

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A LA FUNDACIÓN EL CIELO DE PAO UBICADA EN
BUCARAMANGA, SANTANDER MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO REGLAMENTADO**

**MARÍA ALEJANDRA GUTIÉRREZ PALENCIA
BYRON ANDRÉS OCHOA NIÑO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA,
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2021-2**

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A LA FUNDACIÓN EL CIELO DE PAO UBICADA EN
BUCARAMANGA, SANTANDER MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO REGLAMENTADO**

**MARÍA ALEJANDRA GUTIÉRREZ PALENCIA
BYRON ANDRÉS OCHOA NIÑO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIEROS EN ENERGÍA**

**Director: PhD LUIS SEBASTIÁN MENDOZA CASTELLANOS
Co-directora: PhD ANA LISBETH GALINDO NOGUERA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA,
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA**

2021-2

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Calificador

Firma del Calificador

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por su guía en este camino y fortalecerme espiritualmente para culminar esta etapa.

Así, mostrar mi gratitud a mis padres por sus sacrificios, sus palabras, sus conocimientos, por su de dedicación y apoyo para el cumplimiento de esta meta tan importante para mí.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a Ph.D. Sebastián Mendoza y a Ph.D. Ana Lisbeth Galindo por su exigencia, tiempo y dedicación para el desarrollo de este proyecto.

A todos quienes hacen parte de la fundación por siempre abrirnos sus puertas.

A todos los docentes que fueron guía durante este proceso y a todos los compañeros y amigos que hice a lo largo de mi carrera.

María Alejandra Gutiérrez Palencia

DEDICATORIA

*A mis padres por sus esfuerzos y sacrificios que han hecho por darme siempre lo mejor.
Todo lo que soy es gracias a ustedes.*

A mi madrastra por su apoyo incondicional durante todo mi proceso académico.

A todos los niños que hacen parte de la Fundación el Cielo de Pao. Este proyecto fue pensando para ustedes. Esperamos que se sientan como en casa.

María Alejandra Gutiérrez Palencia.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. ANTECEDENTES	15
4. CONTEXTUALIZACIÓN	17
4.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA FUNDACIÓN	17
4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
5. MARCO DE REFERENCIA	20
5.1. MARCO TEÓRICO.....	20
5.3. MARCO LEGAL	36
6. METODOLOGÍA.....	40
7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	46
8. DISEÑO ELÉCTRICO	47
8.1. DISEÑO DE INSTALACIONES INTERNAS.....	47
8.1.1. NIVELES DE ILUMINANCIA	47
8.1.2. SALIDAS NECESARIAS.....	52
8.1.3. CUADROS Y PANELES DE DISTRIBUCIÓN	54
9. DIMENSIONADO FOTOVOLTAICO	61
9.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	61
9.2. CARACTERIZACIÓN DE CRITERIOS METEOROLÓGICOS	64
9.3. REVISIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS	65
9.3.1. DISPONIBILIDAD DE ÁREA.....	65
9.4. SELECCIÓN DEL MODULO FOTOVOLTAICO	66
9.5. COEFICIENTE DE RENDIMIENTO (PR).....	67
9.6. NUMERO DE PANELES MAXIMO.....	68
9.7. GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA DEL SISTEMA SOLAR	68
9.8. SELECCIÓN DEL INVERSOR.....	71
9.9. CONFIGURACIÓN ARREGLO FOTOVOLTAICO	72
9.10. PROTECCIONES ELÉCTRICAS.....	75
10. EVALUACIÓN FINANCIERA.....	76

10.1. EQUIPOS, ESTRUCTURA Y PROTECCIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	76
10.2. MANO DE OBRA	77
10.3. CERTIFICACIONES.....	77
10.4. INVERSIÓN TOTAL NECESARIA PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	78
10.5. FLUJO DE CAJA	78
10.5.1. CRÉDITO	80
10.5.2. VALOR PRESENTE NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO	80
11. EVALUACIÓN AMBIENTAL	84
11.1. VALOR MONETARIO DE LAS EMISIONES EVITADAS	84
12. CERTIFICACIÓN LEED – OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	86
12.1. ALCANCE DE LA CERTIFICACIÓN LEED	86
CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Inclinación del módulo en función a la latitud.</i>	27
Tabla 2. <i>Incentivos tributarios de la Ley 1715.</i>	37
Tabla 3. <i>Clasificación LEED.</i>	38
Tabla 4. <i>Factores de corrección por temperatura.</i>	42
Tabla 5. <i>Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades.</i>	44
Tabla 6. <i>Resultados de la simulación en DIALUX.</i>	48
Tabla 7. <i>Tablero de distribución de planta baja.</i>	55
Tabla 8. <i>Tablero de distribución piso 2.</i>	56
Tabla 9. <i>Tablero de distribución piso 3.</i>	57
Tabla 10. <i>Tablero de distribución del ascensor.</i>	58
Tabla 11. <i>Tablero de distribución del cuarto frío</i>	59
Tabla 12. <i>Tablero general.</i>	60
Tabla 13. <i>Inventario de aparatos eléctricos.</i>	62
Tabla 14. <i>Estándares técnicos para aprobación de disponibilidad.</i>	66
Tabla 15. <i>Verificación del transformador.</i>	66
Tabla 16. <i>Temperaturas promedias máximas para Bucaramanga en el 2021.</i>	67
Tabla 17. <i>Intercambio de energía con la red.</i>	69
Tabla 18. <i>Generación, demanda y autoconsumo del sistema.</i>	70
Tabla 19. <i>Precio final de la factura de electricidad implementado el sistema.</i>	71
Tabla 20. <i>Parámetros de la configuración final del arreglo.</i>	73
Tabla 21. <i>Presupuesto para componentes de la instalación fotovoltaica.</i>	76
Tabla 22. <i>Presupuestos de mano de obra.</i>	77
Tabla 23. <i>Presupuesto para certificaciones.</i>	77
Tabla 24. <i>Componentes del flujo de caja</i>	78
Tabla 25. <i>Descripción del crédito.</i>	80
Tabla 26. <i>VPN y TIR.</i>	80
Tabla 27. <i>Evaluación del VPN a diferentes TIO.</i>	80
Tabla 28. <i>Presupuesto para medida y acometidas.</i>	82
Tabla 29. <i>Presupuesto para salidas para alumbrado y tomacorrientes.</i>	82
Tabla 30. <i>Presupuesto para luminarias.</i>	83
Tabla 31. <i>Presupuesto para 'otros'.</i>	83
Tabla 32. <i>Total de la instalación eléctrica.</i>	83
Tabla 33. <i>Descripción de las Categorías de la Certificación LEED.</i>	86
Tabla 34. <i>Captación máxima total de aguas lluvias.</i>	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Infraestructura actual de la casa.....	17
Figura 2. Futura infraestructura de la fundación.	18
Figura 3. Diagrama básico de un sistema ON GRID.....	22
Figura 4. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	23
Figura 5. Proyección demanda EE mensual (GWh).....	24
Figura 6. Conexión de una malla de puesta a tierra.....	34
Figura 7. Metodología del proyecto.....	40
Figura 8. Características técnicas del transformador actual.....	42
Figura 9. Características técnicas del transformador al que se conectará el edificio.	43
Figura 10. Localización de la Fundación el Cielo de Pao.....	46
Figura 11. Infraestructura existente de la Fundación el Cielo de Pao.....	46
Figura 12. Resultado de la recreación de la totalidad del edificio en DIALux.	49
Figura 13. Área Sala/Estudio.....	50
Figura 14. Plano útil del área Sala/Estudio como resultado de la simulación en DIALux. ..	51
Figura 15. Plano de salidas de tomacorrientes y luminarias del primer piso.	52
Figura 16. Plano de salidas de tomacorrientes y luminarias del segundo y tercer piso.	53
Figura 17. Distribución horaria por día de la carga eléctrica en el hogar.	64
Figura 18. Comparación de HSP entre la base de datos de la NASA y Meteonorm 8.0. ..	64
Figura 19. Plano del techo sacado de AutoCAD.....	65
Figura 20. Historial climatológico para Bucaramanga en el año 2021.....	67
Figura 21. Generación eléctrica del sistema solar.....	68
Figura 22. Comparación entre la generación eléctrica diaria dada por el sistema fotovoltaico y la demanda diaria que la fundación.....	70
Figura 23. Inversor Fronius SIMO 10.0-3 208/240.	72
Figura 24. Extracto plano realizado en AutoCAD de la fundación el cielo de Pao.....	74
Figura 25. Distribución de la inversión de la Instalación Fotovoltaica.....	78
Figura 26. Representación gráfica del VPN.....	81
Figura 27. Precios CO2.....	85

RESUMEN

El propósito de este trabajo es evaluar la viabilidad técnica, financiera y ambiental de un sistema solar fotovoltaico conectado a red en la Fundación El Cielo de Pao, ubicada en Bucaramanga, Santander. Para el dimensionamiento fotovoltaico y eléctrico se partió de una demanda energética basada en las cargas eléctricas ubicadas en el edificio, la disponibilidad del recurso solar, las características tecnológicas del sistema y los costos actuales por el uso de energía solar fotovoltaica. El desarrollo del proyecto fue diseñado bajo la normatividad NTC2050, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE vigente y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP donde se realizaron planos eléctricos, cuadros de carga y diagramas unifilares.

Para el análisis financiero se tomaron en cuenta dos indicadores de rentabilidad: tasa interna de retorno (TIR) y valor presente neto (VPN), dando como resultado una TIR del 35.5% indicando que es un proyecto financieramente rentable. Se evaluarán los beneficios ambientales de sustituir el suministro energético convencional por energía solar mediante factores de emisión que permitan detallar cuántas toneladas de CO₂ pueden dejar de emitirse a la atmosfera, Con el análisis del impacto ambiental se obtuvo que las emisiones de CO₂ equivalentes que se dejaron de emitir a la atmosfera con la implementación del sistema solar fotovoltaico fueron 219,35 Ton CO₂ equivalentes.

Se encontró que la instalación del sistema solar fotovoltaico es viable tanto técnica y financiera para las condiciones climáticas y geográficas específicas del lugar, Obteniendo como resultado un 98.5% de ahorro de energía al mes, que representa una disminución en costo de la factura de energía del 95.1%.

RESUME

The purpose of this work is to evaluate the technical, financial, and environmental viability of a grid-connected solar photovoltaic system at Fundación El Cielo de Pao, located in Bucaramanga, Santander. For the photovoltaic and electrical sizing, we started from an energy demand based on the electrical loads located in the building, the availability of the solar resource, the technological characteristics of the system and the current costs for the use of photovoltaic solar energy. The development of the project was designed under the NTC2050 regulations, the current RETIE Technical Regulations for Electrical Installations and the RETILAP Technical Regulations for Public Lighting and Lighting, where electrical plans, load charts and single-line diagrams were made.

For the financial analysis, two profitability indicators were considered: internal rate of return (IRR) and net present value (NPV), resulting in an IRR of 35.5%, indicating that it is a financially profitable project. The environmental benefits of replacing conventional energy supply with solar energy will be evaluated through emission factors that allow detailing how many tons of CO₂ can cease to be emitted into the atmosphere. With the analysis of the environmental impact, it was obtained that the equivalent CO₂ emissions that were left of emitting into the atmosphere with the implementation of the photovoltaic solar system were 219.35 Ton CO₂ equivalent.

It was found that the installation of the photovoltaic solar system is both technically and financially viable for the specific climatic and geographical conditions of the place, obtaining as a result a 98.5% energy savings per month, which represents a decrease in the cost of the energy bill of the 95.1%.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se evidencia el gran desarrollo económico e industrial que ha avanzado exponencialmente, lo que conlleva a una expansión de los sistemas eléctricos de potencia por el crecimiento de la demanda año a año. El consumo de energía eléctrica en 2020 fue de 70.422 GWh-año, que frente a los 71.925 GWh-año registrados en 2019 representa una reducción del 2% anual. Lo que puede explicarse gracias a que el sector comercial e industrial pausó su producción por la pandemia; es preciso mencionar que la demanda de energía eléctrica en Colombia no registraba crecimiento negativo desde el año 2000 [1]. Sin embargo, la demanda de energía en julio de 2021 fue de 6377 GWh-mes, lo que representa un crecimiento de 8,25 % con respecto al consumo de julio de 2020 [2]. Lo que indica que nuevamente Colombia está reactivando sus actividades económicas y continúa con el crecimiento de la demanda energética.

Las crecientes preocupaciones sobre el cambio climático global y la independencia energética nacional han generado una gran preocupación por un cambio constante en la producción de energía nacional de Colombia hacia fuentes renovables que se encuentren reguladas y bajo normativa colombiana. Con el ánimo de diversificar la matriz energética colombiana, se ha venido trabajando en contar con una de las matrices de generación de energía eléctrica más limpias del mundo. Cerca del 70% de la energía que consume el país proviene de fuentes hídricas, un 12,3% de termoeléctricas que utilizan gas natural para su operación, un 9,3% de térmicas a carbón, el 7,8% se genera a partir de combustibles líquidos como la gasolina y el diésel y un 1% a partir de fuentes no convencionales de energías renovables como la solar y la eólica [3].

En 2018, las fuentes renovables representaron el 58% de la generación total de electricidad en América Latina y el Caribe. Sin embargo, el paradigma energético de la región está cambiando debido a la incertidumbre sobre la disponibilidad de agua frente al cambio climático. A eso se suman las preocupaciones ambientales y sociales generalmente asociadas con la construcción de plantas hidroeléctricas en ecosistemas vulnerables. Estas limitaciones, junto con la disminución en el costo de las energías renovables como la solar y la eólica, explican el gran impulso a nivel global de estas alternativas renovables no convencionales. Los esfuerzos de la región en este sentido son notables. En el año 2000, la capacidad de generación eólica representaba únicamente el 0,03% del total, y prácticamente no existía capacidad de generación solar. En cambio, a 2020, las fuentes solares y eólicas representan en conjunto cerca del 10% de la capacidad de generación eléctrica instalada en la región (3,07% y 6,5%, respectivamente) [4].

El incentivo impulsor de nuevas inversiones en energías renovables ha sido Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 - 2029, una propuesta presentada por la Unidad de Planeación Energética, (UPME) y el Plan Estratégico

Sectorial 2019-2022 presentado por el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objetivo general es el desarrollo sostenible, seguridad microenergética con responsabilidad ambiental social y gobernanza para la transformación del país.

En el presente proyecto se presentaron los resultados de un análisis de viabilidad técnica, financiera y ambiental de un sistema solar fotovoltaico conectado a red en la Fundación el Cielo de Pao, ubicada en Bucaramanga, Santander, partiendo de una demanda energética basada en las cargas eléctricas que se ubicarán en el edificio, la disponibilidad del recurso solar, las características tecnológicas del sistema y los costos actuales por el uso de energía solar fotovoltaica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la viabilidad técnico-financiera y ambiental de la implementación de un sistema fotovoltaico para el edificio de la Fundación el Cielo de Pao.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones meteorológicas y de demanda energética, para la implementación del sistema solar fotovoltaico
- Establecer requisitos del diseño eléctrico y fotovoltaico basado en las normas NTC 2050, RETIE, ESSA y RETILAP.
- Evaluar las oportunidades de mejora para determinar los impactos ambientales asociados a la implementación de la certificación LEED.
- Evaluar la viabilidad técnico-financiera que permita obtener el ahorro en la factura eléctrica basados en los indicadores de rentabilidad.

3. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de este proyecto, se necesitó realizar una investigación de documentación, con el fin de revisar en trabajos de grados y demás artículos documentos que presentaran un apoyo teórico en la identificación y definición de la metodología para la ejecución de los cálculos y los criterios aplicados al diseño del sistema. Entre las encontradas se puede destacar un estudio hecho por la Universidad libre de Bogotá en 2015. Este estudio realizó un análisis de la viabilidad del suministro de energía eléctrica implementando un sistema solar fotovoltaico en la granja la fortaleza ubicada en melgar Tolima, el estudio muestra una instalación solar de 48 paneles distribuidos en 4 ramas cada una con 12 paneles en serie organizadas en 117,2 m² de la finca con el fin de suplir un consumo de 86,2 kWh por día, el costo de la instalación es de \$ 135,036,294 usando una tecnología de paneles monocristalinos [5].

De acuerdo con (Pérez, 2014) [6] realizó un estudio donde se analizó la factibilidad financiera y técnica de instalar un sistema de generación distribuida de energías renovables basándose en el modelo de negocio “Net Metering”, este análisis lo realizó para distintos tamaños de sistemas solares fotovoltaicos en dos escenarios de evaluación; “Net Metering” de California, Estados Unidos y por otro lado “Net Metering” de la Ley de generación distribuida aprobada recientemente en Chile. Estos escenarios se evaluaron en una residencia de la comuna de Santiago con datos de consumo energético promedio, correspondiente a 2640 (kWh/año). Concluyendo que el modelo de negocio “Net Metering” de California es óptimo para su aplicación. Este estudio sirvió como referencia internacional en modelos de negocios aplicables para la generación de energía eléctrica a partir de energías renovables en este caso energía solar fotovoltaica.

Capacho, Hernández [7] realizaron un diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos para las zonas Wi-Fi de diferentes parques y zonas comunes de la ciudad, además del diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a red para los puntos vive digital de dos colegios de la ciudad, la instalación conectada a red para el punto vive digital colegio Santander tiene una capacidad instalada de 19.323Kw haciendo uso de 56 módulos distribuidos en 4 ramas cada una con 14 paneles en serie, dando una generación promedio diaria de 79,38kWh con una inversión (COP) de \$ 59,098,354 y para la instalación del punto vive digital tecnológico se tiene una capacidad instalada de 26.91kw haciendo uso de 78 módulos organizados en 6 paralelos cada uno con 13 paneles en serie generando 115.792kWh con una inversión (COP) \$ 87.249.943. las emisiones de CO₂eq evitadas durante la vida útil de estos dos proyectos serán de 252.74 CO₂eq.

Martínez Hernández [8] realizó un estudio técnico – económico para la implementación de un sistema microfotovoltaico para los usuarios de EMELNORTE S.A de la ciudad de Ibarra, este estudio, El resultado de esta investigación analiza

la viabilidad técnica y su rentabilidad económica desde dos perspectivas, la primera es considerando que la generación de la instalación fotovoltaica sea igual al consumo eléctrico facturado en el año 2019 y la otra es sobredimensionando el sistema, en ambos casos tiene como finalidad reducir la demanda de energía del usuario.

Julián Salazar en Barcelona el 2016 [9] presento un proyecto donde hace un análisis de viabilidad de una vivienda energéticamente autónoma en Matadepera, como punto a resaltar en este trabajo se menciona que el inversor de corriente fue determinado de manera orientativa debido a la falta de un perfil de demanda de la vivienda, considerando solo los equipos que requieren un uso cotidiano. El resto de los equipos se alimentan por un grupo electrógeno de apoyo.

Los trabajos presentados anteriormente hacen parte de proyectos de diseño y análisis económicos, financieros y ambientales de sistemas solares fotovoltaicos instalados en zonas rurales, residenciales y colegios. Dándonos un amplio marco de referencia en dimensionamientos de sistemas solares fotovoltaicos y modelos de negocios para generadores de energía a partir de energías renovables no convencionales a nivel nacional e internacional. La mayoría de los investigadores utilizan una metodología similar por lo que se pudo hacer una comparación en los modelos matemáticos usados.

unu

4. CONTEXTUALIZACIÓN

4.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA FUNDACIÓN

La Fundación El Cielo de Pao es una entidad sin ánimo de Lucro que brinda apoyo social, económico y afectivo a niños y familias en condiciones desfavorables y que están luchando contra enfermedades hematológicas (cáncer). Se encuentran ubicados dentro del Hospital Universitario de Santander, funcionando en su sede 'La zona Feliz', un espacio donde los niños van a realizar reposo luego de realizar sus quimioterapias.

Actualmente, se está llevando a cabo un nuevo proyecto en memoria de Paola Andrea Gonzales Rueda, una joven que infortunadamente fallece de cáncer y su madre dona una cantidad de dinero que se destina a comprar una casa ubicada en la calle 29 #30-73, cerca al hospital para crear un nuevo hogar de paso para los niños y acompañantes que vienen de provincias a Bucaramanga a sus tratamientos de quimioterapias y/o radioterapias. Esta casa es una casa antigua que, actualmente cuenta con dos pisos cada uno de ellos con un área de construida de 76 m² y pasada su demolición y remodelación contará con la misma área construida, pero con tres pisos. En la figura 1 se muestra la casa actualmente como está y en la figura 2, cómo se verá después de la remodelación.



Figura 1. Infraestructura actual de la casa.
Fuente: Google Maps



Figura 2. Futura infraestructura de la fundación.
Fuente: GeBe Arquitectura

Este nuevo proyecto se encuentra en fase de remodelación, donde se adecuará todo para la seguridad y el confort de los niños. El edificio contará con un cuarto frío y un ascensor, como las cargas más significativas, entre otros electrodomésticos que estarán a disposición de un promedio diario de veinte personas.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Existen tres frentes muy importantes a la hora de abordar la descripción del problema: el técnico, el ambiental y el económico. Los avances tecnológicos que se han venido desarrollando a lo largo de los años, han facilitado y mejorado en diversos aspectos la vida de los seres humanos, y que a su vez ha venido incrementando la demanda energética a nivel mundial, exigiendo a la red eléctrica cada vez más y más, lo que trae como consecuencia la contaminación ambiental por el procesamiento de recursos naturales para la generación de energía eléctrica, lo que resalta la importancia de la diversificación de las energías renovables que sean amigables y sostenibles, como lo es la energía solar.

La generación de energía solar a pesar de ser una de las fuentes de energía con más baja participación en la generación total de energía en Colombia [10], es una fuente de energía ilimitada y limpia. No obstante, existen variables que pueden afectar y/o limitar la instalación fotovoltaica como: el espacio disponible, condiciones meteorológicas de la zona y la demanda energética. Para esto, debe realizarse una

evaluación técnica con el objetivo de evaluar estos factores, que permita determinar la viabilidad técnica, de manera que la fuente renovable pueda ser aprovechada en su mayoría y pueda suplir la mayor parte de la demanda energética. Además, el diseño eléctrico debe garantizar el suministro de energía eléctrica a la edificación mediante la selección de calibres de conductores y diámetros de tubería, salidas (luminarias y tomas eléctricos), diseño de iluminación, cuadros y paneles de distribución bajo la NTC 2050, el RETIE y el RETILAP.

Por otra parte, la fundación, es una entidad sin ánimo de lucro que al pertenecer al régimen tributario especial reciben ciertos beneficios económicos: una tarifa del 20% del Impuesto de Renta y Complementario sobre el beneficio neto o excedente, y tendrá el carácter de exento, cuando éste se destine directa o indirectamente a programas que desarrollen el objeto social y la actividad meritoria de la entidad, en el año siguiente a aquel en el cual se obtuvo. Sin embargo, los recursos de la entidad provienen únicamente de donaciones, lo que genera cierta incertidumbre al tener limitaciones económicas, al tener que solventar los diferentes costos mensuales para mantener el edificio de tres pisos. Uno de ellos es la factura eléctrica mensual del operador de red por el consumo energético que puede llegar a representar el edificio al tener las cargas significativas mencionadas anteriormente, además de otros electrodomésticos que estarán a disposición de un promedio de veinte personas a diario.

Por medio de una instalación fotovoltaica en la que se aproveche al máximo la fuente de energía renovable, garantizando un suministro seguro para los usuarios, que pueda suplir la mayor parte de la demanda energética; así como una disminución de emisiones de toneladas de CO₂ a la atmósfera y a su vez disminuir el costo de la factura eléctrica mensual por el operador de red en un sistema de autoconsumo e intercambio con la red eléctrica.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. MARCÓ TEÓRICO

Según el RETIE, se consideran como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como: conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico, y que se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica; sean públicas o privadas y estén dentro de los límites de tensión y frecuencia aquí establecidos, es decir, tensión nominal mayor o igual a 48 V en corriente continua (c.c.) o más de 25 V en corriente alterna con frecuencia de servicio nominal inferior a 1000 Hz [11]. A continuación, se definirán algunos conceptos importantes para el desarrollo de este trabajo tales como [12]:

- ✓ **Diseño de las instalaciones eléctricas:** Todas las instalaciones eléctricas que requieran estar reglamentadas bajo el RETIE podrán tener un diseño detallado o simplificado según la clasificación de la instalación.
- ✓ **Diseño simplificado:** El diseño simplificado podrá ser realizado por ingeniero o tecnólogo de la especialidad profesional acorde con el tipo de instalación y que esté relacionada con el alcance de la matrícula profesional. Igualmente, el técnico electricista que tenga su certificación de competencia en diseño eléctrico otorgada en los términos de la Ley 1264 de 2008, podrá realizar este tipo de diseño.

El diseño simplificado se aplica para instalaciones eléctricas de vivienda unifamiliar o bifamiliares y pequeños comercios o pequeñas industrias de capacidad instalable mayor de 7 kVA y menor o igual de 15 kVA, tensión no mayor a 240 V, no tengan ambientes o equipos especiales y no hagan parte de edificaciones multifamiliares o construcciones consecutivas objeto de una misma licencia o permiso de construcción que tengan más de cuatro cuentas del servicio de energía y se especifique lo siguiente [12]:

- Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- Diseño del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.
- Cálculos de canalizaciones y volumen de encerramientos (tubos, ductos, canaletas, electroductos).
- Cálculos de regulación.
- Elaboración de diagramas unifilares.
- Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- Establecer las distancias de seguridad requeridas.

✓ **Diseño detallado:** El Diseño detallado debe ser ejecutado por profesionales de la ingeniería cuya especialidad esté relacionada con el tipo de obra a desarrollar y la competencia otorgada por su matrícula profesional, conforme a las Leyes 51 de 1986 y 842 de 2003. Un diseño detallado debe tener lo siguiente [11]:

- Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.
- Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
- Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
- Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- Análisis del nivel tensión requerido
- Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 de la norma ESSA.
- Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
- Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.
- Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma **IEC 60909, IEEE 242**, o equivalente.
- Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.
- Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.

✓ **Elementos que constituyen una instalación eléctrica**

- **Acometida:** Derivación de la red local del servicio respectivo que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. Para el caso de alcantarillado la acometida es la derivación que parte de la caja de inspección y llega hasta el colector de la red local. [13]
- **Medidor:** Equipo que se coloca en la acometida con el fin de cuantificar el consumo eléctrico durante un período de tiempo determinado.
- **Alimentador:** Conjunto de conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de un sistema derivado independiente u otra fuente

de suministro de energía eléctrica, y el dispositivo de protección contra sobre corriente del circuito ramal final o subestación. [12]

- **Interruptor de uso general:** Dispositivo diseñado para abrir, cerrar o conmutar la conexión de un circuito, mediante operación manual. Es capaz de interrumpir su corriente nominal a su tensión nominal. Su capacidad se establece en amperios y cumple funciones de control y no de protección. [12]
- **Tablero:** Encerramiento metálico o no metálico donde se alojan elementos tales como aparatos de corte, control, medición, dispositivos de protección, barrajes, para efectos de este reglamento es equivalente a panel, armario o cuadro.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

5.2.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE CONEXIÓN A RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red, también llamados Grid Tied, hace referencia al tipo de instalación que se encuentra conectado a la red de distribución, permitiendo que los clientes puedan generar y consumir energía solar, pero teniendo como respaldo la red eléctrica en caso de que el cliente consuma más energía de la generada por los paneles. Sin embargo, cuando ocurre el caso contrario y se genera más energía de la consumida, le sistema Grid Tied permite inyectar los excedentes a la red eléctrica siguiendo la normativa de la CREG 030 del 2018. La principal desventaja es que siempre se va a requerir de la red eléctrica para que la instalación fotovoltaica funcione. Este tipo de instalaciones se compone principalmente por cuatro elementos como se muestra en la figura 3: paneles solares, inversores, tablero de distribución y medidor bidireccional el cual, a diferencia del medidor tradicional, es capaz de medir tanto la energía consumida como la generada por los paneles.

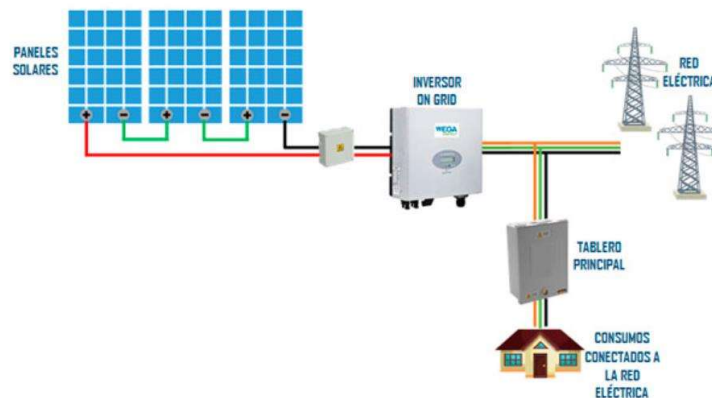


Figura 3. Diagrama básico de un sistema ON GRID.

Fuente: Wega Lighting

5.2.3. APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

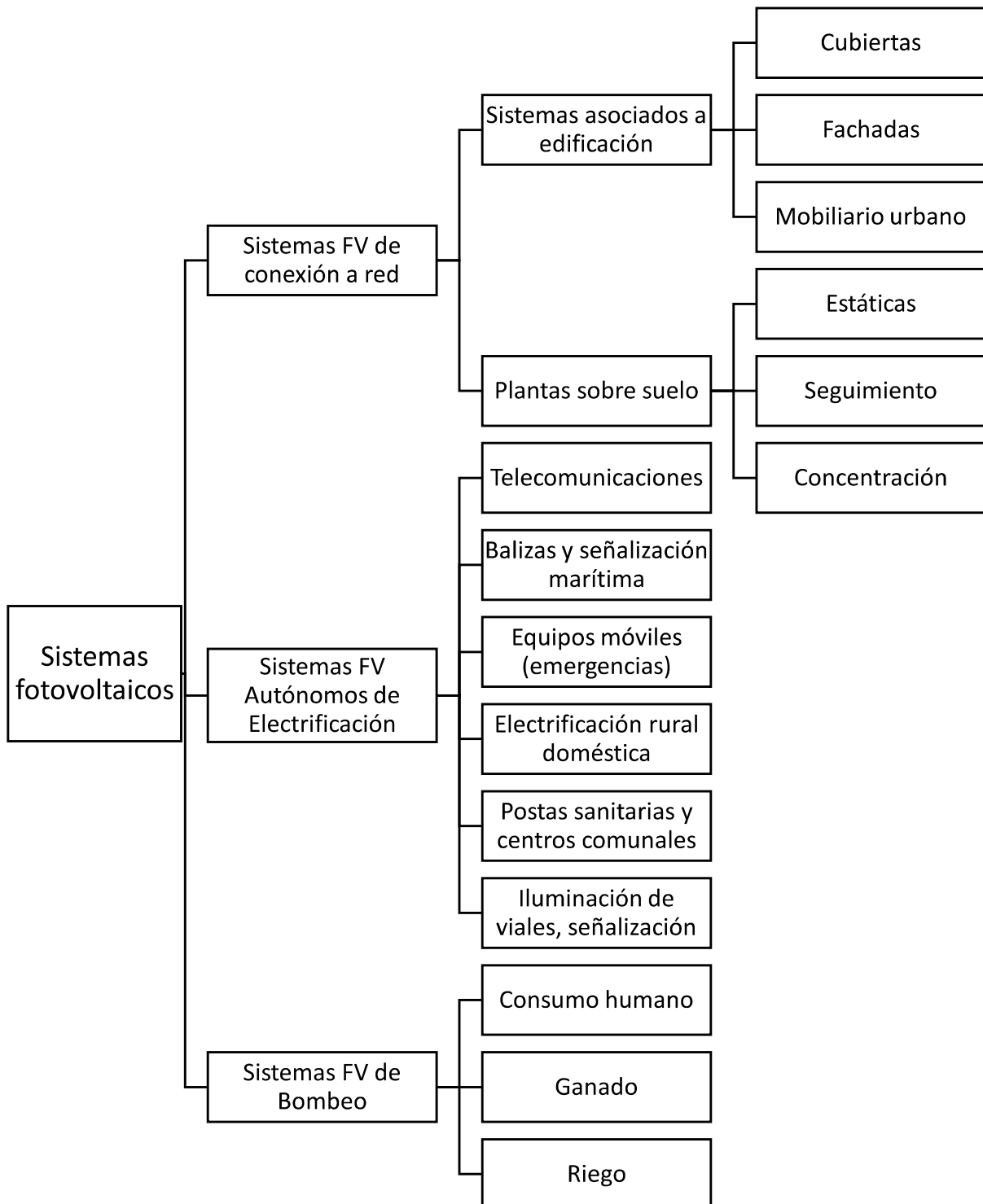


Figura 4. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.
Reconstruido de: Libro de energía solar fotovoltaica de Oscar Perpiñán Lamigueiro.

5.2.4. CURVA DE CARGA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La curva de carga es la representación gráfica de la carga en kW o MW con respecto a una franja horaria expresada en unidades de tiempo. En las curvas de carga se presentan picos de demanda, que nos representa los momentos que hay máxima demanda de energía dentro de la instalación consumidora.

La curva de carga puede ser diaria o anual, en la curva diaria se toman los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día y esta curva da información de las características de la carga en el sistema y como se hace uso de los equipos eléctricos en el transcurso del día. En la curva anual se toman valores de la demanda a la hora pico en cada mes, para visualizar el crecimiento y variaciones de los picos mensuales y anuales. [14]

A modo de ejemplo a continuación en la figura 5, se muestra la curva de proyección de demanda de energía eléctrica mensual en Colombia para el año de 2019 - 2020, donde se evidencia los picos de demanda en los meses finales de cada año.

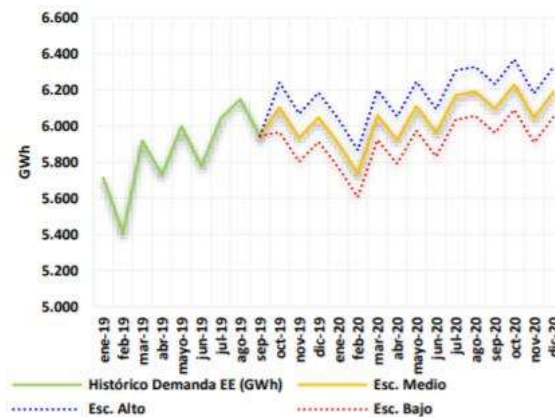


Figura 5. Proyección demanda EE mensual (GWh).
Fuente: UPME

5.2.5. DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

Se entiende por demanda eléctrica, la cantidad de electricidad que una serie de consumidores necesitan para abastecer sus necesidades. Por tanto, la demanda eléctrica nacional es el resultado de la suma de toda la electricidad necesaria para dar suministro a todos los consumidores del territorio nacional: industrias, empresas, oficinas, comercios, hogares, centros públicos, alumbrado. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR [15].

5.2.6. ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA

Para la estimación del consumo energético, es necesario realizar un inventario de los dispositivos que influyen en la demanda, tener en cuenta la potencia de cada uno de ellos y las horas de uso al día de cada dispositivo eléctrico. Si es necesario

se puede usar un factor de simultaneidad para definir qué porcentaje de dispositivos estarán conectados y en uso al mismo tiempo, el valor de este factor será definido por el encargado del dimensionamiento y de sus consideraciones.

Teniendo definidos los parámetros anteriores se aplica la ecuación 1, para calcular la potencia total por dispositivo eléctrico (kW) y para la energía demandada diaria ($\frac{kWh}{\text{dia}}$) se aplica la ecuación 2, que es el producto de multiplicar la potencia total de los electrodomésticos por las horas de uso.

Potencia total:

$$P_{total_i} = P_i \times C_i \quad [kW] \quad (1)$$

Siendo:

P_{total_i} Potencia total consumida por los electrodomésticos [kW]

P_i Potencia del dispositivo eléctrico [kW]

C_i Cantidad de dispositivos eléctricos

Energía demanda en un día:

$$E_{demandada} = \sum_i P_{total_i} \times h \quad \left[\frac{kWh}{\text{dia}}\right] \quad (2)$$

Siendo:

$E_{demandada}$ Energía consumida en un día $\left[\frac{kWh}{\text{dia}}\right]$

h Horas de uso del dispositivo al día [h]

P_{total_i} Potencia total consumida por los electrodomésticos [kW]

5.2.7. SELECCIÓN MODULO FOTOVOLTAICO

En el momento de elegir el panel solar que se usara en la instalación es fundamental conocer las especificaciones técnicas, ya que les permitirá entender su rendimiento, calidad y durabilidad. Existen ciertos criterios en los que el diseñador solar puede basar esta selección, como lo son:

- Tamaño del panel solar: con este parámetro se hace una idea a el espacio requerido para la instalación solar.
- Potencia del panel solar: es el término que se usa normalmente para referirse al tamaño o capacidad del panel, esta es una potencia máxima teórica que

podría entregar el módulo solar en condiciones de operación estándar. Este parámetro sirve para comparar dos módulos con el mismo tamaño y así seleccionar el óptimo para las necesidades establecidas.

- Tolerancia de potencia: este parámetro indica la variación que podría tener la salida de potencia de un panel con respecto a la potencia nominal de este mismo, este rango normalmente se expresa en porcentaje. por tanto, un rango de tolerancia más pequeño es preferible a uno más amplio, ya que esto representaría que el valor es más cercano al esperado.
- Eficiencia de las celdas solares: es un parámetro para tener en cuenta cuando se cuenta con limitantes en el área disponible para la instalación ya que es posible que un panel de alta eficiencia de tamaño reducido genere igual o más energía que un panel con eficiencia estándar de mayor tamaño.
- Coeficiente de temperatura: indica la pérdida porcentual de potencia de salida del panel por cada grado por encima de los 25°C que aumenta la temperatura de las células del módulo. Cuanto menor sea este coeficiente será mucho mejor.
- Durabilidad del panel solar: es un parámetro que indica que tan bien los paneles resistirán el transcurrir del tiempo expuestos a condiciones climatológicas normales como lo es estar en la intemperie a merced de lluvias, suciedad y demás factores perjudiciales para la vida útil y óptimo funcionamiento de los módulos.

5.2.8. ANGULO DE INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

La inclinación y orientación de los módulos son muy importantes para favorecer una mayor captación de radiación, estos parámetros varían con respecto a los datos meteorológicos de la ubicación geográfica donde se llevará a cabo la instalación como lo es la latitud y estación del año.

La orientación óptima del panel en general tiende a orientarse al ecuador. Los paneles ubicados en el hemisferio norte tendrán una orientación óptima hacia el sur y los ubicados en el hemisferio sur se ubicarán orientados hacia el norte.

La inclinación óptima de los paneles va a estar condicionada por la latitud del lugar y la época del año. En países tropicales se usa una inclinación fija para paneles para todo el año, esta inclinación es igual a la latitud del sitio, aunque esta debe de no ser menor a 10° esto con el fin de impedir acumulación de polvo y agua sobre la superficie. [16]

Según J.R.Viloria [17] se plantea que lo ideal es una inclinación del ángulo que equivale a la latitud del sitio más 10° para el desarrollo de este proyecto, en la tabla 1 se simplifica este cálculo. Donde el autor indica la inclinación óptima para cierto rango de latitud.

Tabla 1. *Inclinación del módulo en función a la latitud.*

Latitud del lugar	Ángulo de inclinación del módulo
De 0° a 15°	15°
De 15° a 25°	El mismo que la latitud
De 25° a 30°	Latitud + 5°
De 30° a 35°	Latitud + 10°
De 35° a 40°	Latitud + 15°
Mas de 40°	Latitud + 20°

Fuente: [17]

5.2.9. COEFICIENTE DE RENDIMIENTO (PR)

Es el principal indicador de la calidad de la instalación solar fotovoltaica definido como la relación entre la producción de energía real y teórica de las plantas fotovoltaicas y se expresa en porcentaje. Por tanto, muestra la proporción de la energía que está realmente disponible después de deducirle las siguientes pérdidas; pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por suciedad, pérdidas por sombras, pérdidas por temperatura, pérdidas por miss match, pérdidas óhmicas y pérdidas del inversor.

Cuanto más cerca al 100% sea este indicador, la instalación fotovoltaica trabajara de forma más optima, sin embargo, este porcentaje no es posible de alcanzar por la resta que suponen las pérdidas nombradas anteriormente. El coeficiente de rendimiento para las instalaciones fotovoltaicas oscila entre los 75% y 80%.

Al momento de calcular este indicador existen diversas formas, la más acertada para nuestro caso es la fórmula de coeficiente de rendimiento con corrección de temperatura (ecuación 3) que tiene en cuenta la variación de temperatura ambiente tomando como temperatura de referencia la temperatura a condiciones estándar del módulo.

$$PR = \frac{P_{\max}(\Delta T)}{I_{sc}(\Delta T) \times V_{oc}(\Delta T)} \quad (3)$$

Donde la potencia máxima ($P_{\max}(\Delta T)$), corriente en corto circuito $I_{sc}(\Delta T)$ y voltaje en circuito abierto del módulo $V_{oc}(\Delta T)$ con coeficiente de temperatura están dados por las ecuaciones 4, 5, 6 respectivamente. Estas ecuaciones son una adaptación del anexo A tomada del artículo publicado en 2016 por la comisión electrotécnica internacional (IEC) [18] titulado “rendimiento del sistema fotovoltaico- parte2: método de evaluación de capacidad”. donde γ, β, α son coeficientes de temperatura dados por el fabricante del módulo y expresados en $\frac{\%}{^{\circ}C}$.

$$P_{\max}(\Delta T) = P_{\max 25^{\circ}\text{C}} + P_{\max 25^{\circ}\text{C}} \times \frac{\gamma}{100\%} \times (T_{\text{amb}} - T_{\text{STC}}) \quad (4)$$

$$I_{\text{sc}}(\Delta T) = I_{\text{sc } 25^{\circ}\text{C}} + I_{\text{sc } 25^{\circ}\text{C}} \times \frac{\beta}{100\%} \times (T_{\text{amb}} - T_{\text{STC}}) \quad (5)$$

$$V_{\text{oc}}(\Delta T) = V_{\text{oc } 25^{\circ}\text{C}} + V_{\text{oc } 25^{\circ}\text{C}} \times \frac{\alpha}{100\%} \times (T_{\text{amb}} - T_{\text{STC}}) \quad (6)$$

Siendo:

PR	Coefficiente de rendimiento (performance ratio)
$P_{\max}(\Delta T)$	Potencia máxima entregada por el panel con coeficiente de temperatura [w]
$I_{\text{sc}}(\Delta T)$	Corriente en corto circuito del módulo con coeficiente de temperatura [A]
$V_{\text{oc}}(\Delta T)$	Voltaje en circuito abierto del módulo con coeficiente de temperatura [V]
T_{amb}	Temperatura ambiente en el sitio de instalación [°C]
T_{STC}	Temperatura a condiciones estándares del módulo [°C]
γ	Coefficiente de temperatura de P_{\max} [$\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$]
β	Coefficiente de temperatura de I_{sc} [$\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$]
α	Coefficiente de temperatura de V_{oc} [$\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$]

5.2.10. GENERACION DE ENERGIA DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Para la estimación de la generación del Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV) conectado a la red se requiere saber con anterioridad la cantidad de paneles solares que tendrá el SSFV, la potencia de cada panel, el coeficiente de rendimiento y por ultimo las horas de sol picos característica única del lugar donde estará ubicada la instalación. Con los parámetros anteriores definidos se aplica la ecuación 7 para obtener la generación que tendrá el sistema solar FV en unidades de kWh por día y multiplicándola por 30 días tendremos la generación mensual.

$$E_{\text{generada dia}} = N_{\text{panel}} \times P_{\text{panel}} \times \text{HSP} \times \text{PR} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right] \quad (7)$$

Siendo:

$E_{\text{generada dia}}$	Energía generada por el sistema $[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}]$
N_{panel}	Numero de paneles
P_{panel}	Potencia del panel [w]
HSP	Horas de sol pico [HSP]
PR	Coefficiente de rendimiento (performance ratio)

5.2.11. PORCENTAJE DIARIO DE AHORRO DE ENERGIA

El porcentaje de ahorro de energía diario es la relación entre la energía que se está generando al día con el sistema solar fotovoltaico y la energía que se demanda diariamente, esta relación se puede expresar con la ecuación 8 dando como resultado un indicador que representa de manera cuantitativa el porcentaje de ahorro que se tiene al implementar el sistema solar fotovoltaico.

$$\%E_{\text{ahorrada dia}} = \frac{E_{\text{generada dia}}}{E_{\text{demandada}}} \times 100 \% \quad (8)$$

Siendo:

$\%E_{\text{ahorrada dia}}$	Porcentaje de ahorro de energía al día[%]
$E_{\text{generada dia}}$	Energía generada al día por el SSFV $[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}]$
$E_{\text{demandada}}$	Energía consumida $[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}]$

5.2.12. POTENCIA DEL INVERSOR

Para la selección del inversor normalmente se eligen bajo 2 criterios, el primero (ecuación 9) se trata de seleccionar con un 120% de factor de seguridad "Oversizing" con respecto a las cargas instaladas y el segundo criterio (ecuación 10) es seleccionarlo con un 120% de factor de seguridad inferior a esta misma potencia pico del sistema. Cualquiera de los dos criterios es válido y lo que se busca al aplicar estos factores de seguridad es encontrar el inversor que reduzca al máximo la cantidad de perdidas por "Clipping" en otras palabras que la potencia del inversor sea lo más cercana o igual a la capacidad nominal del sistema solar fotovoltaico (potencia pico).

$$\mathbf{1 \text{ Criterio: }} \text{Potencia}_{\text{Inv}} = \frac{\text{Potencia}_{\text{Pico}}(\text{kWp})}{1.20} [\text{Kw}] \quad (9)$$

$$\mathbf{2 \text{ Criterio: }} \text{Potencia}_{\text{Inv}} = P_i \times C_i \times 1.20 \text{ [kW]} \quad (10)$$

Siendo:

$\text{Potencia}_{\text{Inv}}$	Potencia del inversor [kW]
P_i	Potencia del dispositivo eléctrico [kW]
C_i	Cantidad de dispositivos eléctricos

5.2.13. CONFIGURACION DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO AL INVERSOR

Después de tener definido el inversor, se procede a realizar los cálculos de número máximo de módulos, número máximo de módulos en serie y máximo de módulos en paralelo, con estos datos se puede establecer el número de paneles que tendrá el SSFV y cuantos String habrá como también se conocerán los voltajes y corriente por String.

5.2.14. NUMERO MAXIMO DE MODULOS

Existen diversas fórmulas que permiten calcular el número de paneles solares para cierto SSFV, la que se usa generalmente está dada por un balance energético como lo muestra la ecuación 11.

$$N_{\text{panel}} = \frac{E_{\text{demandada}}}{P_{\text{panel}} \times \text{HSP} \times \text{PR}} \quad (11)$$

Siendo:

N_{panel}	Numero de paneles
$E_{\text{demandada}}$	Energía consumida en un día [$\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$]
P_{panel}	Potencia del panel [kW]
HSP	Horas de sol pico
PR	coeficiente de rendimiento (performance ratio)

5.2.15. NUMERO MAXIMO DE MODULOS EN SERIE Y PARALELO

Se requiere determinar la forma de conectar los paneles fotovoltaicos, de tal manera que se formen ramas con paneles en serie que no superen los valores máximos permitidos de tensión máxima y de tensión en circuito abierto a ser soportado por el inversor [19], la ecuación 12 y 13 representa la cantidad máxima de paneles que se pueden conectar en serie por rama para el inversor seleccionado con

anterioridad, por esto se hace uso de parámetros como voltaje máximo del inversor, voltaje_{MPPT} del inversor, voltaje en circuito abierto del panel solar y voltaje_{MPPT} del panel solar.

Cantidad máxima de paneles en serie con valores máximos

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{max inversor}}}{V_{\text{oc panel solar}}} \quad (12)$$

Cantidad máxima de paneles en serie con valores MPPT

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{MPPT inversor}}}{V_{\text{MPPT panel solar}}} \quad (13)$$

Siendo:

N_{serie}	Números máximo de paneles en serie
$V_{\text{max inversor}}$	Voltaje máximo de entrada del inversor [V]
$V_{\text{oc panel solar}}$	Voltaje Máximo del panel (Voltaje a Circuito Abierto) [V]
$V_{\text{MPPT inversor}}$	Voltaje del Inversor en el Punto de Máxima Potencia [V]
$V_{\text{MPPT panel solar}}$	Voltaje del panel en el Punto de Máxima Potencia [V]

Las ecuaciones 14 y 15 representa el máximo de paralelos que acepta un MPPT del inversor.

Cantidad máxima de paneles en paralelo con valores máximos

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{max inversor}}}{I_{\text{sc panel solar}}} \quad (14)$$

Cantidad máxima de paneles en paralelo con valores de MPPT

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{MPPT inversor}}}{I_{\text{MPPT panel solar}}} \quad (15)$$

Siendo:

N_{paralelo}	Números máximo de paneles en paralelo
$I_{\text{max inversor}}$	corriente máximo de entrada del inversor
$I_{\text{sc panel solar}}$	corriente Máximo del panel (Voltaje a Circuito Abierto)
$I_{\text{MPPT inversor}}$	corriente del Inversor en el Punto de Máxima Potencia
$I_{\text{MPPT panel solar}}$	corriente del panel en el Punto de Máxima Potencia

5.2.16. DISPOSITIVO CONTRA SOBRETENSIONES (SPD/DPS)

Este dispositivo de protección está diseñado para limitar las sobre corrientes transitorias de origen atmosférico y desviar las ondas de corriente a tierra, con el fin de limitar el peligro que representa esta sobretensión para la instalación y el equipo eléctricos de control. Su dimensionamiento se realiza bajo los estándares de la sección 20.14.1 del RETIE Colombiano. Con la ecuación 16 se calcula el voltaje del DPS haciendo uso de un factor de seguridad del 110%.

$$V_{DPS} = 1,1 \times N_{serie} \times V_{oc \text{ panel solar STC}} \quad (16)$$

Siendo:

V_{DPS} Voltaje nominal del DPS [V]

N_{serie} Números máximo de paneles en serie

$V_{oc \text{ panel solar STC}}$ Voltaje de circuito abierto del módulo a condiciones estándar [V]

5.2.17. INTERRUPTOR DE DESCONEXION (ISOLATOR/SECCIONADOR PRINCIPAL/INTERRUPTOR SECCIONADOR DC)

Este interruptor es normalmente usado para realizar cortes de corriente inmediatos de esta manera aislar los módulos solares antes de la conexión con el inversor. Su dimensionamiento se realiza bajo los estándares de la sección 20.16.3 del RETIE Colombiano. Aplicando las ecuaciones 17, 18, 19 se obtendrá los valores de voltaje del interruptor, la corriente máxima del interruptor y multiplicándola por un factor de seguridad del 125% se obtiene la corriente del interruptor. Con estos datos se empieza a buscar el interruptor con valores comerciales más cercanos a los calculados.

$$V_{INT} = 1,2 \times N_{serie} \times V_{oc \text{ panel solar STC}} \quad (17)$$

$$I_{max} = 1,25 \times I_{sc \text{ panel solar}} \times N_{paralelo} \quad (18)$$

$$I_n = 1,25 \times I_{max} \quad (19)$$

Siendo:

V_{INT} Voltaje nominal del interruptor [V]

$V_{oc \text{ panel solar STC}}$ Voltaje de circuito abierto del módulo a condiciones estándar [V]

I_{max} Corriente máxima [A]

$I_{sc \text{ panel solar}}$ Corriente Máximo del panel (Voltaje a Circuito Abierto) [A]

I_n Corriente nominal del interruptor [A]

$N_{paralelo}$ Números máximo de paneles en paralelo

N_{serie} Números máximo de paneles en serie

5.2.18. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DC

El interruptor termomagnético es el dispositivo encargado de proteger el circuito cuando se tengan ciertos valores máximos, protegiéndolo de sobre cargas y aumentos de temperatura. Se dimensionan para una corriente de 125% la corriente máxima que pueda transitar por el tramo eléctrico como se ve en la ecuación 20. Su dimensionamiento se realiza bajo los estándares de la sección 27.4.3 del RETIE Colombiano.

$$I_{\max ITM} = 1,25 \times I_{sc \text{ panel solar}} \times N_{\text{paralelo}} \quad (20)$$

Siendo:

$I_{\max ITM}$	Corriente máxima del interruptor termomagnético [A]
$I_{sc \text{ panel solar}}$	Corriente Máximo del panel (Voltaje a Circuito Abierto) [A]
N_{paralelo}	Números máximo de paneles en paralelo

5.2.19. SISTEMA DE MALLA DE PUESTA A TIERRA

Es un reticulado formado por conductores horizontales y perpendiculares espaciados de manera uniforme (figura 6), son confeccionadas bien sea con alambre de cobre sólido o con alambre de acero revestido con una capa de cobre. Entre los objetivos de la malla se resalta [20]:

- Evitar tensiones peligrosas entre estructuras, equipos y el terreno durante cortocircuitos a tierra o en condiciones normales de operación.
- Evitar descargas eléctricas peligrosas en las personas, durante condiciones normales de funcionamiento.
- Proporcionar un camino a tierra para las corrientes inducidas. Este camino debe ser lo más corto posible.

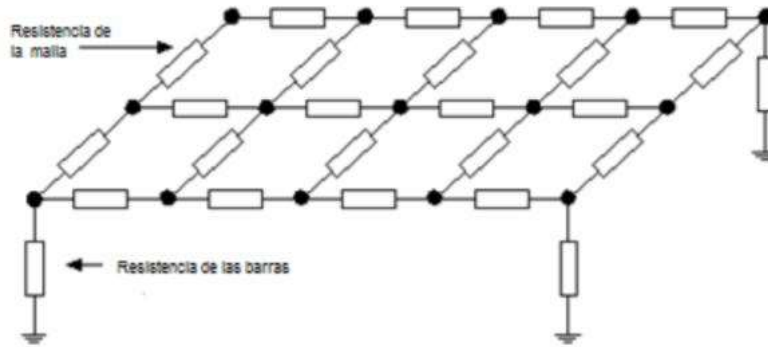


Figura 6. Conexión de una malla de puesta a tierra.
Fuente: [20]

5.2.20. TIPOS DE GENERADOR SEGÚN LA CREG 030

La CREG 030 del 2018 establece tres tipos de generadores, auto generadores a pequeña escala (AGPE), auto generador a gran escala y generador distribuido (GD). Que se describen a continuación:

- Auto generadores a pequeña escala (AGPE): Es cuando un usuario decide producir energía eléctrica principalmente para atender sus propias necesidades y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1 MW. En la Resolución, los AGPE son clasificados según la capacidad o potencia instalada en dos categorías: con capacidad menor o igual a 100 kW y con capacidad mayor a 100 kW menor o igual a 1 MW en los que deben hacer procesos de conexión diferentes.
- Autogenerador a gran escala: Persona natural o jurídica que produce energía principalmente para atender sus propias necesidades, generalmente grandes comercios e industrias, y su potencia instalada es mayor a 1 MW. La Resolución CREG 030 de 2018 aplica para aquellos cuya potencia de generación este entre 1 MW y 5 MW.
- Generador Distribuido (GD) Persona jurídica que produce energía cerca de los centros de consumo, que se encuentra conectado al Sistema de Distribución Local (SDL) y tiene una potencia instalada menor o igual a 100 kW [21].

5.2.21. MODELOS DE NEGOCIO PARA INSTALACIONES SOLARES FOTVOLTAICAS

Gracias a la gran acogida que han tenido las instalaciones solares fotovoltaicas, se han establecido cuatro modelos de negocio:

- **Compra del activo (EPC):** El modelo de negocio EPC es básicamente la compra del activo. En este tipo de contrato, el contratista suministra, instala y pone en funcionamiento los equipos necesarios en el lugar y tiempo acordados

con el cliente, y este adquiere el sistema solar Fotovoltaico por un valor determinado.

En otras palabras, es en el que un contratista, a cambio de un precio, se compromete frente al cliente al diseño, construcción y mantenimiento del proyecto, en este caso, una instalación solar fotovoltaica. Es decir, el cliente es quien compra el proyecto completo y toma los beneficios.

- **Compra del servicio (PPA):** Un PPA (Power Purchase Agreement) es un **acuerdo de compraventa de energía limpia a largo plazo desde un activo concreto y a un precio prefijado** entre un desarrollador renovable y un consumidor o entre un desarrollador y un comercializador que revenderá la energía. La firma de un PPA podría entenderse como la venta de un proyecto y sus atributos medioambientales: es un compromiso que permite al desarrollador renovable **tomar una decisión de inversión bajo criterios de rentabilidad vs. riesgo y/o conseguir la financiación necesaria para ejecutar el proyecto. De este contrato, existen dos tipologías:**
 - **PPA Onsite:** Es un contrato para el suministro de energía eléctrica desde una instalación fotovoltaica montada en las instalaciones del cliente y conectada a su red interior. El desarrollador renovable realiza la inversión, diseña, monta, opera y mantiene la instalación. La energía generada por los paneles es energía que el cliente deja de demandar de la red y el desarrollador la ofrece a un precio más competitivo. Cuando el PPA Onsite finaliza (8-15 años), la energía generada por esos paneles pasa a ser gratuita y la instalación pasa a ser propiedad del cliente.
 - **PPA off site:** Es un contrato asociado a un parque eólico o instalación de energía fotovoltaica conectado a la red de transporte o distribución del sistema eléctrico del país para llevar la energía desde su punto de origen al de consumo [22].
- **Alquiler del activo (Renting):** Con el modelo Renting las empresas pagan un arriendo por el costo del activo (independiente de la generación del sistema solar fotovoltaico). Esto se hace bajo un contrato (entre los 5 a 10 años), donde se paga mensualmente un canon. Con este modelo, como los inversionistas o dueños del activo toma los beneficios que otorga la ley 1715 de 2014 y los transfiere al cliente o usuario ofreciéndoles un canon más competitivo. Bajo este modelo de contrato es posible acordar:
 - ✓ Pago del canon mensual.
 - ✓ Los excedentes de energía del sistema solar fotovoltaico son del usuario o arrendatario. Esto ocurre cuando la demanda de energía del usuario es inferior a la generación de energía del sistema solar fotovoltaico.
 - ✓ El Cliente o usuario del sistema se ve beneficiado por el ahorro en la tarifa eléctrica.

- ✓ En la medida que el contrato es a más largo plazo, el canon del renting es menor.
- ✓ Al final del contrato el activo puede o no puede cambiar de dueño.
- **Leasing del activo (Leasing):** El Leasing Sostenible es una operación de leasing destinada a financiar proyectos sostenibles enfocados a la generación de energía por fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), construcción sostenible, eficiencia energética, producción más limpia y movilidad sostenible. La financiación se sustenta en las variables técnicas del proyecto, y en la eficiencia y productividad que representa. Busca realizar una modelación técnico-financiera que se ajuste a la necesidad del cliente, brindándole una propuesta de ahorro.

5.3. MARCO LEGAL

- **RETILAP:** El objeto fundamental del reglamento es establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: Los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación. [23]
- **NTC 2050:** El objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. Este código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de estas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad. [24]
- **LEY 1715:** La Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. [25]
- **INCENTIVOS TRIBUTARIOS DE LA LEY 1715:** Los interesados en realizar inversiones en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Gestión Eficiente de la Energía, podrán acceder a los incentivos tributarios enunciados por la Ley [26].

Dichos beneficios son dados a todos los inversionistas que presenten su proyecto de Fuentes no Convencionales de Energía y Gestión Eficiente de la

Energía, siempre y cuando cuenten con el certificado de registro ante la UPME, certificado UPME, certificación ambiental ANLA y la notificación a la DIAN del acceso a los beneficios de IVA y aranceles. En la tabla 2 se exponen dichos beneficios tributarios.

Tabla 2. Incentivos tributarios de la Ley 1715.

BENEFICIOS	ARTÍCULOS	DESCRIPCIÓN GENERAL
DEDUCCIÓN ESPECIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA.	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. • Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). 	Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.
DEPRECIACIÓN ACELERADA.	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014 • Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). 	Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.
EXCLUSIÓN DE BIENES Y SERVICIOS DE IVA.	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014. • Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). • Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1. 	Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.
EXENCIÓN DE GRAVÁMENES ARANCELARIOS.	Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1.	Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos con FNCE.

Tabla tomada y adaptada de la *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.*

- **RETIE:** El objeto fundamental de este reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos. Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento; la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas. Igualmente,

es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos [11]:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.
- **CERTIFICACIÓN LEED:** El sistema LEED, acrónimo en inglés de "Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental", consiste en la evaluación del acabado de una construcción según seis criterios principales: sostenibilidad, eficiencia en el aprovechamiento del agua, energía e impacto atmosférico, materiales y recursos empleados, calidad del ambiente interior e innovación y proceso de diseño. El uso eficiente de la energía es el valor que más puntúa en la certificación LEED. Una construcción que siga el tipo de certificado LEED, comparada con otra convencional, reduce entre el 30% y el 70% de consumo de energía, del 30% al 50% el consumo de agua, entre el 50% y el 90% del coste de los residuos, y aproximadamente el 35% de las emisiones de dióxido de carbono. Conseguir cumplir con el conjunto de normas necesario para obtener la acreditación LEED, suele incrementar los costes de construcción y diseño [27].

Esta certificación se clasifica en LEED – NC, CS, CI, ND Y EB, según corresponda el tipo de edificación. A continuación, en la tabla 3 se presenta la descripción de cada una.

Tabla 3. Clasificación LEED.

CLASIFICACIÓN LEED	DESCRIPCIÓN
LEED-NC	Es la clasificación para edificios de Nueva Construcción y Grandes Remodelaciones
LEED-CS	Es la clasificación para núcleo y Envoltorio. Los proyectos pueden incluir un edificio de oficinas comerciales o médicos, centro comercial, almacén, laboratorio o centro.
LEED-CI	Esta clasificación es realizada para los Interiores Comerciales. Este sistema de clasificación fue desarrollado específicamente para los usuarios en los edificios comerciales e institucionales que alquilan un espacio y no ocupan todo el edificio.
LEED-ND	Clasificación para Desarrollos Urbanísticos. Integra los principios del crecimiento inteligente, el urbanismo y la edificación sustentable de barrios.

CLASIFICACIÓN LEED	DESCRIPCIÓN
	En la planificación se tiene en cuenta vías de acceso al transporte público, conservar un espacio abierto y fomentar el acceso a los parques.
LEED-EB	Es la clasificación para edificios existentes. Este ayuda a maximizar la eficiencia de sus operaciones y reducir el impacto en el medio ambiente. Este sistema incita a los propietarios y operadores de edificios existentes para implementar prácticas sostenibles y reducir el impacto medioambiental de sus edificios, al abordar los principales aspectos de las operaciones del edificio.

Fuente: [28]

6. METODOLOGÍA

Para determinar la viabilidad de la instalación del sistema solar fotovoltaico en la Fundación El Cielo de Pao se plantearon los siguientes pasos:

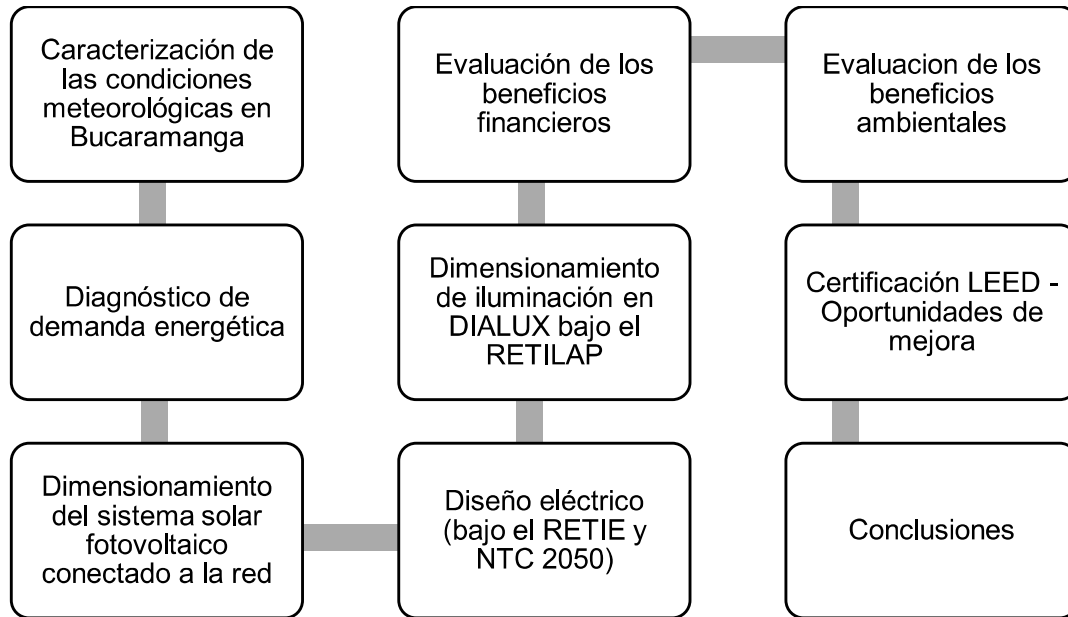


Figura 7. Metodología del proyecto.

6.1. Verificar el estado de las condiciones meteorológicas en Bucaramanga

Para dimensionar el sistema solar fotovoltaico, es necesario tener la información base del recurso solar que estará disponible en la zona de estudio. La medida corresponde a la radiación solar global sobre superficie horizontal; además también es necesario conocer las horas de sol pico que se tendrán en la ciudad, que indicarán el lapso en el que, la irradiancia recibida por el sol sea igual o superior a 1 kWh/m^2 .

Dichas horas de sol pico, se calcularon en base a una comparación entre dos bases de datos de estaciones meteorológicas calibradas y certificadas, obteniendo así, un valor promedio para este parámetro. Adicionalmente, se determinó la inclinación y orientación óptima para garantizar el mayor aprovechamiento del recurso solar.

6.2. Caracterización de la demanda energética

Para soportar el diagnóstico energético se consideraron aspectos de tipo operativo en el que se incluyó un inventario de los equipos que demandan un consumo energético dentro de la Fundación el Cielo de Pao con el fin de obtener la carga instalada.

Dentro de las características que se incluyeron para cada equipo se encuentran la potencia, la cantidad de unidades y el tiempo aproximado de uso diario. La estimación correcta de la energía consumida es una tarea que no resulta fácil en el sentido de que intervienen una cantidad de factores que afectan dicho consumo final de la electricidad como lo es la cantidad de personas que se encuentren dentro de las instalaciones en un momento determinado del tiempo, la composición y los hábitos de los usuarios permanentes y temporales. [29] [5]

De esta forma, ha sido clave la constante comunicación con los encargados de la fundación, con objeto de estimar lo más cercano a la realidad el tiempo de funcionamiento que se le da a cada equipo durante el día.

6.3. Dimensionado del sistema solar fotovoltaico conectado a la red

El dimensionado del sistema solar fotovoltaico conectado a la red consistió en la correcta selección de los componentes del sistema (paneles, inversor, protecciones, etc.), que puedan brindar la mejor eficiencia dependiendo de la demanda energética y las necesidades que pueda tener el usuario.

6.4. Diseño eléctrico (bajo el RETIE y NTC 2050) de la instalación

El diseño eléctrico de la instalación, bajo el RETIE y la NTC 2050, consiste en la correcta selección de protecciones para el cableado y canalizaciones, ubicación y selección de tomacorrientes y luminarias; así como protecciones que garanticen la mayor seguridad de los usuarios residentes y colaboradores en la Fundación.

El diseño eléctrico de la instalación constará de:

- Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- Diseño del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes.
- Cálculos de canalizaciones y volumen de encerramientos (tubos, ductos, canaletas, electroductos).
- Cálculos de regulación.
- Elaboración de diagramas unifilares.
- Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.
- Establecer las distancias de seguridad requeridas.

6.2.3. Consideraciones generales para el diseño eléctrico

Existen una serie de factores y variables especificados en la NTC 2050 que pueden llegar a afectar el diseño de la instalación según sea la localización del proyecto y el tipo de instalación.

- Temperatura

Según sea la temperatura ambiente de la localización, se debe aplicar un factor de temperatura, definido como la capacidad de corriente permisible en conductores

aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C. [24]

En la tabla 4, de la norma de la ESSA, se muestran dichos factores de corrección por temperatura.

Tabla 4. Factores de corrección por temperatura.

Temperatura Ambiente °C	Temperatura del conductor		
	60 °C TW	75 °C THW	90 °C XLP
21-25	1,08	1,05	1,04
26-30	1	1	1
31-35	0,91	0,94	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76
56-60	-	0,58	0,71
61-70	-	0,33	0,58
71-80	-	-	0,41

Fuente: Norma ESSA

Para Bucaramanga, se seleccionó una temperatura ambiente de 30° como el peor de los casos, siendo '1' el factor de corrección por temperatura.

- Transformador

Actualmente, se cuenta con un transformador compartido en la zona. A continuación, en la figura 8, se presenta la descripción técnica de dicho transformador, emitida por la ESSA.

Información Detallada

Características

Transformador	103521
Latitud	7.12765494
Longitud	-73.11660039
Capacidad Nominal Transformador (kVA)	45
Tensión Punto de Conexión	220
Sumatoria de la capacidad nominal de AGPE o GD instalada en funcion de la capacidad del transformador	1
Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Sin almacenamiento)	1
Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Con almacenamiento)	1
Tensión Nominal S/E (kV)	13200/220
Circuito	20506

Figura 8. Características técnicas del transformador actual.

Fuente: ESSA

Sin embargo, se realizaron los respectivos trámites para realizar el cambio de transformador, en el que tendrá una mayor capacidad nominal y de esta manera poder aumentar la capacidad instalada en paneles para poder llegar a suplir la mayor demanda en el escenario real. En la figura 9, se presenta el transformador al que se conectará el edificio.

Información Detallada

Características

Transformador	180309
Latitud	6.87947353
Longitud	-73.40714535
Capacidad Nominal Transformador (kVA)	75
Tensión Punto de Conexión	220
Sumatoria de la capacidad nominal de AGPE o GD instalada en función de la capacidad del transformador	1
Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Sin almacenamiento)	1
Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Con almacenamiento)	1
Tensión Nominal S/E (kV)	13200/220
Círculo	65501
Subestación	65

Figura 9. Características técnicas del transformador al que se conectará el edificio.
Fuente: ESSA

A partir de esto, fueron tomadas las características técnicas del transformador de 75 kVA.

6.5. Dimensionado de iluminación en DIALUX bajo el RETILAP

El dimensionado de iluminación en DIALUX consiste en la simulación del edificio en el software, implementando luminarias eficientes que dependiendo del espacio, variará el número de luminarias, que puedan alcanzar al menos el mínimo de Luxes necesarios según lo exija el RETILAP, para garantizar el confort de los usuarios que hagan uso de estos espacios en el edificio que se clasificó como un colegio y centro educativo, teniendo en cuenta también la luminancia media en áreas generales en las edificaciones. En la tabla 5, se encuentran los niveles mínimos, medios y máximos de Luxes exigidos por el RETILAP que se aplicarán para el presente caso.

Tabla 5. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGRL	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños	25	100	150	200
Almacenes, bodegas	25	100	150	200
Colegios y centros educativos.				
<i>Salones de clase</i>				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1000
<i>Salas de conferencias</i>				
Iluminación general	22	300	500	750
	19	500	750	1000
Tableros				
Bancos de demostración	19	500	750	1000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

Fuente: RETILAP.

El software DIALux es un programa gratuito que permite realizar diseños de instalaciones de iluminación tanto interior como exterior, está basado y de hecho da la posibilidad de trabajar en conjunto con el software de diseño gráfico AUTOCAD lo cual facilita el proceso de diseño, pues cuando se utiliza esta opción solo es necesario cargar el diseño de la edificación en el DIALux y sobre este realizar el diseño de la instalación de iluminación. Otras de las aplicaciones más importantes de DIALux consisten en que permite visualizar en gráficos tridimensionales los diagramas polares de la distribución luminosa de las luminarias utilizadas, representa gráficamente por medio de colores y líneas los niveles de iluminancia en la edificación y permite calcular los niveles de deslumbramiento o UGR, etc.

La manera en que DIALux modela sus luminarias y lámparas es a través de catálogos interactivos otorgados por los fabricantes de estas; en estos catálogos basta con seleccionar el tipo de aplicación de la instalación, tales como comercial, industrial, residencial o decorativa y aparecerán toda una gama de luminarias disponibles junto con sus datos luminotécnicos. Estas luminarias se pueden insertar

en la edificación bien sea una por una o se puede utilizar uno de los asistentes que posee este programa [30].

Finalmente, cuando el diseño de un sistema de iluminación es terminado el programa se encargará de realizar la correcta organización de todos los aspectos del diseño en forma de documento de formato PDF.

6.6. Evaluación de los beneficios ambientales

Para realizar la evaluación ambiental, se utilizó la metodología de cálculo de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional dado como toneladas de CO₂ por Megavatio hora producidas, con el fin de determinar la reducción de estas emisiones por tratarse de un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) como lo es la energía solar fotovoltaica [5].

6.7. Evaluación de los beneficios financieros

Para evaluar los beneficios financieros de instalar un sistema solar fotovoltaico en la Fundación, se utilizarán los métodos de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR); es necesario calcular el ahorro anual derivado del uso de energía solar mediante la demanda energética para la cual se dimensionó el sistema. Variaciones de estos valores traerán a su vez cambios en el ahorro mensual que pueden perjudicar, beneficiar o no afectar el ahorro acumulado durante la vida útil del sistema.

Adicionalmente es necesario conocer el uso del sistema solar fotovoltaico considerando la depreciación anual, el costo de capital, disminución de la potencia anual y el costo por mantenimiento. Los resultados de VPN se representarán en términos absolutos, valores positivos implicarían la recuperación de la inversión adicional a los flujos superiores a cero; valores negativos indicarían que los ahorros por la implementación del sistema solar fotovoltaico son inferiores a la inversión realizada y por lo tanto no será conveniente [5].

6.8. Certificación LEED – Oportunidades de mejora

Este capítulo consiste en la búsqueda de oportunidades de mejora de la certificación LEED, que puedan aplicarse a la edificación, no con el fin de obtener la certificación propiamente, si no para hacer del mismo, un edificio más sostenible y amigable con el medio ambiente.

7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El área de estudio para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la Fundación el Cielo de Pao se encontrará en la ciudad de Bucaramanga, Santander en la calle 29 #30-73 esquina (figura 10).



Figura 10. Localización de la Fundación el Cielo de Pao.
Fuente: Google Maps.

El área de influencia del proyecto se encuentra en la calle 29 #30-73 esquina, en una zona de uso residencial. Actualmente se encuentra en una fase pre-operativa, para seguir con la fase de adecuación y construcción de la infraestructura (Figura 11).



Figura 11. Infraestructura existente de la Fundación el Cielo de Pao.
Fuente: propia

8. DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico es realizado de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, la norma Técnica Colombiana NTC 2050, la norma del operador de red ESSA (Electrificadora de Santander) y el RETILAP. A continuación, se presentan los componentes que incluyen el diseño eléctrico. En la carpeta de anexos se incluyen las memorias de cálculo, diagramas unifilares e informes.

8.1. DISEÑO DE INSTALACIONES INTERNAS

El diseño de las instalaciones internas se elaborará sobre planos de planta, en los cuales se represente de manera unifilar la localización de salidas indicando el tipo de carga o aparato que será atendido en cada una de ellas [12].

8.1.1. NIVELES DE ILUMINANCIA

Para el diseño de iluminación es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones [12]:

- ✓ Suministrar una cantidad de luz suficiente.
- ✓ Eliminar todas las causas de deslumbramiento.
- ✓ Prever el tipo y cantidad de luminarias apropiadas para cada caso particular teniendo en cuenta su eficiencia.
- ✓ Utilizar fuentes luminosas que aseguren una satisfactoria distribución de los colores.

Con el ánimo de satisfacer las condiciones anteriores y garantizar el cumplimiento del RETILAP, se realizó una simulación en DIALux. Para realizar la simulación fue necesario recrear el edificio de tres pisos sobre planos, con sus respectivos colores de paredes y pisos, además establecer cada una de las zonas que habrá, pues cada una de estas variables afectan la eficiencia y luminancia de cada una de las áreas. En la tabla 6 se presentan las áreas establecidas, luminarias, su potencia, el nivel de luminancia como resultado obtenido de la simulación y por último los valores de luminancia mínimos y máximos exigidos en el RETILAP a modo de comparación entre ambos valores. En la figura 12 se presenta la recreación del edificio en el Software.

Finalmente, DIALux emite un informe en el que se presentan en una lista todas las luminarias utilizadas, planos de situación de luminarias, objetos de cálculo y planos útiles de cada área y espacio de la edificación. A modo de ejemplo se tomó como zona de estudio el área Sala/Estudio. En la figura 13, se *presenta* la simulación de esta área con las luminarias encendidas en ausencia de luz natural, en donde se pueden apreciar los tres tipos de luminarias empleadas en cada subzona: dos LYTEPANEL II para la parte del comedor, dos Instar Mini en el espacio disponible para adecuar decoraciones y un Insaver 150 para el escritorio.

Tabla 6. Resultados de la simulación en DIALUX.

					Niveles de iluminancia [lx]		
Zona	# luminarias	Referencia	Potencia	Simulación en DIALUX	Iluminancia según RETILAP		
					Mínimo	Máximo	
PISO 1	Garaje	1	LYTEPANEL II	35	309		
	Sala/estudio	2	LYTEPANEL II	35	238	200	500
	Patio	1	START FLOOD IP66	100	435	-	-
	Escaleras	1	Insaver 150	9	103	100	200
	Local	1	LYTEPANEL II	35	358		
	Circulación 01	2	Insaver 150	9	212		
	Cocina	1	START ECO DOWNLIGHT	12	185		
	Lavandería	2	Insaver 150	9	200	100	200
	Baño auxiliar	2	Lumipanel LED	6	119	100	200
			Insaver 150	9			
Baño local	1	Insaver 150	9	161	100	200	
PISO 2 Y PISO 3	Habitación 03	2	START ECO DOWNLIGHT	12	105	100	200
	Habitación 04	2	START ECO DOWNLIGHT	12	105	100	200
	Habitación 05	2	START ECO DOWNLIGHT	12	113	100	200
	Habitación 06	2	START ECO DOWNLIGHT	12	149	100	200
	Habitación 07	2	START ECO DOWNLIGHT	12	157	100	200
	Circulación 02	2	Insaver 150	9	52,4	200	500
	Baño 07	2	Insaver 150	9	115	100	200
			Lumipanel LED	6			
	Baño 08	1	START ECO DOWNLIGHT	12	124	100	200
	Baño 10	2	Lumipanel LED	6	108	100	200
		1	Insaver 150	9			
	Ducha 1/Sanitario 1	1	Insaver 150	9	87	100	200
	Sanitario 2	1	Insaver 150	9	128	100	200

Fuente: Propia

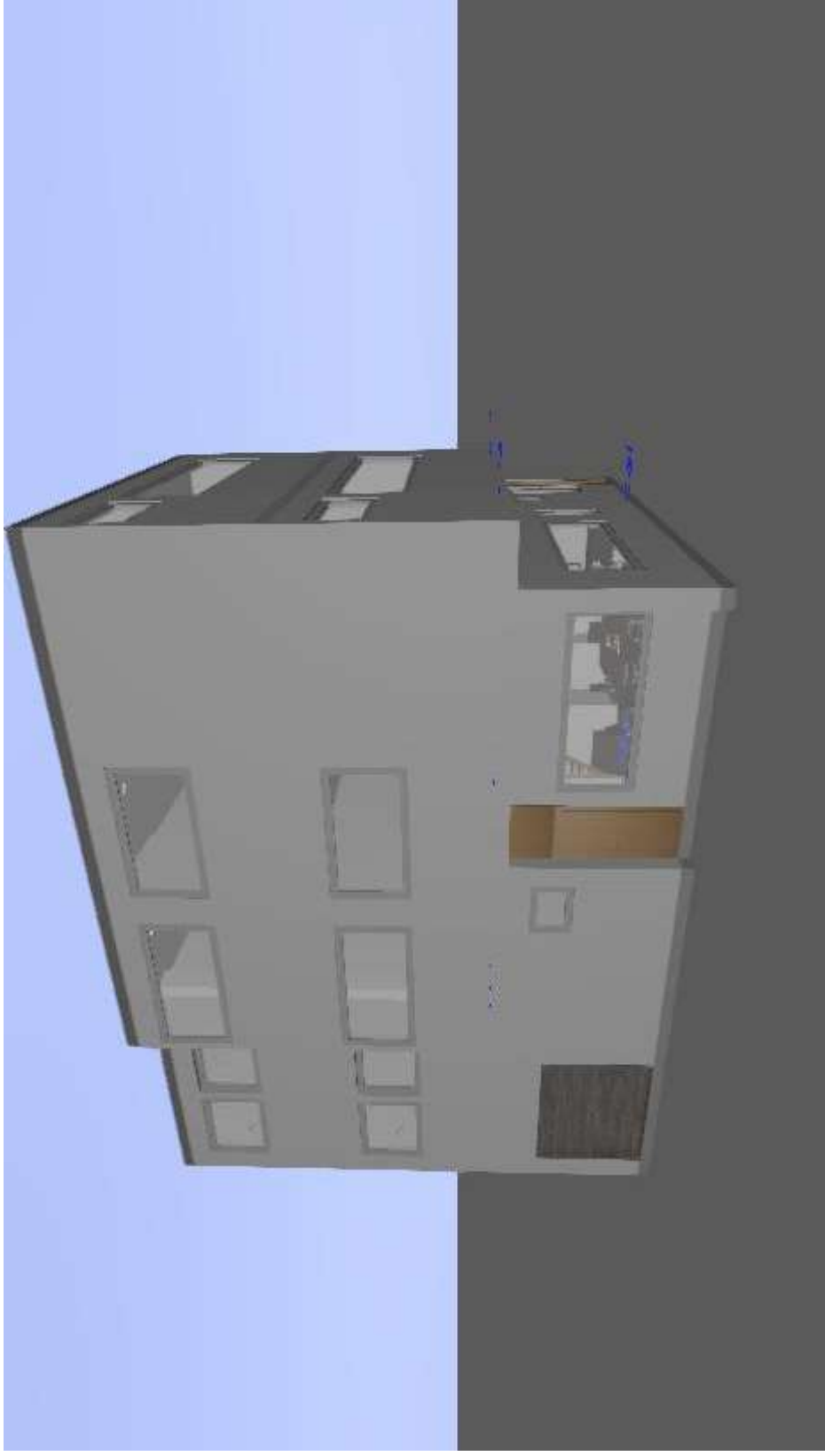


Figura 12. Resultado de la recreación de la totalidad del edificio en DIALux.
Fuente: Propia



Figura 13. Área Sala/Estudio
Fuente: Propia

La figura 14 ilustra las respectivas curvas Isolux de la zona Sala/Estudio, estas curvas representan los puntos que tienen misma intensidad luminosa. Como se puede apreciar en la figura los puntos con mayor intensidad luminosa se encuentran sobre el comedor con 500 luxes; los puntos con menor intensidad luminosa están sobre la pared derecha de la habitación con una intensidad de 140 luxes, siendo estos el punto más lejano a la fuente luminosa y como promedio de intensidad luminosa para el área se tiene 168 luxes. En la carpeta de anexos se podrá encontrar el informe completo de la simulación.

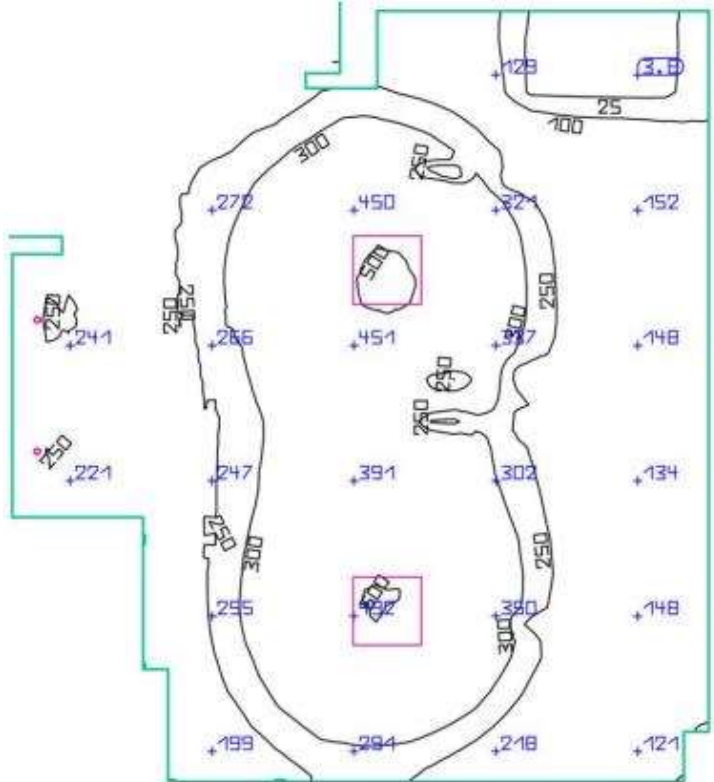


Figura 14. Plano útil del área Sala/Estudio como resultado de la simulación en DIALux.
Fuente: Propia

8.1.2. SALIDAS NECESARIAS

El número de salidas necesarias para instalaciones eléctricas internas se establece en la parte C de la sección 210 del Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050 que establece las condiciones generales de los circuitos ramales. Además, se tuvieron en cuenta cada uno de los requerimientos especificados en la sección 3.1.2 de las Normas Para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA, que establece las condiciones necesarias para las salidas necesarias.

A continuación, en la figura 15 y 16, se presentan los planos de tomacorrientes y luminarias que se distribuyeron en el piso 1 y el piso 2 y 3 respectivamente, teniendo en cuenta las luminarias mencionadas en la tabla 6.



Figura 15. Plano de salidas de tomacorrientes y luminarias del primer piso.
Fuente: Propia



DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y COMUNICACIONES
 PISO TERCERO - 3
 ESCALA 1:75

Figura 16. Plano de salidas de tomacorrientes y luminarias del segundo y tercer piso.
 Fuente: Propia

8.1.3. CUADROS Y PANELES DE DISTRIBUCIÓN

Además de lo estipulado en esta norma, el Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050 en su sección 384 presenta las generalidades sobre cuadros y paneles de distribución. Los tableros de distribución tendrán la capacidad para alojar la totalidad de circuitos ramales derivados de ellos, de tal manera que cada circuito ramal cuenta con una protección contra sobre corriente independiente. La distribución de las fases en las instalaciones trifásicas debe ser A, B y C, desde el frente hacia atrás, de arriba abajo o de izquierda a derecha vista desde la parte delantera del tablero de distribución.

Fueron distribuidos 5 tableros, descritos en las tablas 7, 8, 9, 10 y 11. Se exponen las descripciones de los diferentes circuitos, número y tipo de tomacorrientes y luminarias, factor de potencia, fase utilizada, corriente por fase, protecciones seleccionadas por circuito, tipo y material del conductor y tipo y diámetro de tubería.

En las tablas 7, 8 y 9 se presentan los tableros monofásicos para cada piso cuyo balance se realizó estableciendo una fase por piso. En las tablas 10 y 11 se presentan los tableros trifásicos para el ascensor y el cuarto frío respectivamente.

Tabla 8. Tablero de distribución piso 2

N° CIRCUITO	TIPO DE TABLERO		UBICACIÓN										MONTAJE		TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TOMAS E ILUMINACIÓN								
	MONOFÁSICO		CUARTO TÉCNICO										EMPOTRAR		PISO 2 (TD_TM-ALUM_P1)								
	NÚMEROS DE CIRCUITOS		VIENE										TOTALIZADOR		CORRIENTE NOMINAL [A]								
	6		TABLERO GENERAL (TG)										1X40A		30,131								
	TOMA- CANTIDAD	T.G.FCI	S.1	T.F	ILUMINACIÓN						F.P	FASE UTILIZADA [VA]			CORRIENTE FASE	PROTECCIÓN		CONDUCTOR		TUBERÍA			
					Bala 12W	Panel	Bala 9w	Emerg	Bala 6w	Bala 3w		Aplique	A	B		C	THWN	AMP	POLOS		THWN	AL	TPO
1	6	1										0,9	1260			9,92	1	20A	12	X	PVC	1/2	
2	6	1										0,9	1260			9,92	1	20A	12	X	PVC	1/2	
3	4	2										0,9	1080			8,50	1	20A	12	X	PVC	1/2	
4							4					0,9	226,667			1,78	1	20A	12	X	PVC	1/2	
5																							
6																							
TOTAL		16	4	0	0	0	8	0	0	0	0		3826,67	0	0								

TOTAL: 3,826666667 KVA

Fuente: Propia

Tabla 9. Tablero de distribución piso 3.

N° CIRCUITO	TIPO DE TABLERO		UBICACIÓN										MONTAJE		TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TOMAS E ILUMINACIÓN																	
	MONOFÁSICO		CUARTO TÉCNICO										EMPOTRAR		PISO 3 (TD_TM-ALUM_P2)																	
	NUMEROS DE CIRCUITOS		VIENE										TOTALIZADOR		CORRIENTE NOMINAL [A]																	
	6		TABLERO GENERAL (TG)										1X40A		30,131																	
	TOMA- CANTIDAD			ILUMINACIÓN CANTIDAD							FASE UTILIZADA [VA]			PROTECCIÓN		CONDUCTOR		TUBERÍA														
	T.N	T.GCI	S.I	TE	Bala 12W	Panel	Bala 9w	Emerg	Bala 6w	Bala 3w	Apilque	F.P	A	B	C	POLOS	AMP	THWN	AL	Φ												
1	6	1										0,9				1	20A	12	X	PVC	1/2											
2	6	1										0,9				1	20A	12	X	PVC	1/2											
3	4	2										0,9				1	20A	12	X	PVC	1/2											
4					9	8	4					0,9				1	20A	12	X	PVC	1/2											
5																																
6																																
TOTAL												16	4	0	0	9	0	8	0	0	0		0									
												TOTAL:		3,82666667		kVA																

Fuente: Propia

Finalmente, en la tabla 12 se presenta el tablero general con la descripción de los circuitos de cada uno de los tableros, la fase utilizada de cada uno, la corriente, las protecciones, el calibre y tipo de los conductores y el tipo y diámetro de la tubería por la que irán los conductores; además se calculó también la carga instalada del edificio por medio de la suma del total de cada una de las fases, determinando así un total de 23,22kVA.

Se sumó el total de cada una de las fases para sacar un promedio que da como resultado un porcentaje de desbalance, que debe ser lo más cercano a cero posible. En este caso se logró un desbalance del 2,7%. Además, se da cumplimiento también en la regulación de voltaje permitida desde la acometida al alimentador (hasta el tablero general) que dio como resultado 1,44% del 3% permitido en la sección 2.1.4 de las Normas Para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución de la ESSA donde se especifican los porcentajes de regulación de tensión.

Tabla 12. Tablero general.

TIPO DE TABLERO		MONTAJE		VIENE		TABLERO GENERAL (TG)							
TRIFÁSICO		SOBREPONER		TRANSFORMADOR (TRAFO)									
NÚMEROS DE CIRCUITOS		TOTALIZADOR			CORRIENTE NOMINAL			ALIMENTADOR					
12		3X75A			60,938			1X(3X2+2)+2T					
N° CIRCUITO	DESCRIPCIÓN CIRCUITO	F.P	FASE UTILIZADA [VA]			CORRIENTE FASE	PROTECCIÓN		CONDUCTOR		TUBERIA		
			A	B	C		POLOS	AMP	THWN	MATERIAL		TIPO	Φ
										CU	AL		
1	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TOMAS E ILUMINACIÓN PLANTA BAJA (TD_TM-ALUM_PB)	0,9	4192,22	0	0	33,01	1	40A	8	X		PVC	3/4
3	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TOMAS E ILUMINACIÓN PISO 2 (TD_TM-ALUM_P1)	0,9	0	3740	0	30,13	1	40A	8	X		PVC	3/4
5	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TOMAS E ILUMINACIÓN PISO 3 (TD_TM-ALUM_P2)	0,9	0	0	3826,667	30,13	1	40A	8	X		PVC	3/4
(2-4-6)	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ASCENSOR	0,9	1533,33	1533,33	1586,667	15,22	3	40A	8	X		PVC	3/4
(7-9-11)	TABLERO DISTRIBUCIÓN AA	0,9	1269,5	2255,5	2050	14,63	3	50A	6	X		PVC	1
12	RESERVA												
TOTAL			6995,06	7528,83	7463,333								

TOTAL CARGA INSTALADA

23,22 KVA

BALANCE DE ENERGÍA		
6995,056	7528,833	7463,33

% DESBALANCE	VERIFICACIÓN
2,7%	CUMPLE

Fuente: Propia

9. DIMENSIONADO FOTOVOLTAICO

9.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Para la estimación del consumo energético total de la fundación se realizó un inventario de aparatos consumidores de electricidad por cada piso de esta vivienda, dividiéndola en los siguientes circuitos:

- Planta baja
- Piso 2
- Piso 3
- Circuito ascensor
- Circuito de refrigeración

Esta fundación tiene como objetivo darles hogar a los niños con cáncer y sus familias, mientras reciben sus tratamientos médicos en la ciudad. por lo tanto, funcionara como cualquier otro hogar con la excepción de que se implementara el uso de un ascensor y cuarto frio cuyas fichas técnicas se encuentran en los anexos 3 y 4 respectivamente. Estos dos aparatos representan un 70% de la demanda mensual de este hogar.

La casa se encontrará habitada durante todo el año, por lo tanto, el uso de los aparatos eléctricos allí será constante. Para el diagnostico de las horas de uso al día de cada electrodoméstico, se tomó como referencia la tabla de consumos típicos desarrollada por la empresa EPM en el informe titulado “uso inteligente de la energía eléctrica” (anexo 5), teniendo las horas de uso y la potencia a la cual trabaja cada dispositivo eléctrico se procede a calcular la demanda energética por día y mes en kWh.

En la tabla 13, se presentan las cargas que se instalarán en la fundación, cantidad, potencia promedio y total, horas de uso diarias, consumo diario y mensual. A modo de ejemplo el consumo diario promedio para la Nevera usando la ecuación 2, sería de:

$$E_{demandada} = 150 W \times 12 h = 1800 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

Tabla 13. Inventario de aparatos eléctricos.

	Aparato	Cantidad	Potencia promedio (w)	Potencia total (w)	horas de uso al día (h)	Consumo diario promedio (Wh/día)	Consumo mensual promedio (kWh/mes)
Circuito Planta Baja	Iluminaria primer piso	2	12	24	4	96.00	2.88
	Iluminaria primer piso	4	45	180	4	720.00	21.60
	Iluminaria primer piso	8	9	72	4	288.00	8.64
	Iluminaria primer piso	1	6	6	4	24.00	0.72
	Iluminaria primer piso	2	3	6	4	24.00	0.72
	Iluminaria primer escalera	1	9	9	4	36.00	1.08
	Iluminaria primer emergencia	5	4	20	4	80.00	2.40
	Router	1	3.57	3.57	24	85.68	2.57
	Cafetera nespresso	1	750	750	0,33	247.50	7.43
	Nevera	1	150	150	12	1800.00	54.00
	Licudadora black & decker	1	400	400	0,25	100.00	3.00
	Microondas LG	1	700	700	0,33	231.00	6.93
	Plancha	1	1000	1000	0,4	400.00	12.00
	Lavadora LG	1	330	330	0,4	132.00	3.96
	Televisor 42.5 "	1	60	60	6	360.00	10.80
Equipo sonido	1	150	150	2	300.00	9.00	
Circuito Piso 2	Iluminaria segundo piso	9	12	108	4	432.00	12.96
	Iluminaria segundo piso	8	9	72	4	288.00	8.64
	Iluminaria segundo piso	4	6	24	4	96.00	2.88
	Ventiladores	5	60	300	6	1800.00	54.00

	Aparato	Cantidad	Potencia promedio (w)	Potencia total (w)	horas de uso al día (h)	Consumo diario promedio (Wh/día)	Consumo mensual promedio (kWh/mes)
	Televisor 32 "	5	60	300	6	1800.00	54.00
	Computador	2	250	500	6	3000.00	90.00
	Router	1	3.57	3.57	24	85.68	2.57
	Cargadores con celular conectado	5	12	60	0.5	30.00	0.90
	Aspiradora	1	1000	1000	0.1	100.00	3.00
Circuito Piso 3	Iluminaria segundo piso	4	12	48	4	192.00	5.76
Circuito Ascensor	Motor 5 HP	1	3700	3700	6	22200.00	666
	Bomba tornillo	1	200	200	6	1200.00	36
	Iluminaria	4	12	48	4	192.00	5.76
Circuito AA	Refrigerador (evaporador + condensadora)	1	1500	1500	5	7500	225
	Aire acondicionado 9000 BTU	1	766	766	3	2298	68.94

CONSUMO DIARIO TOTAL del hogar(kWh/día)	46.138
CONSUMO MENSUAL TOTAL del hogar (kWh/mes)	1384.136

Fuente: propia

Teniendo definido el consumo energético total se procede a realizar la distribución horarias de esta carga, tenido en cuenta factores como franja horaria en que se realizaran las comidas, ya que es cuando los electrodomésticos de la cocina entraran en funcionamiento y los niños se desplazaran a comer haciendo uso del elevador , también se debe tener en cuenta las horas donde los niños realizaran actividades lúdicas y horas en que descansaran haciendo uso de televisores, ventiladores y demás electrodomésticos de aseo. Como resultado en la figura 17 se tiene una curva de carga en función de las horas del día.



Figura 17. Distribución horaria por día de la carga eléctrica en el hogar.
Fuente: propia.

9.2. CARACTERIZACIÓN DE CRITERIOS METEOROLÓGICOS

- **Cálculo de inclinación y orientación del panel:** Para la inclinación del módulo se hace uso de la tabla 1 que indica la inclinación óptima del módulo teniendo en cuenta los datos geográficos latitud y longitud, para este caso $7^{\circ}07'41,6''$ y $73^{\circ}06'57,5''$ respectivamente. la inclinación óptima según esta tabla, es de 15° . Para garantizar el mayor aprovechamiento del recurso solar la orientación idónea es hacia el sur (Angulo azimutal de 180°).
- **Horas de sol pico (HSP):** Las horas de sol pico usadas para este caso fueron el resultado de comparar las HSP día por día entre la base de datos de la NASA y la estación meteorológica Meteonorm 8.0, con el fin de obtener el valor de HSP promedio durante el mes. La figura 18, presenta el comparativo realizado, donde la barra azul indica los datos suministrados por la estación de la NASA Y la barra naranja representa los datos de la estación Meteonorm 8.0.

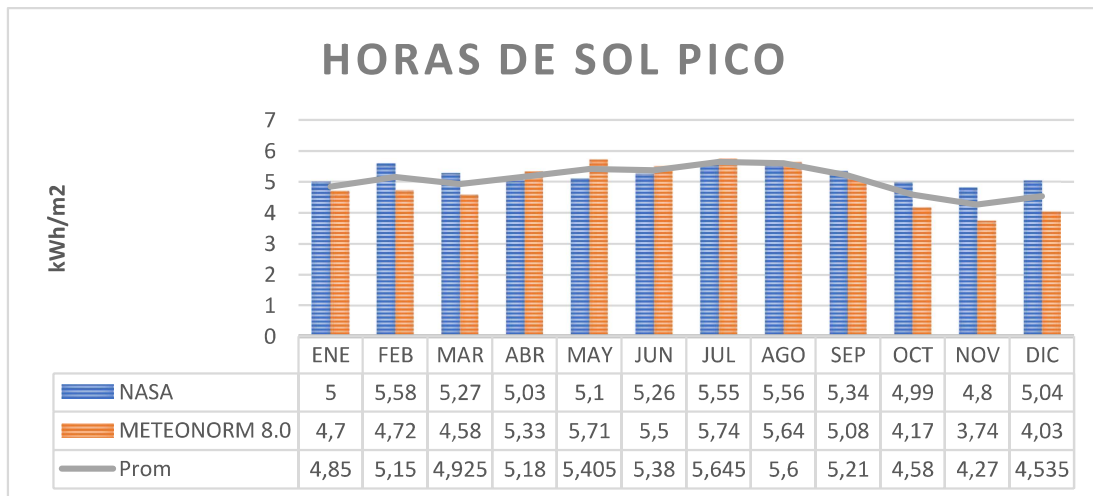


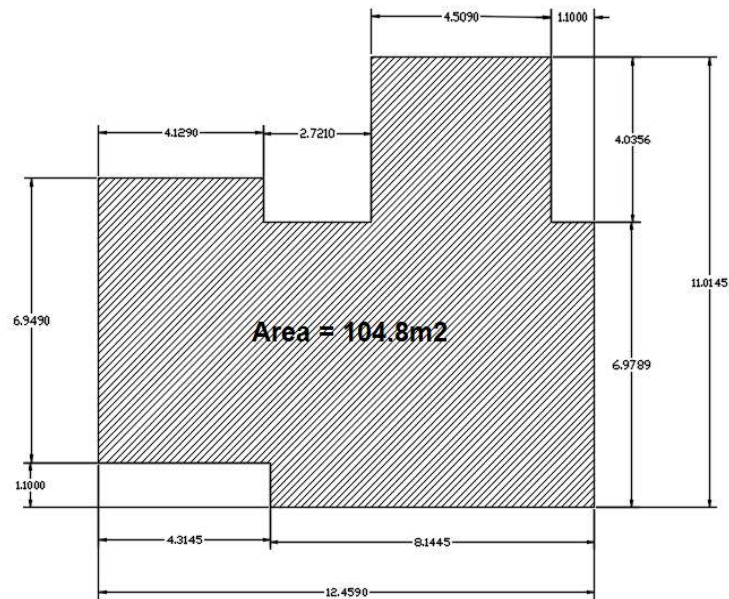
Figura 18. Comparación de HSP entre la base de datos de la NASA y Meteonorm 8.0.
Fuente: Propia

Como resultado se obtuvo que las horas de sol pico promedio según la NASA es 5.21 HSP y según Meteonorm 8.0 es 4.91 HSP como se puede observar en la figura. para el proyecto se decidió usar un promedio entre ambos resultados, siendo 5.1 las horas de sol pico promedio por mes.

9.3. REVISIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS

9.3.1. DISPONIBILIDAD DE ÁREA

Para el proyecto se cuenta con un área plana de 104.8 m² como se puede ver en la figura 19.



*Figura 19. Plano del techo sacado de AutoCAD.
Fuente: propia.*

9.3.2. DISPONIBILIDAD DEL TRANSFORMADOR

Según la CREG “Conforme a las disposiciones regulatorias vigentes, la disponibilidad de la red eléctrica se encuentra definida de acuerdo con los estándares presentados a continuación, donde en caso de que el punto de conexión deseado no cumpla alguno de los parámetros, se deberá seguir el proceso de conexión descrito en el Artículo 12 de la resolución CREG 030 de 2018.” En la tabla 14, se presenta los parámetros tenidos en cuenta por ente regulador para definir la disponibilidad del transformador.

Tabla 14. Estándares técnicos para aprobación de disponibilidad.

ESTÁNDARES TÉCNICOS PARA APROBACIÓN DE DISPONIBILIDAD			
Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	
Igual o inferior al 9%	Igual o inferior al 30%	Igual o inferior al 30%	
Entre 9% y 12% incluido	Entre 30% y 40% incluido	Entre 30% y 40% incluido	
Entre 12% y 15% incluido	Entre 40% y 50% incluido	Entre 40% y 50% incluido	
Superior al 15%	Superior al 50%	Superior al 50%	
La suma de la potencia instalada de los AGPE y GD debe ser menor al 15% de la capacidad nominal del transformador de ESSA	La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por todos los AGPE y GD sin almacenamiento debe ser al menos del 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado	La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por AGPE y GD fotovoltaicos sin almacenamiento debe ser menor al 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado en el periodo 6:00 a.m. y 6:00 p.m.	

Fuente: ESSA

Para el proyecto se hizo la adecuada verificación en la plataforma virtual de la ESSA, arrojando como resultado la disponibilidad del transformador como se observa en la tabla 15. Teniendo verificada la disponibilidad del transformador, deben llenarse unos formatos que estarán adjuntos en la carpeta de anexos.

Tabla 15. Verificación del transformador.

Código Transformador	Latitud	Longitud	Capacidad nominal transformador (kVA)	Tensión punto de conexión (V)	-Sumatoria de la capacidad nominal de AGPE o GD instalada en función de la capacidad del transformador	Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Sin almacenamiento)	Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados (Con almacenamiento)	Circuito	Subestación	Tensión nominal Subestación (kV)
104349	7.13554015	-73.11064554	75	220				26507	26	13200/220

Fuente: ESSA

9.4. SELECCIÓN DEL MODULO FOTOVOLTAICO

La selección del panel se hizo en base a los criterios definidos en el capítulo del marco conceptual, entre estos se tuvieron en cuenta:

- Potencia del panel
- Tolerancia de potencia
- Eficiencia de las celdas
- Coeficiente de temperatura
- Durabilidad del panel
- Garantía dada por el proveedor

Para este caso se usará el módulo solar ASTRALX460-MH14, ya que brinda una de la mejor relación calidad precio del mercado, teniendo como potencia nominal 460 W con una tecnología de Half-Cell monocristalino que incrementa la eficiencia del circuito eléctrico interno al reducir la corriente, la temperatura y las pérdidas por resistencia, en el anexo1 se encontraran las especificaciones técnicas de este panel solar.

9.5. COEFICIENTE DE RENDIMIENTO (PR)

El coeficiente de rendimiento calculado para el caso de estudio fue de 79%, el resultado oscila dentro del rango típico de coeficientes de rendimiento.

Este indicador se obtuvo al aplicar la ecuación 3, usando como temperatura ambiente en Bucaramanga 25°C que es la temperatura promedio anual suministrada por la base de datos de la estación meteorológica Weather Trends 360°, como se puede ver en la figura 20 y tabla 16. Los coeficientes de temperatura de γ, β, α usados en el cálculo del PR son específicos para cada panel solar por lo que fue necesario revisar en el Datasheet del módulo estos parámetros, en el anexo 1 se puede evidenciar dichos coeficientes.

Tabla 16. Temperaturas promedias máximas para Bucaramanga en el 2021.

	T Max promedio °C	T Max promedio °C
Enero	26	25.4
Febrero	26	
Marzo	26	
Abril	26	
Mayo	26	
Junio	25	
Julio	25	
Agosto	25	
Septiembre	25	
Octubre	25	
Noviembre	25	
Diciembre	25	

Fuente: Weather Trends 360°

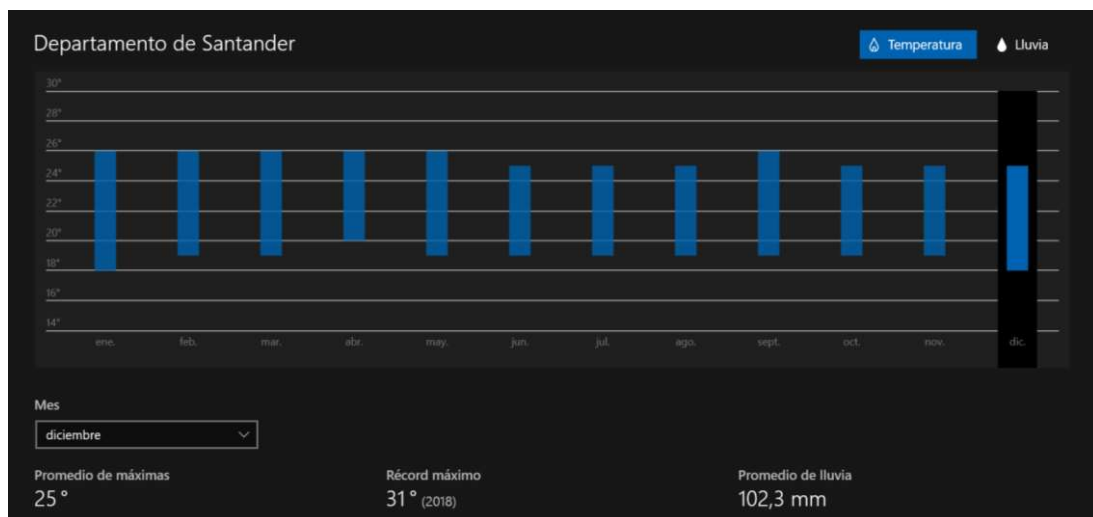


Figura 20. Historial climatológico para Bucaramanga en el año 2021.
Fuente: Weather Trends 360°

9.6. NUMERO DE PANELES MAXIMO

Teniendo ya definido la energía demandada del sistema, la potencia nominal de los módulos solares, las horas de sol pico y el coeficiente de rendimiento, se procede a aplicar la ecuación 11 con el fin de calcular el número de paneles solares que se necesitan para suplir dicha demanda, como se muestra a continuación.

$$N_{panel} = \frac{46.14 W}{460 W \times 5.21 HSP \times 0.79} = 24.4 \text{ paneles}$$

Como resultado del cálculo se tienen 24.4 paneles, el cual se aproximó a 24 paneles.

9.7. GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA DEL SISTEMA SOLAR

Para analizar la generación del sistema solar fotovoltaico se utilizan los datos meteorológicos dados por la NASA Y Meteonorm 8.0. dando como resultado una gráfica de la figura 21, donde se observa el comportamiento del sistema solar fotovoltaico hora por hora en el transcurso del día.

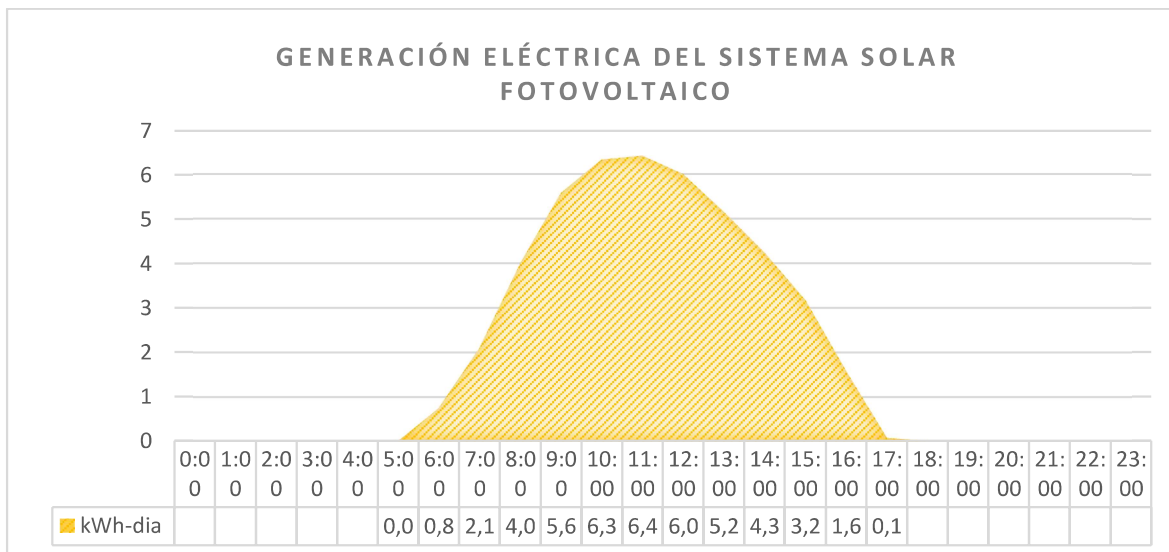


Figura 21. Generación eléctrica del sistema solar.
Fuente: Propia.

La generación diaria del sistema solar es 45.42 kWh, teniendo el pico de generación máxima a las 11:00 am.

9.7.1. INTERCAMBIO DE ENERGIA ELECTRICA CON LA RED

Teniendo la distribución horaria de cargas demandadas por la fundación figura 17 y la curva de generación eléctrica figura 21 del sistema fotovoltaico se procede a hacer el balance energético con el fin de cuantificar cuanta y cuando se estará tomando energía de la red para autoconsumo y cuando y cuanta energía se está

inyectando a la red en los momentos que el sistema fotovoltaico genera más energía de la que demanda, en la figura 22 se muestra gráficamente este intercambio de energía donde el área amarilla nos indica la generación del sistema fotovoltaico siendo para el caso 45.42 kWh-día, el área azul que se observa detrás de la área de generación y fuera del área de generación representa la demanda diaria de electricidad de la fundación que es 46.14 kWh-día y por ultimo las barrar naranjas que se encuentran debajo de la curva de generación representan el autoconsumo que para el caso es 25.77 kWh-día. En la tabla 18 se resumen estos datos.

En el artículo 17 de la CREG 030 del 2018 [21] se detalla el Reconocimiento de excedentes de Auto Generadores a Pequeña Escala que utiliza Fuentes No Convencionales de Energías Renovables, a manera de resumen de este articulo el intercambio energético con la red se calcula haciendo la diferencia entre la energía generada hora por hora y la energía demanda por la fundación, en la tabla 17 se observan datos en color verde y rojo. Los datos verdes indican que se está generando más energía de lo que se está consumiendo y el rojo indica lo contrario. Al hacer la sumatoria de datos verdes se obtiene la energía total que entrara en el intercambio con la red siendo para el caso 20.1 kWh-día, estos excedentes al momento de hacer el balance de energía con la red generan gastos de comercialización que para una residencia estrato 4 en Bucaramanga son de \$ 62.4 COP por cada kWh.

Tabla 17. Intercambio de energía con la red.

Franja horaria	Intercambio kWh-día
0 a 1	-0.312
1 a 2	-0.312
2 a 3	-0.312
3 a 4	-0.012
4 a 5	-0.012
5 a 6	-0.162
6 a 7	-0.074
7 a 8	-1.979
8 a 9	2.247
9 a 10	1.288
10 a 11	4.321
11 a 12	4.452
12 a 13	1.938
13 a 14	2.728
14 a 15	2.738
15 a 16	-1.246
16 a 17	0.028
17 a 18	-2.312
18 a 19	-5.107
19 a 20	-2.671
20 a 21	-4.857
21 a 22	-0.462
22 a 23	-0.312
23 a 24	-0.312

Fuente: propia.

Tabla 18. Generación, demanda y autoconsumo del sistema.

	Diario	Mensual
DEMANDA	46.14	1384.1346 kWh
GENERACIÓN	45.42	1362.5 kWh
AUTOCONSUMO	25.77	773.203 kWh

Fuente: Propia.

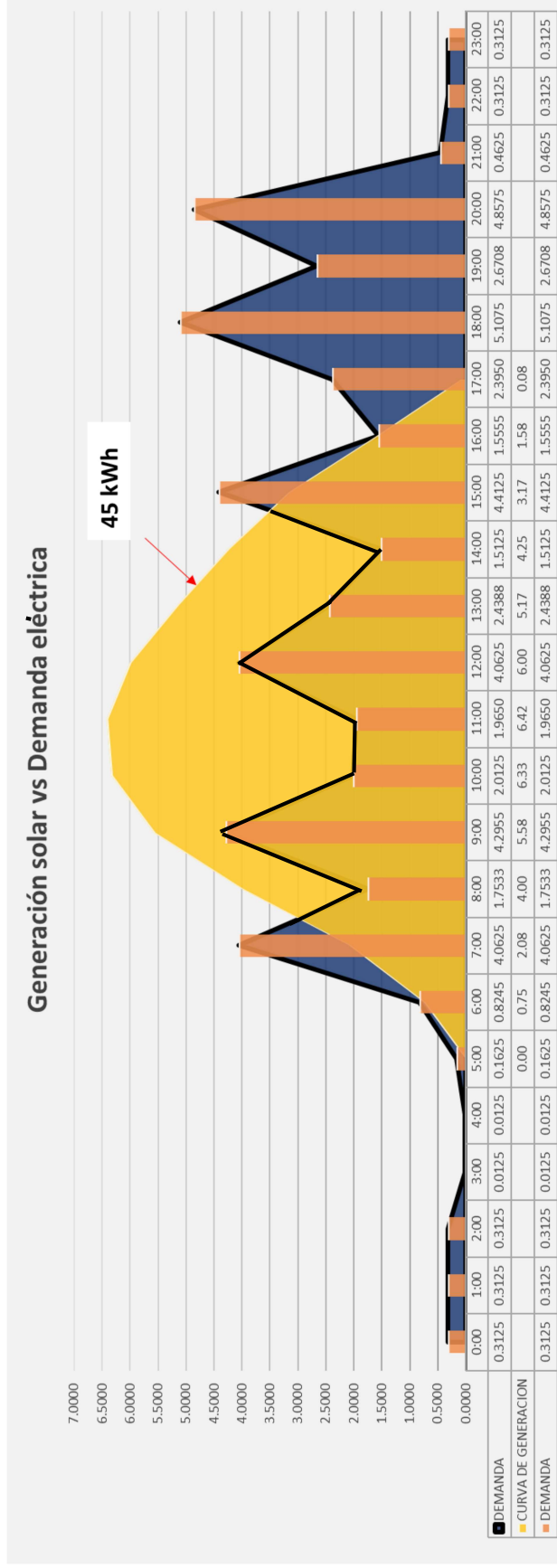


Figura 22. Comparación entre la generación eléctrica diaria dada por el sistema fotovoltaico y la demanda diaria que la fundación.

Fuente: Propia

9.7.2. FACTURACION CON LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se tomó como referencia el modelo de negocio auto generador con exportaciones a red, expuesto en la CREG 030 del 2018. En la tabla 19, se muestra a manera de comparación cuanto será el costo de la factura de electricidad sin implementar el sistema fotovoltaico, implementándolo sin hacer intercambio de energía con la red y implementando el sistema solar con intercambio de energía, como costo unitario de energía se tomó el valor dado por la empresa de energías ESSA siendo 622.45 \$/kWh para residencias de estrato 4 y costo de comercialización de \$ 62.4 COP por cada kWh.

Tabla 19. Precio final de la factura de electricidad implementado el sistema.

Factura sin panel:	\$ 861,555.41
Con paneles (sin intercambio) ahorro 773.2 kwh	\$ 481,280.67
Factura con panel:	\$ 380,274.74
Intercambio	\$ 375,339.33
Costo comercialización	\$ 37,627.36
Total a pagar	\$ 42,562.77

Fuente: Propia.

Al analizar los resultados de la tabla 19 se concluye que al implementar el sistema fotovoltaico con intercambio de energía se obtendrá un 95,1% de ahorro en el costo de la factura, pasando de pagar \$ 861.555 por mes a pagar \$ 42.562 por mes y en cuenta a ahorro energético el sistema garantizará un ahorro mensual del 98.5% de energía, siendo la energía generada 1362.5 kWh y la energía demandada 1384.13 kWh.

9.8. SELECCIÓN DEL INVERSOR

9.8.1. POTENCIA PICO (kW_P)

La potencia pico de un sistema fotovoltaico es la máxima potencia eléctrica que este puede generar bajo las condiciones estándares. Con la ecuación 21 se calcula la potencia pico del sistema multiplicando la cantidad de paneles de la instalación y la potencia nominal de cada uno de ellos.

$$Potencia_{pico} = P_{panel} \times N_{paneles} [kW_P] \quad (21)$$

Siendo:

N_{panel} Numero de paneles

P_{panel} Potencia del panel [kW]

$Potencia_{pico}$ Potencia pico del sistema [kW_p]

Para esta instalación la potencia pico es 11.04 [kW_p], teniendo una instalación de 24 paneles con una potencia nominal de 460 [W].

9.8.2. POTENCIA INVERSOR

Al revisar los criterios de selección del inversor expuestos en las ecuaciones 9 y 10, se tomó el criterio 1 dando como resultado un inversor con potencia de 9.2 [kW], se busco el inversor comercial con potencia nominal más cerca a la calculada encontrando el inversor FRONIUS SIMO 10.0-3 208/240 (figura 23). Este inversor cuenta con dos MPPTS, cuyas características técnicas se encuentran en el anexo 2. Con estos parametros se procede a calcular el numero de paneles en serie y paralelo del sistema fotovoltaico sin pasar estos limites de corriente y voltaje.



*Figura 23. Inversor Fronius SIMO 10.0-3 208/240.
Fuente: Fronius*

9.9. CONFIGURACIÓN ARREGLO FOTOVOLTAICO

9.9.1. PANELES EN PARALELO

Para calcular la cantidad máxima de paneles en paralelo por MPPT se aplicó la ecuación 15 para cada MPPT, teniendo como corrientes en el punto de máxima potencia:

$$I_{MPPT1 \text{ inversor}} = 25 [A]$$

$$I_{MPPT2 \text{ inversor}} = 16.5 [A]$$

$$I_{\text{MPPT panel solar}} = 10,99 \text{ [A]}$$

Al aplicar la ecuación 15 y las corrientes definidas anteriormente el máximo de paralelos para el MPPT1 y MPPT2 serán de 2 y 1 respectivamente.

A modo de ejemplo se hizo el cálculo para el MPPT1.

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{MPPT inversor}}}{I_{\text{MPPT panel solar}}} = \frac{25 \text{ [A]}}{10,99 \text{ [A]}} = 2,27 \text{ MODULOS} \approx 2 \text{ MODULOS}$$

Al ser una cantidad de módulos no puede ser expresada en números decimales por lo que se procede a aproximar por debajo ya que son valores máximos, teniendo como resultado **2 MODULOS**.

9.9.2. PANELES EN SERIE

Para calcular la cantidad máxima de paneles en serie por String se aplicó la ecuación 13, el número de paneles en serie serán los mismos para los dos MPPT porque tienen el mismo voltaje máximo 500 V Y el voltaje máximo para el módulo solar es de 41.9 V.

A modo de ejemplo se hizo el cálculo número máximo de paneles en serie para cada cadena.

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{MPPT inversor}}}{V_{\text{MPPT panel solar}}} = \frac{500 \text{ [V]}}{41,9 \text{ [V]}} = 11,9 \text{ MODULOS} \approx 11 \text{ MODULOS}$$

Al ser una cantidad de módulos no puede ser expresada en números decimales por lo que se procede a aproximar por debajo ya que son valores máximos, teniendo como resultado **11 MODULOS**.

9.9.3. CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Después de calcular el número de paneles necesarios para suplir la demanda, el número máximo de paralelos por MPPT que acepta el inversor y el número máximo de paneles en serie por cada paralelo se obtuvo una configuración final del arreglo fotovoltaico donde se parametriza voltaje máximo del arreglo, corriente máxima del arreglo por MPPT, potencia pico del sistema, área necesaria para la instalación, como se evidencia en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros de la configuración final del arreglo.

PARAMETROS	VALOR
Número total de paneles	24
Número máximo de paralelos por MPPT1	2
Número máximo de paralelos por MPPT2	1
Número máximo de paneles en serie por cada paralelo	8
Voltaje máximo del arreglo [V]	335.2
Corriente máxima del arreglo MPPT1 [A]	21.98
Corriente máxima del arreglo MPPT2 [A]	10.99

Potencia pico del sistema [kWp]	11.04
Área necesaria para la instalación [m ₂]	72
Área disponible para la instalación [m ₂]	104.8

Fuente: Propia.

A pesar de que el inversor da la posibilidad de instalar 11 paneles en serie por paralelo, para este caso lo indicado es instalar 8 paneles en serie en 3 paralelos, para tener una totalidad de 24 paneles instalados. En la figura 24, se puede apreciar la organización que tendrán estos paneles en el techo del lugar donde serán instalados, en el plano los módulos solares se diferencian por ser los rectángulos azules con líneas entrecortadas y también se aprecia la ubicación que tendrá el inversor en el costado superior izquierdo representándose como un rectángulo sólido verde. Este plano solo da la perspectiva de como estarán ubicados en el techo de la fundación mas no especifica como estarán conectados entre sí.

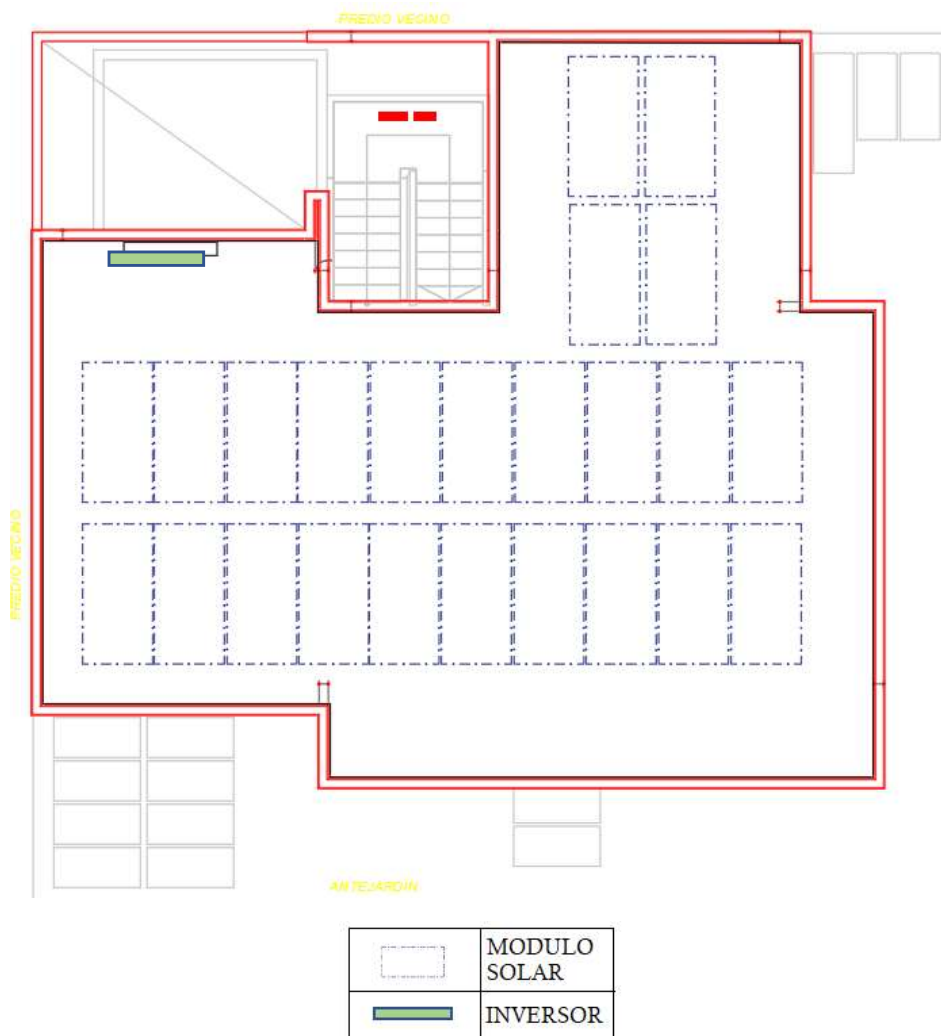


Figura 24. Extracto plano realizado en AutoCAD de la fundación el cielo de Pao
Fuente: Propia

9.10. PROTECCIONES ELÉCTRICAS

9.10.1. DISPOSITIVO CONTRA SOBRETENSIONES (SPD/DPS)

Para la selección del dispositivo contra sobretensiones DPS se aplicó la ecuación 16 como se muestra a continuación, dando como resultado un voltaje de DPS 437.36 [V] se elige comercialmente 1 DPS de 500 [V].

$$V_{DPS} = 1.1 \times N_{serie} \times V_{oc \text{ panel solar STC}}$$

$$V_{DPS} = 1.1 \times 8 \times 49.7 [V] = 437.36 [V]$$

9.10.2. INTERRUPTOR DE DESCONEXION (ISOLATOR)

Su dimensionamiento se realizó aplicando la ecuación 17, 18 y 19 que se basan en los estándares de la sección 20.16.3 del RETIE Colombiano.

$$V_{INT} = 1.2 \times N_{serie} \times V_{oc \text{ panel solar STC}} = 1.2 \times 8 \times 49.7[V] = 477.12 [V]$$

$$I_{max} = 1.25 \times I_{sc \text{ panel solar}} \times N_{paralelo} = 1.25 \times 11.72 [A] \times 2 = 29.3 [A]$$

$$I_n = 1.25 \times I_{max} = 1.25 \times 29.3 [A] = 36.625 [A]$$

Remplazando los valores, se necesita de 2 interruptores de desconexión de corriente nominal de 40 [A] Y de 500 [V].

9.10.3. INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DC

Esta protección se calculó con ayuda de la ecuación 20. Su dimensionamiento esta para una corriente de 1.25 veces la corriente máxima que pueda transitar por el tramo eléctrico, para este caso fue necesario realizar el cálculo para cada uno de los MPPT, ya que cada uno de estos cuenta con una corriente de operación distinta.

$$I_{maxITM} = 1,25 \times I_{sc \text{ panel solar}} \times N_{paralelo}$$

Para la entrada MPPT 1:

$$I_{maxITM} = 1,25 \times 10.99 \times 2 = 27.475 \approx 25 [A]$$

Y para la entrada del MPPT 2:

$$I_{maxITM} = 1,25 \times 10.99 \times 1 = 13.73 \approx 15 [A]$$

Finalmente se necesita 2 termomagnéticos de 25 [A] para el MPPT1 de y adicional se necesitan otros 2 termomagnéticos de 15A para el String de MPPT2.

10. EVALUACIÓN FINANCIERA

A partir de la sumatoria de los componentes necesarios para la instalación se determinó la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto. A continuación, se presentan dichos componentes.

También, se presentarán los componentes de los costos por la instalación eléctrica. Dichos costos no se tendrán en cuenta en la evaluación financiera, pues es un agregado de la construcción.

10.1. EQUIPOS, ESTRUCTURA Y PROTECCIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Los precios que se presentan a continuación fueron obtenidos mediante cotizaciones realizadas a diversos proveedores encargados de la venta y distribución de artículos para instalaciones fotovoltaicas. En la tabla 21 se exponen los equipos, su descripción, unidades y precio por unidad de cada uno.

Tabla 21. Presupuesto para componentes de la instalación fotovoltaica.

	EQUIPO	DESCRIPCION	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD
Elementos	Panel	PANEL SOLAR_460W_MARCA: CONNERA_MODELO: ASTRALX435-MH144	24	\$575.000
	Inversor	Fronius Symo 10.0-3 208-240 L 10kw	1	\$12.060.000
	Medidor Bidireccional	MEDIDOR BIDIRECCIONAL_3 Fases_MARCA: Eastron modbus_MODELO:	1	\$677.000
Estructura	Mid clamp	Mclamp__MARCA: Aularack_MODELO: MCLAMP DE 3.0 cm, 3.5 cm ó 4.0 cm	72	\$4.240
	End Clamp	Eclamp__MARCA: Aularack_MODELO: ECLAMP DE 3.0 cm, 3.5 cm ó 4.0 cm	24	\$4.240
	L "Ele"	L "Ele"__MARCA: Aularack_MODELO: L	48	\$5.610
	Riel	Riel_6,2_MARCA: Aularack_MODELO: Mraíl	13	\$137.240
Accesorios eléctricos	Fusibles	Fusible_10x38MM_MARCA: FEEO_6-32 A_MODELO:	3	\$10.690
	Porta fusible	Porta Fusible_10x38 mm_MARCA: ETI_25 A_MODELO:	4	\$20.690
	Termomagnéticos en AC	Breaker_Bipolar_MARCA: SiemensVDC: 144 V_MODELO: 5SL6225-7MB	3	\$32.890
	Conductores AC	Conductor AC_8 AWG_MARCA: Procables_Rojo-Negro_MODELO:	70	\$6.090

EQUIPO	DESCRIPCION	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD
Conductores DC	Conductor DC_4 mm2_MARCA: Procables_Negro-Negro raya roja_MODELO: SOLAR ZZ-F-4-ROJO	60	\$4.290
Conectores MC4	MC4_Rectos_MARCA: POWEST_MODELO:	16	\$6.390
Tuberia EMT	Tuberia_1/2'_MARCA: Homecenter_EMT_MODELO: Homecenter	5	\$15.900
Tuberia IMC	Tuberia_1/2'_MARCA: INTERELECTRICAS_IMC_MODELO: INTERELECTRICAS	10	\$42.100

Fuente: Propia.

10.2. MANO DE OBRA

Para el cálculo del total de la mano de obra, se tuvieron en cuenta las cotizaciones realizadas por el soldador para el ensamblaje y montaje de la estructura metálica; por la empresa de técnicos electricistas para el montaje e instalación de los paneles solares y el inversor para su correcto funcionamiento; de Servientrega para el transporte de los equipos hacia el lugar de la instalación. En la tabla 22 se exponen los totales de costos por mano de obra.

Tabla 22. Presupuestos de mano de obra.

CONSTRUCCION	EMPRESA RESPONSABLE	PRECIO
Ensamblaje de estructura metálica	Soldador	\$900.000
Instalación de paneles	Técnico electricista	\$900.000
Envío	Servientrega	\$300.000
Total		\$2.100.000

Fuente: Propia

10.3. CERTIFICACIONES

Es muy importante contar también con las certificaciones necesarias para la energización por parte de la ESSA. A continuación, en la tabla 23 se presentan los precios recibidos

Tabla 23. Presupuesto para certificaciones.

CERTIFICACIONES	RESPONSABLE	PRECIO
Diseño eléctrico	Ingeniero eléctrico	\$1.397.732
RETIE	CertiRetie	\$1.673.846
Parametrización del medidor bidireccional	ESSA	\$112.000
TOTAL		\$3.183.578

10.4. INVERSIÓN TOTAL NECESARIA PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Teniendo en cuenta todos los componentes necesarios para la instalación fotovoltaica, se realiza la sumatoria de todos ellos, y de este total, se establece un porcentaje de utilidad para la empresa encargada de realizar la instalación fotovoltaica. En la figura 25 se exponen los porcentajes de cada uno de los componentes de la inversión, donde la participación más grande se concentra en los equipos principales.

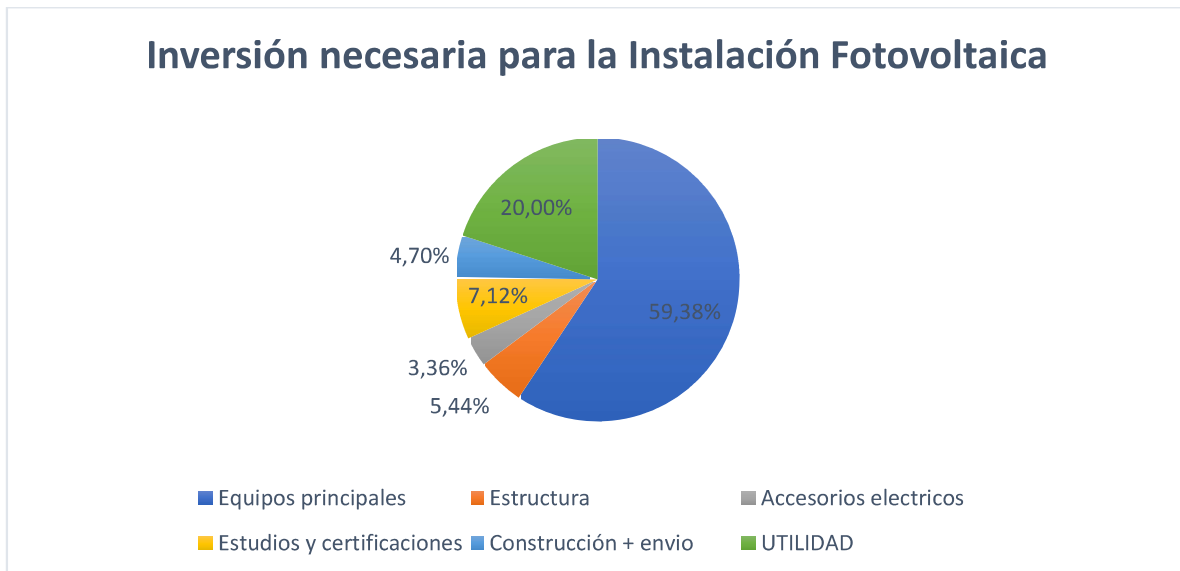


Figura 25. Distribución de la inversión de la Instalación Fotovoltaica.
Fuente: Propia

El total de la instalación sin IVA da como resultado **\$45.149.969**, pues todos los materiales y demás componentes son exentos de IVA. Sin embargo, se le aplica el 19% de IVA al valor de la utilidad, siendo **\$47.494.969** el valor final con IVA.

10.5. FLUJO DE CAJA

Para el análisis financiero se realizó un flujo de caja, suponiendo que los paneles solares tendrían como mínimo veinte años de vida útil, pues puede llegar hasta treinta años. Dicho flujo contó con los componentes de la tabla 24:

Tabla 24. Componentes del flujo de caja

Precio de la instalación [\$]	\$47.649.969
Energía generada mensual [Kw]	1363
Disminución de la potencia anual	1%
Precio del kWh [\$]	\$622,4506

Porcentaje de financiación	100%
Tasa de interés del crédito	5%
Plazo financiación [años]	5
Valor de salvamento de los equipos [\$]	\$2.319.368
Impuesto de renta	20%
Costo de O&M [\$]	\$46.387

Fuente: Propia

- **Energía generada:** La energía solar generada mensual se calculó de la ecuación 7 mencionada anteriormente.
- **Disminución de la potencia anual:** En la ficha técnica del panel solar de 460W (anexo 1), se muestra la disminución de la potencia anual del panel, siendo esta una constante del 1% anual.
- **Precio del kWh:** El precio del kWh varía mes a mes, dependiendo de si es residencial o no residencial y del estrato en que se encuentre. Esta fundación se encuentra localizada en una zona residencial de estrato 4. El precio del kWh para zona residencial de estrato 4, se encuentra en **\$622,4506** para el mes de octubre del presente año.
- **Porcentaje de financiación:** Al ser una entidad especial sin ánimo de lucro, realmente no van a acceder a un crédito bancario, sin embargo, por fines académicos se asume un porcentaje de financiación del 100% por medio del leasing renovable. Se presentó el caso al banco BBVA, a la Gerente Unidad de Negocios Leasing, y se ofreció una tasa de interés efectivo anual del **5%**, una tasa muy buena que ofrece este banco para los proyectos de energía renovable. Dicho crédito es proyectado a **5 años** con unas cuotas mensuales muy similares al ahorro mensual que tendría la fundación, de tal manera que el cliente no genere deudas.
- **Valor de salvamento:** El valor de salvamento hace referencia a aquella parte del costo de un activo que se espera recuperar mediante venta o permuta del bien al fin de su vida útil. [31] para el cálculo de este valor, se estimó el 5% del precio total de la instalación.
- cuenta con varios beneficios tributarios, como principal beneficio contarán con una tarifa del 20% del Impuesto de Renta. [32]
- **Costos de operación y mantenimiento:** Anualmente es probable que deba realizarse algún tipo de limpieza de los paneles o una revisión de cableados, para revisar que todo esté en orden en caso de que no se esté generando lo que se debiese. Se asumió un valor netamente para limpieza de los equipos.

10.5.1. CRÉDITO

Teniendo en cuenta el crédito por \$47.649.969, se presenta en la tabla 25, los intereses, amortización, cuota fija y saldo final del año uno al año cinco, años en los que se deberá pagar el crédito.

Tabla 25. Descripción del crédito.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Saldo Inicial		\$47.649.969	\$39.026.525	\$29.971.910	\$20.464.563	\$10.481.849
Intereses		\$2.382.498	\$1.951.326	\$1.498.595	\$1.023.228	\$524.092
Amortización		\$8.623.443	\$9.054.616	\$9.507.346	\$9.982.714	\$10.481.849
Cuota Fija		\$11.005.942	\$11.005.942	\$11.005.942	\$11.005.942	\$11.005.942
Saldo Final	\$47.649.969	\$39.026.525	\$29.971.910	\$20.464.563	\$10.481.849	\$0

Fuente: Propia

La cuota fija anual es de \$11.005.942, así que mensualmente se tendría una cuota mensual de \$917.162 y los ahorros mensuales con la instalación de \$848.516. Lo que quiere decir que la fundación pagaría \$68.594 mensuales por costos de energía eléctrica y crédito bancario.

10.5.2. VALOR PRESENTE NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO

Simultáneamente se utilizaron las funciones de Excel VNA y TIR para calcular el valor presente neto y la tasa interna de retorno respectivamente (tabla 26 y 27); además se evaluó el VPN del proyecto a diferentes tasas de interés operacional (TIO) por medio de representación gráfica (figura 26).

Tabla 26. VPN y TIR

VPN	\$10.498.698
TIR	35,49%

Fuente: Propia.

Tabla 27. Evaluación del VPN a diferentes TIO.

TIO	VPN
0,0%	\$105.448.352
2,0%	\$79.984.665
4,0%	\$61.173.106
6,0%	\$47.116.611
8,0%	\$36.499.185
10,0%	\$28.397.334
12,0%	\$22.155.698
14,0%	\$17.304.107
16,0%	\$13.501.672
18,0%	\$10.498.698
20,0%	\$8.110.472
22,0%	\$6.199.049
24,0%	\$4.660.460
26,0%	\$3.415.652

28,0%	\$2.404.011
30,0%	\$1.578.683
32,0%	\$903.173
34,0%	\$348.846
36,0%	-\$106.924
38,0%	-\$482.129

Fuente: Propia

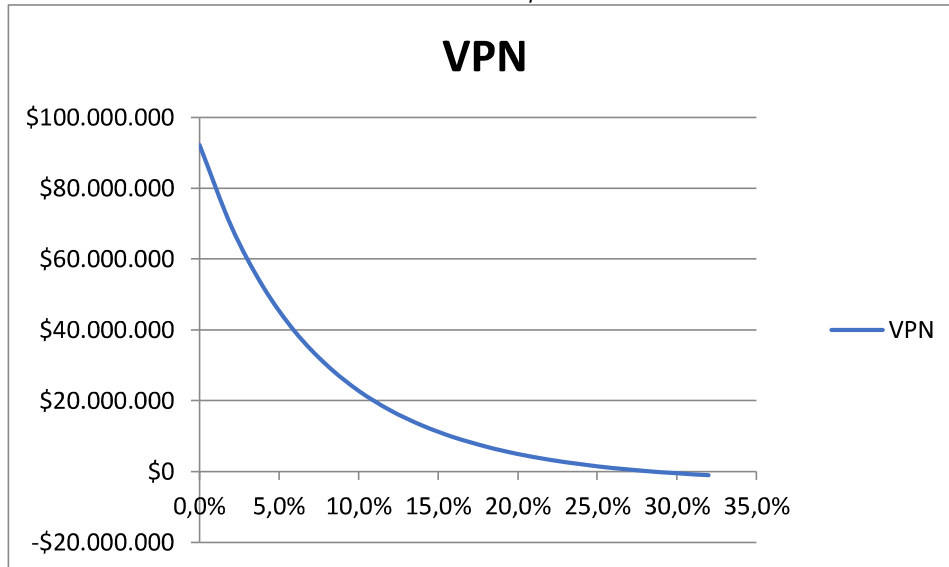


Figura 26. Representación gráfica del VPN.

Fuente: Propia

A partir de la gráfica se puede observar el comportamiento del VPN del proyecto a diferentes tasas de descuento; la TIR dio como resultado un 35,49% mediante la herramienta de Excel TIR con el flujo de fondos neto durante la vida útil de los paneles (20 años). El valor de TIR conseguido corresponde a la tasa de descuento máxima por debajo de la cual efectuar el proyecto puede generar un ahorro mayor al costo de propiedad y uso. Según el costo de oportunidad utilizado para el cálculo de costo de propiedad, el VPN tendría un valor de \$10.498.698 aproximadamente lo que representa un incremento para la Fundación equivalente a dicho valor.

10.6. Costos por instalación eléctrica

Respecto a la instalación eléctrica, al igual que la instalación fotovoltaica, se realizaron cotizaciones a empresas que ofrecen productos y servicios de instalaciones eléctricas. El presupuesto se dividió en tres partes: medida y acometidas, salida para alumbrado y tomas, luminarias y otros (tablas 28 29, 30 y 31).

Tabla 28. Presupuesto para medida y acometidas

MEDIDA Y ACOMETIDAS	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ACOMETIDA DESDE CAJA DE DISTRIBUCIÓN HASTA MEDIDOR EN 3X4 +1X4 AL TRENZADO AAAC	ML	30	\$ 74.730	\$ 2.241.900
Sistema de puesta a tierra para equipo de medida	UN	1	\$ 332.273	\$ 332.273
Estructura soporte de acometida aérea y transición a acometida en ducto	UN	1	\$ 218.465	\$ 218.465
ACOMETIDA DESDE MEDIDOR HASTA TABLERO GENERAL EN 3X4+1X4 THW-Cu-HF-LS-FR+6T	ML	20	\$ 129.319	\$ 2.586.380
Ducto EMT 1X1 1/2" Para acometida general	ML	20	\$ 28.341	\$ 566.820
Acometida desde el tablero general hasta tablero de planta baja en ducto PVC de 1*3/4", con cable 1*8+1*8 THW-Cu-HF-LS+10T	ML	8	\$ 25.966	\$ 207.728
Acometida desde tablero general hasta tablero piso 2 PVC de 1*3/4", con cable 1*8+1*8 THW-LS Cu-HF- -FR-10T	ML	18	\$ 24.702	\$ 444.636
Acometida desde tablero general hasta tablero piso 3 PVC de 1*3/4", con cable 1*8+1*8 THW-Cu-HF-LS-FR-10T	ML	28	\$ 25.857	\$ 723.996
Acometida desde tablero general hasta tablero ascensor PVC de 1*1" con cable 3*8+1*8 THW-Cu-HF-LS-FR+8T	ML	20	\$ 38.794	\$ 775.880
TABLERO GENERAL SEGÚN UNIFILAR 3F INCLUYE TOTALIZADOR 3X70A, 3 BREAKER 1X40A, 1 BARRAJE 3X40, 1 BREAKER 3X50	UN	1	\$ 5.150.983	\$ 5.150.983
TABLERO MONOFÁSICO DE 8 CTOS CON PUERTA Y CHAPA; INCLUYE 8 BREAKER DE 1X20A	UN	1	\$ 304.941	\$ 304.941
TABLERO MONOFÁSICO DE 6 CTOS CON PUERTA Y CHAPA; INCLUYE 6 BREAKER DE 1X20A	UN	2	\$ 221.387	\$ 442.774
TABLERO TRIFÁSICO 8 CCTOS PARA ASENSOR; INCLUYE 1 BREAKER 3X30A, 3 BREAKER 1X20A	UN	1	\$ 2.369.969	\$ 2.369.969
TABLERO TRIFÁSICO 8 CCTOS PARA AIRE ACONDICIONADO; INCLUYE 1 BREAKER 3X30A, 4 BREAKER 1X20A	UN	1	\$ 2.380.741	\$ 2.380.741
TOTAL				\$18.747.486

Fuente: Propia

Tabla 29. Presupuesto para salidas para alumbrado y tomacorrientes.

SALIDA PARA ALUMBRADO Y TOMAS	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Salida de alumbrado normal en ducto PVC -de 3/4", en cable 2*12 THW-Cu-HF-LS-FR+12T. Incluye toma doble, 2P+T -20A	UN	71	\$ 147.368	\$ 10.463.128
Salida para lámpara de emergencia en ducto PCV -3/4", en cable 2*12 THW-Cu-HF+LS-FR+12T. Incluye toma doble, 2P+T-15A	UN	5	\$ 175.026	\$ 875.130

SALIDA PARA ALUMBRADO Y TOMAS	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Salida para toma normal en ducto PVC - de 3/4", en cable 2*12 THW-Cu-HF-LS-FR+12T	UN	46	\$ 190.440	\$ 8.760.240
Salida para toma GFCI en ducto PVC de 3/4", en cable 2*12THW-Cu-HF+LS-FR+12T	UN	15	\$ 231.410	\$ 3.471.150
TOTAL				\$ 23.569.648

Fuente: Propia

Tabla 30. Presupuesto para luminarias.

LUMINARIAS	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Suministro e instalación de luminaria LED 60*60 cms - 40W con rejilla, incluye 1 metro de cable encauchetado 3*16 y clavija	UN	4	\$ 192.341	\$ 769.364
Suministro e instalación de luminaria LED tipo bala de 12 W	0	19	\$ 72.229	\$ 1.372.351
Suministro e instalación de luminaria LED tipo bala de 9 W	0	31	\$ 64.476	\$ 1.998.756
Suministro e instalación de luminaria LED tipo bala de 6 W	0	9	\$ 58.761	\$ 528.849
Suministro e instalación de luminaria LED tipo bala de 3 W	0	2	\$ 52.350	\$ 104.700
Suministro e instalación de luminaria LED tipo aplique tortuga	0	1	\$ 69.114	\$ 69.114
Lámpara de emergencia 1,9 W, 90 minutos de autonomía	0	5	\$ 132.846	\$ 664.230
TOTAL				\$ 5.507.364

Fuente: Propia

Tabla 31. Presupuesto para 'otros'.

OTROS	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
DISEÑO ELÉCTRICO	U	1	\$ 4.250.300,00	\$ 4.250.300,00
INSPECCIÓN RETIE	U	1	\$ 3.650.000,00	\$ 3.650.000,00
TOTAL				\$ 7.900.300

Fuente: Propia

El total de toda la instalación eléctrica vino de la sumatoria de los componentes anteriores. Suponiendo que fuese una empresa encargada de realizar la instalación y que cobra utilidad, da como resultado un costo total de **\$68'775.546** con IVA incluido como se presentó en la tabla 32:

Tabla 32. Total de la instalación eléctrica.

SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS		\$ 55.724.798
IMPREVISTOS	2%	\$ 1.114.496
UTILIDAD	18%	\$ 10.030.464
TOTAL, DEL PROYECTO ANTES DE IVA		\$ 66.869.758
IVA SOBRE UTILIDAD	19%	\$ 1.905.788
TOTAL		\$ 68.775.546

Fuente: Propia

11. EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental, se centrará en analizar el rendimiento medioambiental de la instalación fotovoltaica mediante las emisiones de dióxido de carbono que se estarían evitando en caso de implementar la instalación. Dicho cálculo se realiza con la energía solar generada durante la vida útil del sistema y el factor de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional (SIN) del 2019 para el caso de mecanismo de desarrollo limpio para el primer período de acreditación y para todos los periodos de plantas eólicas y solares, siendo de 0.591 $tonCO_{2eq}/MWh$. Así,

$$E_{solar\ generada_{20\ años}} = 1363 \frac{kWh}{mes} * 12\ mes * 20\ años$$

$$E_{solar\ generada_{20\ años}} = 371,16\ MWh$$

$$Ton_{CO_2\ evitadas} = 371,16\ MWh * 0,591\ tonCO_{2eq}/MWh$$

$$Ton_{CO_2\ evitadas} = 219,35\ TonCO_{2eq}$$

Dicho calculo nos permite estimar que se estarían evitando 219,36 toneladas de dióxido de carbono equivalentes en el período de vida útil del sistema.

11.1. VALOR MONETARIO DE LAS EMISIONES EVITADAS

Para cumplir con los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto para reducir emisiones, existe el Comercio Internacional de Emisiones el cual consiste en la compra y venta de créditos (EUAs y CERs) entre países en vías de desarrollo y/o industrialización para comercialización de los créditos de emisiones excedentarios a otros países.

Los EUAs representan el derecho a liberar una tonelada de CO₂ a la atmósfera y corresponden a certificados electrónicos emitidos por los gobiernos europeos, mientras que los CERs son otorgados por las Naciones Unidas a proyectos que reduzcan emisiones alrededor del mundo.

El valor del derecho de emisión de CO₂ sin duda ha aumentado exponencialmente desde el 2015, donde su media anual en ese año fue de 7,60 € y para el 2021 tiene una media anual de EUR 51,75 € (COP \$228.299,15) para los EUAs [33]. Para el presente año empezó en enero con un precio de EUR 33,43 € (COP \$147.479,05), y para el mes de diciembre alcanzó los EUR 81,50 € (COP \$359.543,59) como se muestra en la figura 27.

Precios CO2	EUA	CER
Media anual	51,75 €	0,15 €
Enero	33,43 €	0,37 €
Febrero	37,89 €	0,39 €
Marzo	40,87 €	0,42 €
Abril	45,22 €	0,60 €
Mayo	51,99 €	0,00 €
Junio	52,78 €	0,00 €
Julio	53,28 €	0,00 €
Agosto	56,53 €	0,00 €
Setiembre	61,02 €	0,00 €
Octubre	59,43 €	0,00 €
Noviembre	66,04 €	0,00 €
Diciembre	81,58 €	0,00 €

Figura 27. Precios CO2.
Fuente: SENDECO2

Según los valores presentados anteriormente puede calcularse el costo de la reducción de emisiones por la instalación del sistema solar fotovoltaico mediante la ecuación 21 para el crédito de derecho de emisión EUA, pues el crédito CER se encuentra en 0,00 €. Teniendo en cuenta la media anual,

$$\text{Costo emisión } CO_2 = EUR 51,75 \text{ €} * 219,55 \text{ Ton}_{CO_2} eq \quad (22)$$

$$\text{Costo emisión } CO_2 = EUR 11.261,71 \text{ €} \approx COP \$49'709.680,08$$

12. CERTIFICACIÓN LEED – OPORTUNIDADES DE MEJORA

En esta sección del libro se enfoca en encontrar en la certificación LEED oportunidades de mejora para ser aplicadas en el presente edificio, no con el fin de obtener propiamente la certificación, pero sí encontrar las oportunidades para guiar el edificio a ser reconocido por su compromiso con temas sostenibles en su comunidad. Existen varios créditos para cada sección y cinco sistemas de certificación según sea el tipo de construcción que fueron descritos en la sección 5.3 en la tabla 3.

Para el caso de la fundación El Cielo de Pao, se llevará bajo los lineamientos de la certificación LEED-NC, que es la clasificación para edificios de nueva construcción y grandes remodelaciones.

12.1. ALCANCE DE LA CERTIFICACIÓN LEED

Ha de definirse las posibles estrategias a implementar y los puntos que pueden obtenerse de cada categoría. En la tabla 33, se presentan cada una de las categorías que presenta la certificación LEED-NC, el objetivo que se plantea y el puntaje de cada una de ellas.

Tabla 33. Descripción de las Categorías de la Certificación LEED.

CATEGORÍA	OBJETIVO	PUNTOS POSIBLES
Parcelas sostenibles	Evitar el desarrollo de parcelas inadecuadas y reducir el impacto medioambiental procedente de la localización de un edificio en una parcela determinada.	14
Eficiencia en agua	Limitar o eliminar el uso de agua potable, u otros recursos hídricos naturales disponibles de agua superficial o subterránea en o cerca de la parcela del edificio.	5
Energía y atmósfera	Verificar que los sistemas del edificio relacionados con la energía se han instalado, calibrado y tienen la eficiencia adecuada según los requisitos del propietario para el edificio, las bases del proyecto y los documentos de construcción.	17
Materiales y recursos	Facilitar la reducción de residuos, generados por los ocupantes del edificio, que son	13

CATEGORÍA	OBJETIVO	PUNTOS POSIBLES
	transportados y depositados en vertederos	
Calidad ambiental interior	Establecer una eficiencia mínima de calidad del aire interior (CAI) para aumentar la calidad del aire interior en los edificios, contribuyendo así al confort y al bienestar de los ocupantes.	15
Proceso de innovación y diseño	Proporcionar a los equipos de diseño y proyecto la oportunidad de obtener puntos por una eficiencia excepcional por encima de los requisitos establecidos por el Sistema de Clasificación de Edificios Sostenibles LEED-NC y/o una eficiencia innovadora en categorías no específicamente reguladas por dicho Sistema LEED-NC.	5
TOTALES DEL EDIFICIO		69

Elaboración de la tabla: Propia; Información: Consejo Construcción Verde España.

Basados en la tabla anterior y en la constante comunicación que se ha tenido con la dueña y representante de la fundación, se presentan según las categorías cómo se encuentra el edificio en cada una de ellas y/o recomendaciones para mejorar en dicha categoría.

- **PARCELAS SOSTENIBLES:** En esta categoría se encuentran muchos créditos para diferentes aspectos. Para empezar, es importante el tipo de suelo y ubicación, respecto a esto, se considera que el edificio no causará este tipo de inconvenientes, pues se encuentra en una zona residencial, además ya cuenta con la aprobación de la curaduría necesaria para desarrollar el proyecto. Dentro de esta misma categoría, se incluye también el transporte alternativo. Se ha de suponer que todos quienes se dirijan al edificio, vienen directamente del Hospital Universitario de Santander y vienen caminando, ya que la edificación se encuentra a una cuadra del hospital. Este hospital se encuentra ubicado en la carrera 33, que es una carrera principal en la ciudad de Bucaramanga, que cuenta con variado transporte público, lo que ayudaría a reducir la contaminación y los impactos del terreno debidos al uso del automóvil. En esta sección se

recomienda también dejar un espacio para guarda bicicletas, pero no es viable debido a que quienes llegan, llegan en núcleo familiar.

Por otra parte, la edificación deja un espacio abierto para un patio que atraviesa los 3 pisos, lo que promueve allí los espacios abiertos y también contará con espacios verdes alrededor del mismo ya que se encuentra en una esquina, tiene más espacio aprovechable.

- **EFICIENCIA EN AGUA:** Dentro de esta categoría se plantea utilizar aguas recicladas para riego de la jardinería. Para este caso, los dos espacios verdes con que contará el edificio no necesitan sistemas de riego permanente, ya que directamente reciben aguas lluvias. Se recomienda habilitar un sistema de almacenamiento de esta agua lluvia para jardinería, lavado de ropa y sanitarios. Se realizó el cálculo de cuántos litros de aguas lluvias podrían recoger (ecuación 23) para usar en sanitarios y lavado de ropa.

El clima de Bucaramanga es templado/seco y su promedio de lluvia total anual es de 1303 mm [34]. En la tabla 34 se presenta la captación máxima mensual que tendría la fundación de implementar un sistema de recolección de aguas lluvias.

$$\begin{aligned} \text{Captación total de lluvia posible} & \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] & (22) \\ & = \text{Precipitación} \left[\frac{m}{\text{año}} \right] * \text{Área de captación} [m^2] \end{aligned}$$

Tabla 34. Captación máxima total de aguas lluvias.

Mes	Precipitación mensual[mm]	Área de captación [m ²]	Captación máxima mensual
ENERO	45	104,6	4,707
FEBRERO	73		7,6358
MARZO	132		13,8072
ABRIL	155		16,213
MAYO	121		12,6566
JUNIO	85		8,891
JULIO	80		8,368
AGOSTO	92		9,6232
SEPTIEMBRE	93		9,7278
OCTUBRE	160		16,736
NOVIEMBRE	105		10,983
DICIEMBRE	52		5,4392
CAPTACIÓN MÁXIMA ANUAL			124,7878

Datos: IDEAM, Tabla: Propia

- **ENERGÍA Y ATMÓSFERA:** Esta categoría de la certificación LEED, tiene como objetivo verificar que los sistemas del edificio relacionados con la energía se han instalado, calibrado y tienen la eficiencia adecuada según los requisitos del propietario para el edificio, las bases del proyecto y los documentos de construcción.

Los beneficios de la recepción incluyen el uso reducido de energía, menores costes de operación, disminución de las llamadas para cumplir el período de garantía al contratista, mejor documentación del edificio, mejora de la productividad de los ocupantes, y verificación de que los sistemas tienen la eficiencia adecuada según los requisitos del propietario para el edificio [35].

El edificio contará con sistemas recibidos como controles de iluminación y luz natural eficientes además de un sistema de energía renovable, que es la energía solar que cubrirá un 98,5% de la demanda diaria.

- **MATERIALES Y RECURSOS:** Con el fin de facilitar la reducción de residuos, generados por los ocupantes del edificio, que son transportados y depositados en vertederos, se recomienda proporcionar un área fácilmente accesible que sirva a todo el edificio y se dedique a la recogida y almacenamiento de materiales no tóxicos para su reciclaje, incluyendo (como mínimo) papel, cartón corrugado, vidrio, plásticos y metales.

También, a la hora de incorporar productos o materiales de construcción a la edificación, tratar en lo posible que estos incorporen materiales reciclados para reducir el uso y la disminución de materias primas limitadas y de materiales renovables de ciclo largo. Además, utilizar un mínimo de 50% de materiales y productos con base madera certificada.

- **CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR:** Para implementar mejoras en la calidad ambiental interior, es necesario minimizar la exposición de los ocupantes del edificio de las superficies interiores y de los sistemas de distribución de aire de ventilación al Humo de Tabaco Ambiental.

Esta categoría es muy importante no solo para la calidad ambiental, sino también para el bienestar de los niños de la fundación, pues se encuentran muy delicados de salud y necesitan una buena calidad de aire. Se recomienda, colocar anuncios para prohibir fumar en el edificio dentro y a las afueras de él para evitar que dichos humos puedan entrar por alguna ventana.

Durante y al finalizar la completa remodelación, es importante reducir la cantidad de contaminantes del aire interior que tienen mal olor y/o perjudiciales para el confort y bienestar de instaladores y ocupantes.

Por otra parte, se especifica también la importancia de mejorar las funciones de control de iluminación que pueda adaptarse a las necesidades y preferencias de los usuarios que hagan uso de los diferentes espacios. Se recomienda así, la

implementación de controles de luz que puedan cambiar los niveles de luminancia para todos los espacios multi ocupados.

Finalmente, para el confort térmico de los usuarios, se contará con ventanales ajustables para disminuir o aumentar el flujo de aire dentro de los espacios para el confort de los usuarios, también, la sala lúdica de la edificación contará con aire acondicionado y las habitaciones con ventiladores. Se recomienda un sondeo sobre el confort térmico a los usuarios en un período de 6 a 18 meses después de la ocupación para realizar una valoración de la satisfacción general con la identificación de problemas relacionados con el confort térmico y así aplicar acciones correctivas en caso de que más del 20% de los ocupantes estén insatisfechos con el confort térmico en el edificio.

- **ESPACIOS:** Con el fin de proporcionar a los ocupantes del edificio una conexión entre los espacios interiores y los exteriores, la certificación LEED pide cálculos, simulación o medición de la iluminación natural, para lo cual se cuenta con una simulación en DIALux que garantiza 270lx en al menos 75% de todas las áreas habitualmente ocupadas. Dicha simulación se realizó a cielo despejado a medio día. El espacio del patio que atraviesa los tres pisos cuenta con ventanales en cada piso para el patio interior y exterior para garantizar esta conexión entre los usuarios y los espacios interiores y exteriores.

CONCLUSIONES

Una persona consume en promedio 38 kWh-mes según lo indica EPM, tomando este valor como referencia y definiendo que la fundación cuenta con la capacidad de alojar un máximo de 30 personas en las cuales incluye los niños, familiares y el personal de apoyo. Se concluye que el porcentaje de error en la demanda calculada en el proyecto es de 18%, este indicador es elevado, ya que en el consumo energético promedio dado por la EPM se basa en la demanda de un hogar típico sin cargas especiales Y en el caso de la fundación esta cuenta con un ascensor de 5 HP y un cuarto frío de 7500 W que elevan considerablemente la demanda mensual del sitio.

Los resultados del análisis financiero permitieron concluir, que el ahorro por concepto de pago de facturas de energía durante la vida útil del sistema solar fotovoltaico llega a amortizar la inversión inicial durante los primeros cinco años. De implementar este sistema, la fundación tendría un 95,06% de ahorro en su factura. Ese porcentaje de ahorro sería destinado para el pago de la cuota mensual del crédito, lo que hace de este proyecto, una inversión financieramente rentable con una tasa interna de retorno del 35,49%.

Con el análisis técnico el ahorro energético mensual que tendría la fundación al implementar el sistema solar fotovoltaico sería de 1362,7 kWh-mes, lo que representa un porcentaje de energía ahorrada del 98.5%. En las condiciones actuales el proyecto no puede garantizar un 100% de ahorro energético, ya que se tiene limitantes en la capacidad del transformador.

De implementar el sistema solar fotovoltaico se estarían evitando 235,19 toneladas CO₂ a la atmósfera correspondientes a la vida útil mínima del sistema (20 años), además de la oportunidad de que sus componentes puedan ser reciclados. Esta cifra de toneladas de CO₂ evitadas a la atmósfera no incluye la reducción de emisiones por la implementación de la certificación LEED, lo que indicaría que de aplicar las recomendaciones mencionadas en el capítulo 12, se evitarían aún más emisiones.

Al seleccionar las luminarias para el diseño de instalaciones internas, se optó por escoger luminarias LED para obtener un sistema eficiente; además en espacios como espejos en baños o cuadros en la sala, se utilizaron otro tipo de luminarias para resaltar los mismos y brindar espacios agradables para los usuarios de la fundación, siempre y cuando se mantuviera el nivel de luminancia permitido.

Al dejar un sub-tablero monofásico para cada piso y un sub-tablero trifásico para cada equipo especial se cumple con la regulación permitida. Además, las cargas de las fases en el tablero general fueron muy similares entre sí, obteniendo un desbalance del 2,9%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), «Proyecciones de demanda,» Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyecciones-de-demanda.aspx>. [Último acceso: 1 Noviembre 2021].
- [2] Portafolio, «En julio, la demanda de energía en Colombia aumentó 8,25 %,» *PORTAFOLIO*, 24 Agosto 2021.
- [3] Ministerio de Minas y Energía, «LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE COLOMBIA - Memorias al congreso,» Junio 2019 - Junio 2020.
- [4] I. Duque Márquez y D. Mesa Puyo, «Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia,» 2021.
- [5] C. Y. G. AGUDELO y M. L. P. CALDERÓN, «ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA GRANJA LA FORTALEZA UBICADA EN MELGAR-TOLIMA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO,» Bogotá DC., 2015.
- [6] I. A. P. FUENTES, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA A NIVEL RESIDENCIAL EN GENERACIÓN DISTRIBUIDA, MEDIANTE EL MECANISMO “NET METERING” .,» SANTIAGO,CHILE, 2014.
- [7] P. X. H. A. JUAN FELIPE CAPACHO PARDO, «ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN PUNTOS VIVE DIGITAL Y ZONAS WIFI DE LA COMUNA 3 EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA, SANTANDER,» BUCARAMANGA , 2020.
- [8] G. A. M. Hernández, «ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA MICROGENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA RESIDENCIAS EN LA CIUDAD DE IBARRA,» IBARRA, 2020.
- [9] J. J. Salazar, «Análisis de viabilidad de una vivienda energéticamente autónoma en Matadepera (Barcelona),» BARCELONA, 2015-2016.
- [10] XM, «Informe Anual de Operación y Mercado 2020 - Generación por tipo de recurso natural,» 2020.
- [11] Ministetio de Minas y Energía, «REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE),» Bogotá, 2013.
- [12] ESSA, «NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN».
- [13] Congreso de Colombia, «Ley 142,» Bogotá D.C, 1994.

- [14] A. M. A. RAMÍREZ, «MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN,» PEREIRA , 2013.
- [15] G. ENRIQUEZ, «EL ABC DEL ALUMBRADO Y LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN BAJA TENSION,» LIMUSA, 2004.
- [16] M. C. F. A. S. F. M. V. L. Raynel Díaz Santos, «Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica,» *SCIELO*, vol. 39, nº 3, 2018.
- [17] J. R. Viloría, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, S.A. EDICIONES PARANINFO, 2010.
- [18] IEC, «Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems,» 2020.
- [19] J. M.-C. G. R. Méndez Muñiz, Energía solar térmica, MADRID,ESPAÑA: FC Editorial. Fundación Confemetal, 2010.
- [20] N. G. S. Villalta, «DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE POTENCIA,» arequipa-peru , 2019.
- [21] CREG- Gestor Normativo Alejandría, «RESOLUCIÓN 30 DE 2018,» 2018.
- [22] IBERDOLA, «Contrato de compraventa de energía,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/conocenos/contrato-ppa-energia>. [Último acceso: 2 Diciembre 2021].
- [23] Ministerio de Minas y Energía, «ENERGÍA ELÉCTRICA - Reglamentos técnicos,» MinEnergía.
- [24] I. C. d. N. T. y. C. (ICONTEC), «CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO - NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050 (NTC 2050),» 1998.
- [25] Ministerio de Minas y Energía; Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), «Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014».
- [26] Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), «Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014».
- [27] J. Portela, J. Viguera, M. A. Pastor y M. O. Huerta, «La Certificación LEED, cómo cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería,» Asociación Española de Ingeniería Mecánicas.
- [28] A. V. G. Ortega y S. G. M. Pinilla, «VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CERTIFICACIÓN LEED EN EL EDIFICIO “L” DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS DE LA UNAB,» Bucaramanga, 2020.

- [29] H. D. GONZÁLEZ, «DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL COBAEV 35 XALAPA.,» UNIVERSIDAD VERACRUZANA, 2012.
- [30] J. A. R. RAMIREZ y C. A. LLANO, «Guía para el Diseño de Instalaciones de Iluminación Interior utilizando DIALux,» 2012.
- [31] Conogasi, «Diccionario de economía de México,» 2018. [En línea]. Available: <https://conogasi.org/acepciones/valor-residual-valor-de-salvamento/>. [Último acceso: 3 Octubre 2021].
- [32] DIAN, «Las Entidades sin Ánimo de Lucro - ESAL,» [En línea]. Available: <https://www.dian.gov.co/impuestos/sociedades/ESAL/Paginas/default.aspx>. [Último acceso: 3 Octubre 2021].
- [33] SendeCO2, «Precios CO2,» 2021.
- [34] IDEAM, «CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS».
- [35] CONSEJO CONSTRUCCIÓN VERDE ESPAÑA, «Sistema de Clasificación de Edificios Sostenibles Para Nueva Construcción y Grandes Remodelaciones,» 2005.
- [36] J. D. Ortiz, «Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala,» Visión de caso, 2013.
- [37] CELSIA, «Beneficios de la energía solar,» 2018.
- [38] C. Spiegeler y J. I. Cifuentes, «DEFINICION E INFORMACION DE ENERGIAS RENOVABLES,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2016.
- [39] N. Casado Martínez, «Edificios de Alta Calidad Ambiental,» ISSN 0211-0776, Ibérica, 1996.
- [40] P. Alavedra, J. Domínguez, E. Gonzálo y J. Serra, «LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN,» 1997.
- [41] R. C. Heras, «ANÁLISIS DE SISTEMA DE AUTOCONSUMO HÍBRIDO AUTÓNOMO FOTOVOLTAICO,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2014.
- [42] O. P. LAMIGUEIRO, «ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA,» Creative Commons, 2020.
- [43] R. González, H. R. Jiménez G. y J. Lagunas M., «Sistemas fotovoltaicos conectados a la red,» Boletín IIE, 2003.
- [44] A. Ramírez, «La construcción sostenible,» Consejo de la Construcción Verde, España.
- [45] C. y. T. Ministerio de Vivienda, «Resolución número 0549,» 2015.

- [46] The World Bank, «Global Solar Atlas - Energy Data Info - Methodology,» [En línea]. Available: <https://globalsolaratlas.info/support/methodology>. [Último acceso: 17 Julio 2021].
- [47] C. L. G. Pinzón, C. P. Corral, R. A. V. Nájera y D. A. Campos, «Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico,» Culcyt//Tecnología, Ciudad Juárez, 2013.
- [48] L. A. García Leyton, «Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales,» Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica del panel Astral X

- CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS STC

CÓDIGO	ASTRALX460-MH144
Potencia nominal (P _{máx})	460 W
Voltaje del circuito abierto (V _{oc})	49,70 V _{cc}
Voltaje en P _{máx} (V _{mp})	41,9 V _{cc}
Corriente en cortocircuito (I _{sc})	11,72 A
Corriente en P _{máx} (I _{mp})	10,99 A
Eficiencia	21,16%
Tolerancia en potencia	0-3%
Coeficiente de temperatura de I _{sc}	" +0,048 %/°C"
Coeficiente de temperatura de V _{oc}	" - 0,27 %/°C"
Coeficiente de temperatura de P _{máx}	" -0,350 %/°C"
Especificaciones eléctricas STC	1000 W/m ² irradiancia, 25°C T _{módulo} , AM 1.5, distribución espectral

13. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS NOCT

Código	ASTRALX460-MH144
Potencia nominal (P _{máx})	343,50 W
Voltaje del circuito abierto (V _{oc})	46,60 V _{cc}
Voltaje en p _{máx} (V _{mp})	39,00 V _{cc}
Corriente en cortocircuito (I _{sc})	9,48 A
Corriente en p _{máx} (I _{mp})	8,80 A
Especificaciones eléctricas NOCT	800 W/m ² irradiancia, 20°C Temperatura ambiente, velocidad del viento de 1 m/s

14. ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Tipo de células	Monocrystalina 166 mm x 83 mm
Peso	23,5 Kg
Dimensiones (±1)	2094 mm x 1038 mm x 35 mm
Células en serie	144 (12 x 12)
Vidrio frontal	Vidrio templado 3,2 mm

Marco	Aluminio anodizado
-------	--------------------

15. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máximo voltaje del sistema	1500 Vcc
Rango de temperatura de operación	"-40°C a 85°C
Valor máximo de fusible en serie	20 A
Máxima carga estática frontal (nieve)	5400 Pa (kg/m ²)
Máxima carga estática posterior (Viento)	2400 Pa (130 km/h)
Temperatura de funcionamiento nominal (NOCT)	45°C ± 2°C
Nivel de aplicación	Clase A

ANEXO 2: Ficha técnica de Inversor Fronius

DATOS DE ENTRADA

SYMO 10.0-3 208-240

POTENCIA FOTOVOLTAICA RECOMENDADA (KWP)		8.0 - 13.0
MAX. CORRIENTE DE ENTRADA UTILIZABLE (MPPT1 / MPPT 2)		25.0 A / 16.5 A
MAX. CORRIENTE DE ENTRADA UTILIZABLE TOTAL (MPPT 1 + MPPT 2)		41.5 A
MAX. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE ARRAY		37.5 A / 24.8 A
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	208V	350 V
	240 V	370 V
	480 V	N/A
RANGO DE VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO		200-600 V
TENSIÓN DE ARRANQUE CC		200 V
RANGO DE VOLTAJE MPP		300-500 V
MAX. VOLTAJE DE ENTRADA		600 V
TAMAÑO DE CONDUCTOR ADMISIBLE DC		AWG 14-AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminum direct, AWG 4-AWG 2 copper or aluminum with input combiner
INTEGRATED DC STRING FUSE HOLDERS		NA
PORTAFUSIBLES DE CADENA DE CC INTEGRADOS		33A
NÚMERO DE MPPT		2

DATOS DE SALIDA

SYMO 10.0-3 208-240

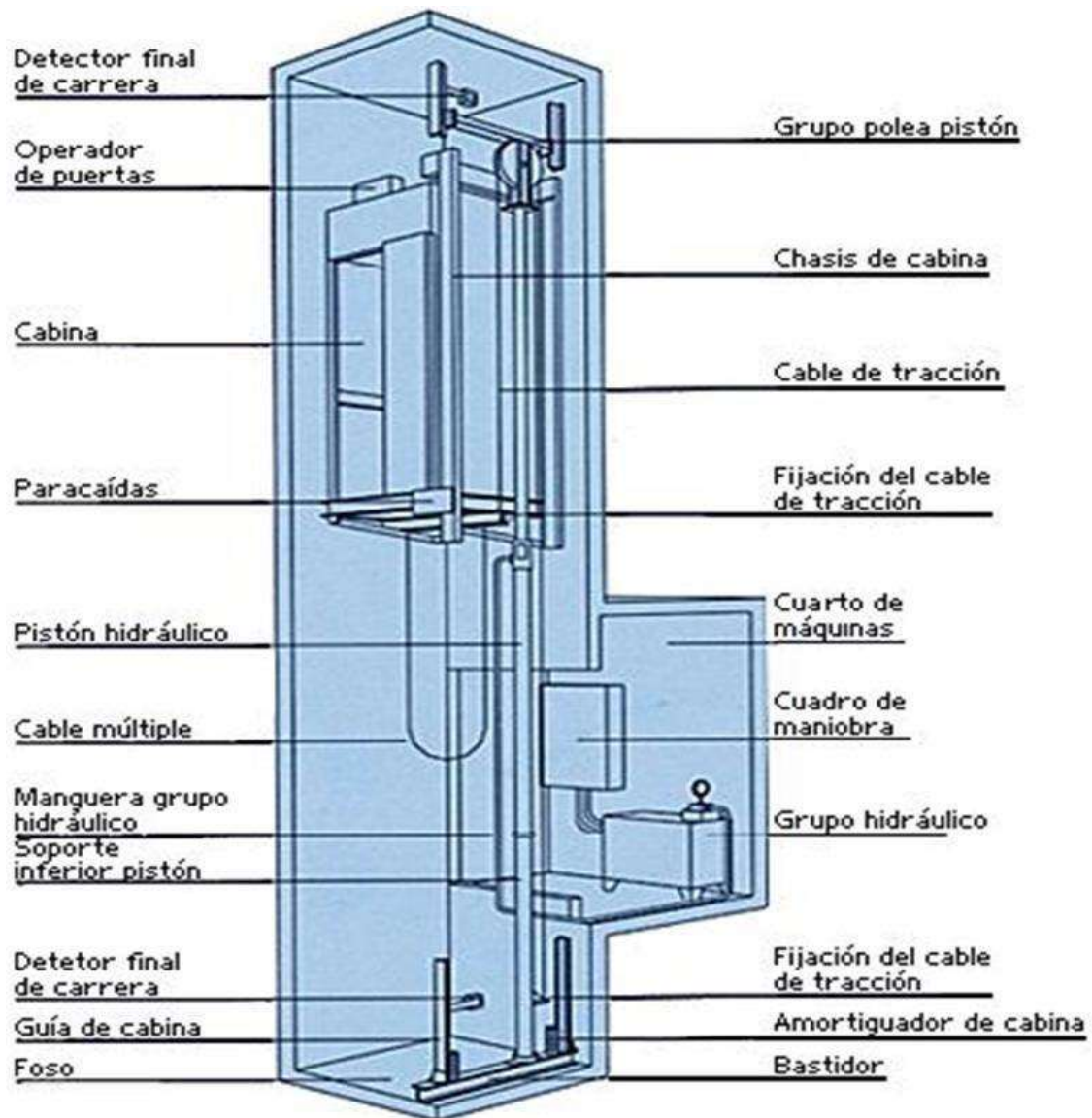
MAX. POTENCIA DE SALIDA	208 V	9995 VA
	240 V	9995 VA
	480 V	NA
CONFIGURACIÓN DE SALIDA		208/240 V
RANGO DE FRECUENCIA (AJUSTABLE)		45-65 Hz
FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO NOMINAL		60 Hz
TAMAÑO DE CONDUCTOR ADMISIBLE AC		AWG 14-AWG 6
DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL		<1.5 %
RANGO DE FACTORES DE POTENCIA		0-1 ind./cap.
MAX. CORRIENTE DE SALIDA CONTINUA	208V	27.7 A
	240 V	24.0 A
	480 V	NA
TAMAÑO DEL INTERRUPTOR OCPD / AC	208 V	35 A
	240 V	30 A
	480 V	NA
MAX. EFICIENCIA		97.0 %
EFICIENCIA CEC	208 V	96.5 %
	240 V	96.5 %
	480 V	NA

ANEXO 3: Ficha técnica del Ascensor

FICHA TECNICA ELEVADOR HIDRÁULICO

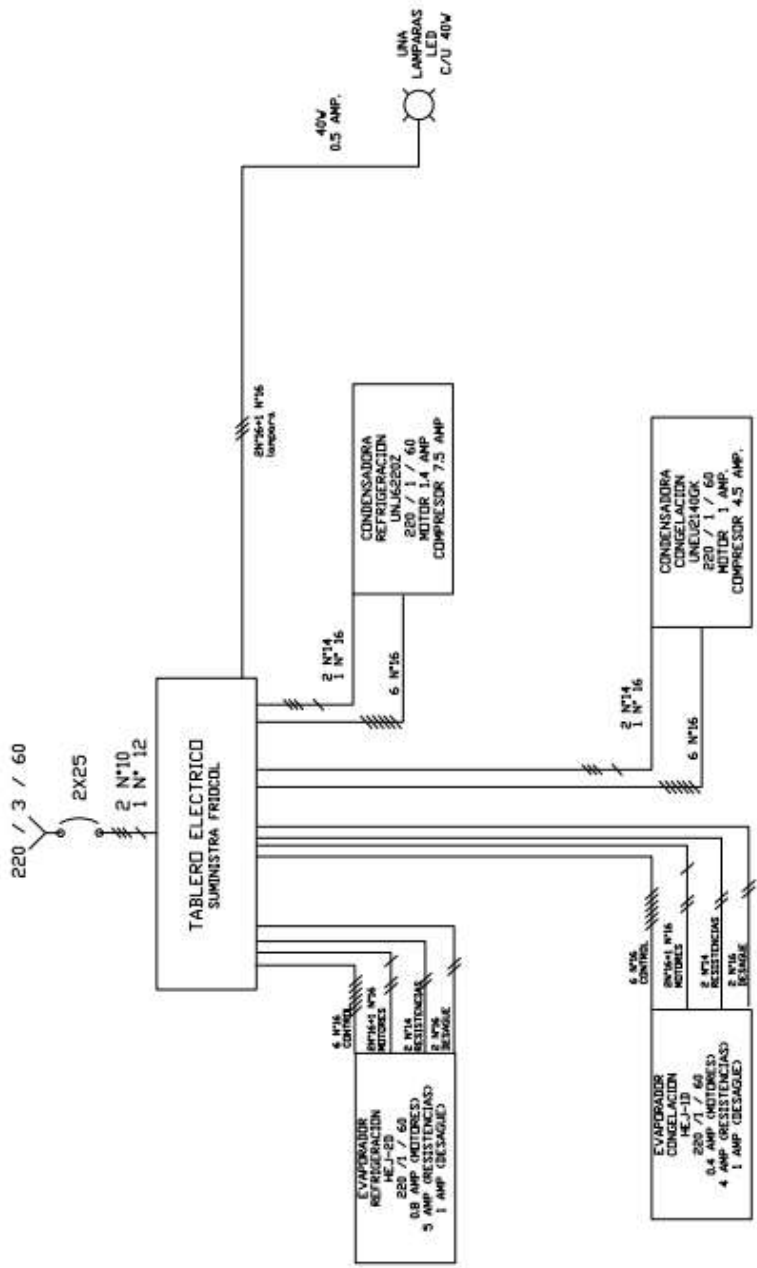
Componentes	Descripción
Unidad hidráulica	<ul style="list-style-type: none">• Bomba de tornillo 8.7 gls• Motor eléctrico 5HP• Válvula paracaídas• Cilindro hidráulico
Velocidad	Velocidades entre 0.25 y 17 m/s
Carga nominal	Capacidad máxima de 600 kg
Paradas-distancias	Apto para edificios de 3 a 4 pisos (4 paradas). Recorridos de 1 a 12 metros
Ubicación del motor	En cuarto de máquinas, al costado del elevador planta baja.
Estructura	metálica un cubo por piso con tubo estructural de 4"
Rieles	Guías para cabina elevador
Frenos	Freno seguridad paracaídas
Sistema	Electrónico de control PLC.

Nota: Las medidas de la cabina se determinarán en el momento en que se entregue el hueco por la obra civil, teniendo en cuenta que el mínimo del hueco debe ser de 1.00 m x 1.30m si se quiere que entre un usuario en silla de ruedas y dos personas de pie.



ANEXO 4: Ficha técnica del cuarto frío

DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE REFRIGERACION FUNDACION AMOR Y ESPERANZA



NOTA: VERIFICAR EL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES TENIENDO EN CUENTA EL CONSUMO Y LA LONGITUD DE LAS ACOMETIDAS

ANEXO 5: Tabla de consumo de energía

	Electrodoméstico	Vatios de potencia	Equivalencia en kW	Tiempo de uso en horas al mes	Consumo en kWh mes
Iluminación	Bombillo 100 vatios	100	0,1	120	12
	Bombillo 60 vatios	60	0,06	120	7,2
	Bombillo ahorrador 25 vatios	25	0,025	120	3
	Bombillo ahorrador 15 vatios	15	0,015	120	1,8
	Bombillo LED	7	0,007	120	0,84
	Instalación navideña de 100 luces LED	9	0,009	180	1,62
Electrodomésticos que producen calor	Parrilla grande en alto	1.800	1,8	30	54
	Parrilla pequeña en alto	1.500	1,5	30	45
	Tina 20 galones	1.500	1,5	15	22,5
	Ducha eléctrica	1.500	1,5	7	10,5
	Parrilla grande en bajo	450	0,45	30	13,5
	Plancha de ropa	1.000	1	12	12
	Horno estufa	3.300	3,3	1	3,3
	Olla arrocera	600	0,6	15	9
	Cafetera	900	0,9	10	9
	Secador de pelo	1.500	1,5	4	6
	Plancha para el pelo	1.000	1	4	4
Tostadora	500	0,5	0,5	0,25	
Electrónicos	Televisor LCD de 20 pulgadas	150	0,15	180	27
	Televisor de 20 pulgadas	75	0,075	180	13,5
	Horno microondas	1.000	1	10	10
	Equipo de sonido	150	0,15	60	9
	Computador de mesa	140	0,14	60	8,4
	Computador portátil	120	0,12	60	7,2

Fuente: EPM