED450/740 NO, una potencia de 275 W y un flujo luminoso de 39.095 lm.



Figura 3.11 Luminaria Philips BVP651 propuesto para los estacionamientos
Fuente: Autor

- RC531B PSD W8L120 NOC LED15S/-, potencia es de 15 W y flujo luminoso de 1.501 lm.



Figura 3.12 Luminaria Philips RC531B propuesto para los estacionamientos
Fuente: Autor

A continuación, se presenta el sistema de iluminación propuesto para los estacionamientos A y B de la Alcaldía del municipio libertador.



Figura 3.13 Sistema de Iluminación propuesto para los estacionamientos A/B de la Alcaldía
Fuente: Autor

Tabla 3.13 Sistema de iluminación propuesto para los estacionamientos de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Tipo de Luminaria	Iluminación media propuesto (lux)	Iluminación recomendada (lux)	IEEE Propuesto (W/m^2)	IEEE Recomendado (W/m^2)
Estacionamiento A y B	BVP651 T25 DX0 LED450/740 BDS492 T25 DV GNB LED90/722 RC531B PSD W8L120	30,2	20-50	1,92	5
Estacionamiento C	BVP651 T25 DX0 LED450/740	22,9	20-50	3,08	5
Estacionamiento D	BVP651 T25 DX0 LED450/740	48,9	20-50	3,03	5
Estacionamiento E	BVP651 T25 DX0 LED450/740	37,6	20-50	1,78	5
Estacionamiento F	BVP651 T25 DX0 LED450/740	45,1	20-50	1,93	5

El sistema de iluminación propuesto cumple con lo establecido en la norma COVENIN en su sección 2249-93, para iluminación en áreas de trabajo, así como también, los índices de eficiencia energética recomendados.

En la siguiente tabla, se realiza un estudio de potencia de cada una de las lámparas propuestas tomando en cuenta la ficha técnica proporcionada, una vez validado el consumo de las lámparas propuestas se multiplica por la cantidad de lámparas establecidas en cada uno de los casos y se realiza una sumatoria para conocer la potencia total del sistema propuesto para la Alcaldía del municipio Libertador.

Tabla 3.14 Potencia de sistema de iluminación propuesto para la Alcaldía
Fuente: Autor.

Tipo de Luminaria	Cantidad	Potencia por lámpara (W)	Potencia total (W)
SM350C L1 2000 40S/840	109	30	3270
RC34OB W60L60 O LED365/940	215	29	6235
BVP651 T25 DX0 LED450/740	11	275	3025
BDS492 T25 DV GNB LED90/722	5	76	380
RC531B PSD W8L120 NOC LED15S/-N0	1	15	15
Total			12.925

Según la tabla 3.5 y la tabla 3.14 se observa, que el sistema de iluminación propuesto, consume un 30% menos de energía eléctrica que el sistema actual, lo que permite generar un ahorro energético significativo, caracterizándose por ser un sistema eficiente.

CAPÍTULO IV

ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA EN LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR

El presente capítulo describe detalladamente el cálculo de la energía consumida en la Alcaldía del Municipio Libertador. El consumo energético es determinado con la finalidad de ser utilizada para establecer la demanda máxima de la alcaldía del municipio Libertador, en el que se presenta el diseño de un sistema fotovoltaico propuesto para la institución.



Figura 4.1 Entrada de la Alcaldía del municipio libertador
Fuente: Autor

4.1 CARGA INSTALADA

Para determinar la carga conectada en la institución, se realiza un recorrido por las áreas que la integran, tomando nota de los equipos conectados y en funcionamiento, así como también de los parámetros eléctricos de los mismos. La Alcaldía del municipio Libertador cuenta con 3 plantas, sótano, planta baja o primer piso y planta alta o segundo piso. A continuación, se muestra la tabla 4.1 donde se muestra la ubicación de cada área según la planta o piso correspondiente y los equipos conectados. Los parámetros eléctricos son tomados de la ficha técnica de cada equipo.



Figura 4.2 Equipos conectados en la Alcaldía del municipio Libertador

Fuente: Autor

Tabla 4.1 Equipos conectados según áreas de la Alcaldía

Fuente: Autor.

Área	Equipos conectados	
	Cantidad de Equipos	Tipo de equipo
2da Planta		
Obras Publicas	9	Equipo de escritorio
	1	Impresora
	1	Cafetera
	1	Filtro de agua
Jefe de Obras Publicas	1	Equipo de escritorio
	1	Fotocopiadora
Archivo de Obras Publicas	1	Equipo de escritorio
	1	Fotocopiadora
Conservación ambiental	3	Equipo de escritorio
Secretaria de conservación ambiental	1	Equipo de escritorio
Jefe de conservación ambiental	1	Equipo de escritorio
Gerencia de ordenamiento territorial y urbanístico	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera

Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Equipos conectados	
	Cantidad de Equipos	Tipo de equipo
Secretaría de ordenamiento territorial	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Administración de Sergidesol	3	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
Ingeniería municipal	2	Equipo de escritorio
Asesoría Legal	1	Equipo de escritorio
Permisología	1	Equipo de escritorio
Secretaría de Permiso-logía	2	Equipo de escritorio
Jefe de Planificación	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
Sindicato de trabajadores	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
Determinación	2	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
Contraloría Principal	1	Equipo de escritorio
Contralor Principal	1	Equipo de escritorio
Despacho Contraloría	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetería
	1	Impresora
Servicios Públicos	1	Equipo de Escritorio
	1	Impresora
Cementerio	1	Equipo de escritorio
Patrimonio histórico	1	Equipo de escritorio
Sala técnica de proyectos	5	Equipo de escritorio
	1	Impresora
	1	Cafetera
Jefe de sala técnica de proyectos	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Gerencia de presupuesto	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
Jefe de Gerencia de presupuesto	1	Equipo de escritorio
Gerencia de vialidad	10	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Contrataciones publicas	2	Equipo de escritorio
Consultoría Jurídica	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
	1	Impresora
1era Planta		
Catastro	8	Equipo de escritorio
	1	Impresora
	1	Cafetera
Secretaría de Catastro	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora

Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Equipos conectados	
	Cantidad de Equipos	Tipo de equipo
Jefe de Catastro	1	Equipo de escritorio
	1	Cafetera
	1	Impresora
Recursos Humanos	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Secretaria de Recursos Humanos	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Jefe de recursos humanos	1	Equipo de escritorio
Gerencia de Administración	2	Equipo de escritorio
Jefe de Gerencia Administración	1	Equipo de escritorio
Caja de Ahorro	2	Equipo de escritorio
	1	Microondas
	1	Filtro de agua
Gerente General	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Secretaria General	1	Equipo de escritorio
Sala de Espera	1	Filtro de agua
Coordinación despacho	1	Equipo de escritorio
Despacho del Alcalde	1	Equipo de escritorio
	1	Microondas
	1	Cafetera
	1	Impresora
	1	Aire Acondicionado 12.000 BTU
Recepción Compras	1	Equipo de escritorio
Jefe Compras	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Tesorería	2	Equipo de escritorio
	1	Impresora
	1	Cafetera
Contabilidad	2	Equipo de escritorio
	2	Impresora
Atención de Ciudadano	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Desarrollo Social	3	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Samat	5	Equipo de escritorio
	3	Impresora
	1	Cafetera
Recepción Samat	1	Equipo de escritorio
Caja Samat	3	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Recepción Alcaldía	1	Equipo de escritorio
Prensa	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora

Tabla 4.1 (Continuación) equipos conectados según áreas de la Alcaldía
Fuente: Autor.

Área	Equipos conectados	
	Cantidad de Equipos	Tipo de equipo
Jefe de Prensa	1	Equipo de escritorio
Sergidesol	8	Equipo de escritorio
Caja Sergidesol	2	Equipo de escritorio
Sótano		
Sindicato de Obreros		
Depósito de Compras 2	1	Equipo de escritorio
Bienes Ambientales	1	Equipo de escritorio
	1	Impresora
Departamento de Salud		
Consultorio 1 Medicina General	1	Equipo de escritorio
Consultorio 2 Medicina General	1	Equipo de escritorio
Consultorio 2 odontológico	1	Silla odontológica
	1	Equipo de escritorio
	1	Compresor

Para determinar la carga conectada, se calcula la potencia eléctrica según cada tipo de equipo, como se observa en la siguiente tabla 4.2

Tabla 4.2 Carga conectada en la Alcaldía del municipio libertador
Fuente: Autor.

Equipo	Cantidad de equipos	Potencia por equipo (W)	Potencia Total (W)
Equipo de Escritorio	113	200	22.600
Impresora	28	100	2.800
Cafetera	15	600	9.000
Fotocopiadora	2	650	1.300
Filtro de Agua	3	110	330
Aire Acondicionado 12.000 BTU	1	3.516	3.516
Aire Acondicionado 24.000	1	7.643	7.643
Microondas	2	900	1.800
Silla Odontológica	1	900	900
Compresor de Aire 1 HP	1	750	750
Total (W)			47.839

Para la Alcaldía del municipio Libertador la carga conectada será la establecida en la tabla 4.2 y agregando la carga que representa el sistema de iluminación propuesto, como se observa a continuación;

$$C = 47.839 + 12.925 = 60.764 W$$

4.2 CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR.

En términos generales, para determinar el consumo eléctrico diario que existe actualmente la Alcaldía del municipio Libertador se consideran los equipos que se encuentran en funcionamiento y para ello se debe utilizar la siguiente ecuación para cada tipo de equipo;

$$C_e = P_E * H * CE [W.h/día]; \quad (4.1)$$

Donde;

- **C_e**: Consumo eléctrico por equipo
- **P_E**: Potencia por equipo
- **H**: Horas de uso al día
- **CE**: Cantidad de equipos del mismo tipo

Tabla 4.3 Estimación de consumo energético de la Alcaldía del municipio Libertador
Fuente: Autor.

Equipo	Cantidad de equipos	Potencia por equipo (W)	Horas de uso al día	Consumo Diario (W.h)
Equipo de Escritorio	89	200	8	142.400
Impresora	28	100	1	2.800
Cafetera	15	600	1	9.000
Fotocopiadora	2	775	1	1.550
Filtro de Agua	3	110	7	2.310
Aire Acondicionado 12.000 BTU	1	3.516	3	10.548
Aire Acondicionado 24.000	1	7.643	3	22.929
Microondas	2	764	1	1.528
Silla Odontológica	1	900	3	2.700
Compresor de Aire 1 HP	1	750	3	2.250
Sistema de Iluminación	12.925		6	77.550
Total (kW.h/día)				275,565

4.3 CARGA ELÉCTRICA PRIORITARIA DE LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR

En vista de que el objetivo principal de la presente investigación, consiste en el dimensionamiento un sistema fotovoltaico de respaldo que permita alimentar la carga conectada en la Alcaldía del municipio Libertador, se propone establecer como prioritaria parte de la carga eléctrica existente actualmente, de tal manera que esta pueda ser energizada al momento de cortes eléctricos.

En vista de que, en la realidad, toda la carga eléctrica de la institución no se encuentra conectada ni en funcionamiento, esta es representada como carga eléctrica prioritaria tomando en cuenta que se desea establecer un sistema de respaldo en cual solo serán alimentados los equipos que permitan el mínimo funcionamiento de la alcaldia.

Tabla 4.4 Carga prioritaria de la Alcaldía del municipio libertador
Fuente: Autor.

Equipo	Cantidad de equipos	Potencia por equipo (W)	Horas de uso al día	Consumo Diario (W.h)	Porcentaje de Carga (%)
Equipo de escritorio	60	200	8	96.000	68
Impresora	28	100	1	2.800	100
Cafetera	7	600	1	4.200	47
Fotocopiadora	2	775	1	1.550	100
Filtro de agua	3	110	7	2.310	100
Microondas	2	764	1	1.528	100
Silla odontológica	1	900	3	2.700	100
Compresor de aire 1 HP	1	750	3	2.250	100
Sistema de iluminación	10.438		8	83.504	80
Total (kW.h/día)				196,842	75

CAPITULO V

PROPUESTA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ALCALDIA DEL MUNICIPIO LIBERTADOR

En el capítulo siguiente, se presenta el diseño del sistema fotovoltaico propuesto para la Alcaldía del municipio Libertador, que tiene como finalidad, permitir que la institución pueda seguir en funcionamiento aun cuando existan fallas en el sistema eléctrico nacional; así como también, contribuir de manera significativa con el medio ambiente, implementando energías renovables, disminuyendo así los gases de efecto invernadero.

Para la Alcaldía del municipio Libertador, se propone un sistema que combine la tecnología de la energía solar y de la red eléctrica, así como también la posibilidad de almacenamiento de energía, categorizándolo como un sistema fotovoltaico híbrido. Su funcionamiento parte de la utilización de la energía solar, que se transforma en energía eléctrica que alimenta las cargas conectadas en la institución, el aprovechamiento de la energía será por determinadas horas del día, cuando la energía solar se presenta en su punto máximo, en periodos nocturnos o cuando la energía solar es casi nula, las cargas serán alimentadas con energía de la red. En vista de que el sistema eléctrico nacional frecuentemente presenta fallas, causando cortes eléctricos por periodos largos de tiempo, se propone un sistema de almacenamiento, que entraría en funcionamiento en periodos como el anteriormente mencionado, lo que permitirá a la institución seguir en funcionamiento ante las fallas de la red. El sistema fotovoltaico propuesto se divide en cinco etapas; como se observa a continuación, según Figura 5.1;

- Carga
- Sistema de Captación
- Sistema de Conversión
- Sistema de Almacenamiento
- Canalizaciones

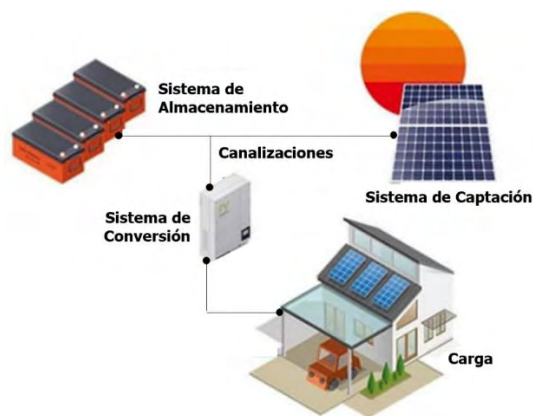


Figura 5.1 Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido
Fuente: Autor

5.1 Carga

La carga que el sistema fotovoltaico debe alimentar viene determinada por el consumo eléctrico que existe actualmente en la Alcaldía del municipio Libertador, como se describió en el capítulo anterior, la carga prioritaria a alimentar es la siguiente;

$$C_p = 196.8425 \text{ W.h/día}$$

En vista de que el sistema genera pérdidas en cada una de sus etapas según los elementos conectados (Tabla 5.1), se establece un valor **P** para el sistema diseñado, como se observa a continuación; este parámetro, permitirá obtener una carga de diseño, superior a la prioritaria que garantice que este sistema fotovoltaico pueda alimentar la carga independientemente de las pérdidas.

Tabla 5.1 Coeficientes de pérdidas de los elementos del sistema fotovoltaico propuesto

Coefficiente de auto-descargas de las baterías -Baterías de litio	0.005
Coefficiente de Pérdidas debidas al rendimiento del acumulador -Sistemas que no producen descargas internas	0.05
Coefficientes de pérdidas del inversor -Inversores de salida sinusoidal pura	0.005
Coefficientes de pérdidas varias	0.1
Profundidad de descarga de 60%	0.6
Días de autonomía	1
Coefficiente de pérdidas total (R)	0.8379

Aplicando la siguiente ecuación;

$$C_s = \frac{C_p}{R} \text{ [kWh/día]}; \quad (5.1)$$

Donde:

- C_S : Carga que debe alimentar el sistema

Por lo tanto, se tiene;

$$C_S = 234,923 \text{ [kWh/día]}$$

5.2 Sistema de captación

El sistema de captación está integrado por la unión de paneles fotovoltaicos que reciben la energía solar y la transforman en energía eléctrica, para determinar la cantidad de paneles que requiere el sistema, se evalúan diversos parámetros geográficos y meteorológicos de la situación, lo que permitirá conocer la temperatura y la radiación incidente en el lugar para calcular las horas solar pico, que indican la cantidad de horas al día en que el sistema estará en su máximo punto de producción.

La cantidad de paneles a conectar se determinan con la siguiente ecuación;

$$P = \frac{C_S}{HSP \times PP} ; \quad (5.2)$$

Donde;

- CS : Carga real del sistema
- PP : Potencia pico del panel seleccionado
- HSP : Horas solar pico

5.2.1 Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas representan un sistema de referencia que permite que cada ubicación en la Tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos [22]. Mediante el software Google Maps, se determinan las coordenadas de la Alcaldía del municipio Libertador, como se observa a continuación;

Tabla 5.2 Coordenadas geográficas de la Alcaldía del municipio libertador
Fuente: Autor

Grados	Latitud	Longitud
Decimales	8.5858 °	-71,16808 °

5.2.2 Ángulo recomendado

Para sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica, se recomienda que el ángulo de inclinación de los paneles se defina de acuerdo con la ecuación siguiente [23].

$$\beta = 3,7 + 0,69 (L); \quad (5.3)$$

Donde;

- β : Ángulo de inclinación recomendado
- L : Latitud de la Alcaldía

Para una latitud de 8.5858° , el ángulo de inclinación será;

$$\beta = 9,6243^\circ$$

Es importante destacar que la Alcaldía posee un tejado a dos aguas con un ángulo de inclinación de $9,09^\circ$ y será allí donde se instalaran los paneles fotovoltaicos, por ello se debe considerar el ángulo que el tejado posee para aprovecharlo o ajustarlo según las necesidades de los paneles. Figura 5.2

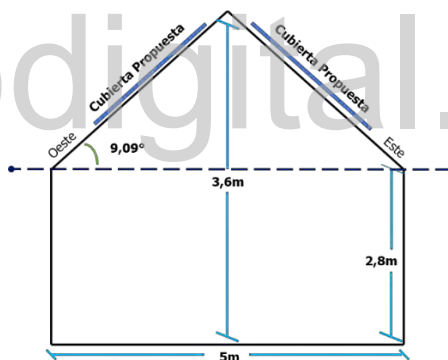


Figura 5.2 Características de la cubierta propuesta para la implantación del generador fotovoltaico
Fuente: Autor

5.2.3 Temperatura

La temperatura en el municipio Libertador oscila desde 14° a 25°C aproximadamente, según (Referencia). La importancia de la determinación de la temperatura radica en la variación de la eficiencia de los equipos que integran el sistema fotovoltaico.

5.2.4 Radiación solar

Según [23] para sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica, se recomienda que la radiación a considerar para su dimensionamiento es la radiación promedio mensual sobre una superficie horizontal. Mediante la aplicación oficial PVGIS desarrollada por la Unión

Europea que permite calcular la producción fotovoltaica en cualquier zona de Europa, Asia y América, se calcula la radiación sobre una superficie horizontal incidente en la Alcaldía del municipio Libertador.

Para determinar la radiación promedio mensual, la aplicación PVGIS toma en cuenta todos los factores influyentes en la radiación solar, desde los más obvios (irradiación, temperaturas e inclinación de la localización) a los más difusos (correcciones por albedo, sombras suciedad, tipo de modulo o inversor) y dan como resultados distintos tipos de radiaciones (directa, difusa y de albedo) , por ello este cálculo es tan específico, los datos arrojados por la aplicación se expresan de la siguiente manera;

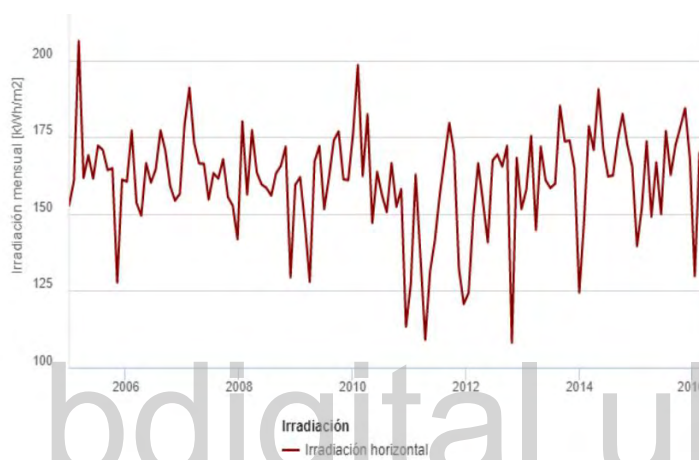


Figura 5.3 Radiación sobre una superficie horizontal en la Alcaldía del municipio Libertador según PVGIS.
Fuente: Autor

Tabla 5.3 Coordenadas geográficas de la Alcaldía del municipio libertador
Fuente: Autor

Mes (kW.h/m ²)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	179.17	180.04	161.95	198.38	162.73	150.05	175.33	178.51	173.56
Febrero	191	156.32	146.84	162.35	136.22	166.45	144.84	170.81	149.11
Marzo	172.98	177.21	127.92	182.37	109.13	153.78	171.83	190.47	166.73
Abril	166.41	163.45	167.04	147.12	131.3	140.77	160.95	171.32	149.98
Mayo	166.32	159.57	172.04	163.68	141.42	167.38	158.41	162.17	176.94
Junio	154.7	158.41	151.56	156.23	156.01	169.31	159.86	162.49	162.66
Julio	163.23	155.95	161.94	150.58	167.78	165.42	185.14	174.17	172.36
Agosto	161.51	163.18	173.89	166.5	179.56	172.12	173.55	182.51	178.18
Septiembre	167.74	165.64	176.83	152.33	169.82	108.15	173.82	172.35	184.34
Octubre	155.47	171.85	161.24	158.01	132.14	168.16	164.83	165.5	167.76
Noviembre	152.7	129.4	160.97	113.37	120.72	151.58	124.43	139.53	129.78
Diciembre	141.78	159.43	176.11	127.3	124.25	157.84	147.68	151.94	169.92

Considerando el año 2015, como última actualización de la aplicación, se determina la radiación promedio mensual, que serían 165,11 kW.h/m², para obtener la radiación

promedio diaria se divide la radiación promedio mensual entre 30 días, obteniendo el siguiente resultado

$$\text{Radiacion Global (G)} = 5,05 \text{ kW.h/m}^2/\text{dia}$$

5.2.5 Horas solar pico

Las horas solar pico, representan la cantidad de horas al día que el sistema de captación recibiría mayor radiación solar, por lo tanto, estará en su punto máxima de producción, garantizando la energía eléctrica que requiere el sistema. La ecuación para determinar estas horas se observa a continuación;

$$\text{HSP} = C \times G \left[\frac{h}{\text{dia}} \right] \quad (5.4)$$

El valor de G se conoce como radiación global y C depende de la latitud y la inclinación del panel, según lo establece [23].

Tabla 5.4 Factor de corrección según inclinación de los paneles y latitud de la ubicación

Fuente: Autor

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10	1,05	1,03	1	0,97	0,95	0,94	0,95	0,97	1,01	1,04	1,06	1,06

Tomando en consideración los datos del estudio realizado en PVGIS para el año 2015, donde se observa el peor mes del año en cuanto a la irradiación es el mes de noviembre, para una latitud de 8° y una inclinación de 9°, el coeficiente C es 1.06; obteniendo como horas solar pico para la Alcaldía del municipio Libertador 5,83 kW.h/m²/dia, dividiendo entre 1.000 [W/m²], se obtiene:

$$\text{HSP} = 5,83 \text{ h/dia}$$

5.2.6 Ubicación de los paneles fotovoltaicos

El generador fotovoltaico debe estar ubicado en un área en la que se pueda aprovechar al máximo la radiación solar, para optimizar así la producción, evitando sombras y acumulación de sucio. Los paneles deber ir orientados al ecuador, por lo que, en el presente

caso, deben ir orientados al sur. El área que se propone para la instalación de los paneles fotovoltaicos se muestra en la siguiente figura 5.4

Se trata de una cubierta de dos aguas, con orientaciones Este – Oeste, con un área disponible de 324 m^2 . Se desea aprovechar la cubierta y su inclinación a pesar que su orientación no está directamente hacia el sur.



Figura 5.4 Cubierta propuesta para la instalación de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Autor

5.2.7 Generador Fotovoltaico

En vista de que se requiere aprovechar el área disponible para la instalación del generador fotovoltaico, se propone un módulo fotovoltaico de alta potencia, como es el caso del Jinko Solar 570W, que ocupa un área de 324 m^2 aproximadamente [24]. Para determinar la cantidad de módulos que requiere el sistema, se aplica la ecuación 4.2, obteniendo

$$P = \frac{234.923 \text{ W.h/día}}{5,83 \text{ h/día} \times 570\text{W}}$$

$$P = 71 \text{ Paneles}$$

Lo que indica que se deben instalar 71 paneles fotovoltaicos para alimentar la carga real de la Alcaldía del municipio Libertador, para conocer el tipo de conexión que tendrán estos paneles, la corriente y la tensión y potencia máxima DC permitida por el inversor son factores determinantes. Las especificaciones técnicas del módulo propuesto, se muestran a continuación.



Figura 5.5 Panel Mono-facial JINKO SOLAR tipo JKM570M-7RL4-V

Fuente: [24].

Tabla 5.5 Características del panel JKM570M

Fuente: [24].

Panel Mono-facial tipo JKM570M-7RL4-V	
Características Mecánicas	
Tipo de célula	Mono cristalina
No. de células	156 (2 x 78)
Dimensiones	2411 x 1134 x35 mm
Peso	31,1 Kg
Cristal frontal	3,2 mm, revestimiento anti reflexión
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Especificaciones	
Potencia máxima (Pmax)	570 Wp
Tensión de máxima potencia (Vmp)	43,89 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	12,99 A
Tensión de circuito abierto (Vca)	53,09 V
Corriente de corto circuito (Icc)	13,64 A
Eficiencia del modulo	20,85%
Temperatura de operación	-40°C - +85°C
Tensión máxima del sistema	1500 VDC
Clasificación máxima de fusibles en serie	25 A
Potencia tolerable	0 - +3%
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.35% / °C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.28% / °C
Coefficiente de temperatura de Isc	-0.048% / °C
Temperatura nominal de funcionamiento de la celda	45 ± 2 °C

5.3 Sistema de conversión

Está integrado por un grupo de inversores híbridos que permitirán convertir la corriente continua proveniente de los paneles a corriente alterna para alimentar las cargas existentes

en la institución. Este, a su vez, estará interconectado con el almacenamiento de energía, que servirá de respaldo para cuando existan fallas en el sistema eléctrico nacional.

Ya que el generador fotovoltaico está constituido por 71 paneles de 570W cada uno, la potencia de entrada es de 40,43 kW, por lo tanto, la potencia de los inversores a conectar debe ser mayor. Se propone utilizar 4 inversores híbridos Sol-Ark-12k conectados en paralelos, para obtener una potencia pico total 48Kw [25]. La selección de este inversor, se debe a la capacidad que posee para conectar sistemas de almacenamiento.

La ficha técnica del inversor se muestra a continuación;



Figura 5.6 Inversor Híbrido Sol-Ark-12k
Fuente: [25].

Tabla 5.6 Características del inversor Sol-Ark-12k
Fuente: [25].

Potencia de salida 12.000W	
Potencia fotovoltaica máxima permitida	8250 W
Potencia fotovoltaica máxima entregada a la batería y sálida CA	12.000W
Tensión CC máxima	500V-18 A, 450 V-20 A,
Rango de Voltaje MPPT	150-425 V
Tensión de Arranque	175 V
Numero de MPPT	2
Corriente CC máxima por MPPT	20 A-300V, 18 A-400 V
Baterías Potencia de Salida 8.000W	
Tipo	Plomo-acido o li.ion
Entrada CC nominal	48V
Capacidad	90 – 2000 Ah

5.3.1 Conexión generador fotovoltaico e inversor

Debido a que el inversor es el encargado de transformar la corriente continua que proviene del generador fotovoltaico, la conexión de este último, debe cumplir con las limitaciones en cuanto a tensión y corriente de entrada recibe el inversor, como se observan en la tabla.

El inversor seleccionado tiene 2 entradas (MPPT) para la conexión del generador fotovoltaico, por lo que, en total, se tendrían 8 entradas para conectar los paneles.

Por lo tanto, se recomienda la siguiente conexión;

- Por entrada (MPPT) 5 paneles en serie con 2 paralelos (Figura 5.7), para un total de 20 paneles por Inversor.

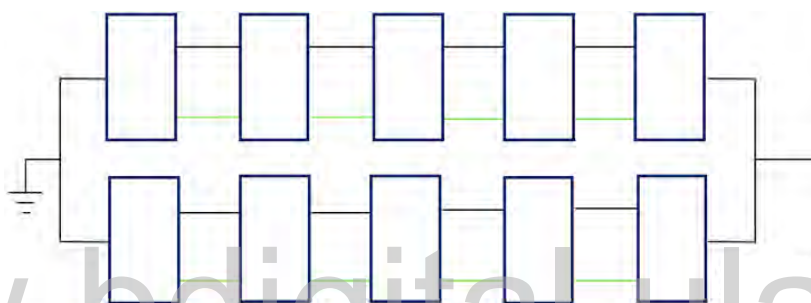


Figura 5.7 Conexión propuesta de los módulos fotovoltaicos

Fuente: Autor

Para 20 paneles por inversor, se totalizan 80 paneles para el sistema en general, permitiendo así un sistema de generación equilibrado. En la siguiente tabla, se comprueba el cumplimiento de tensión y corriente de admisión por parte del inversor;

Tabla 5.7 Conexionado modulo – inversor

Fuente: Autor

Inversor	String	Tensión del String (V)	Corriente del String (A)	Tensión Admisible Inversor (V)	Corriente Max Admisible Inversor (A)
Inversor 1	A	265,45	25,98	150 - 425	31,07
	B	265,45	25,98	150 - 425	31,07
Inversor 2	C	265,45	25,98	150 - 425	31,07
	D	265,45	25,98	150 - 425	31,07
Inversor 3	E	265,45	25,98	150 - 425	31,07
	F	265,45	25,98	150 - 425	31,07
Inversor 4	G	265,45	25,98	150 - 425	31,07
	H	265,45	25,98	150 - 425	31,07

Como se muestra en la tabla 5.7, la tensión máxima de los paneles es de 265,45 V, mientras que la tensión por MPPT es de 175 V a 425V, lo que indica que el esquema de conexión cumple en cuanto a la tensión; al revisar la corriente máxima de los paneles, esta es 27,28 A, mientras que la máxima del inversor es de 31,07 A, por tanto, el esquema de conexión cumple con ambos parámetros.

5.3.2 Implantación propuesta de los paneles fotovoltaicos

Se propone instalar los 80 paneles fotovoltaicos sobre la cubierta existente de la Alcaldía, se colocarán en estructura coplanar sobre las aguas norte y sur. La cubierta tiene un área disponible de $324 m^2$, al instalar estos paneles el área ocupada será $219 m^2$.

El área ocupada del generador fotovoltaico diseñado se determina mediante la suma del área de los paneles y la separación de los mismos, multiplicado por la cantidad de paneles a instalar. Se propone instalar los módulos en una estructura de aluminio triangular y orientados al Sur- este, como se muestra en la figura 5.8



Figura 5.8 Implantación de los paneles fotovoltaicos en cubierta
Fuente: Autor

5.4 Sistema de Almacenamiento

5.4.1 Baterías

El sistema de almacenamiento está integrado por las baterías, encargadas de almacenar la energía, para que el sistema entre en funcionamiento cuando existan fallas en el sistema eléctrico nacional, estas baterías pueden ser cargadas por la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos o por la red eléctrica.

Para el sistema propuesto, se recomiendan baterías de ion de litio, ya que estas almacenan más energía con menos espacio y peso, por tanto, son muy útiles para ser colocadas en espacios pequeños, también estas baterías requieren poco o casi nada de mantenimiento, no emiten gases tóxicos o contaminantes, tardan menos tiempo en cargarse y son de larga duración, la batería recomendada para este sistema es la siguiente:



Figura 5.9 Batería de Litio 3.5 kW Pylontech US3000 48V
Fuente: [26].

Tabla 5.8 Características de la batería Pylontech US3000
Fuente: [26].

Tensión nominal (V)	48
Capacidad nominal (Wh)	3.552
Dimensión (mm)	442 x 420 x 132
Peso (Kg)	32
Tensión de descarga (V)	44,5-53,5
Tensión de carga (V)	52,5-53,5
Carga/ descarga Corriente (A)	74 (max)

La capacidad total del sistema de almacenamiento, se determinan según la siguiente ecuación, considerando un día de autonomía y profundidad de descarga (P_D) de 60%.

$$C_t = \frac{C_S \times \text{Día}}{P_D} = \frac{234.923 \text{ kWh/día} \times 1 \text{ día}}{0.6 \times 1} = 391,53 \text{ kW.h}$$

De la ficha técnica [25] de la batería se observa que la tensión nominal (T_B) es de 48 V, por tanto, es necesaria una capacidad de almacenamiento amperes-horas definida por la siguiente ecuación;

$$A.h = \frac{Ct}{T_B} = \frac{391.530 \text{ W.h}}{48 \text{ V}} = 8.157,05 \text{ A.h}$$

La cantidad de baterías a conectar se determina según la máxima corriente que la misma permite (C_{MB}), y se obtiene de la tabla 5.8 aplicando la ecuación siguiente se tiene;

$$Bt = \frac{A.h}{C_{MB}} = \frac{8.157,05 \text{ A.h}}{74 \text{ A.h}} = 110,23 \text{ Baterias}$$

Es importante destacar que, para hacer la conexión del inversor con las baterías de litio, las condiciones de tensión, corriente y potencia de ambos equipos son importantes. Según el cálculo realizado, son necesarias 110,23 baterías para alimentar la carga real del sistema, si se observa la ficha técnica del inversor en la tabla 5.6 indica que, por inversor la capacidad máxima de conexión de baterías es de 2000 A.h, esta condición se cumple conectando 26 baterías de litio 3.5 kW Pylontech US3000 48V máximo por inversor, para un total de 1924 A.h, por tanto se conectarían 104 baterías de almacenamiento, cubriendo un 95% de la carga real del sistema. La conexión de las baterías en paralelo puede observarse en la figura 5.10

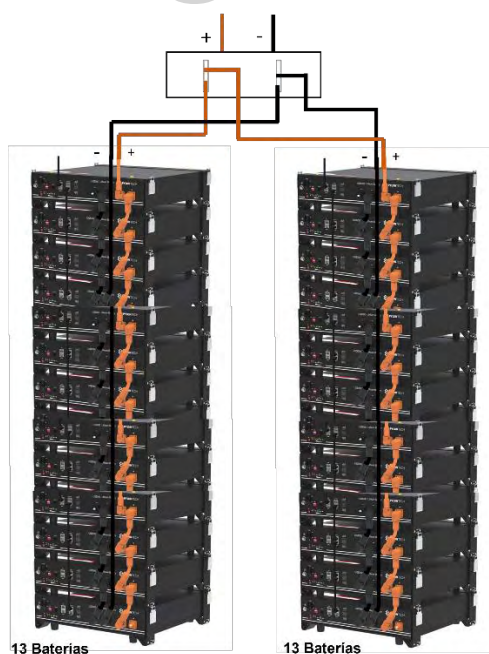


Figura 5.10 Conexión de baterías propuesto

Fuente: Autor

5.4.2 Ubicación de las baterías e inversor

Se propone que la ubicación del inversor y baterías que integran el sistema fotovoltaico sea en una oficina aledaña a la oficina principal de obras públicas, donde se encuentra un tablero que tiene conexión directa con el tablero principal de distribución, aprovechando así la acometida (Figura 5.11). Se presenta adicionalmente el diagrama unifilar de la instalación, donde se observa la interconexión de los módulos en un tablero de distribución fotovoltaico para ser conectado a un cuadro de baja tensión existente en la Alcaldía como se indicó anteriormente.



Figura 5.11 Tablero de distribución secundario propuesto

Fuente: Autor

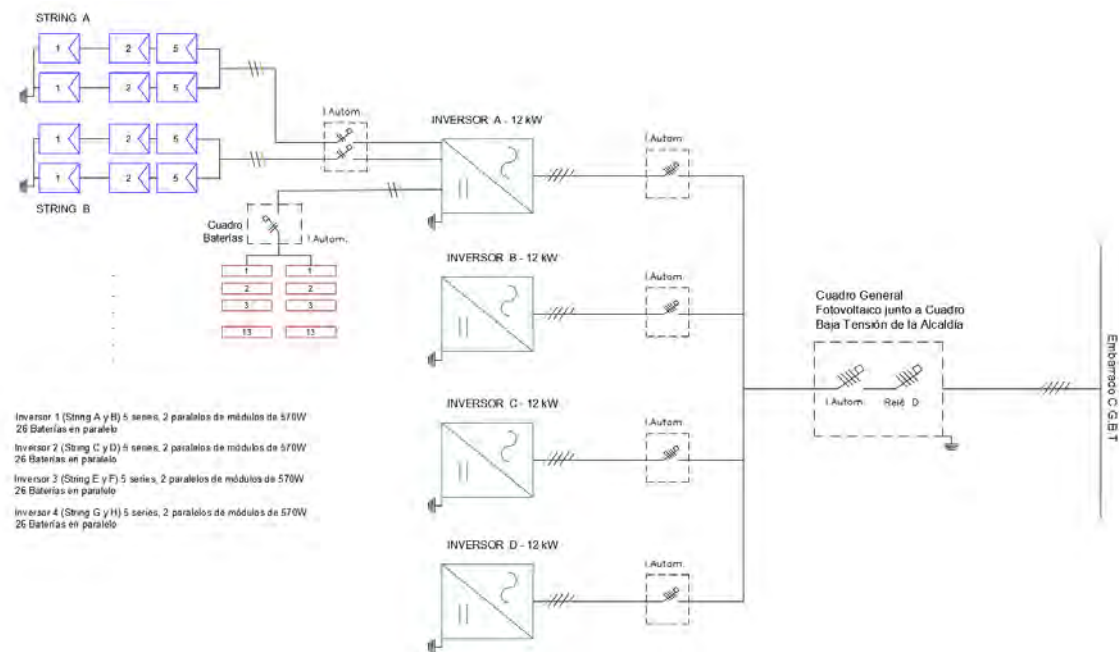


Figura 5.12 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto

Fuente: Autor

5.5 Canalizaciones y estructura soporte

Las canalizaciones son los elementos que se utilizan en las instalaciones eléctricas para proteger los conductores, las mismas pueden instalarse de forma embutida o a la vista, entre los elementos que componen las canalizaciones se encuentra, las protecciones (Interruptores automáticos y diferenciales) y la puesta a tierra. En una instalación fotovoltaica también se encontrará la estructura soporte, lugar donde propone la implantación de los módulos fotovoltaicos, como se muestra en la Figura 5.8. Todos estos elementos permitirán la correcta instalación y funcionamiento del sistema fotovoltaico diseñado, cumpliendo con las normas establecidas en la Comisión Venezolana de Normas Industriales.

5.5.1 Conductores

En la siguiente sección se presentan los conductores propuestos para el sistema fotovoltaico, según el recorrido que debe realizarse para la interconexión de los equipos, como se muestra a continuación;

- Generador Fotovoltaico – Inversor
- Inversor – Tablero de Distribución Principal FV
- Tablero Principal de Distribución FV – Cuadro de Baja Tensión
- Baterías – Tablero de Distribución Baterías

- Tablero de Distribución de Baterías - Inversor

Con el objetivo de minimizar las pérdidas en los conductores, y mejorar la eficiencia energética, se propone utilizar conductores de tipo THHN, resistentes a la humedad y al calor elevado, ya que la mayor parte de la instalación se encontraría a la intemperie.

Según la norma COVENIN en su sección 690-8, establece que los conductores y los dispositivos sobre corrientes serán dimensionados para conducir una corriente no inferior al 125% de la máxima calculada [27]. Por otra parte, debe cumplir con la caída de tensión permisible para la instalación, que no supere un 3% en todos los tramos, por lo que se propone sea distribuida de la siguiente manera;

- 2% Módulos a Inversor
- 0,5% Inversor cuadro de baja tensión
- 0,5% baterías a inversor

La distribución se propone de tal manera, ya que la mayor longitud del conductor se encontraría en el tramo de los módulos fotovoltaicos hasta el inversor.

Por otra parte, debe cumplirse a su vez, que el conductor soporte una corriente de cortocircuito en la instalación, sin que el conductor sufra daños y la protección pueda activarse.

- Determinación de capacidad de corriente del conductor;

Aplicando la siguiente ecuación;

$$I_{MAX} = I_{cto} * 125\% [A] \quad (5.5)$$

Donde;

- I_{MAX} : Corriente máxima admisible
- I_{cto} : Corriente del circuito

- Determinación de la sección mínima del conductor

Aplicando la siguiente ecuación;

$$S = \frac{\rho * L}{R} [mm^2] \quad (5.6)$$

Donde;

ρ : Resistividad del material

- **L**: Longitud del tramo
- **R**: Resistencia del conductor

- Verificación del cumplimiento de $< 2\%$ de caída de tensión.

Aplicando la siguiente ecuación;

$$A. m_{Inst} = I_{MAX} * L \quad (5.7)$$

Donde;

- $A. m_{Inst}$: Amperios por metros de la instalación

Sustituyendo en la siguiente ecuación;

$$\frac{A. m_{Inst}}{A. m_{Conductor}} < 2\% \quad (5.8)$$

Los conductores propuestos para la instalación se muestran en las siguientes tablas;

Tabla 5.10 Clasificación de las series propuestas para el generador fotovoltaicos
Fuente: Autor

Clasificación del String	Cantidad de Módulos	Longitud del tramo (m)	Tensión (V)	Corriente (A)
String A	10	10	265,45	27,28
String B	10	10	265,45	27,28
String C	10	10	265,45	27,28
String D	10	10	265,45	27,28
String E	10	10	265,45	27,28
String F	10	10	265,45	27,28
String G	10	10	265,45	27,28
String H	10	10	265,45	27,28

Tabla 5.11 Conductor seleccionado para el tramo modulo – inversor
Fuente: Autor

String	Corriente Admisible (A)	Corriente CC (A)	Sección mínima (mm ²)	Sección mínima CC (mm ²)	Conductor seleccionado			
					Número de conductores	Capacidad corriente (A)	Sección (mm ²)	Caída tensión
A	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
B	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78

C	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
D	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
E	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
F	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
G	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78
H	32,48	34,1	17	7,54	2 # 4 AWG	95	21,15	0,78

Tabla 5.12 Conductor seleccionado para el tramo inversor – Tablero de distribución fotovoltaico
Fuente: Autor

Inversor	Corriente Admisible (A)	Sección mínima (mm ²)	Conductor seleccionado		
			Número Conductores	Capacidad corriente (A)	Sección (mm ²)
A	41,63	2,756	4 # 8 AWG	55	8,36
B	41,63	2,756	4 # 8 AWG	55	8,36
C	41,63	2,756	4 # 8 AWG	55	8,36
D	41,63	2,756	4 # 8 AWG	55	8,36

Tabla 5.13 Conductor seleccionado para el tramo baterías – Tablero de distribución baterías
Fuente: Autor

Baterías	Corriente Admisible (A)	Sección mínima (mm ²)	Conductor seleccionado		
			Número Conductores	Capacidad corriente (A)	Sección (mm ²)
A.1	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
A.2	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
B.1	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
B.2	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
C.1	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
C.2	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
D.1	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36
D.2	53,9	7,88	2 # 8 AWG	55	8,36

Tabla 5.14 Conductor seleccionado para el tramo Tablero de distribución baterías - Inversor
Fuente: Autor

Inversor	Corriente Admisible (A)	Sección mínima (mm ²)	Conductor seleccionado		
			Número Conductores	Capacidad corriente (A)	Sección (mm ²)
A	107,8	15,45	2 # 2 AWG	130	33,62
B	107,8	15,45	2 # 2 AWG	130	33,62
C	107,8	15,45	2 # 2 AWG	130	33,62
D	107,8	15,45	2 # 2 AWG	130	33,62

Tabla 5.15 Conductor seleccionado para el tramo tablero de distribución fotovoltaico – tablero de distribución de la Alcaldía

Fuente: Autor

Tablero	Corriente Admisible (A)	Sección mínima (mm ²)	Conductor seleccionado		
			Número Conductores	Capacidad corriente (A)	Sección (mm ²)
FV	133,23	11,025	4 # 1/0 AWG	170	53,49

5.5.2 Protecciones

Para el presente diseño, se considera importante la implementación de dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que tengan la capacidad de actuar cuando detecta la falla sin dañarse, lo cual permite su restablecimiento una vez que se resolvió el inconveniente, como lo son los interruptores automáticos, para la sección entre el inversor y cuadro de baja tensión, se propone la conexión de un interruptor diferencial, capaz de proteger la instalación de cortocircuitos, posibles incendios y de que las personas puedan sufrir descargas eléctricas [28]. Las protecciones del sistema fotovoltaico se proponen tomando en consideración lo establecido en la norma COVENIN en su sección 690-9 y se muestran en la siguiente tabla, según figura 5.12

Tabla 5.16 protecciones propuesta para tramo módulos – inversor

Fuente: Autor

Sección	Tipo de interruptor	Capacidad
String A – Inversor 1	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String B – Inversor 1	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String C – Inversor 2	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String D – Inversor 2	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String E – Inversor 3	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String F – Inversor 3	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String G – Inversor 4	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
String H – Inversor 4	Magnetotérmico para corriente continua	40 A
Inversor 1 – TDFV	Magnetotérmico para corriente alterna	60 A
Inversor 2 – TDFV	Magnetotérmico para corriente alterna	60 A
Inversor 3 -TDFV	Magnetotérmico para corriente alterna	60 A
Inversor 4 - TDFV	Magnetotérmico para corriente alterna	60 A
TDBA – Inversor 1	Magnetotérmico para corriente alterna	2500 A
TDBB – Inversor 2	Magnetotérmico para corriente alterna	2500 A
TDBC – Inversor 3	Magnetotérmico para corriente alterna	2500 A
TDBD – Inversor 4	Magnetotérmico para corriente alterna	2500 A
TDFV – CBGT	Magnetotérmico para corriente alterna	175 A

5.5.3 Puesta a Tierra

Es una parte básica de la instalación, que tiene como objetivo principal limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

En caso de falla del aislamiento de un equipo el hecho de conectarlo a tierra, crea un camino de baja impedancia para el drenaje de la corriente [27]. Según el CEN en su sección 690, 41, para la instalación fotovoltaica propuesta, se recomienda para cada sección, los siguientes conductores;

Tabla 5.17 Conductor puesta a tierra
Fuente: Autor

Sección	Conductor de Tierra
String A – Inversor 1	# 10 AWG
String B – Inversor 1	# 10 AWG
String C – Inversor 2	# 10 AWG
String D – Inversor 2	# 10 AWG
String E – Inversor 3	# 10 AWG
String F – Inversor 3	# 10 AWG
String G – Inversor 4	# 10 AWG
String H – Inversor 4	# 10 AWG
Inversor 1 – TDFV	# 8 AWG
Inversor 2 – TDFV	# 8 AWG
Inversor 3 -TDFV	# 8 AWG
Inversor 4 - TDFV	# 8 AWG
Baterías A.1 – TDBA	# 2/0 AWG
Baterías A.2 – TDBA	# 2/0 AWG
Baterías B.1 - TDBB	# 2/0 AWG
Baterías B.2 – TDBB	# 2/0 AWG
Baterías C.1 – TDBC	# 2/0 AWG
Baterías C.2– TDBC	# 2/0 AWG
Baterías D.1 – TDBD	# 2/0 AWG
Baterías D.2 - TDBD	# 2/0 AWG
TDBA – Inversor 1	# 4/0 AWG
TDBB – Inversor 2	# 4/0 AWG
TDBC – Inversor 3	# 4/0 AWG
TDBD– Inversor 4	# 4/0 AWG
TDFV – CGBT	# 4 AWG

5.5.4 Estructura soporte de los paneles.

Para la instalación de los paneles en la Alcaldía del municipio Libertador se propone realizarlas sobre una estructura coplanar, aprovechando la inclinación del tejado existente y propuesto en la figura 5.4 son elaboradas en aluminio y van sujetas al tejado existente mediante salvajetas y fijadores, como se observa en la figura [29].



Figura 5.12 Estructura coplanar

Fuente: [29].

www.bdigital.ula.ve

5.6 Análisis Económico

El análisis económico del sistema propuesto permite comprobar si la instalación proyectada en el tiempo será lo suficientemente rentable. Este análisis está fundamentado en el consumo eléctrico de la institución, la producción anual fotovoltaica y el costo promedio de la energía a nivel mundial. Estos parámetros permiten evaluar de forma preliminar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico propuesto, ya que se podrá comparar el gasto mensual por consumo de energía de la red y el gasto económico, consumiendo la propia energía producida por la fotovoltaica.

Inicialmente, se determina el consumo de la institución, que viene dado por la siguiente ecuación;

$$C_M = C_D \times 30 \text{ [kWh/mes]} \quad (5.9)$$

Donde;

- C_M : Consumo mensual

Obteniendo un valor de 7.047,69 kW.h/ mes

En vista de que el costo de la energía en Venezuela es despreciable, se realiza la comparativa con el valor promedio de costo de energía nivel mundial, que sería 0,15\$/kW, por lo tanto el gasto mensual que tendría la institución, sería de 1.057,15 \$.

Realizando una simulación a través del programa PVGIS para conocer la producción fotovoltaica, se obtiene lo siguiente;

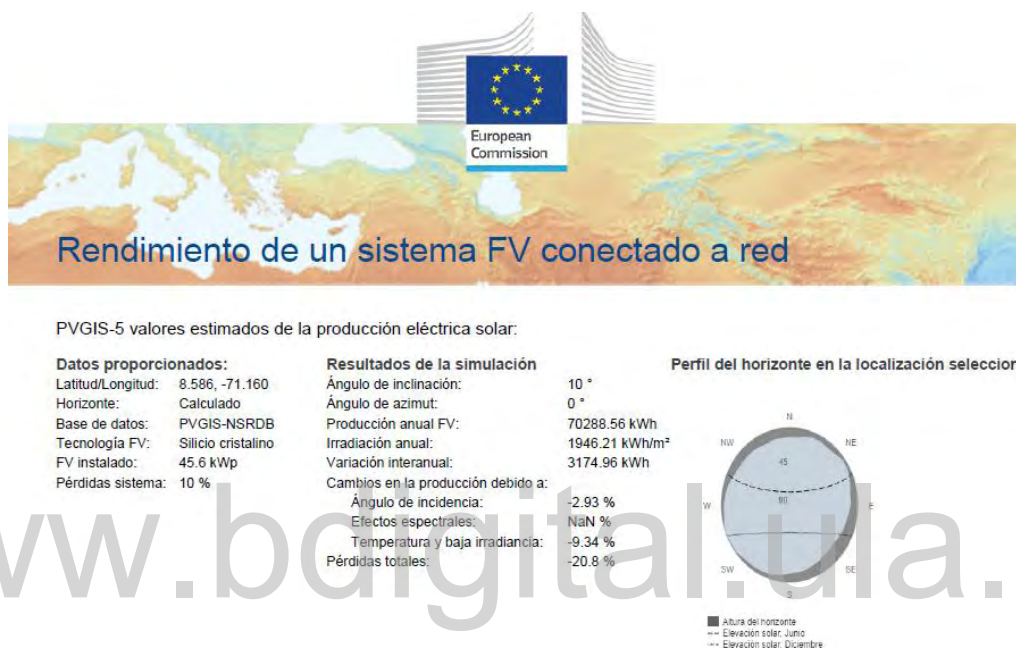


Figura 5.13 Resultados de la simulación realizada en PVGIS para el sistema fotovoltaico propuesto
Fuente: Autor

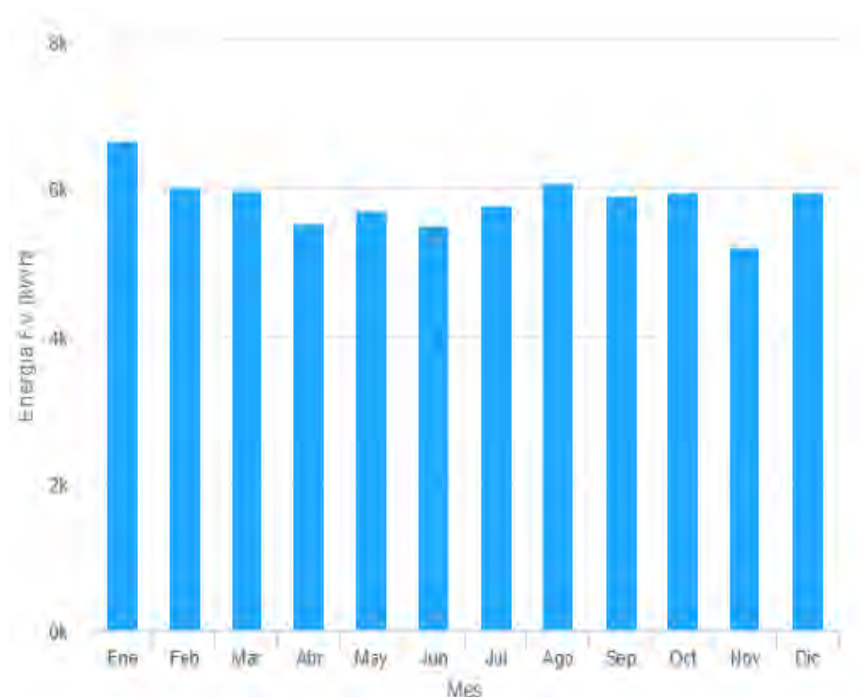


Figura 5.14 Producción mensual del sistema fotovoltaico propuesto
Fuente: Autor

La figura 5.13 muestra que la producción anual fotovoltaica será de 70.288,96 kWh/año por lo que se tendría una producción promedio al mes de 5.857,33 kW.h/mes, lo que representaría el 83 % de lo que consumo actual obteniendo así un ahorro de 878,6 \$ al mes.

Considerando un costo de inversión de 1,2 \$/W instalado, se requiere una inversión de 54.720 \$, que mediante el ahorro mensual que generaría la instalación, sería recuperado en 62 meses, lo que equivaldría a 5 años aproximadamente.

5.7 Análisis Ambiental

El medio ambiente tiene que tomarse en cuenta como un factor más en el desarrollo de un proyecto. En el caso de diseño de productos, un producto que no considere el factor medioambiental no se puede considerar un producto de calidad. El análisis ambiental ayuda a conocer las consecuencias ambientales del proyecto en sus primeras etapas, para así poder tomar medidas que eliminen, minimicen o compensen los impactos adversos.

La electricidad es un hecho que la gran mayoría del país utiliza, es una fuente de energía para sus hogares y negocios, sin embargo, se ha demostrado que esta fuente de energía tiene muchas desventajas, la más importante, afecta al medio ambiente.

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una fuente de electricidad ideal para las empresas e industrias, los paneles solares ofrecen beneficios al medio ambiente tales como:

- Elimina la emisión de gas de invernadero
- Cuida la calidad del aire
- Combate los cambios climáticos
- Evita el uso frecuente de energías no renovables

5.7.1 Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero

La calculadora de gases de efecto invernadero ayudara a entender cómo se puede reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por un millón de toneladas métricas, estas emisiones pueden ser producidas por automóviles, hogares o centrales eléctricas [31].

Es importante mencionar que el sistema fotovoltaico propuesto generara aproximadamente 70.228 kW.h al año, si se introduce este valor en la calculadora antes descrita, nos indicara la equivalencia de los kW generados por el sistema, comparado con los gases de efecto invernadero y las emisiones de CO₂.



Figura 5.15 Calculadora de gases de efecto invernadero evitados

Fuente: [31].

En la figura 5.15 puede observarse que la generación de 70.228 kW.h/año por el sistema fotovoltaico diseñado equivale a 10.7 vehículos de pasajeros conducidos durante un año, 5.605 galones de gasolina consumidos, 4.893 galones de diésel consumidos y 823 plantas de árboles urbanos crecidos durante 10 años. Por tanto, la generación de electricidad del sistema fotovoltaico reducirá en gran medida los daños colaterales al medio ambiente, los gases de efecto invernadero producen que la atmosfera retenga más calor de lo necesario, lo que aumenta la temperatura global; por ese motivo un 70% del público latinoamericano prefiere comprar o realizar negocios con empresas sociales y ambientalmente responsables.

www.bdigital.ula.ve

CONCLUSIONES

Luego de realizar un estudio al sistema de iluminación y estimar el consumo energético de la Alcaldía del municipio Libertador, se diseñó un nuevo sistema de iluminación cumpliendo con la norma COVENIN 2249-93 y con los índices de eficiencia energética, también se propuso la instalación de un sistema fotovoltaico capaz de alimentar la demanda eléctrica de la institución y el sistema de iluminación diseñado.

El sistema de iluminación actual de la Alcaldía no cumple con lo establecido en la norma, lo que afecta considerablemente el trabajo realizado por el personal que allí labora, una buena iluminación en un ambiente de trabajo aumenta la eficiencia y precisión, así como la calidad del trabajo, a su vez reduce la carga y fatiga visual, por estas razones se propuso un nuevo sistema de iluminación, que garantice seguridad, confort y productividad; estos beneficios se lograrán instalando luminarias con tecnología LED, las cuales son hasta un 80% más eficientes que los bombillos tradicionales, consumen menos energía, lo que hace que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero, no tienen compuestos tóxicos como la mayoría de tubos fluorescentes y son de gran calidad a la hora de distribuir y dirigir la luz. Para obtener el nuevo sistema de iluminación se usó DIALux, un software de simulación para proyectos de iluminación, el cual realiza el cálculo energético de los sistemas de iluminación para asegurar el cumplimiento de las normas vigentes a nivel nacional e internacional.

El costo de la electricidad a nivel mundial es muy alto, por ese motivo se realizó el diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico, el cual aprovecha la energía solar para el consumo de energía limpia, y a su vez garantiza un servicio eléctrico continuo. Para dimensionar el sistema fue necesario conocer la carga eléctrica real de la Alcaldía a través de un conjunto de etapas; en principio el sistema de captación, el cual permitió la selección de los paneles fotovoltaicos, estos reciben la energía solar y la transforman en eléctrica, en segundo lugar está el sistema de conversión, compuesto por los inversores fotovoltaicos encargados de

convertir la corriente continua en alterna, luego está el sistema de almacenamiento, conformado por las baterías, con el fin de que el sistema siga en funcionamiento aun cuando existan fallas en la red fallas que en la actualidad hacen parte de las problemáticas más grandes del país y por último y no menos importante, las canalizaciones, integrado por los elementos que protegen los conductores.

Se realizó un estudio económico al sistema fotovoltaico diseñado para conocer el ahorro mensual obtenido con el nuevo sistema esto realizando una comparación con el costo que posee el consumo eléctrico a nivel mundial. Por tanto, el sistema fotovoltaico propuesto presenta gran cantidad de beneficios en pro del correcto y continuo funcionamiento de las labores que en la Alcaldía del municipio Libertador se llevan a cabo.

www.bdigital.ula.ve

RECOMENDACIONES

La Alcaldía del Municipio Liberador debería contar con un sistema de Iluminación el cual le garantice al personal que allí labora la comodidad y el confort visual que ellos necesitan, esto se logra cuando en cada una de las áreas el nivel de iluminación cumpla con los niveles mínimos establecidos en la norma COVENIN 2249-93, por ello se recomienda la Instalación del Sistema de iluminación propuesto, este sistema tiene todos los requerimientos necesarios para que el personal puedan realizar sus actividades correctamente.

La instalación del sistema fotovoltaico propuesto cubrirá el 75% de la demanda de institución, lo que permitirá que en el momento de fallas en el sistema eléctrico no se paralicen las actividades en la Alcaldía del estado Mérida, contribuyendo de manera directa con el desarrollo de la nación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. J. Roca «El consumo eléctrico mundial crece más rápido que la población» Junio, 2020. [En línea]. Available: [https:// elperiodicodelaenergia.com/el-consumo-electrico-mundial-crece-mas-rapido-que-la-poblacion/](https://elperiodicodelaenergia.com/el-consumo-electrico-mundial-crece-mas-rapido-que-la-poblacion/) [Último acceso: Noviembre 2021].
2. Factorenergía, «Energías renovables: características, tipos y nuevos retos» Agosto, 2018, [En línea]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/> [Último acceso: noviembre 2021].
3. . «Eficiencia Energética» [En línea]. Available: [https:// www.disnortedissur.com.ni/que-es-la-eficiencia-energetica-y-para-que-sirve.html](https://www.disnortedissur.com.ni/que-es-la-eficiencia-energetica-y-para-que-sirve.html) [Último acceso: noviembre 2021].
4. «Acciona – Energías renovables» [En línea]. Available: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/> [Último acceso: noviembre 2021].
5. «Enchufesolar – Ventajas de la energía solar fotovoltaica» [En línea]. Available: [https:// enchufesolar.com/blog/ventajas-solar-fotovoltaica/](https://enchufesolar.com/blog/ventajas-solar-fotovoltaica/) [Último acceso: noviembre 2021].
6. IRENA, «Cambio climático» Marzo, 2020, [En línea]. Available: [https:// www-irena-org.translate.google.com/translate?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=ajax,sc,elem](https://www.irena.org.translate.google.com/translate?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=ajax,sc,elem) [Último acceso: Noviembre 2021].

7. «Alcaldías en Mérida» [En línea]. Available: <https://www.merida24.com/Alcaldia.htm> [Último acceso: noviembre 2021].
8. Enerdata, «Tendencias energéticas mundiales-Edición 2021» Marzo, 2020 [En línea]. Available: <https://es.enerdata.net/publicaciones/informes-energeticos/tendencias-energeticas-mundiales.htm> [Último acceso: noviembre 2021].
9. IRENA, «Benefits» Marzo, 2020, [En línea]. Available: https://www-irena-org.translate.goog/climatechange?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=ajax,sc,elem [Último acceso: Noviembre 2021].
10. IRENA, «Climate change» Marzo, 2020, [En línea]. Available: https://www-irena-org.translate.goog/climatechange?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=ajax,sc,elem [Último acceso: Noviembre 2021].
11. G. Baquero «Venezuela y la transición energética» Octubre,2020. [En línea]. Available: <https://prodavinci.com/venezuela-y-la-transicion-energetica-b/> [Último acceso: noviembre 2021].
12. J. Porto «Definición de Alcaldía» Enero,2008. [En línea]. Available: <https://definicion.de/alcaldia/> [Último acceso: noviembre 2021].
13. Y. Borges «Diagnostico situacional participativo sobre la problemática de las drogas del Municipio Libertador del Estado Mérida» Octubre, 2006. [En línea]. Available: http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/savia/PDF/diagnosticofinal/Diagnostico_Libertador.pdf [Último acceso: Noviembre 2021].
14. «Sistemas de Iluminación» [En línea]. Available: <https://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%2>

520%2520SISTEMAS%2520DE%2520ILUMINACI%25C3%2593N.pdf?sequenc
e=4 [Último acceso: noviembre 2021].

15. Programa PEER «Iluminación» Enero, 2011. [En línea]. Available: <https://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2019/02/Iluminacion.pdf> [Último acceso: noviembre 2021].
16. L. Moreno, L. (2015). Luminotecnia: El arte de la correcta iluminación. 2da edición. Mérida, Venezuela.
17. «Tipos de Iluminación sus estilos y clasificación» [En línea]. Available: <https://fesiluz.com/tipos-de-iluminacion-sus-estilos-y-clasificacion> [Último acceso: noviembre 2021].
18. «Iluminación en oficinas» [En línea]. Available: <https://www.ledil.com/es/area-de-aplicacion/iluminacion-para-oficinas/> [Último acceso: noviembre 2021].
19. «Cuál es el mejor tipo de Iluminación» [En línea]. Available: <https://www.castilla-sa.com/blog/iluminacion-en-una-oficina/> [Último acceso: enero 2022].
20. «Qué comprende el diseño de iluminación para estacionamientos» [En línea]. Available: <https://www.iluminet.com/que-comprende-el-diseno-de-iluminacion-de-estacionamientos/> [Último acceso: enero 2022].
21. COVENIN, Comisión venezolana de normas industriales [En línea]. Available: <http://www.sencamer.gov.ve/sencamer/action/normas-find> [Último acceso: enero 2022].
22. «Sistemas de coordenadas geográficas: longitud y latitud» [En línea]. Available: <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>. [Último acceso: enero 2022].

23. T. Corcobado, Instalaciones solares fotovoltaicas, Madrid: <https://drive.google.com/file/d/0B3qRkneqWpFkakdnQm4teE9hUm8/view>, 2010.
24. Jinkosolar «Panel mono-cristalino JKM570M-7RL4-V» [En línea]. <https://autosolar.es/pdf/datasheet-jinko-555-575.pdf>
25. Sol-Ark «Inversor Híbrido Sol-Ark 12k» [En línea]. <https://practicalpreppers.com/wp-content/uploads/2019/09/12K-Manual-7-27-2020.pdf>.
26. Pylontech «Batería de Litio 3.5 kW Pylontech US3000 48V » [<https://autosolar.es/pdf/Datasheet-US2000-US3000.pdf>]
27. O. Penissi «Canalizaciones eléctricas residenciales» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/24567770/Canalizaciones_El%C3%A9ctricas_Residenciales_Oswaldo_Penissi [Último acceso: enero 2022]
28. «Temperatura del color» [En línea]. Available: https://www.google.com/search?q=temperatura+del+color&client=opera&hs=e4i&sxsrf=A0aemyLzEND8QoJMOJ6AZ4z7MroOHhKPEQ:1632864516756&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiH3_KrzqLzAhUVsDEKHayNBpcQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1326&bih=627&dpr=1#imgrc=LmLuFYRQ3KKZhm [Último acceso: noviembre 2021].
29. «Estructura coplanar» [En línea]. Available: <https://www.naturaenergy.cl/product/estructura-coplanar-a-techo-4-paneles-200-a-540> [Último acceso: noviembre 2021].
30. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS) [En línea]. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Último acceso: febrero 2022].
31. «Calculador equivalente de gases de efecto invernadero» [En línea]. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efectoinvernadero#results>