



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 09 de marzo de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Maidy Lorena Cuellar Montealegre, con C.C. No. 1080188281,

Francisco Javier Rodríguez Pimentel, con C.C. No. 1075317918,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración convencional en el municipio de Neiva -Huila presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de Físico;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Maidy Lorena Cuellar M

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Francisco Javier Rodríguez P

Firma: Maidy Lorena Cuellar M

Firma: Francisco Javier Rodríguez

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Estudio de Factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración convencional en el municipio de Neiva-Huila.

AUTOR O AUTORES: Cuellar Montealegre Maily Lorena y Rodríguez Pimentel Francisco Javier.

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cuellar Montealegre	Maily Lorena
Rodríguez Pimentel	Francisco Javier

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cuellar Santanilla	Carlos Eduardo

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Físico.

FACULTAD: Ciencias Exactas y Naturales.

PROGRAMA O POSGRADO: Física.

CIUDAD: Neiva. **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2023 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 51

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Sistema solar fotovoltaico</u>	<u>Solar photovoltaic system</u>
2. <u>Energía eléctrica</u>	<u>electric energy</u>
3. <u>Aprovechamiento de recursos naturales</u>	<u>use of renewable resources</u>
4. <u>Irradiación solar</u>	<u>solar irradiation</u>
5. <u>Temperatura</u>	<u>temperatura</u>
6. <u>Humedad</u>	<u>humidity</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El sol es la principal fuente de energía que aporta amplios beneficios al hombre [1]; por esta razón, el presente trabajo de grado consiste en desarrollar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado en un equipo de refrigeración convencional en el municipio de Neiva - Huila, teniendo en cuenta que geográficamente está ubicada en las coordenadas 2°59'55"N 75°18'16"O, su altura es de 442 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio es de 30°C [2]. Desde este contexto, se plantea la necesidad de realizar un estudio de factibilidad, considerando la amplia favorabilidad económica de un sistema solar fotovoltaico que contribuya con el ahorro en los costos de servicios de energía eléctrica y para el aprovechamiento de los recursos renovables, situación conexas con eventos de sostenibilidad ambiental que generen mejor calidad e interacción con los estilos de vida de los seres humanos.

Además, se establece un estudio desde el tipo de investigación cuantitativo, con enfoque descriptivo – analítico, destacando conceptos físicos como la irradiación solar, brillo solar, temperatura, humedad, entre otros factores como las pérdidas de energía para el respectivo análisis y se realiza el diseño de la estructura del sistema solar fotovoltaico con el fin de obtener el mejor rendimiento para la máxima incidencia solar.

Por último, los resultados aportados académicamente contribuyen desde variables técnicas, con el fin de favorecer al desarrollo comunitario, local, regional, departamental y nacional, en la generación de energía eléctrica para beneficio colectivo a través de la luz solar.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The sun is the main source of energy that brings extensive benefits to man; for this reason, this degree work is to develop a feasibility study for the implementation of a solar photovoltaic system in a conventional refrigeration equipment in the municipality of Neiva - Huila, taking into account that geographically it is located at the coordinates 2°59'55"N 75°18'16"W, its height is 442 meters above sea level and its average temperature is 30 °C. From this context, the need to conduct a feasibility study arises, considering the broad economic favorability of a solar photovoltaic system that contributes to savings in the costs of electricity services and for the use of renewable resources, a situation related to environmental sustainability events that generate better quality and interaction with the lifestyles of human beings.

In addition, a study is established from the quantitative type of research, with a descriptive-analytical approach, highlighting physical concepts such as solar irradiation, solar brightness, temperature, humidity, among other factors such as energy losses for the respective analysis and the design of the structure of the solar photovoltaic system is performed in order to obtain the best performance for maximum solar incidence.

Finally, the results contributed academically contribute from technical variables, with the purpose of favoring community, local, regional, departmental and national development, in the generation of electric energy for collective benefit through solar light.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Armando Losada Medina

Firma: 

Nombre Jurado: Fernand Diaz Franco.

Firma: 

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE FÍSICA



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO EN UN EQUIPO DE
REFRIGERACION CONVENCIONAL EN EL
MUNICIPIO DE NEIVA - HUILA.**

Trabajo de Grado para optar al título de Físico(a).

Desarrollado por:

MAIDY LORENA CUELLAR MONTEALEGRE.

Código: 20162152396

FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ PIMENTEL.

Código: 20162152540

Director: CARLOS EDUARDO CUELLAR SANTANILLA.

Neiva-Huila

9 de marzo de 2023

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a Dios por sus bendiciones y fortaleza en los momentos de dificultad y a cada una de las personas que nos apoyaron para seguir adelante con nuestros proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Cada paso que damos, cada puerta que abrimos y cada éxito que obtenemos son bendiciones que recibimos del Todopoderoso; damos gracias a Él, por darnos la oportunidad de alcanzar esta meta.

A nuestros padres, por su infinito amor, su incansable comprensión y sus múltiples sacrificios.

A nuestros hermanos, familiares y amigos, por su acompañamiento, ejemplo, dedicación y solidaridad en cada momento emprendido.

A nuestros profesores, especialmente, a Carlos Eduardo Cuellar Santanilla de quien tomamos su conocimiento y experiencia. Para todos ellos gratitud por siempre.

RESUMEN

El sol es la principal fuente de energía que aporta amplios beneficios al hombre [1]; por esta razón, el presente trabajo de grado consiste en desarrollar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado en un equipo de refrigeración convencional en el municipio de Neiva - Huila, teniendo en cuenta que geográficamente está ubicada en las coordenadas $2^{\circ}59'55''\text{N}$ $75^{\circ}18'16''\text{O}$, su altura es de 442 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio es de 30°C [2]. Desde este contexto, se plantea la necesidad de realizar un estudio de factibilidad, considerando la amplia favorabilidad económica de un sistema solar fotovoltaico que contribuya con el ahorro en los costos de servicios de energía eléctrica y para el aprovechamiento de los recursos renovables, situación conexas con eventos de sostenibilidad ambiental que generen mejor calidad e interacción con los estilos de vida de los seres humanos.

Además, se establece un estudio desde el tipo de investigación cuantitativo, con enfoque descriptivo – analítico, destacando conceptos físicos como la irradiación solar, brillo solar, temperatura, humedad, entre otros factores como las pérdidas de energía para el respectivo análisis y se realiza el diseño de la estructura del sistema solar fotovoltaico con el fin de obtener el mejor rendimiento para la máxima incidencia solar.

Por último, los resultados aportados académicamente contribuyen desde variables técnicas, con el fin de favorecer al desarrollo comunitario, local, regional, departamental y nacional, en la generación de energía eléctrica para beneficio colectivo a través de la luz solar.

Palabras clave: Sistema solar fotovoltaico, energía eléctrica, aprovechamiento de recursos naturales, irradiación solar, temperatura, humedad.

ABSTRACT

The sun is the main source of energy that brings extensive benefits to man; for this reason, this degree work is to develop a feasibility study for the implementation of a solar photovoltaic system in a conventional refrigeration equipment in the municipality of Neiva - Huila, taking into account that geographically it is located at the coordinates 2°59'55" N 75°18'16" W, its height is 442 meters above sea level and its average temperature is 30 °C. From this context, the need to conduct a feasibility study arises, considering the broad economic favorability of a solar photovoltaic system that contributes to savings in the costs of electricity services and for the use of renewable resources, a situation related to environmental sustainability events that generate better quality and interaction with the lifestyles of human beings.

In addition, a study is established from the quantitative type of research, with a descriptive-analytical approach, highlighting physical concepts such as solar irradiation, solar brightness, temperature, humidity, among other factors such as energy losses for the respective analysis and the design of the structure of the solar photovoltaic system is performed in order to obtain the best performance for maximum solar incidence.

Finally, the results contributed academically contribute from technical variables, with the purpose of favoring community, local, regional, departmental and national development, in the generation of electric energy for collective benefit through solar light.

Key words: Solar photovoltaic system, electric energy, use of renewable resources, solar irradiation, humidity

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos del Trabajo de Grado	10
1.1.1. Objetivo General	10
1.1.2. Objetivos Específicos	10
2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Contextualización del problema	14
2.3. Justificación del Problema	16
3. METODOS TEORICOS DE SOLUCIÓN	17
3.1. Teoría del desarrollo sostenible	17
3.2. La célula fotovoltaica	17
3.3. Sistemas aislados	18
3.4. Sistemas de conexión a red	19
3.5. Sistemas de refrigeración	19
3.6. Radiación solar	20
3.7. Brillo solar	21
3.8. Vientos	21
3.9. Humedad relativa	22
3.10. Temperatura	22
3.11. Marco Legal	23
3.11.1. Ley 142 del 11 de julio de 1994	23
3.11.2. Ley 1715 del 13 de mayo de 2014	23
3.11.3. Decreto 2143 de 2015	23
3.11.4. Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016	23
4. ENFOQUE METODOLOGICO	24
5. RESULTADOS	26
5.1. Cálculos	26
5.1.1. Hora solar pico	27
5.1.2. Ángulo de inclinación	27
5.1.3. Consumo de la instalación	28
5.1.4. Módulos fotovoltaicos	30
5.1.5. Controlador de carga	33
5.1.6. Inversor	34
5.1.7. Baterías	35
5.1.8. Ciclos de vida en relación con la profundidad de descarga	35
5.1.9. Cables	36
5.2. Diseños	37

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
6.0.1. Selección de la nevera convencional.	44
6.0.2. Selección del modulo fotovoltaico.	45
6.0.3. Selección del controlador de carga.	45
6.0.4. Selección del inversor.	46
6.0.5. Selección de la batería.	46
6.0.6. Selección de los cables.	47
6.0.7. Selección de la estructura para el panel solar.	47
7. CONCLUSIONES	48
8. RECOMENDACIONES	49

Índice de Figuras

2.1. Mapa distribución del brillo solar medio diario anual del departamento del Huila [17].	15
2.2. Comparativo consumo histórico sector residencial expresados en PetaJulios (PJ). [19].	16
3.1. Célula fotovoltaica.	18
3.2. Sistema aislado [3].	18
3.3. Sistema fotovoltaico de inyección a red [20].	19
3.4. Sistema de refrigeración de una nevera convencional.	19
3.5. Radiación solar en el municipio de Neiva [21].	20
3.6. Brillo solar en el municipio de Neiva [21].	21
3.7. Velocidad promedio del Viento a 10 metros de altura (m/s) en el municipio de Neiva [21].	21
3.8. Humedad relativa en el municipio de Neiva [21].	22
3.9. Temperatura promedio de la ciudad de Neiva [21].	22
5.1. Gráficas condiciones climatológicas del municipio de Neiva.	26
5.2. Orientación para la instalación solar. [24]	27
5.3. Parámetros energéticos eléctricos de un refrigerador convencional.	28
5.4. Corriente nominal de operación experimental de la nevera.	28
5.5. Tarifas clientes regulados enero 2023. [25]	29
5.6. Recibo mes de enero de 2023.	29
5.7. Especificaciones Panel Solar 470 Wp.	31
5.8. Ciclo de vida la batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12 V.	35
5.9. Esquema de configuración aislada del sistema solar fotovoltaico.	37
5.10. Diseño 3D de la planificación urbana de la ubicación de la nevera convencional.	37
5.11. Diseño 3D simulación dinámica del sistema solar fotovoltaico.	38
6.1. Pregunta 1 de la encuesta.	39
6.2. Pregunta 2 de la encuesta.	40
6.3. Pregunta 3 de la encuesta.	40
6.4. Pregunta 4 de la encuesta.	41
6.5. Pregunta 5 de la encuesta.	41
6.6. Pregunta 6 de la encuesta.	42
6.7. Pregunta 7 de la encuesta.	42
6.8. Pregunta 8 de la encuesta.	43
6.9. Pregunta 9 de la encuesta.	43
6.10. Pregunta 10 de la encuesta.	44
6.11. Nevera HACEB NEV AR 304L CE 2P AL	44
6.12. Panel Solar 470 Wp	45
6.16. Cable solar.	47
6.17. Estructura Cubierta Metálica 1 panel.	47

Índice de Tablas

3.1. Tipos de radiación solar.	20
5.1. Latitud y ángulo de inclinación	27
5.2. Resumen final condiciones Panel Solar	33
5.3. Ciclo de vida la batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12 V.	36

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La tierra es un amplio receptor de la energía solar la cual recibe la mayor cantidad de energía suficiente para que el hombre la utilice para su beneficio y satisfacción. A partir de estos referentes, el presente trabajo tiene como objetivo, estudiar la factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado en un equipo de refrigeración convencional, en el municipio de Neiva – Huila, teniendo en cuenta que la posición geográfica donde se encuentra ubicado posee como característica al sol como unidad morfológica, donde existe alta concentración de brillo solar, naturalmente aprovechable, por lo que se plantea a los sistemas aislados como alternativa de solución a los altos costos que se vienen presentando en servicios de energía eléctrica. La estructura temática de este trabajo la conforman apartados que describen las características de un estudio de factibilidad, desde un enfoque de investigación cuantitativa, que permita dar solución a la problemática, estableciendo cálculos y análisis desde la utilización de equipos y herramientas que comprueban la efectividad de la propuesta. En este orden de ideas, los resultados apuntan al diseño de un sistema solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración convencional, con los cuales se puede disminuir considerablemente los costos de energía y se pueda generar alternativas de aprovechamiento de la energía en los hogares, dado que la nevera se considera como uno de los electrodomésticos de mayor consumo de energía.

1.1. Objetivos del Trabajo de Grado

1.1.1. Objetivo General

- Estudiar la factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado en un equipo de refrigeración convencional, en el municipio de Neiva – Huila.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analizar aspectos físicos que fortalezcan la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado para un equipo de refrigeración convencional en una unidad residencial en el municipio de Neiva.
- Evaluar aspectos técnicos que permitan la implementación de un sistema solar fotovoltaico aislado en una nevera convencional del municipio de Neiva.
- Diseñar un sistema solar fotovoltaico aislado para una unidad de refrigeración doméstica en una vivienda del municipio de Neiva.

Capítulo 2

ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO

En este apartado se plantea una serie de investigaciones y estudios que conducen a aspectos de la problemática a tratar y que están relacionados con factores de aprovechamiento energético, lo que muestra al municipio de Neiva como una región óptima para el aprovechamiento de la radiación solar.

2.1. Antecedentes

A continuación, se relacionan diversas investigaciones desde los ámbitos regional, nacional e internacional que muestran la importancia de los rayos solares, el consumo energético en equipos convencionales, y demás variables que permiten la comparación y aportes al estudio de factibilidad emprendido para esta propuesta, siendo necesario recurrir a una revisión bibliográfica que describa el interés de la puesta en marcha de este.

En el ámbito internacional, el estudio y simulación de un sistema fotovoltaico de conexión a red de la universidad politécnica de Valencia, España, desarrollaron modelos matemáticos a través del software de cálculo Matlab, con herramienta simulink de un sistema fotovoltaico, con el fin de comprobar la veracidad de las ecuaciones y fórmulas empleadas en un modelo estático, un modelo que solamente depende de una pareja de valores de irradiancia y temperatura [3].

En este artículo se plantean condiciones para el fabricante como una temperatura ambiente de 25°C y una irradiación de $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$. Se destacan valores de alta importancia como: corriente de corto circuito, tensión de circuito abierto, coeficiente de tensión térmica, número de células en serie, número de células en paralelo, número de módulos en serie, número de módulos en paralelo, tensión de potencia máxima, intensidad de potencia máxima.

Además, utiliza un módulo generador, bloque que calcula todos los valores necesarios para continuar con los siguientes procesos de la simulación y de igual forma permite generar gráficas de tensión vs intensidad para un único módulo de paneles y otra gráfica de tensión vs intensidad para el conjunto generador formado por la serie – paralelo de un tipo de paneles.

En este estudio se establecen cálculos de intensidad, tensión, resistencia y algunos valores de los parámetros FF (Factor de Forma) y FF_0 (Factor de Forma Ideal), las cuales se calculan

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2.1)$$

$$FF_0 = \frac{\frac{V_{oc}}{V_t \cdot N_s} - \ln\left(\frac{V_{oc}}{V_t \cdot N_s} + 0,72\right)}{\frac{V_{oc}}{V_t \cdot N_s} + 1} \quad (2.2)$$

Donde:

I_M = Intensidad de potencia máxima.

V_M = Tensión de potencia máxima.

I_{sc} = Corriente de corto circuito.

V_{oc} = Tensión de potencia máxima.

V_t = Tensión térmica.

N_s = Número de células en serie.

Los resultados de esta simulación se establecen en un periodo de dos días, por 10 horas en ambos días, utilizando intervalos de un minuto. Estas fórmulas sirven como referencia para los procesos de simulación en el cálculo para implementación de nuestro proyecto. De igual forma, y siguiendo la revisión en escenarios internacionales, se identificó el estudio: implementación de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar para optimización de cosecha energética en la ciudad de Guayaquil durante el ciclo escolar 2021 – 2022 de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador; por lo tanto su objetivo general se enmarcó en implementar un sistema fotovoltaico con seguimiento de la posición solar para la optimización de cosecha energética utilizando un control de sistema embebido, sensores de intensidad ultravioleta y motor eléctrico, partiendo de fundamentos teóricos importantes para este análisis como lo es la energía renovable [4].

La relevancia de este artículo se toma desde el marco metodológico que estructuran en tres etapas: estructural, eléctrica y de algoritmo de control; posteriormente, se conoce la manera como se ensambla la maqueta, las conexiones eléctricas y programación de Raspberry, en la cual se utilizó Thonny como entorno de programación.

Ahora bien, en lo que respecta al ámbito nacional, se da paso al análisis en repositorios de las diferentes universidades en Colombia, encontrando un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la finca Villa Catalina, en el departamento de Cundinamarca [5], cuyo objetivo se enmarcó en realizar el estudio de factibilidad en el cual se llevó a consideración aspectos de mercado, técnicos, financiero y por último el diseño del sistema.

Como alternativa de solución a problemas generados por el calentamiento global y que vienen afectando el medio ambiente, dado que se viene luchando intensamente contra el cambio climático, con propuestas que sean amigables para beneficio del ser humano mejorando la calidad de vida, con sistemas que demostraron experiencias de autosostenibilidad, favorables al desarrollo de un sin número de actividades que por lo general son realizadas en fincas y haciendas que demandan alto consumo de energía.

La metodología utilizada para la ejecución de este proyecto se llevó a cabo en tres fases; la primera de ellas describe los consumos de la finca en cada una de las áreas, para determinar la actividad de mayor consumo; en la segunda fase, se establecieron los cálculos para así establecer el número de paneles a utilizar siguiendo la metodología Click Renovables (2018), definiendo las

horas pico de radiación, la potencia a instalar en una demanda mensual, potencia para definir el consumo diario en la hacienda y la energía, las dimensiones del panel solar, de acuerdo a las características necesarias para el área, dimensionamiento del banco de baterías, selección del inversor.

Por último, se desarrolla la fase de simulación y las cotizaciones en el mercado de los paneles a utilizar, los recursos financieros y la relación beneficio/costo del proyecto, los cuales deben describir las ventajas que trae para la finca la implementación de este proyecto, teniendo en cuenta como punto de referencia de demanda mensual de 751 kWh. De igual forma, se obtendrán datos de radiación solar en el punto donde se instalarán los paneles solares. Los aportes de este estudio de factibilidad son favorables en el proceso de aplicación, especialmente en el estudio técnico, dado que muestra la manera como se aplica la física para la obtención de energía.

Otro estudio de factibilidad, con características similares es el diseñado por Rojas -Díaz (2019), de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, cuyo objetivo es determinar la factibilidad de instalación, retribución económica y ambiental de un sistema de paneles fotovoltaicos en una unidad residencial de la localidad de Puente Aranda, que facilite el suministro de energía de forma favorable con el medio ambiente para beneficio de todos los habitantes del territorio, sin que se incurra en altos costos, por el contrario que favorezca la generación de energía de forma adecuada y efectiva.

El fundamento conceptual se realiza a partir del término de energía eléctrica, que según Ramón y Morante (2014), la energía total que entra a un sistema debe ser la misma después de que se transforma a menos de que haya pérdidas por fricción o calor. Además, puede convertirse o transformarse en energía luminosa, mecánica y térmica [6]; a este concepto le siguen formas de generación de energía, energía solar fotovoltaica, los cuales soportan la teoría basada en ambientes sostenibles, estableciéndose formas de medición de la radiación solar y la utilización a partir de un panel fotovoltaico, encargado de la transformación y captación de la radiación solar a energía eléctrica o térmicas [7].

De igual forma, la información que se desarrolla durante este estudio de referencia fortalece el conocimiento en cuanto a obtención de energía solar fotovoltaica, que de forma similar se organiza para un equipo de refrigeración como muestra funcional de un sistema fácilmente aprovechable y que aporte a la sustentabilidad de sostenibilidad del medio ambiente, puesto que se puede hacer captación de radiación solar por módulos fotovoltaicos que son fabricados con materiales como el silicio [8], para optimizar el servicio.

Llama la atención el estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de energía solar fotovoltaica en sistemas de refrigeración de bajo costo, a partir del aprovechamiento del potencial de irradiación solar de la ciudad de Barrancabermeja [9], teniendo en cuenta que en esta zona del país la irradiación tiene un promedio multianual de 4,5 a 5 kWh/m² situación que genera alternativas de producción energética de alta favorabilidad, puesto que a la fecha se han desarrollado más de 60 proyectos de amplio beneficio para la ciudad, y que normativamente, según la Ley 1715 de 2014 [10] la energía solar es considerada una fuente de generación energética que está siendo utilizada como iniciativa de respuesta y a la vez subsanar problemas de consumo que según estudios del Ministerio de Energía (2020) en cuanto a estimado de consumo de energía en electrodomésticos por familia, el segundo puesto lo ocupan los equipos de refrigeración con un 22.24 %.

Este es un estudio realizado para conocer los beneficios de la energía solar como alternativa limpia y responsables con el medio ambiente, puesto que incrementa la sostenibilidad y es

inagotable, considerado de bajos costos de mitigación del cambio climático, por lo que se estableció como indicador que permite determinar el consumo de una unidad de habitación, edificio o planta productiva así como de una comunidad, barrio o comuna, para obtener un máximo beneficio en consumo durante un periodo de tiempo establecido, puesto que este estudio permite demostrar que en una muestra tomada para analizar el beneficio con 498 paneles y 4 inversores de 30 kW cada uno aportando 781 kW día [11].

La importancia de este proyecto se inicia describiendo características del equipo que usará el sistema de panel fotovoltaico, con una unidad de refrigeración de bajo costo, la cual tiene una capacidad de 141 litros, tipo Frost y con iluminación LED, considerada en la línea C150L de la marca Haceb; siendo su sistema de instalación un alto aporte para el desarrollo de este trabajo de grado, puesto que además de describir aspectos técnicos, también favorece la implementación normativa en todo lo relacionado con la funcionalidad de sistemas de refrigeración y aparatos eléctricos, así como sistemas vinculados al sistemas y/o servicios asociados a través de simuladores como los descritos por online América Fotovoltaica [12], simulador calculation solar (PVWatts Calculator), software solidworks 2018 [13]. Es necesario documentarse a través de entidades reguladoras como: Organización Internacional de normalización (ISO 5149:2014), Comisión electrónica internacional (IEC 60335-1:2010), Comité Europeo de normalización en norma CEN: EN 3782008, entre otros, respecto a procesos de calidad en los modelos para los sistemas fotovoltaicos.

Por último, y como referente a nivel local, se cita el estudio de factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la vereda Blanquecino del municipio La Argentina, en el departamento del Huila, desarrollado por un estudiante del programa de especialización en gestión de proyectos de la universidad Nacional Abierta y a Distancia para determinar la factibilidad de un sistema solar fotovoltaico que sirva de amplio beneficio para la comunidad Blanquecino del municipio de La Argentina, la cual presenta problemas de suministro energético, dadas las amplias distancias de la red eléctrica del casco urbano, que además se ve afectada por los altos costos que implica ampliar la red [14].

Este es un importante estudio, dado que permite establecer técnicas para la recolección y el procesamiento de datos y de esa manera determinar la factibilidad en la implementación del sistema, siendo importante conocer con exactitud los datos de la irradiación solar en una superficie horizontal.

2.2. Contextualización del problema

Para este estudio, el refrigerador convencional marca HACEB, tipo vertical de referencia: NEV AR 304L CE 2P AL consume 1.52 kWh/día y 45.6 kWh/mes que, de acuerdo a las características y estudios comparativos, fue el que reveló mayor consumo de energía mensual, siendo uno de los factores problema al que se busca generar solución al disminuir los altos costos de consumo energético los cuales representan a final de mes un gasto; por lo que la problemática se sitúa en la alta demanda energética, factores que inciden en aspectos relacionados con el medio ambiente y el aprovechamiento de recursos, que de acuerdo con estudios de consumo energético el estándar se ajusta constantemente a aspectos técnicos, económicos y comerciales.

Ahora bien, considerando que la ubicación geográfica del departamento del Huila favorece la generación de energía a través de paneles solares ya que se encuentra ubicado hacia el sur del país en la región Andina, el cual hace parte de la cuenca alta del río Magdalena, río que nace

en el Macizo Colombiano, lugar donde tiene origen la bifurcación de las cordilleras Central y Oriental [15], el contexto del problema se ubica en el municipio de Neiva el cual está localizado en el valle del alto Magdalena y limita por el norte con Aipe y Tello, por el sur con Rivera, por el oriente con las estribaciones de la cordillera oriental y por el occidente con el río Magdalena y Palermo. Su altura es de 442 m.s.n.m; tiene una superficie de 1533 km cuadrados y 28°C de temperatura promedio.

Neiva está localizada 312 km al sur de Bogotá. Su nombre proviene de la semejanza que encontró el conquistador Sebastián De Belalcázar entre esta región y el valle de la isla de Santo Domingo, en Centroamérica, llamado “Valle de Neyba”. Por eso la primera denominación que recibió la ciudad de carácter religioso fue “Limpia Concepción del Valle de Neiva” [16].

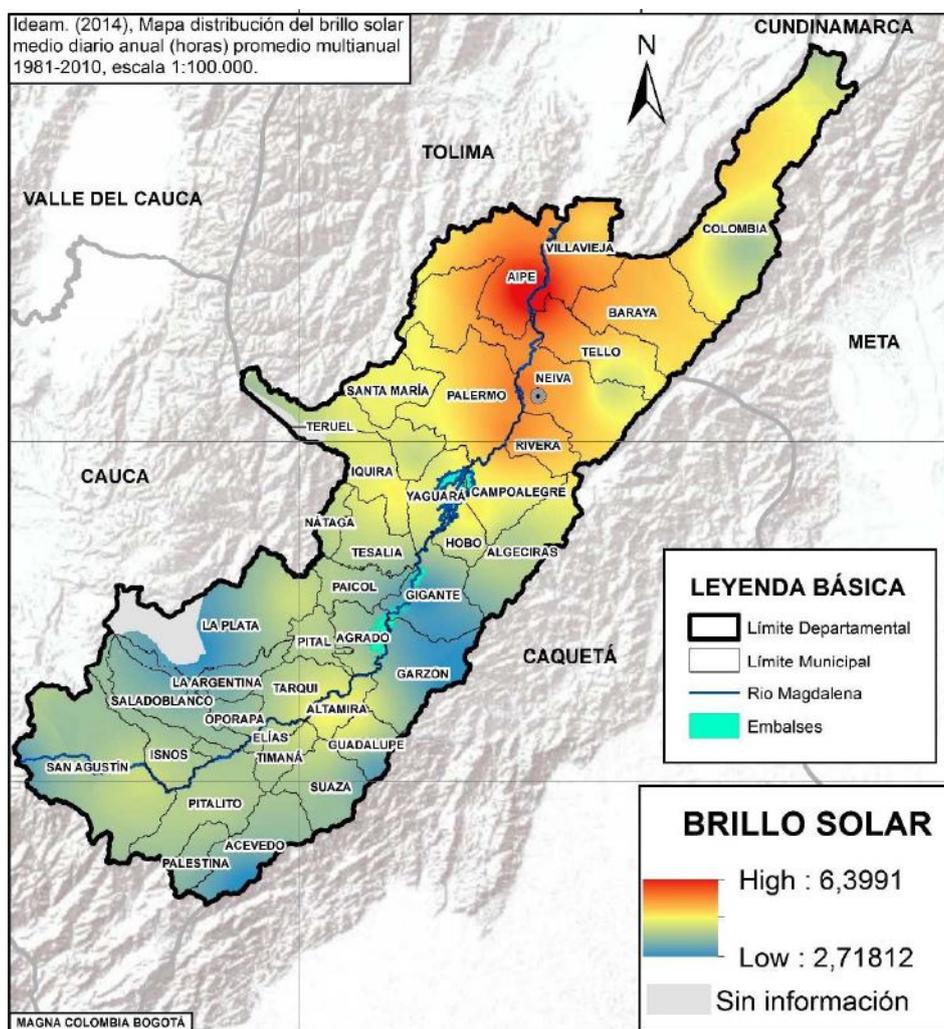


Figura 2.1: Mapa distribución del brillo solar medio diario anual del departamento del Huila [17].

De acuerdo con Beltrán (2019), la medición de la radiación solar se identifica por la cantidad de horas en las que los rayos del sol reflejan directamente en la litosfera y como se puede observar en la Figura 2.1, el medio diario anual evidencia zonas de alta exposición, especialmente en el municipio de Neiva, donde el brillo solar es la principal característica como unidad morfológica, muy cercano a municipios como Aipe, donde también existe alta concentración de brillo solar.

2.3. Justificación del Problema

Llevar a cabo este proyecto hace favorable el aprendizaje, especialmente en temas relacionados con estudios de factibilidad en el cual se involucran otras temáticas ajustables a nuestra realidad y que guardan relación directa con empresas, proyectos de inversión, por lo tanto, resulta conveniente el aprendizaje que se adquirirá durante el desarrollo de este proyecto, entendiendo cada uno de los factores que se llevarían a cabo en el paso a paso para lograr los objetivos.

De esta forma, realizar esta clase de propuesta ha permitido el aprendizaje en el diseño de la metodología, en lo relacionado con ideas sencillas en su ejecución, las cuales permitan poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica, dejando claro que como futuros profesionales de la física, seremos capaces de planear, organizar, dirigir y evaluar todos y cada uno de los procesos, vinculando para tal fin, las competencias y habilidades adquiridas académicamente [18] y que nos forman de manera integral, dado que se parte de las necesidades o problemas de una comunidad y en la que interactúan problemáticas que deben medirse a partir de variables con el fin de dar solución.

En este orden de ideas, de acuerdo con el informe UPME 25 (2019), la propuesta como opción de trabajo de grado favorece las proyecciones de energía, teniendo en cuenta que el 15 % del consumo total de energía para el sector residencia lo ocupan los sistemas de refrigeración. A la comunidad le resultaría una idea de amplio beneficio porque aportaría ideas para el sector energético, ambiental y económico.

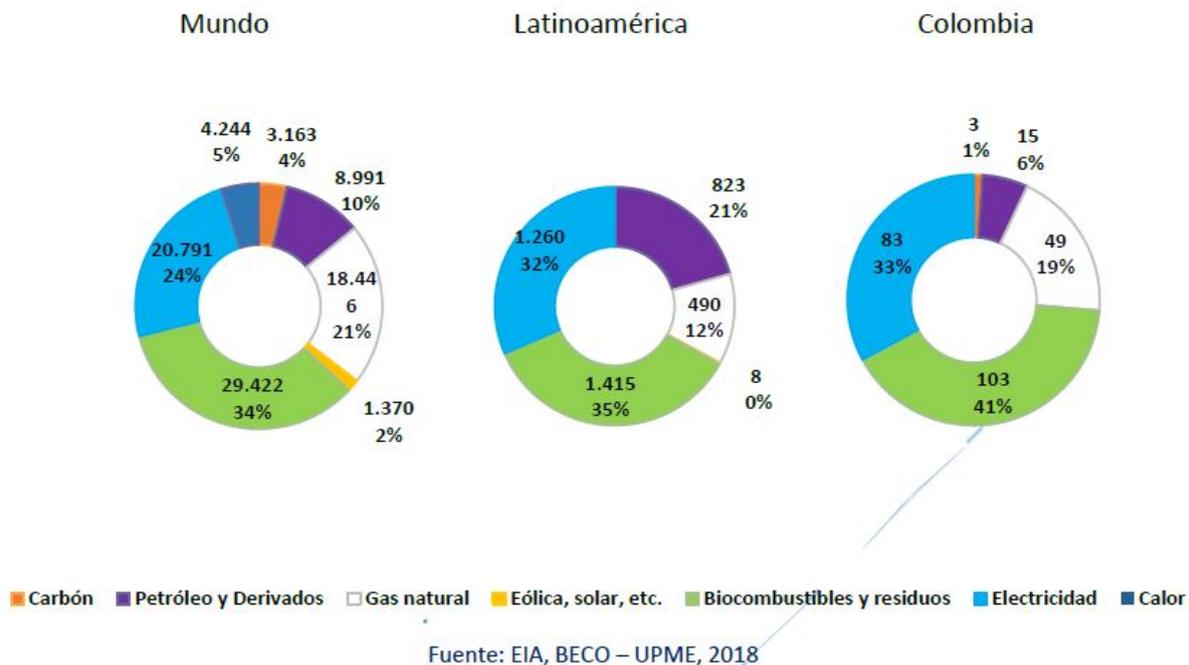


Figura 2.2: Comparativo consumo histórico sector residencial expresados en PetaJulios (PJ). [19].

Por lo tanto, es una idea de emprendimiento que beneficiaría a la sociedad en el conocimiento, y a cada uno de los sectores en los cuales se consideraría necesario y conveniente participar, tal como lo muestra la Figura 2.2 con relación al mundo, a Latinoamérica y a Colombia.

Capítulo 3

METODOS TEORICOS DE SOLUCIÓN

3.1. Teoría del desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible no ha surgido de forma acabada, sino que ha experimentado un desenvolvimiento natural e histórico, avanzando hacia su madurez de forma lenta para beneficio de las personas que habitan el planeta. Es necesariamente, definir este concepto desde una racionalidad, por lo tanto, es más adecuado hablar de sostenibilidad porque tienen relación estrecha y permanente con la calidad de vida de las personas que relacionan el desarrollo al interior de una comunidad y de formas de crecimiento económico analizado desde los factores de la producción. Existen diferentes formas de desarrollo que establecen el mejoramiento de la calidad de vida, pues si se trabaja con racionalidad se hará uso moderado de los recursos, de lo contrario se estará autodestruyendo y no contribuirá con el hecho de ser sustentable porque en lugar de mejorar, lo que hace es empeorar. Por esta razón, durante el desarrollo del presente proyecto se toma como base fundamental el desarrollo sostenible ya que es un factor que está inmerso en lo sustentable, porque mejora la calidad de vida, pero esa sostenibilidad lo dictan otra clase de factores que emergen del entorno y que van de la mano con el crecimiento económico de los pueblos, por lo que se desarrollan conceptos que aportan calidad y beneficios para los seres humanos.

3.2. La célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es un elemento semiconductor cuyo contenido es de dióxido de silicio (SiO_2) la cual se utiliza para transformar la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico (absorbe fotones de luz y emite electrones libres los cuales son capturados para generar corriente eléctrica).

La unión de varias células da lugar a paneles solares los cuales son las bases de los sistemas fotovoltaicos. De hecho, dos electrodos diferentes, uno negativo y el otro positivo y entre ellos dos placas de silicio una negativa y otra positiva separadas por una placa interfase que permite el flujo eléctrico en un solo sentido. Los fotones del sol excitan la placa de interfase la cual estimula los átomos de la placa positiva para que liberen electrones los cuales atraviesan la placa negativa y circulan por el electrodo ya que la interfase aísla ambas placas. Si se cierra el circuito conectado el electrodo negativo con el positivo, los átomos que han perdido electrones tienden a recuperarlos para reequilibrarse lo que produce un flujo de carga generando una corriente eléctrica.

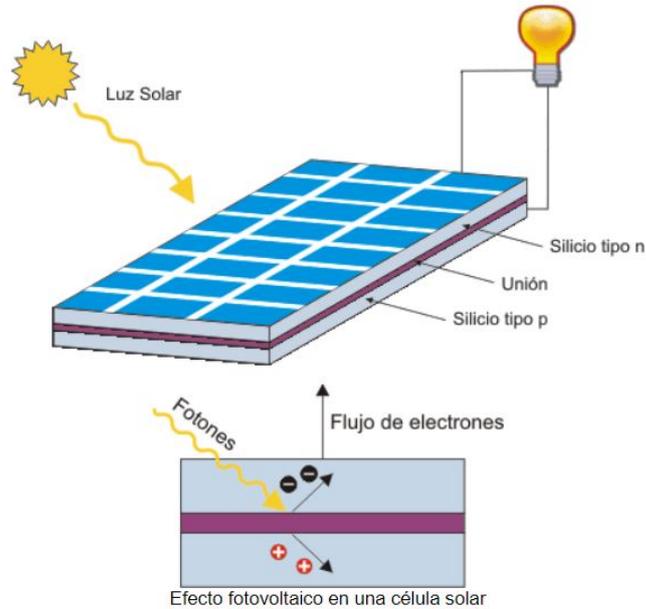


Figura 3.1: Célula fotovoltaica.

3.3. Sistemas aislados

Los sistemas aislados son aquellos que se caracterizan por funcionar fuera de la red convirtiendo la energía solar en energía eléctrica. Para que este sistema eléctrico funcione, los paneles solares captan los fotones y generan electricidad, en corriente directa. Luego, esta energía producida por los módulos fotovoltaicos pasa a un controlador de carga, el cual regula la energía que se va a almacenar, para evitar una sobrecarga. Después, la energía se almacena en una batería solar para usarse en cualquier momento que se necesite. Por último, la energía, en corriente directa, pasa al inversor que es el encargado de transformarla en corriente alterna, la que habitualmente utilizan los electrodomésticos.

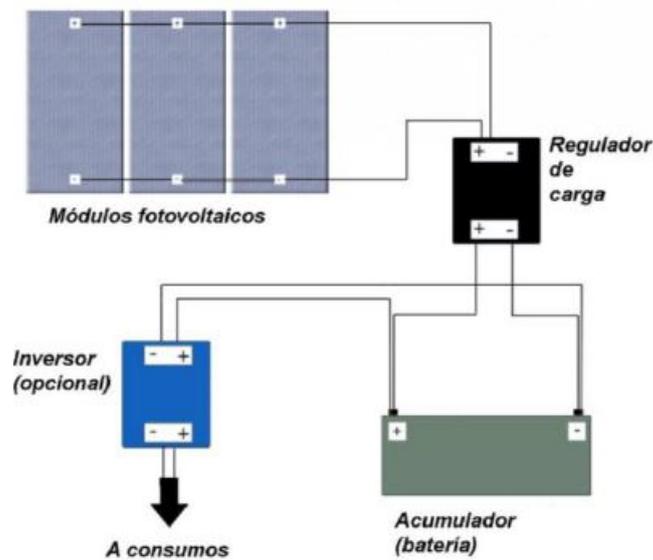


Figura 3.2: Sistema aislado [3].

3.4. Sistemas de conexión a red

Los sistemas de conexión a red deben convertir la energía mediante un inversor para adaptarla a los parámetros de la red. Tanto un tipo como el otro, disponen de elementos de control para trabajar, en todo momento, en su punto de máxima potencia (PMP) para conseguir que el rendimiento del generador sea lo más alto posible, para ello, el propio inversor DC/DC lleva un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) integrado para ajustar los valores de tensión, e intensidad, a los valores normalizados manteniendo la máxima potencia (variando la intensidad). [3]

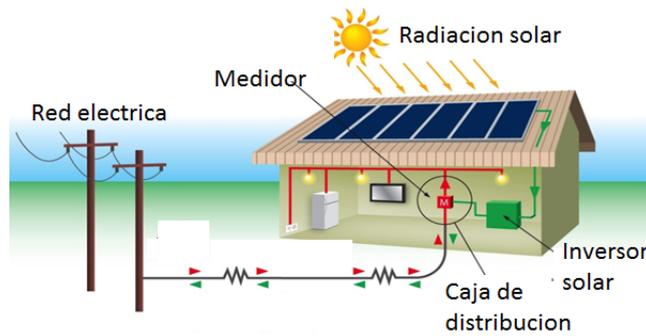


Figura 3.3: Sistema fotovoltaico de inyección a red [20].

3.5. Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración que se utilizan para hacer funcionar las neveras convencionales generalmente usan un refrigerante como el Fréon, el compresor es de tipo reciprocante y hermético ubicado al interior de la nevera, el condensador es el intercambiador de tipo natural ubicado en la parte posterior y es enfriado por aire, el dispositivo de expansión es un tubo capilar y el evaporador esta al interior de la nevera, siendo la superficie del congelador. Los sistemas de refrigeración se les atribuye por su capacidad de almacenamiento y conservación de los alimentos.

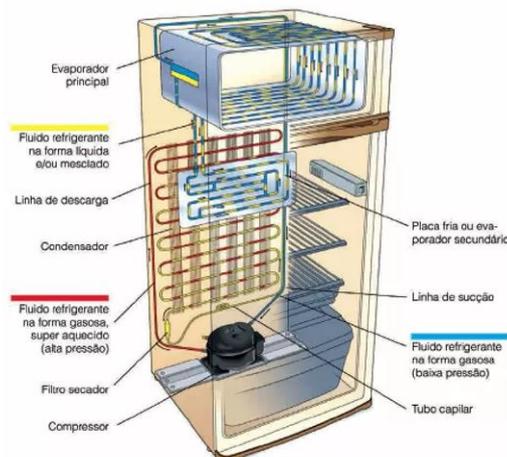


Figura 3.4: Sistema de refrigeración de una nevera convencional.

3.6. Radiación solar

La radiación solar es una fuente de energía limpia, que según Barbero (1998), es identificada como onda corta, recibida en la tierra dentro de la banda del espectro $0,3-4 \mu m$. Por cada segundo, 1340 julios de radiación electromagnética del sol pasan perpendicularmente a través de un $1 m^2$ en la parte superior de la atmósfera terrestre.

El sol irradia diferentes longitudes de onda, la cual llega a la tierra en forma de radiación infrarroja, visible y ultravioleta o conocida como rayos UV, de los cuales la energía que recibe el planeta es: 50 % de radiación infrarroja, 45 % radiación visible y radiación ultravioleta en un 5 % o los conocidos como rayos UV.

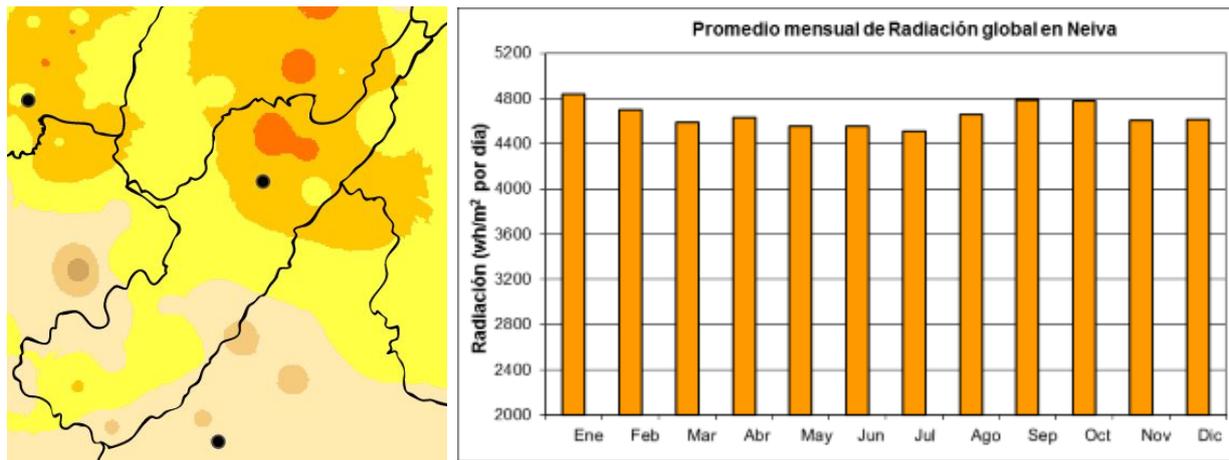


Figura 3.5: Radiación solar en el municipio de Neiva [21].

Respecto a la radiación solar en el departamento del Huila, especialmente en Neiva, y de acuerdo con el Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, tiene un promedio anual que oscila entre 4.5 y $5.0 kWh/m^2$ propicio para un adecuado aprovechamiento, de tal forma que los meses marzo, mayo, junio, julio, noviembre y diciembre registran los valores más bajos, y el resto de meses los más altos, los cuales tienden a ser relativamente estables durante el año.

Existen tres tipos de radiación solar:

Cuadro 3.1: Tipos de radiación solar.

Tipo de radiación	Descripción
Directa	Proporciona mayor energía ya que no posee cambios al ingresar a la superficie terrestre.
Difusa	Presenta obstáculos debido a la nubosidad, polución o partículas contenidas en la atmósfera, lo que ocasiona su desviación.
Reflejada	Es la energía que proviene del sol, que al chocar con la superficie terrestre rebota o se refleja.

Fuente: (Gilmore, 2010)

3.7. Brillo solar

Se ubica al departamento del Huila en la región andina como uno de los territorios con más alto brillo solar. Durante el año tiene características similares con máximos en diciembre a marzo, pero también tiene puntos mínimos entre los meses de abril a noviembre. En los periodos de mayor insolación, las magnitudes diarias oscilan alrededor de 6 horas-sol /día, y los de insolación mínima es de 4 horas-sol /día. A continuación, se muestra en la Figura 3.6.

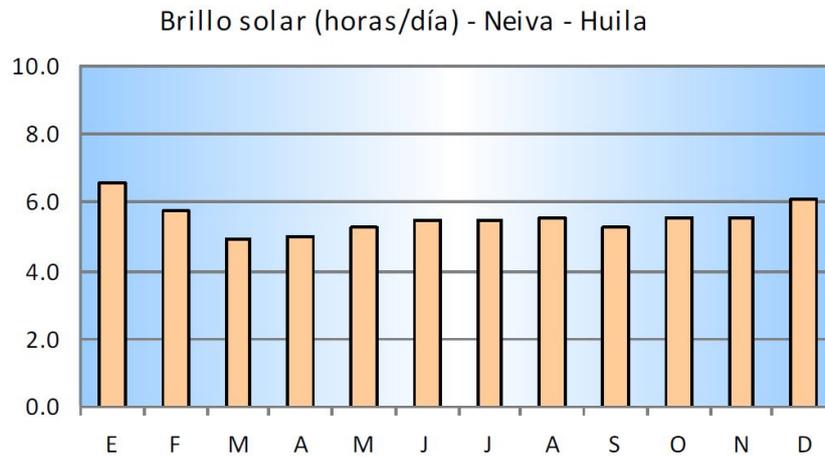


Figura 3.6: Brillo solar en el municipio de Neiva [21].

3.8. Vientos

En Neiva, en la estación aeropuerto Benito Salas, la velocidad media de los vientos es de $2,2\text{ m/s}$. La velocidades medias más altas se alcanzan en los meses de: mayo cuyo valor es de $2,3\text{ m/s}$; junio $3,1\text{ m/s}$; julio $3,5\text{ m/s}$; agosto $3,2\text{ m/s}$ y septiembre $2,5\text{ m/s}$. Durante estos meses ocurren los vientos de mayor frecuencia y mayor velocidad, lo cual corresponde al mismo periodo del año con menor precipitación, mayor temperatura, mayor evaporación y menor humedad relativa del año. La velocidad media más baja se registra en los meses de: noviembre $1,6\text{ m/s}$; diciembre $1,3\text{ m/s}$ y enero $1,6\text{ m/s}$. En el resto del año, los valores medios mensuales oscilan entre $1,7\text{ m/s}$ y $1,9\text{ m/s}$.

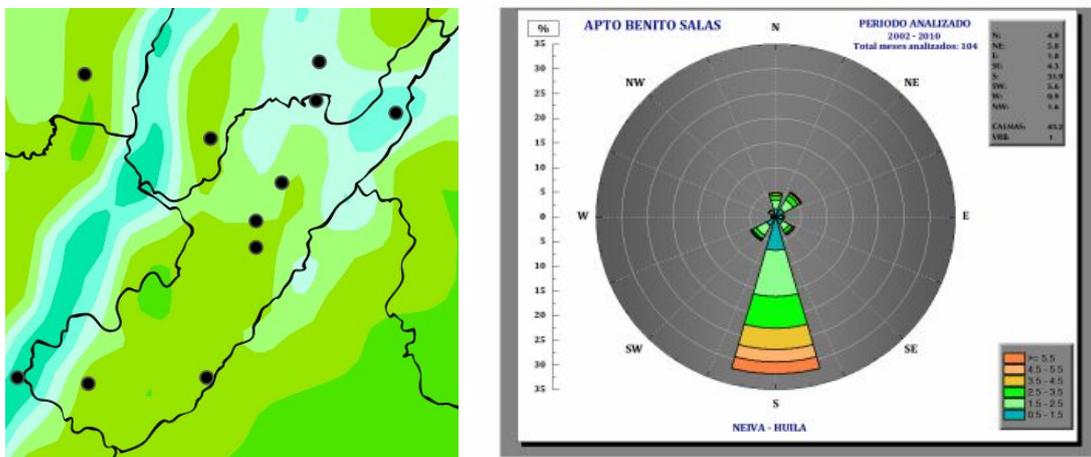


Figura 3.7: Velocidad promedio del Viento a 10 metros de altura (m/s) en el municipio de Neiva [21].

3.9. Humedad relativa

Con base en datos del aeropuerto Benito Salas de Neiva, se dice que la media anual de la humedad relativa es del 67%; presentándose los promedios más altos en los meses de abril y mayo (73%), los cuales corresponden a los meses menos cálidos y el periodo mas lluvioso del año, sin ser los meses de mayor precipitación. En contraste, los valores medios mensuales más bajos de humedad se presentan en enero y febrero (64%), los cuales coinciden con el periodo menos lluvioso y más caliente del año.

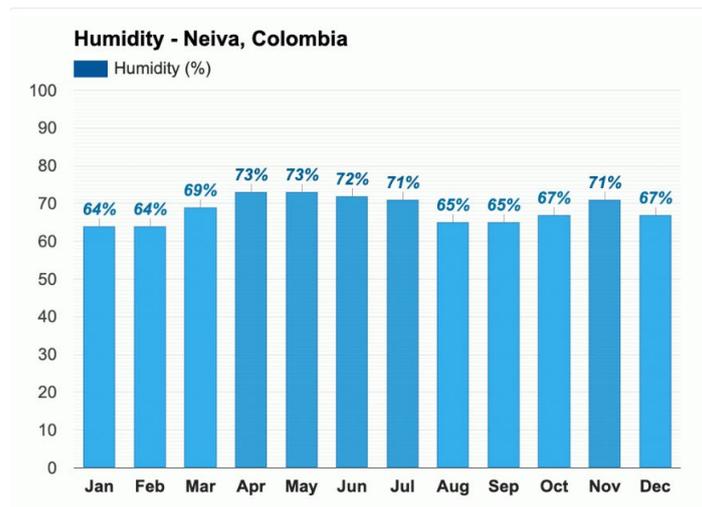


Figura 3.8: Humedad relativa en el municipio de Neiva [21].

3.10. Temperatura

La temperatura de la ciudad de Neiva siempre guarda cierta relación con la precipitación, de manera que la temporada calurosa dura 1,8 meses, del 10 de agosto al 4 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 33 °C. El mes más cálido del año en Neiva es septiembre, con una temperatura máxima promedio de 33 °C y mínima de 24 °C. La temporada fresca dura 1,6 meses, del 31 de octubre al 20 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El mes más frío del año en Neiva es noviembre, con una temperatura mínima promedio de 23 °C y máxima de 31 °C.

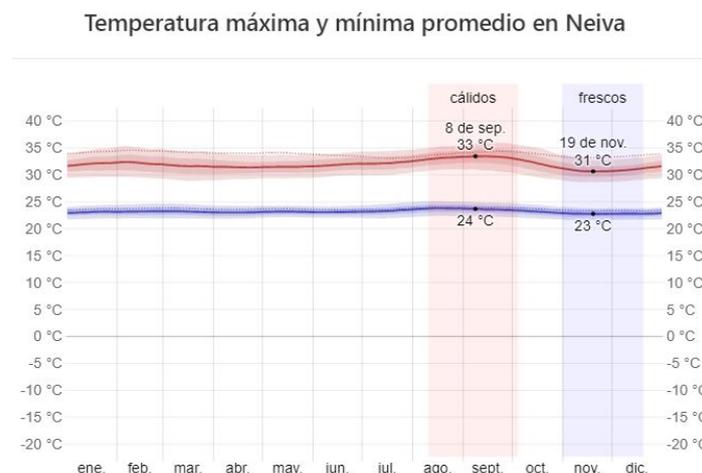


Figura 3.9: Temperatura promedio de la ciudad de Neiva [21].

3.11. Marco Legal

En ésta sección se mencionan las leyes y normas técnicas relacionadas con sistemas energéticos, especialmente las enfocadas a los sistemas solares fotovoltaicos, o que se relacionen con estos, ya que hay normativas que abarcan otros medios energéticos.

3.11.1. Ley 142 del 11 de julio de 1994

Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

3.11.2. Ley 1715 del 13 de mayo de 2014

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables No convencionales al sistema energético nacional.

3.11.3. Decreto 2143 de 2015

Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.

3.11.4. Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016

Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.

Capítulo 4

ENFOQUE METODOLOGICO

La presente investigación se enmarca en el tipo cuantitativo, con enfoque en un alcance descriptivo. Por lo tanto, la finalidad del presente estudio es describir las situaciones, eventos que se relacionan con el comportamiento de las variables e indicadores que determinan las características sociales [22].

Según los autores referenciados en el párrafo anterior, el estudio cuantitativo tiene un enfoque descriptivo, es decir, que busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno y que para el caso de este estudio es la factibilidad de implementación de un sistema solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración convencional residencial o doméstica, en el municipio de Neiva – Huila.

El nivel de investigación se centra en estudios sobre la recolección de los datos de tipo cuantitativo que se fundamenta en la medición (variables), usando para tal fin contenidos y procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica, por lo tanto, los fenómenos físicos observados pueden medirse mediante números y/o cantidades y se interpretan a la luz de las predicciones iniciales.

La población definida para este proyecto representa el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere este estudio, como la totalidad de elementos o individuos que tienen ciertas características similares y sobre las cuales se desea hacer inferencia; o bien, unidad de análisis. Para este caso la población la componen el número de viviendas ocupadas 98.405 [23].

Este dato es utilizado para aplicar al tamaño muestral, representada en la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2} \quad (4.1)$$

Donde:

n = Muestra.

N = Indica la población.

Z = Nivel de confianza (95 %).

e = Margen de error (5 %).

σ = La desviación estándar de la población que para el 95 % es de 1.95.

Esta fórmula se aplicará si se toma el total de la población, es decir el número total de viviendas ocupadas (98.405), lo que arroja como resultado, la aplicación de 120 encuestas a viviendas seleccionadas de forma aleatoria.

Para el procedimiento de la recolección de los datos, se hará uso de la técnica de herramientas estadísticas (encuesta) cuyos datos serán tabulados en tablas de frecuencia, obteniéndose la media con los cuales se gráfica, sea por medio de histogramas o por tortas, los cuales permitirán obtener una imagen rápida de las diferentes características de los datos de una distribución de frecuencias, para el caso de este estudio, haciéndose uso del análisis estadístico como herramientas para la tabulación con datos relativos y absolutos con las que se pudo realizar el análisis descriptivo.

El instrumento de aplicación es la encuesta, descrita y confrontada para cuyo plan de análisis de los datos se realizará en el software de la plataforma de Google Formularios la cual es una herramienta con características de confiabilidad, validez y objetividad. El instrumento diseñado para la recolección de la información está conformado por variables que permiten identificar las necesidades y problemas de la localidad y para medir el grado de conocimiento y posible aceptación por parte de la población sobre el uso de energías renovables y sus beneficios para el mejoramiento de la región, en este caso, la implementación de un sistema solar fotovoltaico en un refrigerador convencional como alternativa de solución a problemas de energía eléctrica en los domicilios.

Capítulo 5

RESULTADOS

5.1. Cálculos

Un sistema solar fotovoltaico aislado es totalmente independiente de cualquier otra fuente de energía, haciéndolo viable en lugares donde la red de energía eléctrica no llega, permitiendo generar y almacenar electricidad por medio de las baterías sin necesidad de cualquier suministro eléctrico.

Para este estudio se inicia haciendo un análisis estadístico (promedios y desviaciones máximas y mínimas) de las variables climatológicas que se deben tener en cuenta para una instalación de un sistema solar fotovoltaico aislado, en este caso en el municipio de Neiva, en un punto específico, de Latitud: $2,95^\circ$ y Longitud: $-75,25^\circ$, utilizando el software "NASA POWER Prediction Of Worldwide Energy Resource", para tomar la base de datos meteorológicos como la irradiación solar global mensual multianual de 1981 a 2020, velocidad del viento a 10 metros (m/s), humedad específica a 2 metros (g/Kg) y la temperatura a 2 metros ($^\circ\text{C}$).

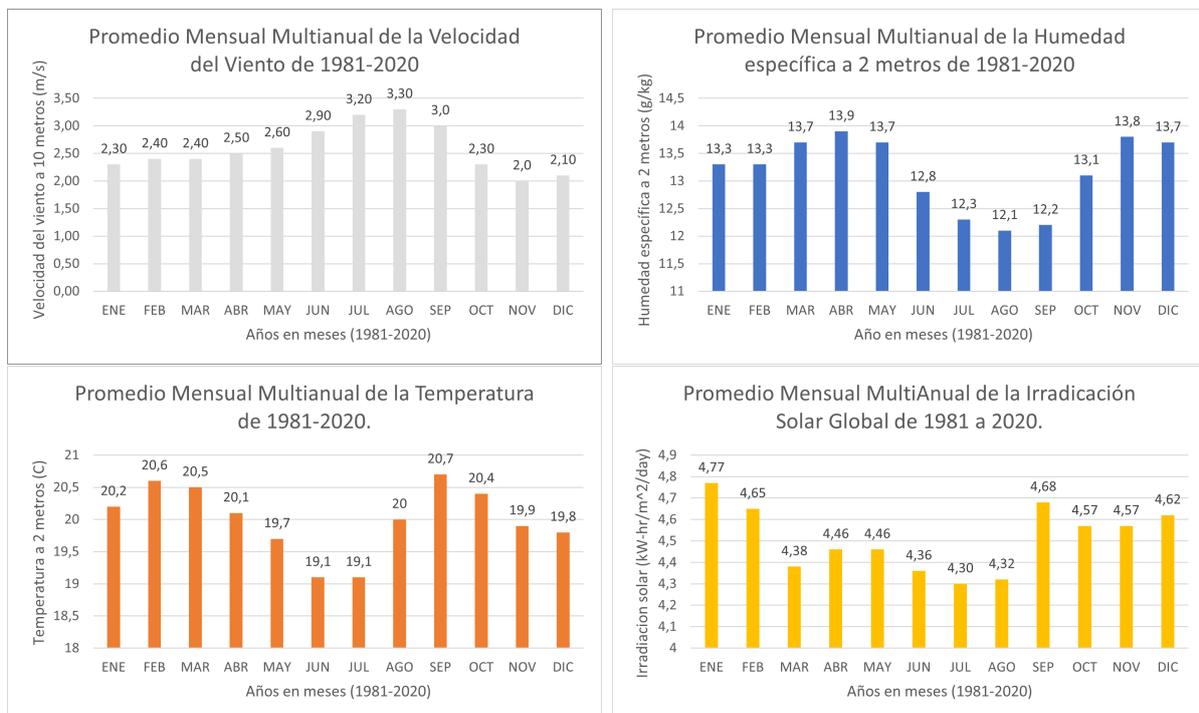


Figura 5.1: Gráficas condiciones climatológicas del municipio de Neiva.

5.1.1. Hora solar pico

$$HSP = \frac{\text{Irradiación Global}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (5.1)$$

Para calcular la Hora Solar Pico de la ciudad de Neiva, se toma el valor promedio de la Gráfica Promedio Mensual Multianual de la Irradiación Solar Global de 1981 a 2020.

$$HSP = \frac{4,51 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$HSP = \frac{4510 \text{ Wh}}{1000 \text{ W}}$$

$$HSP = 4,51 \text{ h}$$

5.1.2. Ángulo de inclinación

Cuadro 5.1: Latitud y ángulo de inclinación

Latitud del lugar (en grados)	Angulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5°
30° a 35°	Latitud más 10°
35° a 40°	Latitud más 15°
40° o más	Latitud más 20°

Para que el panel solar consiga una mayor efectividad, los rayos solares deben incidir sobre ellas de una manera perpendicular a la superficie. Colombia, tiene una posición geográfica muy buena debido a su proximidad a la línea del Ecuador ya que la posición del sol es vertical y poco inclinada. Sin embargo, respecto a la orientación, el sol sale por el este y se pone por el oeste y recorre el cielo hacia el sur. Es por eso que la mejor orientación para maximizar la producción es el norte porque recibe más horas de luz, a un ángulo de 15° para evitar sedimentos en la superficie del cristal, ya sea excrementos de aves, material orgánico de la naturaleza, polvo, etc.

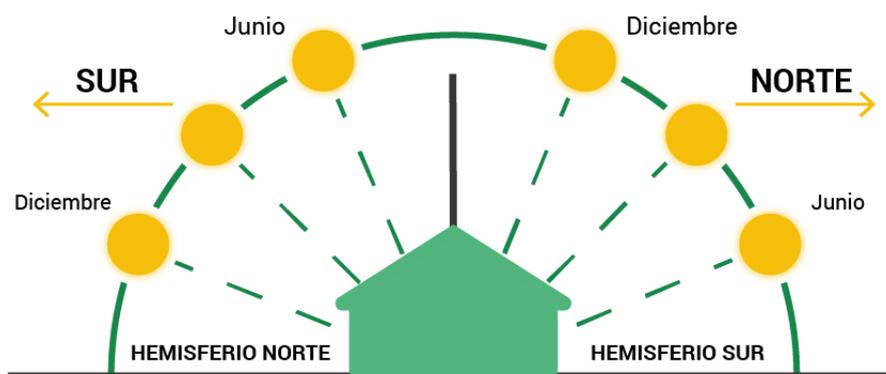


Figura 5.2: Orientación para la instalación solar. [24]

5.1.3. Consumo de la instalación

Partiendo de los datos proporcionados por la etiqueta de la nevera, se procede a calcular la potencia eléctrica.



Figura 5.3: Parámetros energéticos eléctricos de un refrigerador convencional.

$$P = V * I \quad (5.2)$$

Donde

V= Voltaje

I= Intensidad de corriente

Se reemplaza en la ecuación (5.2)

$$P = (115 V) * (1,8 A)$$

$$P = 207 W$$

Ahora, con ayuda de un amperímetro, se comprueba la corriente de trabajo que realiza la nevera.



Figura 5.4: Corriente nominal de operación experimental de la nevera.

SERVICIO RESIDENCIAL ⁽¹⁾					
FACTURACION MENSUAL ⁽²⁾					
	PROPIEDAD REDES NIVEL 1	(Inferior a 1 kV)			NIVEL 2
		ELECTROHUILA	COMPARTIDA	USUARIO	(≥ 1 kV y < 30 kV)
ESTRATO	RANGO DE CONSUMO				
BAJO- BAJO (Estrato 1)	0-CS	324,4194	312,2994	300,1856	266,4895
	>CS	811,0484	780,7486	750,4641	666,2238
BAJO (Estrato 2)	0-CS	405,5242	390,3743	375,2320	333,1119
	>CS	811,0484	780,7486	750,4641	666,2238
MEDIO - BAJO (Estrato 3)	0-CS	689,3912	663,6363	637,8945	566,2902
	>CS	811,0484	780,7486	750,4641	666,2238
MEDIO (Estrato 4)	TODO	811,0484	780,7486	750,4641	666,2238
MEDIO - ALTO (Estrato 5) Y ALTO (Estrato 6)	TODO	973,2581	936,8983	900,5569	799,4685
AREAS COMUNES CON CONTRIBUCIÓN	TODO	973,2581	936,8983	900,5569	799,4685
AREAS COMUNES SIN CONTRIBUCIÓN	TODO	811,0484	780,7486	750,4641	666,2238

Figura 5.5: Tarifas clientes regulados enero 2023. [25]

Para cobrar el servicio de energía eléctrica en la ciudad de Neiva, cada vivienda debe poseer un contador monofásico o trifásico que se encarga de registrar el consumo a través de kilovatios por hora (kW/h), los cuales son cobrados según el estrato socioeconómico de cada sector por diferentes tarifas específicas.

Los habitantes de los estratos 1, 2 y 3 si muestran consumos mayores a 173 vatios les cobran una tarifa de COP 811,0484 según la Electrificadora del Huila. Lo cual indicaría que a la hora de implementar este sistema fotovoltaico aislado la recuperación de la inversión se vería reflejada a un largo plazo mientras que para los habitantes de los estratos 4, 5 y 6 no obtienen ningún tipo de subsidio pero podrían ver los beneficios de este sistema solar fotovoltaico a un mediano plazo ya que pagan las tarifas más altas de consumo eléctrico.

Por ejemplo: Para este caso se calcula el valor del costo de la energía eléctrica para una nevera de una vivienda del estrato 1 de la ciudad de Neiva.

Liquidación del Consumo						
Medi	Desde	Hasta	Consumo	Valor	Valor	
1	1	173	173.0	317.9371	\$55.003	
1	174	99999	11.0	794.8427	\$8.743	

Ultimos Consumos		
Año	Mes	Consumo
2022	12	169
2022	11	175
2022	10	174
2022	9	167
2022	8	142
2022	7	138

Promedio Cuenta		Consumo Año Anterior	
160		184	

Costo Unitario de Prestación del Servicio						
Gm	+Tm	+Dm	+Cv/m	+PR/m	+Rm	=CU/m
300.66	47.1	258.4	110.05	66.46	27.16	809.86 (\$/kWh)

Figura 5.6: Recibo mes de enero de 2023.

$$COP = (45,6 \text{ kWh/mes}) \times (774,86 \text{ \$/kWh})$$

$$COP = \$35333$$

5.1.4. Módulos fotovoltaicos

$$\text{Numero de paneles} = \frac{\text{Energía Consumo diario} * \text{Factor de seguridad}}{\text{Hora solar pico} * \text{Potencia del panel}} \quad (5.3)$$

El factor de seguridad es de 1,25 para evitar daños ocasionales al regulador.

$$\text{Numero de paneles} = \frac{1520 \text{Wh/día} * 1,25}{4,51 \text{h} * 470 \text{W}}$$

$$\text{Numero de paneles} = 0,89 \approx 1 \text{ panel}$$

Parámetros de módulos solares de acuerdo a condiciones de temperatura e irradiancia del lugar.

Para conocer la temperatura real que tendrán las células fotovoltaicas en cualquier situación se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_{\text{Celda}} = T_{\text{Ambiente}} + [(\text{NOCT} - \text{Temperatura de funcionamiento}) * (E_{\text{Sitio}}/E_{\text{NOCT}})] \quad (5.4)$$

Donde

E_{Sitio} = Irradiancia del lugar.

E_{NOCT} = Irradiancia 800 W/m².

Temperatura de funcionamiento = 20 °C.

NOCT (Temperatura Nominal de Operación de Célula) = 45 °C.

T_{Ambiente} = Temperatura ambiente del sitio. Para este caso es el promedio multianual de la Temperatura de Neiva (1981-2020).

Se reemplaza en la ecuación (5.4)

$$T_{\text{Celda}} = 20^{\circ}\text{C} + [(45^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * (1000 \text{W/m}^2 / 800 \text{W/m}^2)]$$

$$T_{\text{Celda}} = 20^{\circ}\text{C} + [(25^{\circ}\text{C}) * (1,25)]$$

$$T_{\text{Celda}} = 20^{\circ}\text{C} + [31,25]$$

$$\boxed{T_{\text{Celda}} = 51,25^{\circ}\text{C}}$$

Ahora, se calcula el diferencial de temperatura.

$$\Delta \text{Temperatura} = T_{\text{Celda}} - \text{Temperatura Celda a STC} \quad (5.5)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.5)

$$\Delta \text{Temperatura} = 51,25^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{temperatura}} = 26,25^{\circ}\text{C}$$

Luego, se calcula los coeficientes de temperatura.

SPECIFICATIONS								
Module Type	JKM455M-7RL3		JKM460M-7RL3		JKM465M-7RL3		JKM470M-7RL3	
	JKM455M-7RL3-V	JKM460M-7RL3-V	JKM465M-7RL3-V	JKM470M-7RL3-V	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp	465Wp	346Wp	470Wp	350Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.97V	39.32V	43.08V	39.43V	43.18V	39.58V	43.28V	39.69V
Maximum Power Current (Imp)	10.59A	8.61A	10.68A	8.68A	10.77A	8.74A	10.86A	8.81A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.92V	49.01V	52.14V	49.21V
Short-circuit Current (Isc)	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.26%		20.49%		20.71%		20.93%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	20A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

Figura 5.7: Especificaciones Panel Solar 470 Wp.

$$\text{Variación de la } P_m \text{ en } \% = (\text{Coeficiente temperatura } \% P_m / ^{\circ}\text{C}) * \Delta T_{\text{temperatura}} \quad (5.6)$$

$$\text{Variación de la } P_m \text{ en } \% = (-0,35 \% P_m / ^{\circ}\text{C}) * 26,25^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Variación de la } P_m \text{ en } \% = -9,18 \%$$

$$\text{Variación del } V_{oc} \text{ en } \% = (\text{Coeficiente temperatura } \% V_{oc} / ^{\circ}\text{C}) * \Delta T_{\text{temperatura}} \quad (5.7)$$

$$\text{Variación de la } V_{oc} \text{ en } \% = (-0,28 \% V_{oc} / ^{\circ}\text{C}) * 26,25^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Variación de la } V_{oc} \text{ en } \% = -7,35 \%$$

$$\text{Variación del } I_{sc} \text{ en } \% = (\text{Coeficiente temperatura } \% I_{sc} / ^{\circ}\text{C}) * \Delta T_{\text{temperatura}} \quad (5.8)$$

$$\text{Variación de la } I_{sc} \text{ en } \% = (0,048 \% I_{sc} / ^{\circ}\text{C}) * 26,25^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Variación de la } I_{sc} \text{ en } \% = 1,26 \%$$

Entonces

$$\text{Valor } P_{max} \text{ corregida} = [(100\% + \text{Variacion de la } P_m \text{ en } \%) / 100\%] * P_{max} \text{ a } STC \quad (5.9)$$

$$\text{Valor } P_{max} \text{ corregida} = [(100\% + (-9,18\%)) / 100\%] * 470 \text{ W}$$

$$\text{Valor } P_{max} \text{ corregida} = [90,81\% / 100\%] * 470 \text{ W}$$

$$\text{Valor } P_{max} \text{ corregida} = 0,908 * 470 \text{ W}$$

$$\boxed{\text{Valor } P_{max} \text{ corregida} = 426,76 \text{ W}}$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = [(100\% + \text{Variacion de la } V_{mp} \text{ en } \%) / 100\%] * V_{mp} \text{ a } STC \quad (5.10)$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = [(100\% + (-7,35\%)) / 100\%] * 43,28 \text{ V}$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = [92,65\% / 100\%] * 43,28 \text{ V}$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = 0,926 * 43,28 \text{ V}$$

$$\boxed{\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = 40,07 \text{ V}}$$

$$\text{Valor } V_{oc} \text{ corregida} = [(100\% + \text{Variacion de la } V_{oc} \text{ en } \%) / 100\%] * V_{oc} \text{ a } STC \quad (5.11)$$

$$\text{Valor } V_{oc} \text{ corregida} = [(100\% + (-7,35\%)) / 100\%] * 52,14 \text{ V}$$

$$\text{Valor } V_{oc} \text{ corregida} = [92,65\% / 100\%] * 52,14 \text{ V}$$

$$\text{Valor } V_{oc} \text{ corregida} = 0,926 * 52,14 \text{ V}$$

$$\boxed{\text{Valor } V_{oc} \text{ corregida} = 48,28 \text{ V}}$$

$$\text{Valor } I_{mp} \text{ corregida} = [(100\% + \text{Variacion de la } I_{mp} \text{ en } \%) / 100\%] * I_{mp} \text{ a } STC \quad (5.12)$$

$$\text{Valor } I_{mp} \text{ corregida} = [(100\% + (1,26\%)) / 100\%] * 10,86 \text{ A}$$

$$\text{Valor } I_{mp} \text{ corregida} = [101,26\% / 100\%] * 10,86 \text{ A}$$

$$\text{Valor } I_{mp} \text{ corregida} = 1,012 * 10,86 \text{ A}$$

$$\boxed{\text{Valor } I_{mp} \text{ corregida} = 10,99 \text{ A}}$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = [(100\% + \text{Variacion de la } I_{sc} \text{ en } \%) / 100\%] * I_{sc} \text{ a STC} \quad (5.13)$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = [(100\% + (1,26\%)) / 100\%] * 11,68 \text{ A}$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = [101,26\% / 100\%] * 11,68 \text{ A}$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = 1,012 * 11,68 \text{ A}$$

$$\boxed{\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = 11,82 \text{ A}}$$

Cuadro 5.2: Resumen final condiciones Panel Solar

Parametros	STC	Sitio
P_{max}	470 W	426.76 W
V_{oc}	52.14 V	48.28 V
V_{mp}	43.28 V	40.07 V
I_{sc}	11.68 A	11.82 A
I_{mp}	10.86 A	10.99 A

Por último se calcula la Eficiencia de operación del módulo en sitio.

$$\eta_{rc} = (P_{max} \text{ en sitio} / P_{max} \text{ a STC}) * 100\% \quad (5.14)$$

$$\eta_{rc} = (426,76 \text{ W} / 470 \text{ W}) * 100\%$$

$$\eta_{rc} = 0,908 * 100\%$$

$$\boxed{\eta_{rc} = 90,8\%}$$

5.1.5. Controlador de carga

$$I_{entrada} = 1,25 * I_{MOD,SC} * N_p \quad (5.15)$$

Donde

$I_{MOD,SC}$ = Es la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito, en este caso, es de $I_{sc} = 11,68$ Amp. Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador porque será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y la que hay que tener en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento.

N_p = Es el número de ramas en paralelo, en este caso, es 1 porque tenemos solo un panel.

1,25 es el factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

Se reemplaza en la ecuación (5.15)

$$I_{entrada} = 1,25 \times 11,68 A \times 1$$

$$\boxed{I_{entrada} = 14,6 A}$$

Por lo tanto, un controlador de carga de 20 A supliría el sistema solar fotovoltaico aislado.

5.1.6. Inversor

Para seleccionar el inversor se debe tener en cuenta que muchos de los electrodomésticos y aparatos con motor utilizados tienen “picos de arranque”, como las neveras, lo que supone que para su arranque van a demandar mayor potencia que la nominal, en ocasiones hasta 4 o 5 veces más de la potencia nominal prevista.

Es por esta razón que para evitar problemas y deficiencias en el correcto funcionamiento de nuestra instalación, es recomendable hacer un sobredimensionamiento que contemple los picos de arranque.

Partiendo de la potencia eléctrica de nuestra nevera 207W se multiplica por el pico de arranque.

$$P = 207W \times 4$$

$$\boxed{P = 828W}$$

Luego, se sabe que la potencia nominal de un inversor o de referencia es la mitad de la potencia pico del mismo, por lo tanto:

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = \frac{Potencia\ pico\ inversor}{2} \quad (5.16)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.16)

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = \frac{828\ W}{2}$$

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = 414\ W$$

Por recomendación de los fabricantes, el inversor debe de trabajar como máximo al 80 % de su capacidad.

$$Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 1,25 \times Potencia\ nominal\ inversor\ calculada \quad (5.17)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.17)

$$Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 1,25 \times 414\ W$$

$$\boxed{Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 517,5\ W}$$

Como no existe esta referencia en el mercado, se selecciona el inversor con potencia inmediata superior, para que cubra la demanda, incluso los picos de arranque del motor de la nevera convencional.

5.1.7. Baterías

$$Capacidad\ de\ la\ bateria = \frac{Consumo\ de\ energia \times dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga \times tension\ de\ la\ bateria} \quad (5.18)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.18)

$$Capacidad\ de\ la\ bateria = \frac{1520\ Wh \times 2}{0,7 \times 12\ V} = 361,90\ Ah$$

$$\boxed{Capacidad\ de\ la\ bateria = 361,90\ Ah}$$

Ahora, se calcula cuantas baterías se necesitan para el sistema solar aislado.

$$Numero\ de\ baterias = \frac{Capacidad\ bateria}{Capacidad\ nominal\ de\ bateria} \quad (5.19)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.19)

$$Numero\ de\ baterias = \frac{361,90\ Ah}{200\ Ah} = 1,80 \approx 2$$

$$\boxed{Numero\ de\ baterias = 2}$$

Por lo tanto, las baterías se colocan en serie para suplir el sistema de 24 V.

5.1.8. Ciclos de vida en relación con la profundidad de descarga

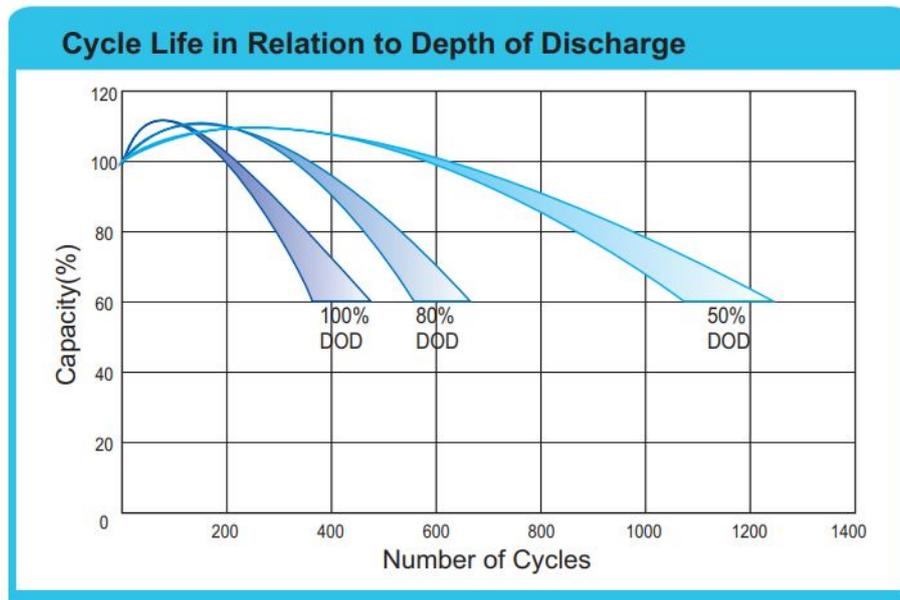


Figura 5.8: Ciclo de vida la batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12 V.

El ciclo de descarga que se va a utilizar va a ser del 70 % para prolongar un poco más su durabilidad porque si la descargamos al 50 % y al 60 % aumenta el periodo de vida, pero incrementa el número de baterías y por consiguiente el costo del banco de baterías. Ahora, para saber el tiempo de descarga se reemplaza en la ecuación (5.20)

$$T = \frac{Ciclos}{365 \text{ dias}} \quad (5.20)$$

Cuadro 5.3: Ciclo de vida la bateria Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12 V.

Profundidad de descarga %	Ciclos	Tiempo
100	400	1,09 Años
80	600	1,64 Años
70	800	2,19 Años
50	1200	3,28 Años

Por lo tanto, al descargar al 70 % tiene una durabilidad de 2,19 Años, teniendo las debidas precauciones como colocar elementos de protección en caso de sobrecargas de las baterias y realizar el respectivo mantenimiento.

5.1.9. Cables

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \rho}{\Delta V} \quad (5.21)$$

Donde

S= Sección transversal del cable (mm^2).

L= Longitud del cable en (m).

I= Corriente que fluye por el cable (A).

ρ = Resistividad del conductor/cable ($W.mm^2.m^{-1}$), en este caso del cobre a 20 °C.

ΔV = Caída de Voltaje.

Se reemplaza en la ecuación (5.21)

$$S = \frac{2(6 \text{ m})(11,68 \text{ A})(\frac{1}{56} \frac{\Omega.mm^2}{m})}{52,24 \text{ V} \times 0,01}$$

$$\boxed{S = 4,79 \text{ mm}^2}$$

5.2. Diseños

En el primer diseño se utiliza el programa Paint para dibujar el esquema de configuración aislada de la instalación solar fotovoltaica en la nevera convencional, mostrando como van conectados los componentes que se necesitan con su respectivo sistema de seguridad como terminales y conectores, puesta a tierra, entre otros.

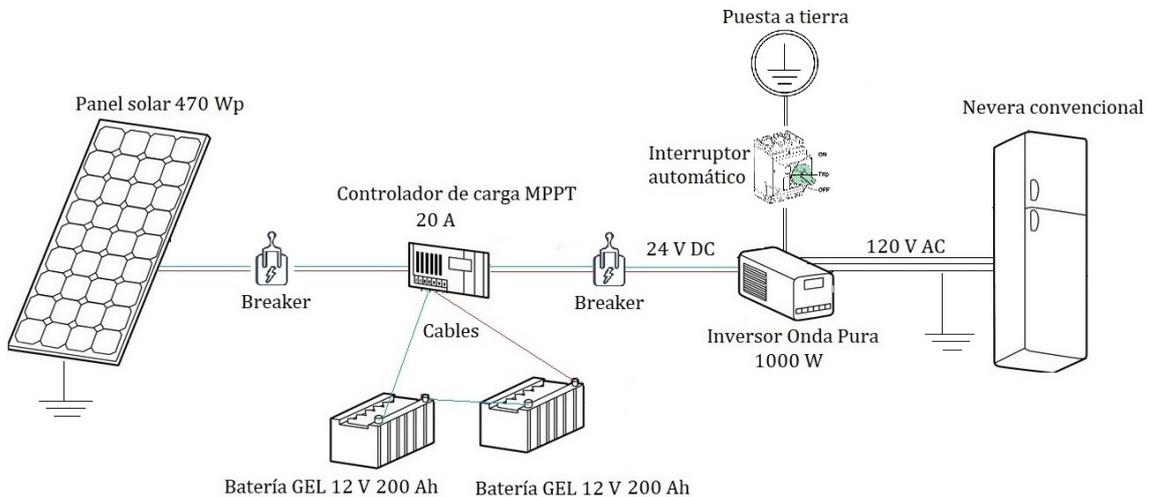


Figura 5.9: Esquema de configuración aislada del sistema solar fotovoltaico.

Para el segundo diseño se emplea el programa SketchUp Pro 2022, primordialmente para la planificación urbana, en este caso el interior de una cocina donde está la nevera convencional mostrando la ubicación y distribución de la conexión de los elementos del sistema solar fotovoltaico tales como el panel solar 470 Wp con el gabinete eléctrico, simulando de como quedaría la instalación en la vida real.

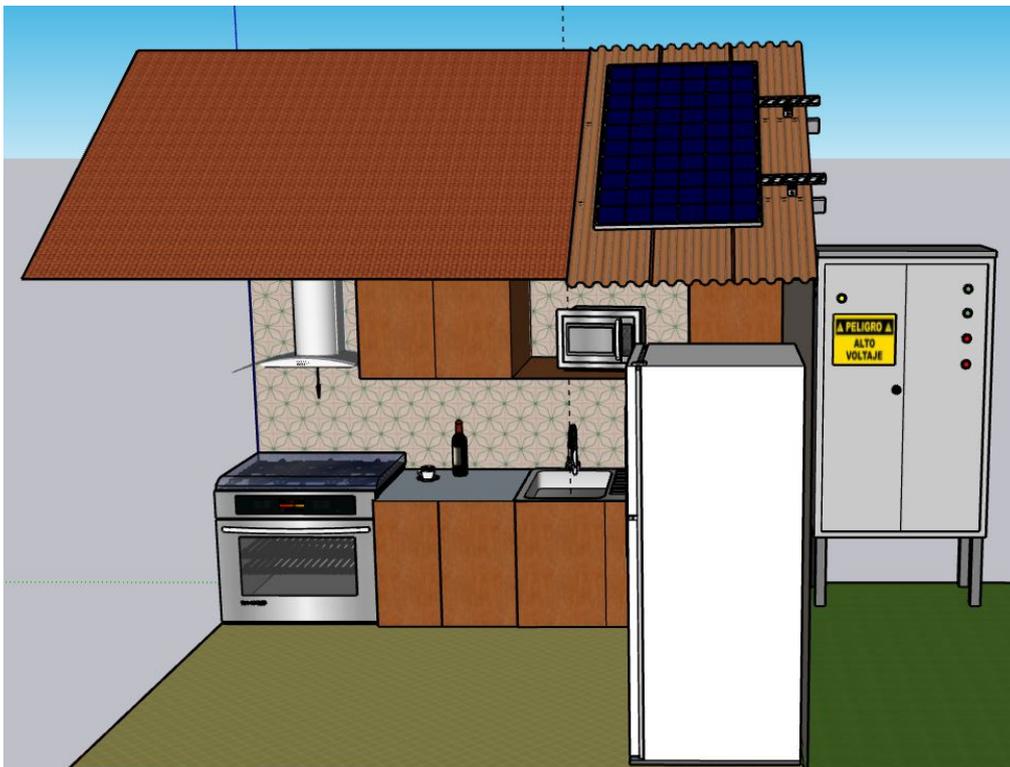


Figura 5.10: Diseño 3D de la planificación urbana de la ubicación de la nevera convencional.

Para el tercer y ultimo diseño se usa el programa PV*SOL Premium 2022 para mostrar el montaje del sistema solar fotovoltaico aislado en el exterior de una vivienda en la zona rural, permitiendo realizar una simulación más detallada ubicando el módulo sobre el tejado el cual pesa 25 Kg con dimensiones de $2182 \times 1029 \times 35mm$, datos climáticos como la temperatura de Neiva, con estructuras adicionales para la postura de forma segura en el techo las cuales son un elemento indispensable en la instalación fotovoltaica ya que permiten aprovechar al máximo su rendimiento.



Figura 5.11: Diseño 3D simulación dinámica del sistema solar fotovoltaico.

Capítulo 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para desarrollar el enfoque metodológico, se aplicó 120 encuestas donde se recolectó información de 113 personas que dieron aceptación positiva para la aplicación del cuestionario de la encuesta, mientras que las restantes 7 personas, no respondieron y por ende no autorizaron la recolección de información (consentimiento informado); los resultados alcanzados en la encuesta, fueron los siguientes:

¿Cuál es el estrato socio-económico del sector donde usted habita?



113 respuestas

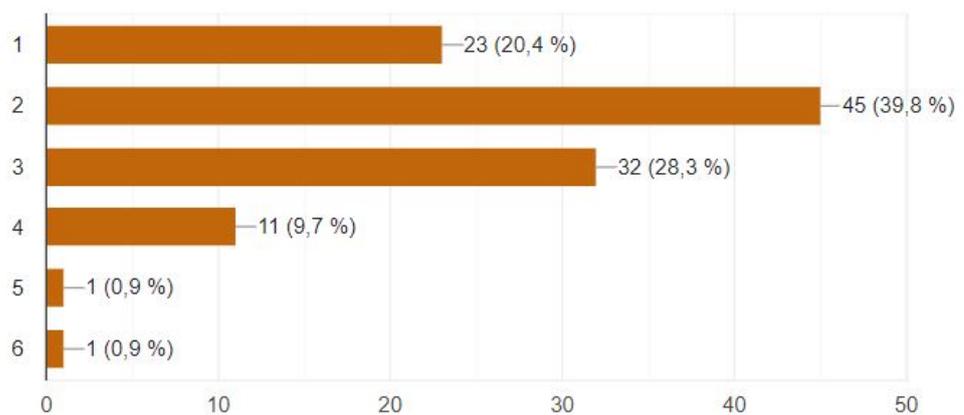


Figura 6.1: Pregunta 1 de la encuesta.

Como se evidencia en la Figura 6.1, el 39.8% de los encuestados, corresponden a 45 personas del estrato socio económico es 2, seguido del 28.3%, son 32 personas que figuran en estrato socioeconómico 3, un 20.4%, fue de 23 personas pertenecen al estrato 1, un 9.7% fueron 11 personas que pertenecen a estrato 4 y el restante 1.8% pertenecen a estratos socio económicos superiores a 4. Esta estratificación de las viviendas de personas consultadas favorece a los resultados de la implementación del proyecto en un futuro porque son personas que buscan ahorrar en el pago de servicios y con este sistema, se disminuirá el pago de la cuota mensual en servicios de energía eléctrica, situación que lo hace positiva.

¿Tipo de zona donde se encuentra ubicada la vivienda que habita?

113 respuestas

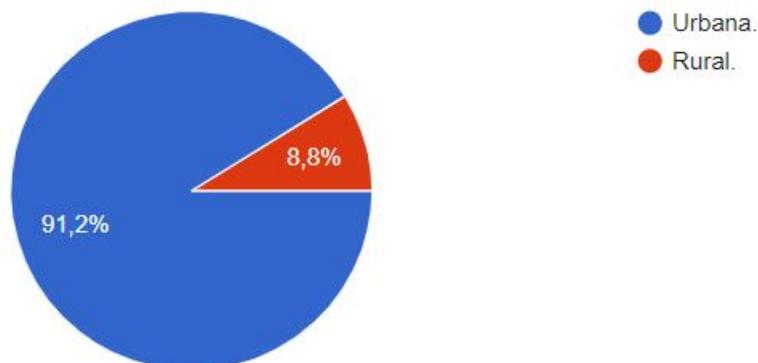


Figura 6.2: Pregunta 2 de la encuesta.

La Figura 6.2, muestra que el 91.2 % de las personas encuestadas, pertenecen a la zona urbana, tan solo un 8.8 % son de zona rural. Este mayor porcentaje de las zonas urbanas favorece la toma de decisiones de los usuarios de los servicios de energía, siendo un factor positivo a la adquisición del sistema.

¿Tipo de vivienda en la que habita?

113 respuestas

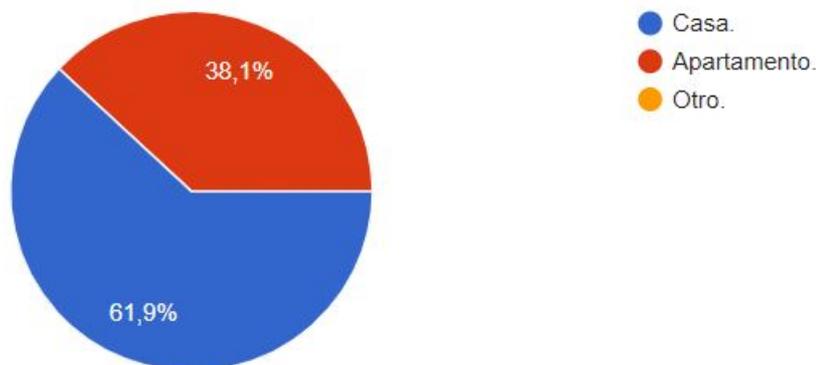


Figura 6.3: Pregunta 3 de la encuesta.

En la Figura 6.3, se muestra que el 61.9 % el tipo de vivienda es casa, mientras que el 38.1 % son apartamentos, lo que hace presumible un mayor consumo de energía en un área de mayor espacio, es decir, la casa, y su relación con el número de equipos de refrigeración que mantenga en esta.

Tipo de nevera que tiene en su hogar.

 Copiar

113 respuestas

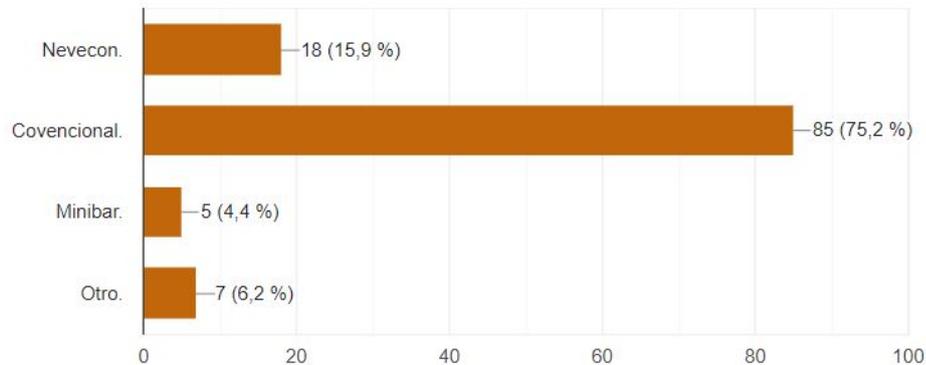


Figura 6.4: Pregunta 4 de la encuesta.

La Figura 6.4 muestra que el 75.2 % de las personas encuestadas, es decir 85, cuentan con equipos de refrigeración convencional, mientras que el 15.9 % que corresponde a 18 personas tienen Nevecon dados los requerimientos de almacenamiento y disposición de espacios para los alimentos, en pequeña proporción, es decir el 4.4 % fueron 5 personas contestaron que cuentan con un minibar porque contribuye con el almacenamiento mínimo y la reducción de espacios en el apartamento.

Los resultados a esta pregunta, son favorables para la implementación del sistema solar fotovoltaico en equipo de refrigeración convencional, puesto que indica que la mayor parte de los habitantes del municipio de Neiva, cuentan con refrigeradores convencionales que registran un alto consumo de energía y son los que más tienen en los hogares, por lo tanto, se da fundamento a la propuesta del trabajo del por qué se eligió la nevera convencional.

¿Presenta problemas de energía eléctrica en el sector donde vive?

113 respuestas

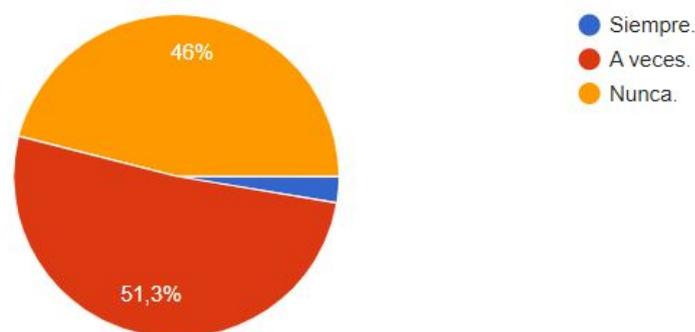


Figura 6.5: Pregunta 5 de la encuesta.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, la Figura 6.5, los problemas de energía presentes en el sector donde habita, el 51.3 % contestó que a veces los tiene, mientras que un 46 % nunca los ha tenido, y tan solo un 2.7 % siempre los ha tenido.

¿La nevera ha presentado fallas técnicas por el servicio de energía?

113 respuestas

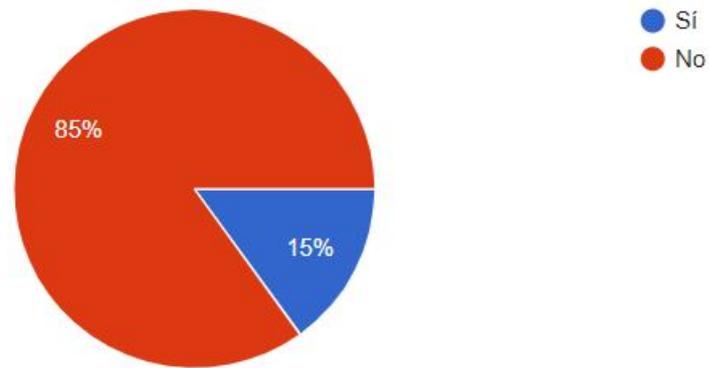


Figura 6.6: Pregunta 6 de la encuesta.

Como se observa en la Figura 6.6, el 15 % de las personas encuestadas reportan fallas técnicas en la nevera por el servicio de energía, mientras que el 85 % no las reporta o simplemente les atribuye el daño a cuestiones de uso. Desde este referente, ese rango que si presenta las fallas es relevante para poder establecer características de uso del sistema solar fotovoltaico.

¿Sabía usted que la nevera es uno de los electrodomésticos de mayor consumo de energía?.

113 respuestas

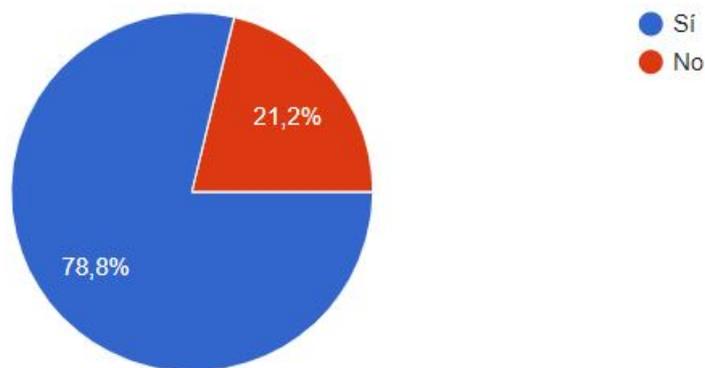


Figura 6.7: Pregunta 7 de la encuesta.

En la Figura 6.7 se observa que el conocimiento sobre el consumo de energía en cada uno de los equipos o electrodomésticos es un factor necesario para establecer las formas y la administración del tiempo de uso, a esta respuesta, el 78.8 % contestó que si conoce sobre el consumo energético, mientras que el 21.2 % lo desconoce y quizás por esta razón hace un inadecuado uso de tareas que incrementan el consumo, como las puertas abiertas por largo tiempo, entre otros.

¿Sabía usted que mediante la luz solar se puede generar energía eléctrica para la nevera a través de un sistema solar fotovoltaico?

113 respuestas

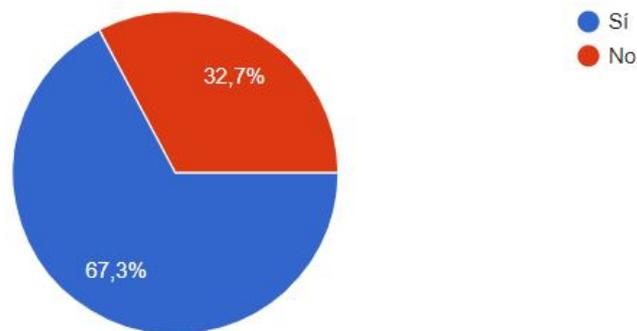


Figura 6.8: Pregunta 8 de la encuesta.

La Figura 6.8 muestra que la evolución de la tecnología y la revolución de los mercados, ha permitido que se diseñen formas de vida diferentes, por lo tanto, al preguntárseles a los encuestados sobre el conocimiento del sistema solar fotovoltaico para las neveras, el 67.3 % contestó afirmativamente, mientras que el 32.7 % contestó que desconocía ese aporte. El mayor rango de conocimiento sobre el sistema fotovoltaico, hace más atractiva la idea y favorece la comercialización del mismo.

¿Ha escuchado sobre la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en neveras para los hogares?

113 respuestas

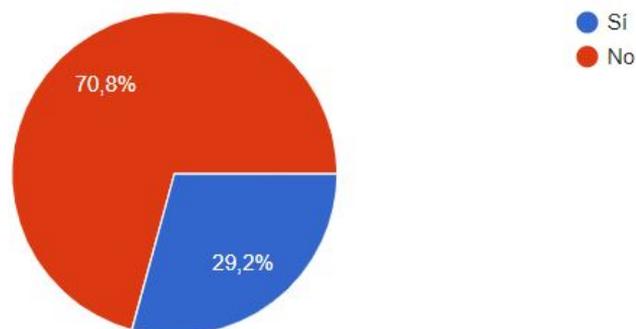


Figura 6.9: Pregunta 9 de la encuesta.

La Figura 6.9 indica que el 70.8 % de los encuestados contestó que lo desconocía debido a que no se han informado por diferentes razones ya que este mercado es nuevo, mientras que el 29.2 % manifestó que, si ha escuchado sobre ofertas de dispositivos con estas características para el ahorro en el consumo de energía eléctrica, lo que permite proyectar un mercado amplio para la demanda de esta clase de producto, haciendo más atractivo y factible la puesta en marcha de esta clase de productos.

¿Le gustaría implementar un sistema solar fotovoltaico para el ahorro de consumo de energía eléctrica y conservación de su nevera?.

113 respuestas

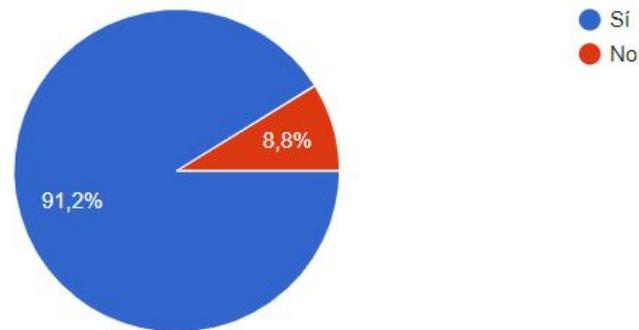


Figura 6.10: Pregunta 10 de la encuesta.

La Figura 6.10 muestra las favorables tendencias del mercado energético relacionado con la implementación de sistema solar fotovoltaico como ahorro de consumo de energía eléctrica y conservación del equipo, en la cual el 91.2 % contestó que si le gustaría contar con un sistema que contribuyera con la disminución de los gastos de servicios de energía en el hogar, mientras que tan solo un 8.8 % contestó que no debido a lo altos costos de la inversión inicial.

6.0.1. Selección de la nevera convencional.



Figura 6.11: Nevera HACEB NEV AR 304L CE 2P AL

Para este estudio se trabajó con la nevera convencional HACEB NEV AR 304L CE 2P AL ya que dicho electrodomestico se encontraba en una vivienda en la ciudad de Neiva, por lo que se facilitó hacer el estudio y así poder conservar el producto debido a su tiempo de antigüedad.

6.0.2. Selección del módulo fotovoltaico.



Figura 6.12: Panel Solar 470 Wp

El panel Solar 470 Wp monocrystalino del fabricante JINKO está fabricado en vidrio templado anti reflejante y se recomienda su instalación en climas cálidos. Con tecnología TR (Tiling Ribbon) que reduce la aparición de puntos calientes. Elevadas eficiencias del 20,93 % debido a dos factores: la estructura Half Cell (media celda o celda partida), la cual disminuye la resistencia interna de los módulos y optimiza la producción en zonas con sombreados parciales, y la capacidad de conversión de las células mono PERC, que maximizan la captación de radiación solar.

6.0.3. Selección del controlador de carga.



Parameter	Value		
Model	ML2420	ML2430	ML2440
System voltage	12V/24VAuto		
No-load loss	0.7 W to 1.2W		
Battery voltage	9V to 35V		
Max. solar input voltage	100V(25°C) 90V(-25°C)		
Max. power point voltage range	Battery Voltage+2V to 75V		
Rated charging current	20A	30A	40A
Rated load current	20A		
Max. capacitive load capacity	10000uF		
Max. photovoltaic system input power	260W/12V 520W/24V	400W/12V 800W/24V	520W/12V 1040W/24V
Conversion efficiency	≤98%		
MPPT tracking efficiency	>99%		
Temperature compensation factor	-3mV/°C/2V (default)		
Operating temperature	-35°C to +45°C		
Protection degree	IP32		
Weight	1.4Kg	2Kg	2Kg
Communication method	RS232		
Altitude	≤ 3000m		
Product dimensions	210*151*59.5mm	238*173*72.5mm	238*173*72.5mm

(a) Controlador Carga MPPT 20A ML2420 12/24V SRNE. (b) Parámetros electricos del controlador de carga 20 A.

El Controlador Carga MPPT 20A ML2420 12/24V SRNE emplea un mecanismo de protección contra sobrettemperatura incorporado, cuando esta supera el valor establecido, la corriente de carga disminuiría en proporción lineal a la temperatura para frenar el aumento de temperatura del controlador, evitando que este se dañe por el sobrecalentamiento. También presenta un modo de carga de corriente limitada, este reducirá la potencia de carga cuando la energía del panel solar excede un cierto nivel y la corriente de carga sea mayor que la corriente nominal. Po último, cuenta con una eficiencia de seguimiento de MPPT de hasta el 99,9 %.

6.0.4. Selección del inversor.



(a) Inversor Onda Pura 1000 W.

MODEL	BEP1000S	BEP1500S	BEP2000S	BEP3000S	BEP5000S
Rated Power	1000W	1500W	2000W	3000W	5000W
Peak Power	2000W	3000W	4000W	6000W	10000W
Frequency	50Hz / 60Hz(Optional)				
WaveForm	Pure Sine Wave				
Battery Voltage	12V / 24V / 48V(Optional)				12V/24V (Optional)
Voltage Range	10-15V(12V) / 20-30V(24V) / 40-60V(48V)				
No load Current	0.8A(12V) 0.6A(24V) 0.3A(48V)	1.8A(12V) 1.0A(24V) 0.5A(48V)	3.0A(12V) 1.5A(24V) 0.8A(48V)	3.8A(12V) 2.0A(24V) 1.2A(48V)	2.5A(24V) 1.4A(48V)
Efficiency	≥90%				
Low Voltage Alarm	11(12V) / 21V(24V) / 42V(48V)				
Battery input protection	Battery low voltage protection: 10V±0.5V(12V) / 20V±0.5V(24V) / 40V±0.5V(48V) Battery high voltage protection: 15V±0.5V(12V) / 30V±0.5V(24V) / 60V±0.5V(48V) Battery reverse polarity protection: NO				
Other protection	High temperature protection, Shortcircuit Protection, Overload Protection				
USB	5V / 500mA				
FAN	Smart fan, Automatic startup of high temperature and load				
Operating environment	Temperature 0°C~40°C@100%load, Humidity 20%~90%RH, No refrigeration				
Size(mm)	367*150*76	452*150*142	454*180*142	529*180*142	585*180*167
Weight(g)	2750	4000	4900	6020	8000

(b) Parámetros electricos del Inversor 1000 W.

El Inversor Onda Pura 1000 W 24V Belttt es un inversor de onda senoidal pura que cuenta con una potencia continua de 1000 W y una potencia de sobretensión de 2000 W con baja distorsión armónica. Es ideal para cuando se producen fallos de energía porque proporciona un seguro de función de apagado automático, protección por sobrecarga, protección de entrada de alto y bajo voltaje. Por último, tiene una tecnología antiinterferente avanzada y circuito de arranque suave.

6.0.5. Selección de la batería.



(a) Batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12V Vol-Bat.

Specification	
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	200Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 56.0 Kg (Tolerances±3.0%)
Internal Resistance	Approx. 4.3 mΩ
Terminal	F10(M8)/F16(M8)
Max. Discharge Current	2000A (5 sec)
Design Life	12 years (floating charge)
Maximum Charging Current	60.0 A
Reference Capacity	C3 152.9AH C5 172.3AH C10 190.5AH C20 200.0AH
Float Charging Voltage	13.6 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/C/Cell
Cycle Use Voltage	14.6 V~14.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Self Discharge	Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 3% at 25°C. Please charged batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.

(b) Parámetros electricos de la Batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12V Vol-Bat.

La batería Gel Ciclo Profundo 200 Ah 12V Vol-Bat mantiene las cargas más tiempo siendo almacenadas y muestra un mejor rendimiento en temperaturas bajas. Cuenta con un alto rendimiento y resistencia eléctrica contra sobrecargas excesivas producidas por cargadores de baja calidad o fallos en sistemas eléctricos.

6.0.6. Selección de los cables.



Figura 6.16: Cable solar.

El cable solar está formado por un conductor de cobre lo que lo hace más resistente, con un material termoestable aislado de polietileno reticulado, con una temperatura máxima de operación de 90°C en ambientes secos, húmedos o mojados y un nivel de tensión máximo de 600 V o 2000 V.

6.0.7. Selección de la estructura para el panel solar.



Figura 6.17: Estructura Cubierta Metálica 1 panel.

La Estructura de Cubierta Metálica 1 Panel KH915 es una estructura capaz de colocar paneles solares sobre superficies de cubiertas metálicas o paneles sándwich. Para la fijación de los paneles a la estructura metálica de cubierta se incluyen 1 panel KH915, abrazaderas laterales y centrales para que queden bien sujetos. Este modelo de construcción es adecuado para todo tipo y tamaño de paneles, desde paneles de 12V de 36 células hasta modelos más grandes de 550 W.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

Neiva, la capital del departamento del Huila, es una zona donde la temperatura generalmente varía de 23°C a 36° C, pero, que a la vez, se puede contrarrestar con el costo de la energía eléctrica, a través de la energía solar fotovoltaica que va a jugar un papel relevante en el sistema energético en el futuro, una tecnología modulable, eficiente y competitiva. Por lo tanto, debemos aprovechar este principio para plantear la instalación de un sistema solar fotovoltaico de conexión aislado, con el fin de convertir la energía mediante un inversor para adaptarla a los parámetros de la red.

Para el estudio de factibilidad se llevó a cabo una serie de cálculos y análisis de todo el sistema solar fotovoltaico, evaluando los resultados para la implementación y los requerimientos necesarios de cada uno de los equipos por más pequeño que sea (inversor, controlador, panel solar, elementos de seguridad, entre otros) para poder alcanzar los objetivos que permiten establecer que es un proyecto que se puede desarrollar de forma segura, con pequeñas pérdidas de energía del 10 %.

El sistema de energía solar fotovoltaico aislado para la unidad de refrigeración doméstica en una vivienda del municipio de Neiva **ES FACTIBLE** ya que puede ser implementado por toda la población que desee utilizar esta fuente de energía limpia e inagotable, ya que está contribuyendo al aprovechamiento de los recursos renovables y del medio ambiente, también puede contrarrestar el costo de la energía eléctrica a largo plazo.

Capítulo 8

RECOMENDACIONES

Un sistema aislado puede tener más ventajas que un sistema conectado a la red (ONGRID) porque si sucede un fallo de energía, este dejará de funcionar debido a que los inversores están conectados a la red eléctrica, por lo tanto si no hay energía este sistema no podrá operar. Por eso, el sistema aislado es una solución que permite dar acceso a la energía eléctrica en sectores donde existan cortes de energía.

Una vez planteada la solución sustentable a diferentes problemas de corte de energía, el sistema aislado ofrece eficiencia y seguridad con los diferentes tipos de nevera que existen en el mercado asegurando la vida útil del dispositivo.

Dependiendo del tipo de panel solar que se escoja para la implementación se sugiere que sea de mayor rendimiento sin importar el precio porque se asegura calidad.

Referencias

- [1] Barragán Llanos Rommel Alexis and Edilberto Antonio Llanes Cedeno. La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el ecuador a partir del uso de las energías renovables. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(104):36–46, 2020.
- [2] Lopez Bedoya Martha Eugenia. *Estampas del Huila*. Instituto Agustin Codazzi - Cámara de Comercio de Neiva, 2002.
- [3] Jorge Sanjuán Cigales. *Estudio y simulación de un sistema fotovoltaico de conexión a red*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València, 2015.
- [4] Jean Piere Bueno Salvatierra and Luis Eduardo Santos Carrión. Implementación de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar para optimización de cosecha energética en la ciudad de guayaquil durante el ciclo escolar 2021-2022. B.S. thesis, 2022.
- [5] Andrea Carolina Benítez Soler, Iván Dario Tello Reyes, et al. Estudio de factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la finca villa catalina. 2018.
- [6] Joan Ramón Morante. El almacenamiento de la electricidad. *Zaragoza*, 2017.
- [7] Oscar Perpiñán Lamigueiro. Energía solar fotovoltaica. *Creative Commons ebook. España. 192pp*, 2013.
- [8] Stefanía Roa Cardona, Alejandro Castellanos Campos, et al. Propuesta de un sistema solar fotovoltaico en el centro experimental de la universidad distrital “el tibar”.
- [9] Rincón Hostia Jaraba Pérez. Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de energía solar fotovoltaica en sistemas de refrigeración de bajo costo, a partir del aprovechamiento del potencial de irradiación solar de la ciudad de barrancabermeja, 2020.
- [10] Congreso de Colombia. *Regulación de integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Congreso de Colombia (Ley 1715 de 2014), 2014.
- [11] RODOLFO HERNANDEZ Gallegos. Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el itslv, 2017.
- [12] Abhishek Paul, Bijit Kumar Dey, Nirabhra Mandal, and Ankur Bhattacharjee. Matlab/simulink model of stand-alone solar pv system with mppt enabled optimized power conditioning unit. In *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [13] Ivan Dario Mendoza Jiménez and Edison Alejandro Torres Suárez. Construcción de un banco de pruebas solar fotovoltaico para el laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad santo tomás tunja.

- [14] Tatiana Andrea Ortiz Quintero et al. Factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la vereda de el blanquecino, la argentina (huila).
- [15] Lopez Bedoya Martha Eugenia. *Estampas del Huila*. Surcolombiana Neiva, 2005.
- [16] Cristina Plata Manrique, Ruth Plata Manrique, Janeth Plata Manrique, et al. Causas por las cuales las empresas inturhuila comfamiliar, interlatur, neivatur no ofrecen paquetes turísticos regionales completos a los fondos de empleados de diferentes empresas del departamento del huila.
- [17] Manuela Victoria Beltrán. *Contexto de los componentes Físico, Socio-ecosistémico y Socioeconómico*. Equipo Técnico POPSPR Huila, 2019.
- [18] Idalberto Chiavenato and Arao Sapiro. *Planeación estratégica*. McGraw-Hill Interamericana México, 2017.
- [19] Upme 25. *Plan Energético Nacional*. Pen 2050, 2019.
- [20] SOPELIA. Plataforma solar américa latina, 2022.
- [21] IDEAM. Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de colombia, 2022.
- [22] P Baptista, R Hernández, and C Fernández. Libro metodología de la investigación 6ta edición. *Editorial McGraw-Hill*, 2015.
- [23] DANE. *Resultados Censo Nacional de Población y vivienda 2018*. Bogotá: DANE, 2019.
- [24] Autosolar. Orientación instalación solar, 2023.
- [25] Electrohuila. Tarifas clientes regulados enero 2023, 2023.