



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 01 de diciembre 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

Juan Sebastián Losada Vidal, con C.C. No. 1075278488,

Autor de la tesis y/o trabajo de grado o titulado Estudio de la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en un establecimiento comercial en Aipe, Huila presentado y aprobado en el año 2024 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:

Juan Sebastián Losada Vidal.

Firma: Sebastián Losada V.

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
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Estudio de la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en un establecimiento comercial en Aipe, Huila

AUTOR O AUTORES: Losada Vidal Juan Sebastián.

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Losada Vidal	Juan Sebastián

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:** 2024 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 97

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:

Español

Inglés

- | | |
|---|--|
| 1. <u>Energía solar</u> | <u>Solar energy</u> |
| 2. <u>Eficiencia energética</u> | <u>Energy efficiency</u> |
| 3. <u>Sistema fotovoltaico</u> | <u>Photovoltaic system</u> |
| 4. <u>Red eléctrica</u> | <u>Electrical network</u> |
| 5. <u>Sostenibilidad ambiental</u> | <u>Environmental sustainability</u> |
| 6. <u>Sistemas interconectados</u> | <u>Interconnected systems</u> |
| 7. <u>Equipo de aire acondicionado</u> | <u>Air conditioning equipment</u> |
| 8. <u>Transmitancia térmica</u> | <u>Thermal transmittance</u> |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El sol es la fuente de energía más abundante en el planeta tierra, se dice que cada segundo produce 760.000 veces el consumo de energía anual a nivel mundial. Uno de los retos para nuestras futuras generaciones es aprovechar al máximo su potencial energético.

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, convirtiéndose en una fuente de energía renovable cada vez más utilizada. Este aumento se debe a varios factores, tales como el avance tecnológico, el creciente consumo energético, el encarecimiento de la energía convencional y el agotamiento de recursos no renovables como el petróleo y el gas. Todo esto conlleva a mejorar la eficiencia de los paneles solares y a tomar conciencia de la importancia de la sostenibilidad ambiental.

Hoy en día, una de las opciones más recomendadas para generar energía solar son los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica pública. Estos sistemas suministran electricidad a la red y en caso de que se produzca un excedente de energía, esta se vierte a la red, lo que genera ganancias para los usuarios.

Este proyecto tiene como finalidad analizar la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico con conexión a red, diseñado para suministrar energía a un sistema de aire acondicionado en un local comercial ubicado en el municipio de Aipe, Huila. Se llevará a cabo un análisis detallado del sistema para identificar posibles pérdidas de energía, desde la conversión de energía solar a eléctrica, hasta la obtención de la temperatura adecuada.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The sun is the most abundant energy source on Earth, and it is said that every second it produces 760,000 times the total global annual energy consumption. One of the challenges for future generations is to make the most of its energy potential.

Solar photovoltaic energy has experienced exponential growth in recent years, becoming an increasingly used renewable energy source. This growth is due to several factors, such as technological advancements, the increasing demand for energy, the rising cost of conventional energy, and the depletion of non-renewable resources like oil and gas. All of this contributes to improving the efficiency of solar panels and raising awareness about the importance of environmental sustainability.

Today, one of the most recommended options for generating solar energy is grid-connected photovoltaic systems. These systems supply electricity to the grid, and in the event of excess energy production, this surplus is fed back into the grid, generating profits for the users.

The aim of this project is to analyze the energy efficiency of a grid-connected solar photovoltaic system designed to supply energy to an air conditioning system in a commercial establishment located in Aipe, Huila. A detailed analysis of the system will be conducted to identify potential energy losses, from the conversion of solar energy to electricity, to achieving the proper temperature in the space where the air conditioning will be used. Local climatic conditions, the type of materials, and the thermal transmittance of the establishment will be considered in the modeling and sizing of the system.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Armando Losada Medina

Firma:

Nombre Jurado: Pedro Mario Cañate Cassere

Firma:



Estudio de la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en un establecimiento comercial en Aipe, Huila

Juan Sebastián Losada Vidal

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Programa de Física
Neiva, Colombia
2024

Estudio de la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en un establecimiento comercial en Aipe, Huila

Juan Sebastián Losada Vidal

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Físico

Director:
MSc. Carlos Eduardo Cuellar Santanilla

Línea de Investigación:
Energías Renovables

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Programa de Física
Neiva, Colombia
2024

Dedicatorias

A Dios por sus bendiciones y fortaleza en los momentos de dificultad, y a cada una de las personas que me apoyaron a largo de mi formación profesional, principalmente mis padres.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a mis padres y familiares por apoyarme en cada parte de esta etapa; por formarme como persona y profesional, por el tiempo dedicado y por confiar en mí.

Agradezco a los docentes de la Universidad Surcolombiana, en especial a los docentes de la Facultad de Ciencias Exactas. Una mención especial al docente del programa de Física Carlos Eduardo Cuellar Santanilla, director de este proyecto, por su guía y acompañamiento constante, y por las prácticas que también hacen parte del aprendizaje y son fundamentales.

Muchas gracias a todos los que de una u otra forma hicieron parte de esto.

Resumen

El sol es la fuente de energía más abundante en el planeta tierra, se dice que cada segundo produce 760.000 veces el consumo de energía anual a nivel mundial. Uno de los retos para nuestras futuras generaciones es aprovechar al máximo su potencial energético.

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, convirtiéndose en una fuente de energía renovable cada vez más utilizada. Este aumento se debe a varios factores, tales como el avance tecnológico, el creciente consumo energético, el encarecimiento de la energía convencional y el agotamiento de recursos no renovables como el petróleo y el gas. Todo esto conlleva a mejorar la eficiencia de los paneles solares y a tomar conciencia de la importancia de la sostenibilidad ambiental.

Hoy en día, una de las opciones más recomendadas para generar energía solar son los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica pública. Estos sistemas suministran electricidad a la red y en caso de que se produzca un excedente de energía, esta se vierte a la red, lo que genera ganancias para los usuarios.

Este proyecto tiene como finalidad analizar la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico con conexión a red, diseñado para suministrar energía a un sistema de aire acondicionado en un local comercial ubicado en el municipio de Aipe, Huila. Se llevará a cabo un análisis detallado del sistema para identificar posibles pérdidas de energía, desde la conversión de energía solar a eléctrica, hasta la obtención de la temperatura adecuada en el espacio donde se utilizará el aire acondicionado. Se considerarán las condiciones climáticas locales, el tipo de materiales y la transmitancia térmica del establecimiento en el modelamiento y dimensionamiento del sistema.

Palabras clave: Energía solar, Paneles solares, Eficiencia energética, Sistema fotovoltaico, Red eléctrica, Sostenibilidad ambiental, Sistemas interconectados, Equipo de aire acondicionado, Transmitancia térmica.

Abstract

The sun is the most abundant energy source on Earth, and it is said that every second it produces 760,000 times the total global annual energy consumption. One of the challenges for future generations is to make the most of its energy potential.

Solar photovoltaic energy has experienced exponential growth in recent years, becoming an increasingly used renewable energy source. This growth is due to several factors, such as technological advancements, the increasing demand for energy, the rising cost of conventional energy, and the depletion of non-renewable resources like oil and gas. All of this contributes to improving the efficiency of solar panels and raising awareness about the importance of environmental sustainability.

Today, one of the most recommended options for generating solar energy is grid-connected photovoltaic systems. These systems supply electricity to the grid, and in the event of excess energy production, this surplus is fed back into the grid, generating profits for the users.

The aim of this project is to analyze the energy efficiency of a grid-connected solar photovoltaic system designed to supply energy to an air conditioning system in a commercial establishment located in Aipe, Huila. A detailed analysis of the system will be conducted to identify potential energy losses, from the conversion of solar energy to electricity, to achieving the proper temperature in the space where the air conditioning will be used. Local climatic conditions, the type of materials, and the thermal transmittance of the establishment will be considered in the modeling and sizing of the system.

Keywords: Solar energy, Solar panels, Energy efficiency, Photovoltaic system, Electric grid, Environmental sustainability, Grid-connected systems, Air conditioning equipment, Thermal transmittance.

Contenido

	Pág.
1. Introducción	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo general.....	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 Estructura del documento	16
2. Enfoque del proyecto	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Contextualización del problema	20
2.3 Justificación del problema	22
3 Métodos teóricos de solución.....	25
3.1 Generación de energía	25
3.2 Energía solar Fotoeléctrica	27
3.3 Sistemas solares fotovoltaicos	28
3.4 Sistemas FV interconectados a la red (ON GRID)	30
3.5 La energía solar fotovoltaica y la célula fotovoltaica	31
3.6 Sistemas de refrigeración	34
3.6.1 Principio físico del funcionamiento de la máquina de refrigeración de aire acondicionado.....	35
3.6.2 Componentes de la máquina de refrigeración de aire acondicionado	35
3.6.3 Ventajas y desventajas del uso de la máquina de refrigeración condicionada por aire acondicionado.....	36
3.6.4 Riesgos de las sustancias químicas refrigerantes que utiliza la máquina de refrigeración condicionada por aire acondicionado	37
3.7 El sol, la energía solar y el desarrollo sostenible	37
3.8 Radiación solar	38
3.8.1 Tipos de radiación solar.....	38
3.8.2 Factores que afectan la radiación solar.....	39

3.8.3	Unidades de físicas de la radiación solar	39
3.9	Ángulo de incidencia solar	39
3.10	Ángulo de inclinación	40
3.11	Eficiencia energética y brillo solar	41
3.12	Empalme panel inversor	41
3.12.1	Análisis de los materiales que componen los paneles solares	41
3.12.2	Análisis de los efectos de la temperatura en las características de una célula solar 44	
3.12.3	Conectores para los paneles solares.	47
3.12.4	Sincronizar la corriente generada por los paneles con la red eléctrica	48
3.13	Máquina de calor - ambiente (análisis de transferencia de calor)	48
3.13.1	Factores para tener en cuenta para la realización del proyecto.....	48
	Transmisión de calor por conducción de las paredes y techo	49
3.14	Elementos de seguridad	50
4	Metodología	52
5	Resultados.....	55
5.1	Cálculos	55
5.1.1	Hora solar pico.....	57
5.1.2	Ángulo de inclinación	57
5.1.3	Consumo de la instalación	58
5.1.4	Módulos fotovoltaicos	61
5.1.5	Calor y tiempo de enfriamiento del local	64
5.1.6	Inversor.....	68
5.1.7	Cables	69
5.2	Diseños	71
6	Análisis de resultados	73
6.1	Resultados de la entrevista	73
6.2	Sección condiciones meteorológicas	74
6.3	Selección del Aire Acondicionado	75
6.4	Selección del módulo fotovoltaico	76
6.5	Selección del inversor	76
6.6	Selección de los cables	78
6.7	Selección de la estructura para el panel solar	79

6.8	Elementos de seguridad	80
7	Conclusiones y recomendaciones.....	86
7.1	Conclusiones	86
7.2	Recomendaciones	87
	Bibliografía	89
	Anexos	94

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Promedio mensual multianual de la temperatura en Aipe entre 2020 y 2022	21
Figura 2 Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2016-2021, y escenario de cero emisiones netas para 2030 y 2050	22
Figura 3 Mapa del brillo solar en Colombia.....	23
Figura 4 Mapa del brillo solar en el Huila	24
Figura 5 Esquema de un sistema de energía solar fotovoltaico conectado a red	31
Figura 6 Célula fotovoltaica	32
Figura 7 Sistema termodinámico de un refrigerador de aire acondicionado	34
Figura 8 Ángulo de incidencia sobre un módulo horizontal	40
Figura 9 Recomendación para inclinación de módulos según la latitud	41
Figura 10 Mapa térmico de un panel solar	43
Figura 11 Radiación solar diaria promedio de Aipe	43
Figura 12 Relación entre el voltaje y la intensidad eléctrica en una célula solar	44
Figura 13 Condiciones climatológicas del municipio de Aipe	55
Figura 14 Orientación para la inclinación del panel solar	57
Figura 15 Etiqueta de características técnicas del Aire MiniSplit 12000 BTU Inverter	59
Figura 16 Corriente nominal experimental del compresor del Aire Acondicionado	59
Figura 17 Recibo de la energía del mes de marzo de 2024.....	61
Figura 18 Dimensiones habitación	65
Figura 19 Esquema de configuración con conexión a red del sistema solar fotovoltaico.....	71
Figura 20 Diseño 3D de la planificación rural de la ubicación del Aire Acondicionado MiniSplit.....	71
Figura 21 Diseño 3D simulación dinámica del sistema solar fotovoltaico	72
Figura 22 Aire Acondicionado (MIDEA) MiniSplit 12000 BTU Inverter	75
Figura 23 Panel Solar 545W Mono cristalino 12V/24V/48V 144 Células TIER 1.....	76
Figura 24 Inversor On Grid Fronius Primo UL 10.0-1.....	77
Figura 25 Cable solar	78
Figura 26 Cables de Conexión del Inversor	79
Figura 27 Estructura cubierta metálica 1 panel	80
Figura 28 Interruptor general de corriente (IGC):.....	80
Figura 29 Disyuntores de corriente continua (CC)	81
Figura 30 Disyuntores de corriente alterna (CA)	82
Figura 31 Interruptor diferencial	82
Figura 32 Fusible de protección para sistemas solares fotovoltaicos NRZ28	83
Figura 33 Relés para el control de energía en sistemas fotovoltaicos	84
Figura 34 Configuración en Serie de Paneles Solares para el Sistema Fotovoltaico	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Lista de Símbolos y abreviaturas	12
Tabla 2 Tabla de conversiones de Potencia y Energía	12
Tabla 3 Costo de las refacciones sustituidas	19
Tabla 4 Comparativo de desempeño de células fotosensibles en condiciones medio ambientales	33
Tabla 5 Tipos de radiación solar	38
Tabla 6 Factores que afectan la radiación solar	39
Tabla 7 Latitud y ángulo de inclinación	57
Tabla 8 características técnicas aire del acondicionado	59
Tabla 9 Tarifas de energía eléctrica para clientes regulados marzo de 2024	60
Tabla 10 Especificaciones del panel solar de 545 W	62
Tabla 11 Cuadro resumen final de las condiciones del Panel Solar	64
Tabla 12 Parámetros eléctricos del Inversor	77
Tabla 13 Características Cables de Conexión del Inversor	79
Tabla 14 Propiedades generales del silicio	97

Tabla 1 Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo o abreviatura	Término	Unidad
AC	Corriente alterna	A
BTU	British thermal unit	BTU
DC	Corriente continua	A
FV	Fotovoltaico	Sin unidades
HSD	Horas de sol al día	h
HSP	Hora solar pico	h
ON GRID	Conectado a la red de distribución	Sin unidades
SFA	Sistema fotovoltaico autónomo	Sin unidades
SFV	Sistema fotovoltaico	Sin unidades
T	Temperatura	K
Wh	Watts hora	Wh
J	Julios	J
HP	Horsepower	HP

Tabla 2 Tabla de conversiones de Potencia y Energía

Energía	Potencia
1 kWh = $3,6 \times 10^6$ J	1 kW = 1000 W
1 kWd = $864,0 \times 10^6$ J	1 MW = 1 000 000 W
1 BTU = 1055,0560 J	1 TRF = 3 517 W
1 cal = 4,1869 J	1 HP = 745,699 W
1 erg = $1,0 \times 10^{-7}$ J	1 CV = 735,498 W
1 tep = $4,184 \times 10^{10}$ J	1 BTU/h = 0.293 W
1 kWh = 3412,142 BTU	1 W = 3,412 BTU/h

Capítulo 1

1. Introducción

Este proyecto surge de la necesidad de buscar alternativas de energía renovable y sostenible en un contexto de creciente demanda energética. La energía solar fotovoltaica se destaca como una opción viable y eficiente, especialmente en regiones con alta radiación solar, como es el caso del municipio de Aipe, Huila.

Por otra parte, el equipo de refrigeración de aire acondicionado en un local comercial representa un gran consumo de energía eléctrica, al implementar un sistema de energía solar fotovoltaica, se puede lograr una reducción significativa en la factura de la energía, así como también se contribuye en la disminución de la huella de carbono del local.

Es fundamental analizar la relación entre los aspectos meteorológicos y la generación de energía solar fotovoltaica en este contexto específico, así como identificar posibles deficiencias en la configuración y funcionamiento del sistema actual. La comprensión de cómo el calor afecta la producción energética del panel solar y la evaluación de los materiales utilizados en el sistema son aspectos clave para optimizar su rendimiento y eficiencia energética.

Este proyecto busca también establecer una conexión entre los conocimientos teóricos adquiridos en el programa de Física y su aplicación práctica en el campo de las energías renovables y la sostenibilidad ambiental. Se pretende demostrar cómo la investigación y el análisis riguroso pueden contribuir a mejorar las prácticas y tecnologías existentes, en pos de un desarrollo más sostenible y amigable con el medio ambiente.

En resumen, este estudio tiene como objetivo general analizar el rendimiento y la eficiencia energética de un sistema de energía solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración de aire acondicionado en un local comercial de Aipe, Huila, con la finalidad de impulsar la implementación de energías limpias y renovables en el sector empresarial y promover prácticas sostenibles en nuestra sociedad.

El desarrollo del proyecto comprende las siguientes fases:

Fase 1: Revisión bibliográfica

Fase 2: Análisis generalizado y técnico del problema

Fase 3: Diseño y dimensionamiento del sistema de energía solar fotovoltaico

Fase 4: Análisis de implementación del sistema fotovoltaico

Fase 5: Análisis y discusión de resultados

Fase 6: Entrega del documento final

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Analizar el rendimiento y la eficiencia energética de un sistema de energía solar fotovoltaico en un equipo de refrigeración de aire acondicionado en un local comercial del municipio de Aipe, Huila.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Aplicar los conceptos de termodinámica, electromagnetismo y energías renovables adquiridos en el programa de Física, para desarrollar y proponer soluciones ambientales sostenibles.
2. Precisar la incidencia de los aspectos meteorológicos en la generación de energía solar fotovoltaica.
3. Identificar deficiencias en la configuración y funcionamiento del sistema de energía solar fotovoltaico y adicionalmente la influencia térmica sobre la producción de energía del mismo.
4. Analizar el rendimiento de los materiales actuales utilizados en el sistema fotovoltaico referente al tipo de material, transmitancia térmica de paredes y techos y determinar si cumplen con las propiedades necesarias para optimizar el funcionamiento del sistema.

1.2 Estructura del documento

Este documento está compuesto por seis capítulos (incluyendo este primer capítulo de introducción) el cual trata diferentes aspectos relacionados con los sistemas de energía solar fotovoltaico, su fundamentación teórica, legal y aplicación de la una unidad de aire acondicionado a implementar en un local comercial en el municipio de Aipe.

En el capítulo 1 de encuentra la introducción del proyecto y su estructura. En el capítulo 2 se presenta el enfoque del proyecto, que comprende los antecedentes, la contextualización del problema de investigación y la justificación del problema.

El capítulo 3 presenta los métodos teóricos de solución, describiendo la teoría del desarrollo sostenible, la célula fotovoltaica, los sistemas aislados y sistemas de conexión a red, los aspectos relevantes de la energía solar (radiación solar, brillo solar, masa de viento, humedad relativa, entre otros); y aspectos relacionados con el análisis de los materiales que componen los paneles solares y el marco legal de los proyectos de energía solar por sistemas fotovoltaicos residenciales.

En el capítulo 4 se expone la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación partiendo de un enfoque cuantitativo. En principio, se explica el procedimiento experimental de donde se extraen los diferentes datos que componen el estudio, describiendo luego las herramientas y técnicas a utilizar.

El capítulo 5 muestra los resultados obtenidos, describiendo los diferentes cálculos realizados (incluyen el cálculo del consumo de la instalación, el ángulo de inclinación, capacidad del inversor y paneles requeridas, entre otros); seguido del diseño para el equipo de refrigeración.

El capítulo 6 muestra los análisis de resultados, describiendo la selección del equipo de refrigeración condicionada, la selección del módulo fotovoltaico, la selección del inversor, la selección de cables, entre otros.

Por último, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto, basadas en los resultados del estudio de la eficiencia energética. Además, se presentan las referencias bibliográficas que fundamentan el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 2

2. Enfoque del proyecto

Para lograr el objetivo de este proyecto, se realizará una revisión bibliográfica detallada sobre el tema de la energía solar fotovoltaica y su aplicación en sistemas de refrigeración de aire acondicionado. Se llevará a cabo un análisis de los datos de radiación solar en Aipe, Huila, y se evaluará la eficiencia del sistema de energía solar fotovoltaica actualmente instalado en establecimientos de comercio.

Además, se revisarán mediciones meteorológicas recopiladas en los últimos años con el fin de evaluar el desempeño del sistema en diversas condiciones climáticas y de operación. Se contrastarán los resultados con normas de eficiencia energética y se sugerirán posibles mejoras para maximizar la eficacia del sistema.

Finalmente, se elaborará un informe detallado con los resultados obtenidos, las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en equipos de refrigeración de aire acondicionado en locales comerciales. Se espera que este estudio contribuya a impulsar el uso de energías renovables y sostenibles en el sector empresarial, así como tomar conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas amigables con el medio ambiente.

2.1 Antecedentes

La Tierra recibe una cantidad considerable de energía solar. En promedio, aproximadamente 1.361 vatios por metro cuadrado (W/m^2) de radiación solar llegan a la parte superior de la atmósfera terrestre. Este valor se conoce como constante solar. Sin embargo, debido a la atmósfera, la cantidad de energía que realmente llega a la superficie terrestre varía, y se estima que aproximadamente entre 1.000 y 1.200 W/m^2 es la cantidad efectiva de radiación solar que se recibe en un día despejado, dependiendo de la ubicación y las condiciones atmosféricas.

Se calcula que la Tierra recibe alrededor de 174 PW ($1 \text{ PW} = 10^{15}$ vatios) de energía solar a la atmósfera, de los cuales aproximadamente 70 PW son absorbidos por el sistema terrestre, incluyendo la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera.

Esta enorme cantidad de energía solar es fundamental para el funcionamiento del clima, la fotosíntesis y la vida en la Tierra, así como para las tecnologías de energía solar que buscan aprovecharla.

En 2022, la capacidad de energía solar instalada en el mundo alcanzó los 1,2 TW, lo que ha contribuido significativamente en la lucha contra el cambio climático al evitar la emisión de 1.399 MT de CO₂ a la atmósfera. Dos tercios de la capacidad de energía renovable instalada proviene de la energía solar, representando un 10% de las emisiones del sector de electricidad y calefacción, y un 4% del total de emisiones del sector energético (Caiña, 2023).

La eficiencia de los paneles solares ha mejorado significativamente en los últimos años, alcanzando una conversión de casi un 20% de la luz solar en energía utilizable. Los paneles de alta eficiencia pueden llegar incluso al 23%. La potencia nominal de los paneles también ha aumentado de 250W a 370W. La eficiencia de los paneles solares depende de la eficiencia de la célula fotovoltaica y de consideraciones como el tipo, diseño y tamaño del panel.

Los paneles más eficientes pueden ser más costosos, pero pueden ser una opción atractiva para quienes disponen de poco espacio. La rentabilidad de los paneles solares en general ha disminuido, haciendo que sean una solución cada vez más atractiva para propietarios de viviendas y empresas. Combinar los paneles solares con un sistema de supervisión energética puede ayudar a recopilar, comparar y analizar datos sobre el consumo de energía, permitiendo identificar posibles ahorros y tomar medidas correctivas cuando sea necesario.

En un estudio publicado en la revista universitaria Ciencia e Ingeniería Neogranadina de la Universidad Militar Nueva Granada, realizado por Echeverría et al. (2022), sobre la Implementación de medidas de eficiencia energética para la construcción factible de un refrigerador comercial con suministro de energía solar fotovoltaica, construyeron un refrigerador comercial de mayor eficiencia energética, abastecido con energía solar fotovoltaica. El desarrollo inicia con un balance energético de un refrigerador convencional, para identificar posibles mejoras energéticas. Posteriormente, se implementan cuatro medidas que permiten la construcción de un refrigerador con mayor desempeño energético y una instalación solar fotovoltaica, que provee electricidad confiable. Estas son:

1. Optimización del espesor del aislamiento térmico en cerramientos
2. Disminución de la transmitancia térmica de la puerta de cristal
3. Control de la iluminación
4. Selección de moto-ventilador eficiente para el evaporador

Adicional, en este estudio para evaluar la factibilidad económica se comparó el costo del refrigerador convencional y el propuesto. Se valoran seis características

diferenciadoras en aspectos constructivos, como resultado de las medidas de eficiencia energética tomadas. Por confidencialidad con la estructura de costos de la empresa se indica como incógnita a X, que representa el costo total de las seis refacciones en el refrigerador convencional. Los costos de cada refacción se presentan como un porcentaje de X, lo que facilita el análisis en términos de un monto común. Los costos de cada refrigerador se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Costo de las refacciones sustituidas

Característica del refrigerador	Costo de una nevera convencional [COP]	Costo de la nevera propuesta [COP]
Aislamiento	6.56 % de X	8.00 % de X
Puerta de cristal	29.40 % de X	38.92 % de X
Motoventilador evaporador	12.60 % de X	6.71 % de X
Compresor	28.22 % de X	26.20 % de X
Unidad condensadora	21.36 % de X	12.12 % de X
Carga refrigerante (R134a)	1.85 % de X	1.39 % de X
Total	Costo = 100 % de X	Costo = 93.34 % de X
Diferencia	Reducción del 6.66 %	

Fuente: Tomado de “Implementación de Medidas de eficiencia energética para la construcción factible de un refrigerador comercial con suministro de energía solar fotovoltaica” (2022)

El análisis económico señala que el costo de fabricación del refrigerador propuesto es menor que el costo del refrigerador convencional, con lo que se garantiza la aprobación de la empresa para fabricar el prototipo con las características nuevas que lo harán más eficiente. El coeficiente de energía señala que el refrigerador convencional consume 1 Wh de energía eléctrica para producir 1 Wh de energía térmica frigorífica, mientras que el refrigerador propuesto produce casi el doble de energía frigorífica por cada Wh de electricidad consumida. El consumo específico muestra que el refrigerador propuesto usa alrededor de la mitad de la electricidad consumida por el refrigerador convencional por cada litro de volumen neto en la cabina. El consumo específico del producto establece que la nevera propuesta ahorra un 58 % de la energía consumida por la nevera convencional para la refrigeración de los productos. El índice de eficiencia energética del refrigerador convencional es tan alto que no se puede clasificar, mientras que el refrigerador propuesto se clasificó en D. Se destaca que el costo de fabricar el nuevo refrigerador fue casi un 7 % menor que el costo de fabricación del equipo convencional, lo que permite señalar que es factible mejorar la eficiencia de un equipo a un costo favorable. Allí concluyen que, mediante una oportuna gestión energética, es factible técnica y económicamente la construcción de refrigeradores eficientes que operen con energía limpia y renovable (Echeverría et al., 2022).

Por otra parte, en un estudio de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Perú UTEC, Salazar (2020) se presentó una propuesta que incluía el uso de paneles fotovoltaicos, dado el crecimiento significativo de esta tecnología, bien sea por el interés

de los países en invertir en energías renovables, y/o por su aumento de rendimiento económico por la caída de sus costos de manufactura. Allí se menciona que los paneles solares requieren poco mantenimiento y no consumen combustible, sin embargo, tienen ciertas desventajas. Requieren grandes espacios puesto que tienen relativamente bajas eficiencias ($<20\%$) y por lo tanto no pueden generar más de 200 W/m^2 en el caso óptimo, lo cual solo ocurre con irradiación solar directa, que no ocurre en ángulos y con cielos nublados. Por otro lado, como no puede operar durante la noche, la energía necesaria para la noche tiene que ser almacenada en baterías, las cuales representan la mayoría de los costos para energías fotovoltaicas, o ser generada de otra manera.

Una gran ventaja de esta idea es que los paneles fotovoltaicos generan energía en una forma que ya se encuentra en uso, a diferencia de las otras energías solares. Esto viene con la ventaja de que si se quiere intentar la implementación de paneles fotovoltaicos no es necesario implementar un cambio inmediato. El cambio a paneles fotovoltaicos puede ser gradual y parcial, nunca reemplazando por completo la energía generada por los grupos electrógenos a gas, si no reduciendo la demanda de esta en hora pico. Esto permite ahorros de gas, paneles solares que siempre pueden operar sin tener tiempo donde la energía generada se desperdicia, y reduce la capacidad máxima de generación a gas requerida.

2.2 Contextualización del problema

El propósito de este estudio es analizar los factores determinantes en la generación de energía, y del lugar donde se instalará, además de crear conciencia sobre la importancia de adoptar fuentes de energía renovable, no solo para ahorrar costos y mejorar la eficiencia, sino también para proteger el medio ambiente. A través de la recopilación y análisis de datos, por lo que se busca analizar el rendimiento y la eficiencia energética de un sistema de energía solar fotovoltaico con conexión a red, diseñado para suministrar energía a un equipo de refrigeración de aire acondicionado en un local comercial del municipio de Aipe, Huila. En resumen, este proyecto se enmarca en la emergente necesidad de avanzar hacia un modelo energético más sostenible y amigable con el planeta, representando un pequeño paso hacia la construcción de un futuro más limpio, eficiente y equitativo para todos.

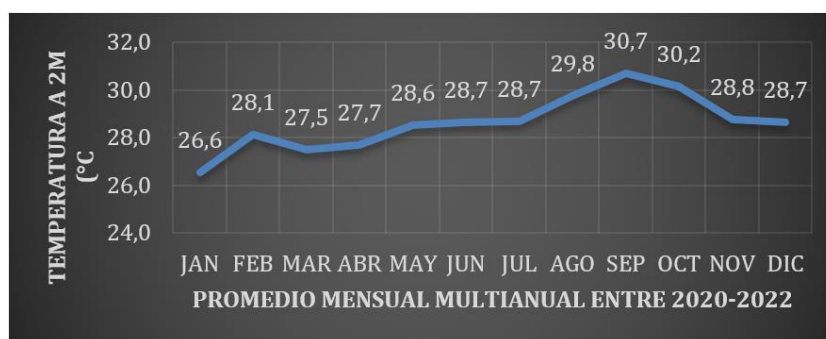
El sistema solar fotovoltaico que se estudiara será en un equipo de aire acondicionado marca MIDEA, modelo AA BARU 12 ON/OFF 110 BL 12000 BTU, que se consume 142.56 kWh al mes, en 4.4 h promedio cada día. Este equipo es conocido por ser uno de los modelos de aire acondicionado más eficiente que hay en el mercado. Se busca minimizar la pérdida energética desde que es captada por los paneles solares, hasta que el local tenga la temperatura adecuada, lo que disminuirá el consumo de la energía eléctrica tomada de la red por el equipo y reduce el impacto ambiental.

Los factores clave que se consideraran que afectan la eficiencia de los paneles solares son, el material del panel solar, la inclinación del panel, y la acumulación de calor, que influye en la conductividad de los semiconductores de las células fotovoltaicas. Otros aspectos importantes que se incluyen es la pérdida de eficiencia en la conducción y tipos de empalmes, así como la eficiencia de transformación de energía de DC a AC en el Inversor.

En cuanto al equipo de aire acondicionado, se toma en cuenta la eficiencia relativa de la máquina de calor y su capacidad de enfriamiento, así como la capacidad de retención de calor del local a enfriar. Todo esto se combina para lograr un funcionamiento óptimo y maximizar la eficiencia energética del sistema en su conjunto.

Por otra parte, como ya se mencionó, la propuesta de proyecto es para aplicar en el municipio de Aipe, ubicado en el noroccidente del departamento del Huila, el cual forma parte de la región Andina, que se encuentra sobre la cuenca del valle superior del Magdalena VSM. Tiene una extensión territorial de 801.04 km², que corresponde al 3.8% del área total del departamento¹. Está ubicado a una altitud de 350 metros sobre el nivel de mar, con temperatura promedio anual de 29 °C aproximadamente (Ver Figura 1). El casco urbano del municipio está localizado a la margen izquierda del río Magdalena, limitado al norte y occidente con el departamento del Tolima (Municipios de Natagaima, Ataco y Planadas), al oriente con el río Magdalena (Municipio de Villavieja y Tello), y al sur con el municipio de Neiva. Por su ubicación relativamente cerca al desierto de la Tatacoa, el municipio de Aipe se encuentra en una zona favorable para la el aprovechamiento y generación de energía eléctrica a través de paneles de energía solar.

Figura 1 Promedio mensual multianual de la temperatura en Aipe entre 2020 y 2022



Fuente: Tomado de "NASA POWER Prediction Of Worldwide Energy Resource" (2023)

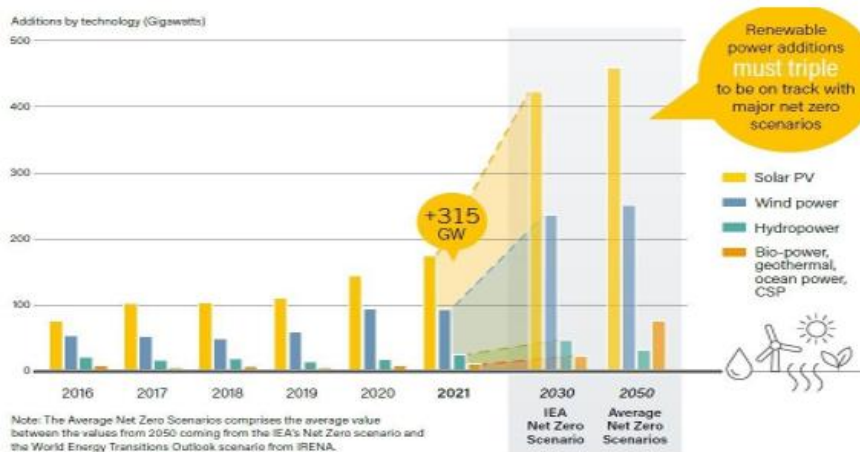
¹ Tomado de Huila.com, disponible en: <https://huila.com/aipe/>

2.3 Justificación del problema

La producción de energía a partir de fuentes renovables ha tomado una mayor importancia a nivel mundial debido a la preocupante situación del cambio climático producido por la utilización de combustibles fósiles, por lo tanto, es necesario crear una mayor conciencia en las personas para disminuir el impacto ambiental y proteger los ecosistemas². Al analizar todas las alternativas renovables se ha encontrado que muchos países desarrollados están apostando por la energía solar fotovoltaica, pues esta es una fuente abundante, de poca contaminación debido a que genera un impacto ambiental controlable, y está disponible en mayor o menor medida en cualquier parte del mundo, por lo cual es posible recolectarla para transformarla en energía eléctrica.

Asimismo, en la actualidad se necesitan altas demandas de energía, debido a los desarrollos que se han dado en las áreas de la ciencia, la tecnología y la economía, por ende, se prevé que el gasto energético cada vez sea mayor debido al crecimiento de la población y al aumento de la esperanza de vida, lo que conlleva a un problema global, por lo tanto, es necesario buscar soluciones dentro de las energías renovables³.

Figura 2 Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2016-2021, y escenario de cero emisiones netas para 2030 y 2050



Fuente: Tomado de Informe Ren-21 2022

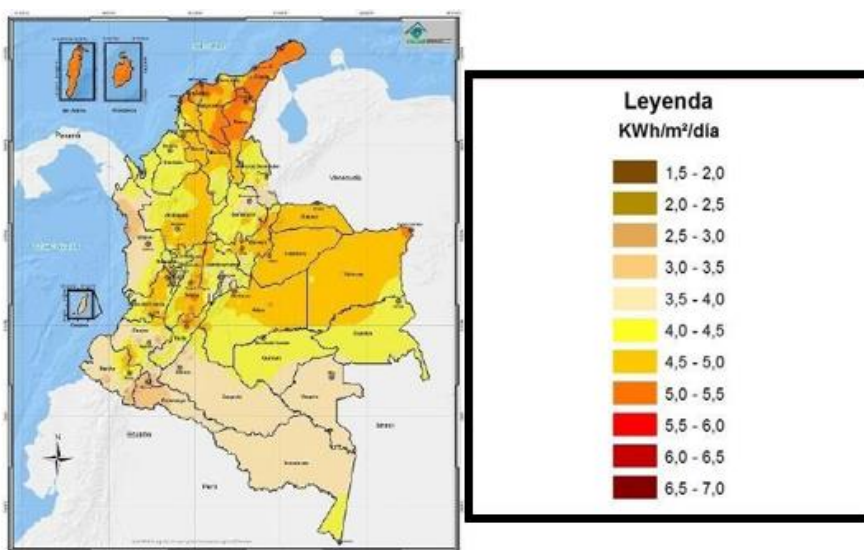
Es por esto que en la actualidad la energía solar fotovoltaica está desempeñando un papel muy importante en muchos países del mundo frente a las demás alternativas renovables, pues en las adiciones anuales de capacidad de energía renovable por tecnologías reportadas por el Ren21 de 2022 (Ver Figura 2), se observa que la implementación de energía solar fotovoltaica ha tenido un crecimiento grande a nivel

²Tomado de Acción por el Clima de las naciones Unidas, disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

mundial desde 2016 hasta 2021, año en el que fueron añadidos 175 GW representando más de la mitad de los 315 GW de energías renovables adicionadas ese año y se espera que para 2050 la adiciones de energías renovables se tripliquen para lograr un escenario de cero emisiones netas (Winter, 2022).

En el ámbito nacional, Colombia es un país que tiene un potencial bastante alto para el desarrollo de energía solar fotovoltaica en sus diferentes regiones, esto es posible gracias a las condiciones climáticas del país, así como por su ubicación en el trópico y las montañas de la cordillera de los Andes. En la Figura 3 se presenta en un mapa de Colombia el promedio anual de horas de sol al día (hsd) en los departamentos, siendo las zonas rojas y naranjas las de mayor brillo solar, pues las zonas rojas cuentan con un promedio entre 6 y 7 hsd y las zonas naranjas con un promedio entre 5 y 6 hsd (Benavides et al., 2017).

Figura 3 Mapa del brillo solar en Colombia



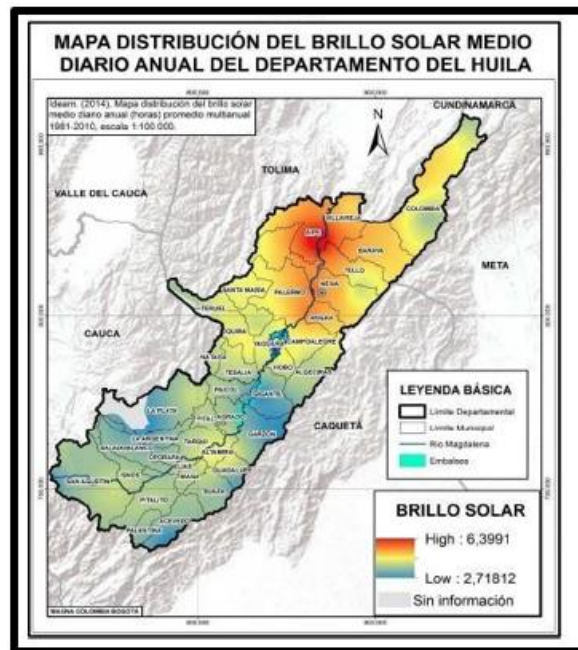
Fuente: Tomado de "Atlas de Radiación Solar Ultravioleta y Ozono de Colombia" (2017)

Por su parte, el departamento del Huila al estar ubicado en la región andina, es característico del macizo colombiano, la cordillera central, la cordillera Oriental y el Valle del río Magdalena. Cuenta con una muy buena distribución del brillo solar medio diario anual³. La zona del Huila más expuesta al brillo solar es en el Valle del río Magdalena, además se puede observar que donde más se concentra el brillo solar es en el municipio de Aipe (color rojo), seguido de la capital Neiva, en brillo solar (color naranja) (Ver Figura 4).

³ Tomado de Relieve y Clima, disponible en: <https://www.huila.gov.co/publicaciones/5180/relieve-y-clima/>

Por todo esto, y con el ánimo de desarrollar nuevo conocimiento y producción científica de interés regional, a través de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del programa de Física, en el campo de las energías renovables como la energía solar fotovoltaica, se revisan temas de vanguardia tales como el análisis de las condiciones óptimas de los paneles solares a partir del estudio de los materiales de uso dentro del dispositivo fotovoltaico. En cuanto a la relación y aplicación con el programa de Física de la Universidad Surcolombiana, esta queda definida dado que se diseña un proyecto de investigación dedicado a la búsqueda de soluciones ambientales sostenibles, con el uso de recursos energéticos renovables y el modelamiento de un sistema de energía solar fotovoltaico.

Figura 4 Mapa del brillo solar en el Huila



Fuente: Tomado de "Unidades de Tierras Departamento del Huila" (2019)

Capítulo 3

3 Métodos teóricos de solución

La energía solar es una fuente de energía renovable y limpia que tiene el potencial de contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la mejora de la calidad del aire. A continuación, se describen todos los elementos teóricos que componen el proyecto, que incluye: Descripción de la generación de energía, el efecto fotoeléctrico, el control térmico en la foto generación, la eficiencia en la conducción (pérdida por disipación de energía en el conductor), circuitos de corriente eléctrica, resistividad, tipo de empalmes en la conexión panel - inversor, eficiencia de la transformación de energía de DC a AC, eficiencia relativa tiene la máquina de calor, capacidad de enfriamiento del aire acondicionado, capacidad de retención de calor del local que se pretende enfriar (transferencia de calor) y modelación y cuantificación, en base al volumen del espacio y los materiales con que esté constituido ese espacio y que tipo de techo (zinc, Eternit, cielorraso); las paredes si son de ladrillo hueco, macizo, tolete, concreto etc.

3.1 Generación de energía

La primera vez que apareció la palabra “electricidad” fue en 1646, en una publicación en la obra de Thomas Browne. Desde mucho antes ya se conocía de las pequeñas descargas eléctricas que transmitían algunos peces. Incluso en el Antiguo Egipto, en textos que datan de 2750 A.C., los autores se referían a estos peces como “los tronadores del Nilo”. Estos hechos nos indican el inicio de la historia de la electricidad.

No fue sino hasta finales del siglo XIX, cuando se comenzó a generar electricidad de manera masiva, la cual sirvió para iluminar las calles y las casas. Gracias a sus grandes aplicaciones la electricidad fue uno de los motores fundamentales en la Segunda Revolución Industrial (1870), sirviendo a grandes inventores y científicos para impulsar sus carreras convirtiendo la innovación tecnológica en una actividad industrial activa.

En la actualidad existen varios tipos de generación de energía eléctrica, entre los cuales se destacan los siguientes:

Energía nuclear: Esta es la energía contenida en el núcleo del átomo y se obtiene a través de la fisión nuclear, donde se genera calor para producir vapor y así generar electricidad, todo este proceso se realiza en una planta nuclear.

Energía hidroeléctrica: Esta aprovecha la fuerza del agua y se obtiene a través del represamiento de ríos, lagos y mares, donde la energía cinética del agua en movimiento mueve unas turbinas conectadas a un generador de electricidad.

Energía eólica: Se obtiene a través de la energía cinética del viento, que mueve las aspas de los aerogeneradores que la convierte en electricidad.

Energía solar: La energía solar: Se obtiene a través de la radiación electromagnética proveniente del sol, esta se puede convertir en diferentes formas de energía que son útiles para diversas aplicaciones. A continuación, se presentan las principales formas de energía generadas a partir de la energía solar:

- **Energía solar térmica:** Se obtiene mediante el calentamiento de un fluido (como agua o aire) utilizando la radiación solar. Esta forma de energía se utiliza en calentadores de agua solares, sistemas de calefacción de espacios, y en plantas de energía solar térmica que producen electricidad mediante el uso de vapor.
- **Energía solar fotovoltaica:** Se genera mediante el uso de paneles solares que convierten directamente la luz solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Esta energía se puede utilizar para alimentar hogares, instalaciones comerciales y sistemas eléctricos en áreas remotas, así como para la inyección de electricidad en redes eléctricas.
- **Energía solar concentrada (CSP):** Esta tecnología utiliza espejos o lentes para concentrar la luz solar en un área pequeña, generando calor que se utiliza para producir vapor y mover una turbina que genera electricidad. Las plantas CSP pueden ser utilizadas en aplicaciones a gran escala.
- **Energía solar pasiva:** Este enfoque no utiliza tecnología activa, sino que se basa en el diseño arquitectónico y la selección de materiales para captar, almacenar y distribuir la energía solar. Incluye técnicas como la orientación de edificios, el uso de ventanas y materiales que retengan el calor, y la ventilación natural.
- **Biocombustibles solares:** La energía solar también puede ser utilizada para cultivar biomasa (plantas y algas) que luego se transforma en biocombustibles, como biodiésel y bioetanol. Estos biocombustibles se pueden utilizar en vehículos y otros sistemas energéticos.

Energía geotérmica: Se obtiene a través del calor del interior de la Tierra, que se aprovecha para generar vapor y así producir electricidad.

Energía biomasa: Se obtiene a través de la combustión de materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales o urbanos, para generar electricidad.

Energía mareomotriz: Se obtiene a través de la energía de las mareas, que mueve turbinas sumergidas en el mar para generar electricidad.

3.2 Energía solar Fotoeléctrica

El ser humano ha utilizado la energía del sol desde la antigüedad, inicialmente solo para obtener calor en civilizaciones como la egipcia, la griega y la romana. Sin embargo, fue en el siglo XIX cuando se comenzaron a desarrollar tecnologías más avanzadas para aprovechar la energía solar.

En el año 1839, el físico francés Edmond Becquerel realizó un descubrimiento significativo: identificó el efecto fotovoltaico. Este efecto se refiere a la capacidad de ciertos materiales para generar electricidad cuando son expuestos a la luz solar. En otras palabras, los materiales que exhiben el efecto fotovoltaico pueden transformar la energía de la luz en energía eléctrica. El hallazgo de Becquerel fue fundamental, ya que proporcionó las bases teóricas para el desarrollo de las células fotovoltaicas. Estas células son componentes clave de los paneles solares, que son dispositivos diseñados específicamente para captar la luz solar y convertirla en electricidad utilizable.

A lo largo del siglo XX, se realizaron importantes avances en la investigación y desarrollo de tecnologías solares, especialmente durante la crisis del petróleo en la década de 1970. En este período, se comenzaron a instalar las primeras plantas solares a gran escala y se incentivó la investigación en energía solar.

En la actualidad, la energía solar fotoeléctrica se ha convertido en una de las fuentes de energía renovable más importantes y en constante crecimiento en todo el mundo. Para captar y utilizar la energía del sol, se emplean diversas tecnologías. Entre las más comunes tenemos:

La energía fototermosolar que es una tecnología que combina principios de la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica para generar electricidad. Esta es un tipo de energía solar que utiliza espejos o lentes para concentrar la luz solar en un punto focal, donde se calienta un fluido, generalmente agua o un aceite térmico. Este fluido caliente se utiliza para generar vapor, que impulsa una turbina conectada a un generador eléctrico, produciendo así energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica consiste en el uso de paneles solares que convierten la luz solar directamente en electricidad. Este proceso se realiza utilizando paneles

solares, también conocidos como módulos fotovoltaicos, que están compuestos por múltiples celdas solares que están hechas de materiales semiconductores, como el silicio y germanio.

Cuando la luz del sol incide sobre las celdas fotovoltaicas, los fotones de luz hacen que los electrones y huecos en los materiales semiconductores aleación de silicio con boro y silicio - fosforo se muevan, generando una corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica se captura a través de un inversor, que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), que es la forma de electricidad que se utiliza en los hogares y empresas.

La electricidad generada por los paneles solares puede ser utilizada directamente para alimentar los dispositivos eléctricos, o puede ser almacenada en baterías para su uso posterior. En algunos casos, cuando se genera más electricidad de la necesaria, esta energía puede ser enviada a la red eléctrica a través de un medidor bidireccional, permitiendo al propietario de los paneles solares obtener créditos por la energía excedente generada.

Estos sistemas permiten la generación de electricidad de manera limpia, ya que operan sin emitir gases contaminantes, a diferencia de las fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles.

Gracias a su enorme potencial y al constante avance de la tecnología, se anticipa que la energía solar fotovoltaica continuará su crecimiento y desempeñará un papel crucial en la transición hacia un sistema energético más sostenible y amigable con el medio ambiente.

3.3 Sistemas solares fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos (FV) son una tecnología que permite generar electricidad a partir de la energía solar. Están formados por una serie de componentes que incluyen:

- Paneles solares: son el componente principal del sistema y están compuestos por células fotovoltaicas, que son dispositivos que convierten la luz solar en electricidad
- Inversor: convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC), que es la forma de electricidad que se utiliza en los hogares y las empresas
- Montaje: el montaje sostiene los paneles solares en su lugar, corresponde a la estructura y elementos de soporte del sistema

- **Cableado:** el cableado conecta los paneles solares, el inversor y los demás componentes del sistema

Los sistemas FV se pueden utilizar para generar electricidad para una variedad de aplicaciones, que incluyen:

- Suministro de energía a hogares y empresas
- Provisión de energía a comunidades aisladas o remotas
- Generación de energía para el almacenamiento en baterías⁴

Los sistemas solares fotovoltaicos pueden ser de dos tipos; sistemas aislados y sistemas de conexión a red (ON GRID). Los primeros se caracterizan por la generación de corriente sin conexión a la red, proporcionando energía eléctrica proveniente del sol. Para este sistema, se requiere de almacenamiento para la energía fotovoltaica generada, lo cual se hace en los acumuladores solares (baterías), lo que permite usar esta energía durante las 24 horas del día (Solmic, 2023).

Por otra parte, los sistemas de conexión a red deben convertir la energía mediante un inversor para adaptarla a los parámetros de la red. Tanto un tipo de un sistema 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/AC 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).⁵ Existen varios tipos de inversores, cada uno con funciones específicas:

- **Inversor aislado:** Su objetivo es transformar la corriente continua (DC) proveniente de las baterías en corriente alterna (AC) a 220 V, lo que permite alimentar electrodomésticos.
- **Inversores de sincronización:** Estos equipos permiten conectar en paralelo dos inversores, lo que duplica la potencia en la salida. La sincronización de la fase se realiza mediante comunicación entre ambos inversores en sus modos DC/AC.
- **Inversor-cargador:** Este dispositivo transforma corriente continua a corriente alterna y tiene múltiples funciones, como cargar baterías o convertir el voltaje de una batería de 12 voltios a 9 Amperios.⁶

⁴ Tomado de página web Solmic, disponible en: <https://www.solmic.co/aprende-solar>

⁵ Tomado de página web Renova Energía, disponible en: <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/>

⁶ Tomado de página web Monsolar, disponible en: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-inversores-fotovoltaicos-existen>

- **Inversor de conexión a la red:** Transforma la energía generada por los módulos fotovoltaicos de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), lo que permite alimentar el consumo de los hogares y verter la energía excedente en la red. Aunque este tipo de inversor no permite el almacenamiento de energía, cabe mencionar que este será el sistema que se implementará en este proyecto.

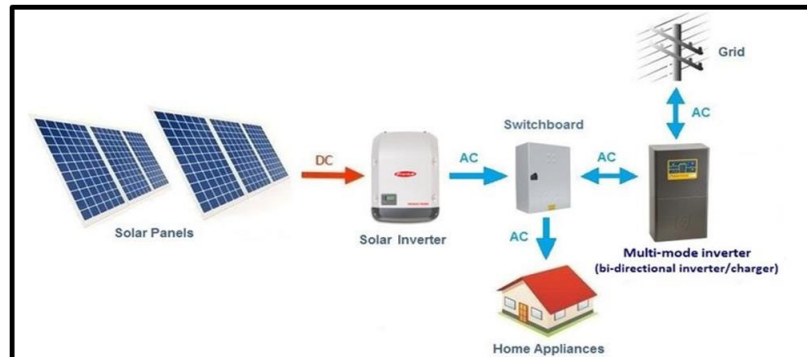
3.4 Sistemas FV interconectados a la red (ON GRID)

Como ya se mencionó, los sistemas FV interconectados a la red (ON GRID) son aquellos que inyectan la electricidad generada a la red eléctrica. Estos sistemas tienen la ventaja de que no requieren de baterías para almacenar la energía, lo que los hace más económicos y fáciles de instalar. Estos sistemas están conectados a la red eléctrica, lo que significa que pueden utilizar la energía de la red cuando la generación solar no es suficiente. Los sistemas FV interconectados a la red están compuestos por los siguientes componentes:

- **Paneles solares:** Los paneles solares son los dispositivos que convierten la energía del sol en electricidad
- **Inversor:** El inversor es el dispositivo que convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma en que se transporta la electricidad por la red eléctrica
- **Medidor bidireccional:** El medidor bidireccional mide la energía que se consume de la red y la energía que se inyecta a la red⁷

El funcionamiento de un sistema FV interconectado a la red es de la siguiente manera: los paneles solares captan la energía del sol y la convierten en electricidad de corriente continua, el inversor convierte la corriente continua en corriente alterna y la corriente alterna se inyecta a la red eléctrica (Ver Figura 5).

⁷ Tomado de página web Renova Energía

Figura 5 Esquema de un sistema de energía solar fotovoltaico conectado a red

Fuente: Tomado de “DS New Energy” (2020)

3.5 La energía solar fotovoltaica y la célula fotovoltaica

El efecto fotovoltaico es el proceso fundamental mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, partículas energéticas con diferentes niveles de energía, correspondientes a diversas longitudes de onda dentro del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados, transmitidos a través de la célula o absorbidos. Solo los fotones absorbidos generan electricidad.

Cuando un fotón es absorbido por el material semiconductor de la célula, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo del material. Esta transferencia de energía permite que el electrón escape de su posición original y forme parte de una corriente eléctrica en un circuito externo.

Las capas de semiconductores son las partes más importantes de la célula solar, ya que son las encargadas de generar la corriente de electrones. Estas capas están dopadas de manera especial para crear dos tipos diferentes de semiconductores: uno de tipo p (positivo) y otro de tipo n (negativo), generando así un campo eléctrico. Cuando la luz solar incide sobre la célula, los electrones liberados son atrapados por este campo eléctrico, lo que da lugar a la formación de una corriente eléctrica (ver Figura 6). Este tipo de material semiconductor se utiliza porque actúa como aislante a bajas temperaturas y como conductor cuando se le suministra energía.

Sin embargo, no existe un material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores, las células solares están equipadas con una malla metálica en la parte superior, que recolecta los electrones generados en el semiconductor y los transfiere a la carga externa. También cuentan con un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. La

célula está sellada con una capa de vidrio o material transparente encapsulante para protegerla de las condiciones ambientales, y a menudo lleva una capa antirreflexiva para aumentar la cantidad de fotones absorbidos.

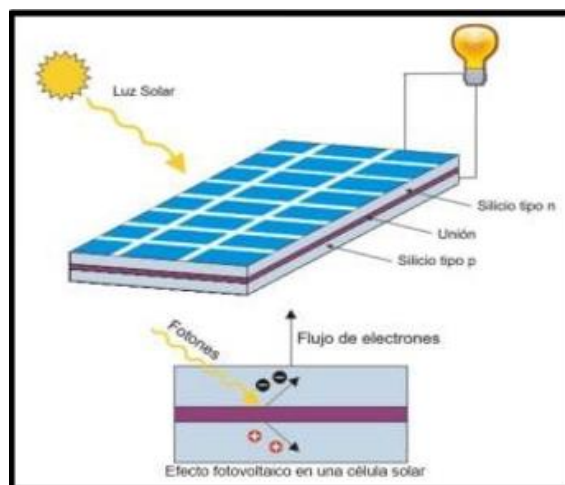
El rendimiento de conversión de una célula fotovoltaica, es decir, la proporción de energía solar que convierte en electricidad es crucial para la eficiencia de los dispositivos fotovoltaicos. Un mayor rendimiento de conversión hace que la energía solar fotovoltaica sea más competitiva frente a otras fuentes de energía.

Cuando varias células fotovoltaicas están conectadas entre sí, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco, forman un módulo fotovoltaico. Estos módulos están diseñados para suministrar electricidad a un voltaje determinado (comúnmente 12 o 24 V). La cantidad de corriente que generan depende del nivel de insolación. (Rodríguez & Cervantes, 2006).

La estructura del módulo protege las células de las inclemencias del tiempo, lo que garantiza su durabilidad y fiabilidad. Aunque un solo módulo puede ser suficiente para ciertas aplicaciones, se pueden conectar varios módulos en serie o en paralelo para formar un generador fotovoltaico capaz de producir cualquier combinación de corriente y voltaje según las necesidades.

Es importante señalar que un módulo o generador fotovoltaico por sí solo no es suficiente para tareas como bombear agua o iluminar una casa durante la noche. Para eso, es necesario un sistema fotovoltaico completo que incluye no solo el generador fotovoltaico, sino también otros componentes esenciales, conocidos como el Balance of System (BOS). Estos componentes adicionales varían según la aplicación específica que se desea cubrir.

Figura 6 Célula fotovoltaica



Fuente: Tomado de "Celdas solares" (2020)

Se identifican tres tipos de células solares. A continuación, presentamos una comparación detallada de cada una de ellas (ver Tabla 4).

Tabla 4 Comparativo de desempeño de células fotosensibles en condiciones medio ambientales

Propiedad	Células Monocristalinas (Mono)	Células Policristalinas (Poli)	Células Amorphas (a-Si)
Eficiencia de Conversión (%)	18% - 22%	15% - 18%	6% - 10%
Coeficiente de Temperatura de Potencia (Tco)	-0.35% / °C	-0.40% / °C	-0.20% / °C
Coeficiente de Temperatura de Voltaje (Tc)	-2.2 mV/°C	-2.3 mV/°C	-1.3 mV/°C
Coeficiente de Temperatura de Corriente (I)	-0.05% / °C	-0.05% / °C	-0.03% / °C
Rendimiento bajo baja irradiación	Bueno (mejor desempeño en baja luz)	Regular (menor rendimiento que mono)	Muy Bueno (mejor en condiciones de baja irradiación)
Desempeño en altas temperaturas	Medio (la eficiencia disminuye más que en los amorfos)	Bajo (más sensible al calor que las monocristalinas)	Bueno (mejor que las otras tecnologías)
Costo (por Wp)	Alto	Medio	Bajo
Vida útil (años)	25 - 30 años	20 - 25 años	15 - 20 años
Eficiencia de uso en instalaciones	Alta (mejor para espacios reducidos)	Media (más espacio requerido)	Baja (requiere grandes áreas de instalación)
Sensibilidad a sombras	Alta (sensibles, pero mejor que las amorfos)	Alta (menos eficientes bajo sombras)	Alta (extremadamente sensibles)
Resistencia al desgaste por calor	Media	Baja	Alta
Resistencia a la humedad y corrosión	Alta	Media	Alta

Fuente: Tomado de "Solar cell efficiency tables" (Green, 2019)

Consideraciones adicionales:

- Monocristalinas son las más eficientes y duraderas, pero también son las más costosas. Son ideales para áreas con espacio limitado y donde se requiere un rendimiento máximo.

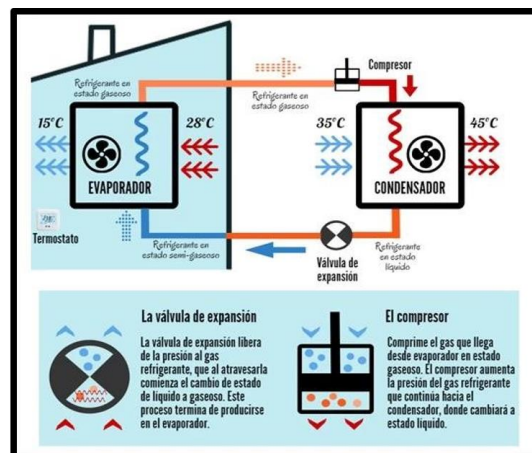
- Policristalinas tienen un rendimiento intermedio y son una opción más económica que las monocristalinas. Son una opción popular para proyectos a gran escala.
- Amorfos (a-Si) ofrecen una buena opción económica y un buen rendimiento en condiciones de baja irradiación, pero su eficiencia es mucho menor que las otras tecnologías. Se usan comúnmente en aplicaciones como paneles flexibles o para aplicaciones de bajo consumo de energía (Green, 2019).

3.6 Sistemas de refrigeración

El acondicionamiento de aire es el proceso de controlar la temperatura, la humedad y la calidad del aire en un espacio cerrado. Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde hogares y oficinas hasta centros comerciales y hospitales. La máquina de refrigeración condicionada por aire es el tipo de sistema de acondicionamiento de aire más utilizado en la actualidad. Este sistema funciona mediante el ciclo de refrigeración por compresión, que consta de cuatro etapas (Ver Figura 7):

- Evaporación: El refrigerante líquido se evapora en el evaporador, absorbiendo calor del aire ambiente.
- Compresión: El refrigerante gaseoso se comprime en el compresor, aumentando su presión y temperatura.
- Condensación: El refrigerante gaseoso comprimido se condensa en el condensador, liberando calor al aire exterior.
- Expansión: El refrigerante líquido condensado se expande en la válvula de expansión, disminuyendo su presión y temperatura.

Figura 7 Sistema termodinámico de un refrigerador de aire acondicionado



Fuente: Tomado de "Calor y frío" (2023)

La refrigeración es el proceso que se emplea en los aparatos de aire acondicionado: consiste en producir frío, o, mejor, en extraer calor ya que para producir frío lo que se hace es transportar calor de un lugar a otro. Así, el lugar al que se le sustrae calor se enfría. Al igual que se puede aprovechar diferencias de temperatura para producir calor, para crear diferencias de calor, se requiere energía. Generalmente la refrigeración por aire acondicionado se produce mediante dos sistemas de refrigeración: por compresión o refrigeración por absorción (Arnabat, 2023).

El sistema de refrigeración y el más utilizado en el aire acondicionado, es el sistema de refrigeración por compresión. Mediante energía mecánica se comprime un gas refrigerante. Al condensar, este gas emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior. Tal que, para mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de la electricidad, este proceso de refrigeración es muy costoso. Por otro lado, tomando en cuenta la eficiencia de las plantas termoeléctricas, solamente una tercera parte de la energía primaria es utilizada en el proceso. Además, los refrigerantes empleados hoy en día pertenecen al grupo de los fluoroclorocarbonos, que por un lado dañan la capa de ozono y por otro lado contribuyen al efecto invernadero (Arnabat, 2023).

3.6.1 Principio físico del funcionamiento de la máquina de refrigeración de aire acondicionado

La refrigeración por compresión se basa en el principio de que el calor se puede transferir de un lugar a otro mediante un fluido que cambia de estado. En el caso de la refrigeración por compresión, el fluido refrigerante se evapora en el evaporador, absorbiendo calor del aire ambiente. El refrigerante gaseoso resultante se comprime en el compresor, aumentando su presión y temperatura. El refrigerante gaseoso comprimido se condensa en el condensador, liberando calor al aire exterior. El refrigerante líquido condensado se expande en la válvula de expansión, disminuyendo su presión y temperatura (Arnabat, 2023). Este ciclo se repite continuamente, manteniendo el aire ambiente frío.

3.6.2 Componentes de la máquina de refrigeración de aire acondicionado

Los principales componentes de la máquina de refrigeración condicionada por aire son los siguientes:

- **Evaporador:** El evaporador es el componente donde se produce la evaporación del refrigerante. Está formado por un serpentín de tubos por los

que circula el refrigerante. El aire ambiente circula por el exterior del serpentín, absorbiendo el calor del refrigerante y enfriándose.

- **Compresor:** El compresor es el componente que comprime el refrigerante gaseoso. El compresor es un motor eléctrico que aumenta la presión y la temperatura del refrigerante.
- **Condensador:** El condensador es el componente donde se produce la condensación del refrigerante. Está formado por un serpentín de tubos por los que circula el refrigerante. El aire exterior circula por el exterior del serpentín, liberando el calor del refrigerante al exterior.
- **Válvula de expansión:** La válvula de expansión es el componente que expande el refrigerante líquido. La válvula de expansión reduce la presión y la temperatura *del refrigerante, permitiendo que vuelva a evaporarse.

La máquina de refrigeración condicionada por aire está controlada por un termostato. El termostato mide la temperatura del aire ambiente y envía una señal al compresor para que se encienda o apague. Cuando la temperatura del aire ambiente es superior a la temperatura de consigna, el termostato envía una señal al compresor para que se encienda. El compresor comprime el refrigerante gaseoso, aumentando su presión y temperatura. El refrigerante gaseoso comprimido se condensa en el condensador, liberando calor al aire exterior. El aire ambiente circula por el exterior del condensador, absorbiendo el calor del refrigerante y enfriándose. Cuando la temperatura del aire ambiente es inferior a la temperatura de consigna, el termostato envía una señal al compresor para que se apague (Arnabat, 2023).

3.6.3 Ventajas y desventajas del uso de la máquina de refrigeración condicionada por aire acondicionado

La máquina de refrigeración condicionada por aire bien tiene algunas desventajas, como las siguientes:

- **El consumo de energía:** La máquina de refrigeración condicionada por aire consume una gran cantidad de energía, lo que puede suponer un coste elevado.
- **El impacto medioambiental:** El uso de la máquina de refrigeración condicionada por aire puede tener un impacto medioambiental negativo, ya que produce gases de efecto invernadero.

3.6.4 Riesgos de las sustancias químicas refrigerantes que utiliza la máquina de refrigeración condicionada por aire acondicionado

Los refrigerantes pueden suponer riesgos para la salud y el medio ambiente. Los principales riesgos de las sustancias refrigerantes son los siguientes:

- Riesgos para la salud: Los refrigerantes pueden ser tóxicos si se inhalan o ingieren. Los síntomas de la intoxicación por refrigerantes pueden incluir dolor de cabeza, mareos, náuseas, vómitos, confusión, dificultad para respirar y convulsiones. En casos graves, la intoxicación por refrigerantes puede ser fatal.
- Riesgos para el medio ambiente: Los refrigerantes son gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Los refrigerantes también pueden dañar la capa de ozono.

Los riesgos de las sustancias refrigerantes dependen del tipo de refrigerante específico. Algunos refrigerantes son más tóxicos que otros. Los refrigerantes más antiguos, como los Clorofluorocarbonos (CFC) y los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), son los más tóxicos y dañinos para el medio ambiente. Los refrigerantes más nuevos, como los hidrofluorocarbonos (HFC) y los Hidrofluoroolefinas (HFOs), son menos tóxicos y tienen un menor impacto en el medio ambiente.

3.7 El sol, la energía solar y el desarrollo sostenible

El sol es la principal fuente primaria de luz y calor en la tierra, contiene 71% de hidrógeno, 27% de helio y 2% de otros elementos más pesados, es la estrella más cercana al planeta Tierra, con una edad aproximada de 4600 millones de años. El sol cuenta con un núcleo relativamente pequeño que es el mayor responsable de la luminosidad solar y allí su temperatura alcanza los 15 millones de grados Kelvin, la energía que se genera en el centro del sol es el resultado de la fusión de núcleos de hidrógeno para formar núcleos de helio, razón por la cual esta estrella se comporta como un reactor nuclear de fusión, pues las reacciones que ocurren en su interior producen una pérdida de masa que se transforma en energía, la cual se distribuye como radiación electromagnética de $5.4 \times 10^{24} J$, a dicha radiación se le denomina radiación solar (Benavides et al., 2017). El sol es la central infinita de tres energías renovables (solar fotovoltaica, solar termoeléctrica y solar térmica) que mitigan los efectos del cambio climático. La energía solar fotovoltaica es el tipo de energía que permite la obtención directa de electricidad a partir de la radiación solar. Se trata de un tipo de energía renovable no contaminante, que puede producirse en instalaciones con paneles solares fotovoltaicos. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que es modular: los paneles pueden

usarse para el autoconsumo (brindar electricidad en hogares o edificios) o también para abastecer a la red eléctrica a través de grandes centrales (Benavides et al., 2017). Como ya se mencionó, la energía eléctrica generada mediante paneles solares fotovoltaicos es renovable y no contamina, por lo que contribuye al desarrollo sostenible, además de favorecer el desarrollo del empleo local.

3.8 Radiación solar

Es el flujo de energía que recibimos en forma de ondas electromagnéticas en diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta), aproximadamente la mitad de energía que recibimos está dentro de la luz visible, de la otra mitad la mayoría se encuentra dentro de la infrarroja y solo una pequeña parte dentro de la ultravioleta. Cuando la radiación solar llega a la atmósfera de la Tierra, esta llegada debilitada debido a la distancia entre el sol y la tierra, posteriormente la radiación sufre una atenuación debido a la capa atmosférica, por lo tanto, la radiación aproximada de la superficie terrestre es de 1000 W/m^2 (Aparicio, 2020).

3.8.1 Tipos de radiación solar

En función de cómo se recibe la radiación solar sobre la superficie de la Tierra, se distinguen tres tipos de radiación solar (Ver Tabla 5).

Tabla 5 Tipos de radiación solar

La radiación solar global	Se refiere a la cantidad total de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Esta radiación incluye tanto la radiación solar directa como la difusa. Se mide utilizando instrumentos llamados piranómetros. Se expresa en unidades de potencia, generalmente en watts por metro cuadrado (W/m^2).
Radiación directa	Es la radiación que llega directamente del sol sin sufrir ningún cambio en su dirección.
Radiación difusa	Es la parte de la radiación solar que llega a la superficie terrestre después de ser dispersada por gases y partículas en la atmósfera, representando alrededor del 50% de la radiación solar en un día claro. Esta dispersión se produce por moléculas de aire, polvo, humo y contaminantes, lo que hace que la radiación llegue desde todas las direcciones.
Radiación reflejada o albedo	Es la radiación que es reflejada por la superficie terrestre, está depende del coeficiente de reflexión de la superficie (albedo). Las superficies horizontales no reciben radiación reflejada, mientras que las superficies verticales la reciben más.

Fuente: Tomado de “Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones” (2011)

De estos cuatro tipos de radiación, la más importante para la energía solar fotovoltaica es la radiación directa, sin embargo, en días nublados en los que no hay radiación directa se recibe radiación difusa.

3.8.2 Factores que afectan la radiación solar

En la Tabla 6 se observa que existen cuatro factores que afectan la cantidad de radiación solar que llega a un determinado lugar. Por otra parte, la constante solar es la cantidad de energía por unidad de tiempo y área, que se alcanza sobre una superficie orientada hacia la dirección de los rayos solares de la atmósfera, su valor es de 1 kW/m^2 , registrada a nivel atmosférico y está estandarizada por organismos internacionales.

Tabla 6 Factores que afectan la radiación solar

Latitud	Es la posición al norte o al sur del Ecuador
Nubosidad	En días nublados la radiación difusa puede ser una décima parte de lo que llegaría si fuera directa
Humedad	La humedad del aire absorbe radiación solar
Claridad atmosférica	Las nubes, el smog y el polvo obstaculizan la llegada de radiación solar

Fuente: Tomado de "Energía solar autónoma" (2012)

3.8.3 Unidades de físicas de la radiación solar

La irradiancia solar es una medida de la radiación solar que cae sobre una superficie determinada, esta se puede medir en W/m^2 , o en kW/m^2 . La irradiación solar que llega a la atmósfera es de 1350 W/m^2 aproximadamente, pero al atravesar la atmósfera pierde potencia por lo que cuando llega a la superficie de la tierra, su potencia máxima es de 1000 W/m^2 aproximadamente.

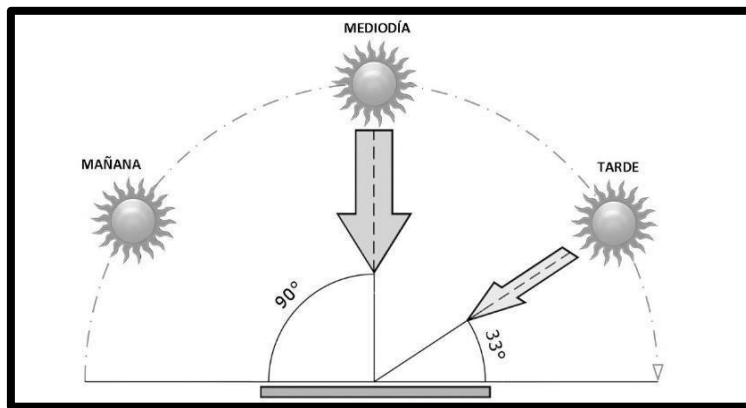
La irradiación solar es una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada durante un periodo de tiempo determinado, esta se puede medir en $\text{Wh/m}^2/\text{día}$, o en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

3.9 Ángulo de incidencia solar

Es el ángulo con el cual un rayo de sol llega a una superficie. Entre más se acerque a los 90° más se recibe energía. En la Figura 8 se observa que el ángulo de incidencia solar sobre un módulo fotovoltaico horizontal al mediodía es de 90° y

en la tarde es de 33° por lo tanto la irradiación solar que recibe este módulo es mayor al mediodía (Oliver, 2012). Por otra parte, un aspecto importante es la “masa de aire”, y es que la relación entre el ángulo de incidencia solar y la masa de aire es inversamente proporcional. Esto significa que cuanto mayor sea el ángulo de incidencia, menor será la masa de aire. La masa de aire se define como la cantidad de atmósfera que la radiación solar debe atravesar antes de llegar a la superficie de la Tierra. Cuando el sol está directamente vertical, la masa de aire es 1. Esto se debe a que la radiación solar no tiene que atravesar ninguna atmósfera para llegar a la superficie. A medida que el sol se aleja del cenit, la masa de aire aumenta.

Figura 8 Ángulo de incidencia sobre un módulo horizontal

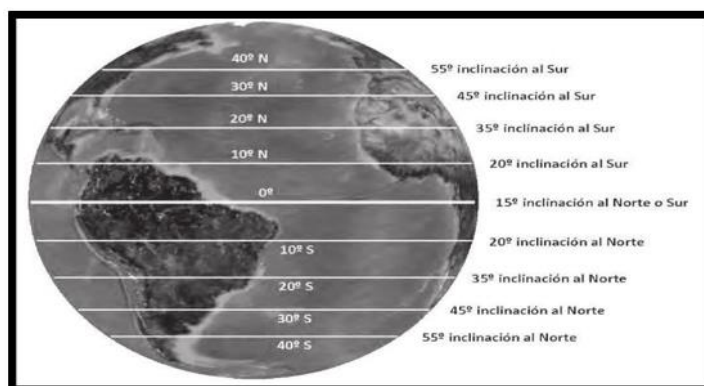


Fuente: Tomado de “Energía solar autónoma” (2012)

3.10 Ángulo de inclinación

Para un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) de baja potencia, es recomendable montar los módulos a un ángulo de orientación fijo todo el año. Para maximizar la captación de energía los módulos deben estar orientados hacia el Ecuador, es decir que si el sistema está al norte del Ecuador el módulo debe estar orientado hacia el sur geográfico (0°) y si el sistema está al sur del Ecuador, el módulo debe estar orientado hacia el norte geográfico (180°). En la Figura 9 se muestra una recomendación para la inclinación de módulos teniendo en cuenta la latitud, donde la demanda es constante todo el año y se usa el método del mes crítico para dimensionar el sistema.

Figura 9 Recomendación para inclinación de módulos según la latitud



Fuente: Tomado de "Energía solar autónoma" (2012)

3.11 Eficiencia energética y brillo solar

La eficiencia energética es la relación entre la energía de entrada y de salida de un sistema y se mide con un porcentaje.

$$\text{Eficiencia \%} = \left(\frac{\text{energía de salida}}{\text{energía de entrada}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

En la medición del brillo solar normalmente se utiliza el heliógrafo de Campbell-Stokes, este instrumento proporciona las horas del sol efectivo en el día (brillo solar) asociadas a las pérdidas de tiempo de radiación solar directa que superan un valor mínimo. La magnitud física de la duración del brillo solar es el tiempo. la unidad que se emplea es la hora. Con fines climatológicos se usa la expresión "horas de sol al día" (Benavides et al., 2017).

3.12 Empalme panel inversor

3.12.1 Análisis de los materiales que componen los paneles solares

La materia base de las celdas son materiales semiconductores también utilizados en otros dispositivos como diodos, transistores y circuitos integrados. Actualmente existe una amplia gama de celdas que utilizan diferentes materiales y estructuras, el objetivo perseguido es obtener la máxima eficiencia al mínimo coste. Dentro de los avances en esta área se tiene que, por ejemplo, se han ensayado en laboratorios celdas con eficiencias próximas al 30% mientras que las fabricadas industrialmente superan, con frecuencia, el 15% (Flores & Domínguez, 2017).

En este aparte se revisa inicialmente los avances en electrónica orgánica en cuanto a celdas solares orgánicas. El depósito de los materiales orgánicos sobre

superficies es de gran interés, así, destaca la impresión como uno de los métodos más atractivos, su importancia radica en las energías de enlace de estos, que son típicamente bajas. Sin embargo, el potencial de dispositivos activos completamente orgánicos como celdas solares, emisores de luz, y transistores todavía permanecen en el campo de la investigación y no de la comercialización, debido a que los dispositivos totalmente orgánicos sufren aún de deficiencias principalmente en su estabilidad (Morales & Del Pozo, 2021).

Por otra parte, el IES Fraunhofer (Institute for Solar Energy Research), en una investigación con relación a células solares multi-unión, reportó una eficiencia de hasta 50% bajo luz solar. Esta investigación se basa en reemplazar células solares de triple unión por un dispositivo de cuatro conexiones. Esta investigación emplea la tecnología de unión de oblea, y gracias a esto, se han obtenido células solares de 43% de rendimiento. En IES Fraunhofer se optimizaron más de 30 capas de material semiconductor para obtener la célula de cuádruple unión.

Hoy en día se habla también de un aumento del rendimiento y eficiencia en células solares haciendo uso de pequeñas fracciones de Grafeno, además de disminuir costos. Gracias a que el Grafeno es carbono puro, su capacidad de conductividad es muy alta, debido a que este ayuda a transportar de forma más rápida la carga para lograr la fotocorriente.⁸

Asimismo, en cuanto a los materiales que componen los paneles solares se refiere, y estudios recientes sobre la transferencia de calor en estos dispositivos, se ha encontrado que el calor es un factor que afecta de forma negativa las placas solares: a mayor calor, menor eficiencia. En el 2015, ingenieros de Stanford crearon un material para recubrir células solares permitiendo así aumentos en su eficiencia. El recubrimiento indicado se fabricó a base de silicio en capas muy delgadas y totalmente transparentes colocadas sobre la célula, logrando que además de dejar pasar la luz solar, capturara y actuara como radiador del calor, desviando la radiación térmica y logrando así que la temperatura del panel disminuyera hasta 23°F; la eficiencia de las células aumentó en 1%.⁹

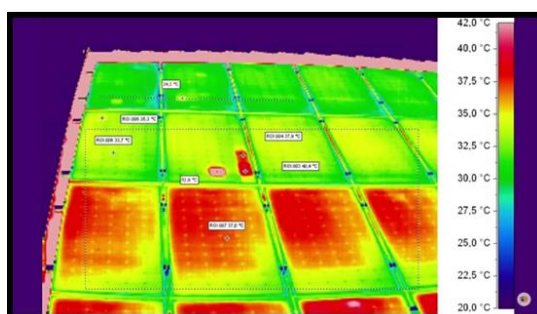
La pérdida de energía en los paneles solares a altas temperaturas se debe principalmente a la mayor agitación térmica de las partículas dentro del material semiconductor que compone los paneles (cristales de Silicio). A altas temperaturas, los átomos y electrones vibran de manera más intensa, lo que puede dificultar la generación de corriente eléctrica de manera eficiente. Además, a altas temperaturas

⁸ Tomado de: Fuller, Dawn. 2014. UC Researchers Report on Discovery to Make Solar Power Less Expensive and More Efficient. UC News. 2014.

⁹ Tomado de: Moya, Pedro. 2015. Paneles Solares. Crean un recubrimiento transparente que aumenta la eficiencia de los paneles solares. [En línea] 22 de septiembre de 2015. [Citado el: 08 de octubre de 2016.]

puede producirse un fenómeno conocido como recombinada térmica, en el cual los electrones y huecos que se generan por la absorción de la luz solar pueden recombinarse rápidamente antes de contribuir a la generación de electricidad. Esto puede reducir la eficiencia de los paneles solares y provocar una mayor pérdida de energía en forma de calor. Es así, que las altas temperaturas pueden afectar negativamente el rendimiento de los paneles solares a nivel atómico, lo que resulta en una mayor pérdida de energía en forma de calor en lugar de electricidad (Ver Figura 10).

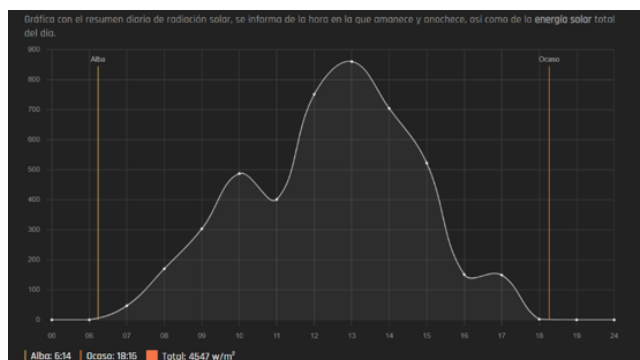
Figura 10 Mapa térmico de un panel solar



Fuente: Tomado de “Energía solar autónoma” (2012)

Para determinar cómo afecta la temperatura a una placa solar se debe tener claros los siguientes conceptos. Los datos del fabricante están medidos en condiciones de medición estándar (STC por sus siglas en inglés): 1000 W/m² de irradiación, 25°C de temperatura de célula (tendríamos una temperatura de célula así cuando la temperatura ambiente fuese aproximadamente -5°C. Aproximadamente la temperatura de la célula será unos 25°C mayor que la temperatura exterior) y una distribución espectral de 1,5 AM, condiciones que muy raramente se reproducen en nuestro día a día. Más habituales son irradiaciones de 800 W/m² y temperaturas exteriores muy superiores a la estándar de medida (Ver Figura 11).

Figura 11 Radiación solar diaria promedio de Aipe



Fuente: Tomado de la página web <https://www.radiacionsolar.es/aipe.html>

Por lo tanto, para calcular las condiciones reales de operación de una placa solar debemos consultar en la ficha de características técnicas del fabricante los siguientes parámetros. La temperatura de operación de la célula suele ser unos 25°C superior a la temperatura exterior. La temperatura de operación de la célula afecta notablemente la tensión de salida de las placas solares.

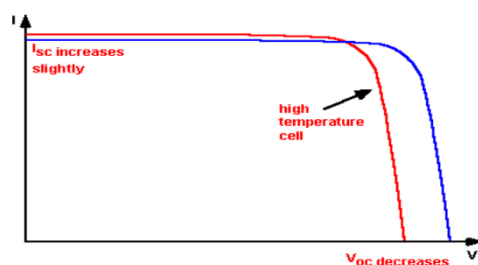
Teniendo en cuenta que al haber una temperatura promedio (28,67°C) superior a los 25°C durante el año 2023 en el municipio de Aipe, la pérdida en la generación de energía fotovoltaica será mucho mayor que en lugares donde la temperatura es menor, ya que este es un factor que afecta directamente a la generación de energía eléctrica, otros factores que disminuyen la generación de energía en los paneles es el polvo y la sombra. Cabe recalcar que la radiación solar es el principal factor que influye en la generación de energía solar fotovoltaica, siendo este el principal factor a la hora de seleccionar el lugar para la implementación del sistema solar fotovoltaico.

3.12.2 Análisis de los efectos de la temperatura en las características de una célula solar

Como cualquier otro dispositivo semiconductor, las células solares son sensibles a la temperatura. Los aumentos de temperatura reducen la banda prohibida de un semiconductor, afectando de este modo la mayor parte de los parámetros del material semiconductor. La disminución en la banda prohibida de un semiconductor con el aumento de temperatura puede ser visto como el aumento de la energía de los electrones en el material. Por lo tanto, es necesaria una energía más baja para romper el enlace. En el modelo de enlaces de la banda prohibida en un semiconductor, la reducción en la energía de enlace también reduce la banda prohibida. Por lo tanto, el aumento de la temperatura reduce la banda prohibida.

En una célula solar, el parámetro más afectado por un aumento de la temperatura es el voltaje de circuito abierto. El impacto del aumento de la temperatura se muestra en la Figura 12.

Figura 12 Relación entre el voltaje y la intensidad eléctrica en una célula solar



Fuente: Tomado de la página web: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/efecto-de-la-temperatura>

El voltaje de circuito abierto disminuye con la temperatura debido a la dependencia de la temperatura de I_0 . La ecuación para I_0 en un lado de la unión p-n es:

$$I_0 = qA \frac{Dn_i^2}{LN_D} \quad (3.2)$$

Dónde:

q es la carga electrónica

A es el área

D es la difusividad del portador minoritario en función de dopaje del Si

L es la longitud de difusión del portador minoritario

N_D es el dopaje

n_i es la concentración intrínseca de portadores dada por silicio

En la ecuación anterior, muchos de los parámetros tienen alguna dependencia de la temperatura, pero el efecto más significativo es el debido a la concentración de portadores intrínsecos, n_i . La concentración intrínseca de portadores depende de la energía de la banda prohibida (separaciones de banda inferiores dan una concentración intrínseca de portadores superior), y de la energía que los portadores tienen (temperaturas más altas dan concentraciones intrínsecas de portadores superiores). La ecuación para la concentración intrínseca de portadores es:

$$n_i^2 = 4 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^3 (m_e * m_h)^{3/2} e^{\left(-\frac{E_{G0}}{kT} \right)} = BT^3 e^{\left(-\frac{E_{G0}}{kT} \right)} \quad (3.3)$$

Dónde:

T es la temperatura

h y k son constantes dadas en la página de constantes (Tabla 2)

m_e y m_h son las masas efectivas de electrones y huecos, respectivamente

E_{G0} es la banda prohibida linealmente extrapolada a cero absoluto

B es una constante que es esencialmente independiente de la temperatura.

Sustituyendo estas ecuaciones de nuevo en la expresión para I_0 , y suponiendo que la dependencia de la temperatura de los otros parámetros se puede despreciar, resulta:

$$I_0 = qA \frac{D}{LN_D} BT^3 e^{\left(-\frac{E_{G0}}{kT} \right)} \approx B'T^3 e^{\left(-\frac{E_{G0}}{kT} \right)} \quad (3.4)$$

Dónde:

B' es una constante independiente de la temperatura

Una constante, γ , se usa en lugar del número 3 para considerar las posibles dependencias de temperatura de los otros parámetros del material. Para las células solares de silicio a temperatura ambiente, I_0 se duplica aproximadamente por cada aumento de 10 °C en la temperatura.

El impacto de I_0 en el voltaje de circuito abierto puede ser calculado mediante la sustitución de la ecuación para I_0 en la ecuación para V_{OC} como se muestra a continuación; dónde $E_{G0} = qV_{G0}$. Suponiendo que $\frac{dV_{OC}}{dT}$ no depende de $\frac{dI_{SC}}{dT}$, $\frac{dV_{OC}}{dT}$ se puede encontrar como:

$$\frac{dV_{OC}}{dT} = \frac{V_{OC} - V_{G0}}{T} - \gamma \frac{k}{q} \quad (3.5)$$

La ecuación anterior muestra que la sensibilidad a la temperatura de una célula solar depende de su tensión de circuito abierto, siendo las células solares con más alta tensión las menos afectadas por la temperatura. Para el silicio, E_{G0} es 1,2, y usando γ como 3 da una reducción en el voltaje de circuito abierto de aproximadamente $2,2 \frac{mV}{^\circ C}$;

$$\frac{dV_{OC}}{dT} = -\frac{V_{G0} - V_{OC} + \gamma \frac{Tk}{q}}{T} \approx -2.2 \text{ mV por } ^\circ C \text{ para el Si} \quad (3.6)$$

La corriente de cortocircuito, I_{SC} , aumenta ligeramente con la temperatura, ya que la energía de banda prohibida, E_G , disminuye y, entonces, más fotones tendrán la suficiente energía para crear pares electrón-hueco. Sin embargo, este efecto es pequeño y la dependencia de la corriente de cortocircuito con la temperatura de una célula solar de silicio se define:

$$\frac{1}{I_{SC}} \frac{dI_{SC}}{dT} \approx 0.0006 \text{ por } ^\circ C \text{ para Si} \quad (3.7)$$

La dependencia de FF de la temperatura para el silicio es aproximada por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{FF} \frac{dFF}{dT} \approx \left(\frac{1}{V_{OC}} \frac{dV_{OC}}{dT} - \frac{1}{T} \right) \approx -0.0015 \text{ por } ^\circ C \text{ para Si} \quad (3.8)$$

El efecto de la temperatura sobre la potencia máxima generada, P_m , es:

$$P_{Mvar} = \frac{1}{P_M} \frac{dP_M}{dT} = \frac{1}{V_{OC}} \frac{dV_{OC}}{dT} + \frac{1}{FF} \frac{dFF}{dT} + \frac{1}{I_{SC}} \frac{dI_{SC}}{dT} \quad (3.9)$$

$$\frac{1}{P_M} \frac{dP_M}{dT} \approx -(0.004 \text{ to } 0.005) \text{ por } ^\circ C \text{ para Si} \quad (3.10)$$

La mayoría de los modelos de semiconductores se realizan a 300 K ya que está cerca de la temperatura ambiente y es un número conveniente. Sin embargo, las células solares que se miden normalmente son casi 2 grados inferiores a 25°C (298,15K). En la mayoría de los casos, la diferencia es insignificante (sólo 4 mV de

V_{OC}) y a ambos casos se les conoce como temperatura ambiente. Ocasionalmente, los resultados modelados necesitan ser ajustados para poder correlacionarlos con los resultados medidos.

A 300°K, el valor generalmente aceptado para la concentración intrínseca de portadores de silicio es:

$$n_i = 1.01 \times 10^{10} \text{ cm}^3 \quad (3.11)$$

Luego para el cálculo de $\frac{kT}{q}$ a 300°K tenemos:

$$\frac{kT}{q} = \frac{(8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}) \cdot (300\text{K})}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} = 25.852 \text{ mV} \quad (3.12)$$

Posteriormente se calcula la concentración intrínseca de portadores de silicio n_i y $\frac{kT}{q}$ a 25°C (298.15°K), usando la siguiente formula. (Green, 2015)

$$n_i = 9.38 \times 10^9 \left(\frac{T}{300} \right)^2 e^{\left(-\frac{6884}{T} \right)} \quad (3.13)$$

$$n_i = 9.38 \times 10^9 \left(\frac{298.15}{300} \right)^2 e^{\left(-\frac{6884}{298.15} \right)} = 8.6 \times 10^9 \text{ cm}^3 \quad (3.14)$$

$$\frac{kT}{q} = \frac{(8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}) \cdot (298.15\text{K})}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} = 0.025693 \text{ V} = 25.693 \text{ mV} \quad (3.15)$$

3.12.3 Conectores para los paneles solares.

Algunos de los conectores más eficientes para los paneles solares son:

- MC4: Son conectores estándar para sistemas fotovoltaicos y se utilizan comúnmente en la industria solar. Son fáciles de instalar y proporcionan una conexión segura y resistente a la intemperie.
- Amphenol H4: Este conector también es muy utilizado en sistemas fotovoltaicos y ofrece una alta eficiencia en la transmisión de energía.
- Tyco Electronics Solarlok: Estos conectores están diseñados específicamente para aplicaciones solares y ofrecen un alto grado de resistencia a la intemperie y durabilidad.
- Multi-Contact: Este fabricante ofrece una amplia gama de conectores solares que son altamente eficientes y pueden soportar condiciones ambientales adversas.
- Soladeck: Estos conectores son ideales para sistemas solares en el techo, ya que ofrecen una conexión segura y resistente al agua.

3.12.4 Sincronizar la corriente generada por los paneles con la red eléctrica

Para asegurarse de que la corriente generada por los paneles solares esté sincronizada con la red pública, se deben seguir estos pasos:

- Utilizar un inversor adecuado: El inversor es el dispositivo encargado de convertir la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna que pueda ser utilizada en el hogar o enviada a la red. Se debe asegurar de que el inversor sea de calidad y esté diseñado para sincronizarse con la red eléctrica.
- Verificar la frecuencia de la red eléctrica, la mayoría de las redes eléctricas operan a una frecuencia de 60 Hz en América del Norte y 50 Hz en Europa y otras regiones. Se debe asegurar que el inversor esté configurado para sincronizarse con la frecuencia de la red eléctrica a la que se esté conectando, para este caso se debe tener en cuenta que la energía doméstica en Colombia es de 110 voltios de corriente alterna a 60 hercios (110V AC, 60Hz).
- Realizar pruebas de sincronización: Una vez que se haya instalado el inversor y conectado los paneles solares a la red eléctrica, se deben realizar pruebas para verificar que la corriente generada por los paneles esté sincronizada con la red pública. Para hacer esto se utiliza un medidor de frecuencia para asegurarse de que ambos sistemas operen a la misma frecuencia.
- Consultar a un profesional: Si se tiene duda sobre cómo sincronizar la corriente de los paneles solares con la red eléctrica, es recomendable consultar a un profesional en energía solar o un electricista calificado. Ellos podrán dar un asesoramiento especializado y garantizar que el sistema esté correctamente conectado y funcione de manera segura y eficiente. (CREG, 2019)

3.13 Máquina de calor - ambiente (análisis de transferencia de calor)

3.13.1 Factores para tener en cuenta para la realización del proyecto

Una vez estén pautados los objetivos y las características del espacio a analizar, existen muchos factores que han de ser tenidos en cuenta. Pese a que en los términos y especificaciones que se tienen en cuenta, cabe la posibilidad de aplicarlos, en mayor o menor medida, a casi cualquier espacio, los próximos pasos

y claves se centrarán en un cálculo de cargas térmicas destinado principalmente a un concepto de edificación genérico.

Destacan, por lo tanto, los siguientes aspectos o factores a tener en cuenta antes de comenzar el estudio:

Ubicación exacta del local: así como sus características (dimensiones, altura del techo, pared, etcétera). En definitiva, los factores arquitectónicos que podríamos obtener de los planos del sitio.

Orientación del local: condiciones exteriores (en función del verano-invierno, condiciones climatológicas y ambientales); condiciones interiores (en función del uso que se le otorgue al local o vivienda).

Área total de vidrio expuesto al exterior: así como su tipología y los marcos utilizados; también es importante conocer otro tipo de materiales constructivos presentes en techo, tabiquería, piso y aquellas superficies en contacto con el exterior.

Promedio de personas: que podrían encontrarse en este espacio o área.

Fuentes de calor internas y ventilación requerida. (González, 2021)

Transmisión de calor por conducción de las paredes y techo

El proceso de transferencia de calor a través de materiales sólidos se denomina conducción térmica, en la cual la energía térmica es transmitida de partícula a partícula a través del material, sin que exista desplazamiento de materia. Por lo tanto, la conducción se efectúa por contacto directo y el calor fluye del lugar más caliente al más frío.

Los primeros adelantos acerca de la conducción de calor se deben, en gran parte a los esfuerzos del matemático francés Fourier (1822), que propuso la ley que hoy se conoce como ley de la conducción de calor de Fourier. Esta es una generalización de la información empírica. Dicha ley predice cómo se conduce el calor a través de un material, partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura.

La rapidez de transferencia de calor " q " a través de un material, es la cantidad de flujo de calor por unidad de tiempo y tiene las dimensiones de Cal/h o Cal-h. El flujo de calor " Q ", puede ser definido como la rapidez de transferencia de calor a ellas, son: través de un área unitaria. Las interrelaciones tienen el siguiente desarrollo:

Rapidez de transferencia de calor $q = Q/\text{tiempo}$ (Cal/h) Flujo de calor Q q/A (Btu/Área-tiempo). Aplicando la ley de Fourier, a una pared plana, se obtiene:

$$Q = \frac{k}{L} * A * (T_2 - T_1) \quad (3.16)$$

Donde:

Q = cantidad de calor transferida, k = Conductividad térmica, L = grosor de la pared,

A = área de las paredes, T₂ = temperatura exterior, T₁ = temperatura interior.

3.14 Elementos de seguridad

En un sistema solar fotovoltaico con conexión a la red, es fundamental implementar varios elementos de seguridad para garantizar tanto el correcto funcionamiento del sistema como la protección de las personas y equipos. Aquí se detallan los principales elementos de seguridad:

➤ **Inversores con Protección:**

- Protección contra sobrevoltajes: Dispositivos que evitan daños en el inversor y en los paneles por picos de tensión.
- Protección contra sobrecargas: Limitan la corriente en caso de sobrecarga.
- Desconexión automática: Función que apaga el inversor en caso de fallos o anomalías.

➤ **Dispositivos de Protección de Circuito:**

- Interruptores automáticos: Protegen contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Fusibles: Proporcionan una protección adicional al interrumpir el flujo de corriente en caso de una falla.

➤ **Seccionadores:**

- Se utilizan para desconectar el sistema de la red y permitir el mantenimiento seguro. Deben ser accesibles y de fácil operación.

➤ **Sistema de puesta a tierra:**

- Asegura que cualquier fallo de aislamiento en el sistema sea dirigido a tierra, evitando descargas eléctricas.

➤ **Monitoreo de Sistema:**

- Dispositivos de monitoreo que permiten detectar y reportar fallos o ineficiencias en tiempo real, facilitando la intervención rápida.
- **Cables y Conectores de Alta Calidad:**
 - Utilizar cables y conectores que cumplan con las normativas de seguridad y que sean adecuados para el entorno de instalación (resistentes a la intemperie, UV, etc.).
- **Protección contra incendios:**
 - Asegurar que todos los componentes del sistema cumplan con las normativas de seguridad contra incendios y que se realicen mantenimientos periódicos.
- **Sistemas de advertencia:**
 - Señales visuales y auditivas para alertar sobre el funcionamiento del sistema y posibles anomalías.
- **Capacitación y Señalización:**
 - Capacitar al personal sobre el manejo seguro del sistema y señalar adecuadamente las áreas de riesgo.

La implementación de estos elementos de seguridad no solo protege los equipos, sino que también asegura un entorno seguro para los usuarios y el personal de mantenimiento.

Capítulo 4

4 Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, se ha optado por una metodología mixta que combina enfoques cuantitativos y cualitativos. En el ámbito cuantitativo, se manejan datos numéricos y variables que pueden ser discretas o continuas. Por otro lado, el enfoque cualitativo se centra en el análisis de conceptos y contenido con una orientación descriptiva, a través de la cual se examina la situación observada y los eventos que explican el comportamiento de las variables, lo que a su vez ayuda a definir las características del sistema en estudio.

Desde la perspectiva cuantitativa, se realiza un análisis numérico que evalúa el rendimiento y la eficiencia energética del sistema de energía solar fotovoltaica utilizado en los equipos de aire acondicionado de un local comercial en Aipe, Huila. En esta evaluación se estudia el proceso de generación de energía del sistema solar y el consumo del equipo de refrigeración. Estos datos se analizan para determinar la eficacia del sistema, identificando pérdidas de energía y midiendo su eficiencia.

Asimismo, el enfoque descriptivo del estudio permite detallar las propiedades y aspectos relevantes del problema, que gira en torno al análisis del sistema solar fotovoltaico aplicado al aire acondicionado del establecimiento comercial en Aipe. Como parte de las herramientas utilizadas, se llevó a cabo una entrevista con un experto en energía solar fotovoltaica, la cual proporcionó información valiosa sobre deficiencias potenciales en el sistema actual, recomendaciones para mejoras y opiniones sobre la integración de energías renovables en el sector empresarial.

En resumen, este estudio evalúa tanto los aspectos teóricos como las técnicas que se estarán utilizando en el diseño e implementación del sistema solar fotovoltaico para el aire acondicionado. Se analizan varios factores decisivos, como el tipo de material de construcción de la vivienda y la transmitancia térmica de paredes y techos, ya que estos influyen directamente en la eficiencia del sistema propuesto. Además, se consideran los metros cúbicos a refrigerar para seleccionar

adecuadamente los equipos, asegurando que no sean ni demasiado pequeños ni excesivamente grandes, ya que una elección incorrecta podría afectar negativamente los resultados de la propuesta.

Por último, cabe mencionar que dentro del soporte legal que reglamenta el uso e implementación de sistemas solares fotovoltaicos de inyección a red en Colombia se contempla la siguiente normativa:

- La Ley 2099 de 2021 en Colombia es un marco normativo que busca promover la transición energética en el país. Aprobada el 10 de julio de 2021, esta ley establece disposiciones para facilitar el uso de energías renovables y mejorar la sostenibilidad ambiental.

Algunos de los objetivos y disposiciones clave de esta ley incluyen:

- ✓ Fomento de Energías Renovables: Se establece un marco que favorece la implementación de proyectos de energías renovables no convencionales, como la solar, eólica, biomasa, geotérmica y otras fuentes.
- ✓ Incentivos Económicos: Se prevén incentivos fiscales y financieros para promover la inversión en tecnologías limpias y renovables.
- ✓ Planes de Desarrollo Energético: Aunque los planes deben ser elaborados por las entidades gubernamentales, se busca garantizar una planificación adecuada que tenga en cuenta la transición energética.
- ✓ Compromisos Internacionales: Se tiene en cuenta el cumplimiento de los compromisos ambientales adquiridos por Colombia en el marco de acuerdos internacionales sobre cambio climático.
- ✓ Educación y Capacitación: Se enfatiza la importancia de la educación y capacitación en energías renovables para asegurar un manejo adecuado y eficiente de estas tecnologías.
- ✓ Participación Ciudadana: Se fortalece la participación de comunidades en la elaboración y ejecución de proyectos energéticos, asegurando que las decisiones sean inclusivas y tengan en cuenta las necesidades locales.

La Ley 2099 de 2021 representa un paso importante hacia la diversificación de la matriz energética de Colombia, con un enfoque en el desarrollo sostenible y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

- Ley 1715 de 2014: Esta ley establece el marco regulatorio para el desarrollo de energías renovables no convencionales en Colombia. En su artículo 32, establece que los sistemas de generación distribuida con fuentes no convencionales de energía, como la energía solar, podrán inyectar energía a la red eléctrica (Colombia, Ley 1715 de 2014).

- Resolución CREG 030 de 2019: Esta resolución establece las condiciones técnicas y comerciales que deben cumplir los sistemas de generación distribuida con fuentes no convencionales de energía, como la energía solar. En su artículo 15, establece los requisitos para la conexión de sistemas solares fotovoltaicos de inyección a red (Colombia, Resolución CREG 030 de 2019).
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050: Esta norma establece las condiciones técnicas que deben cumplir los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica. En la sección 690, se establece los requisitos para la conexión de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica (Colombia, Norma Técnica Colombiana NTC 2050).

Además de esta normativa, también existen otras normas y reglamentos que aplican a la instalación y operación de sistemas solares fotovoltaicos en Colombia, como la Ley 142 de 1994, la Ley 143 de 1994 y el Código de Electricidad Nacional.

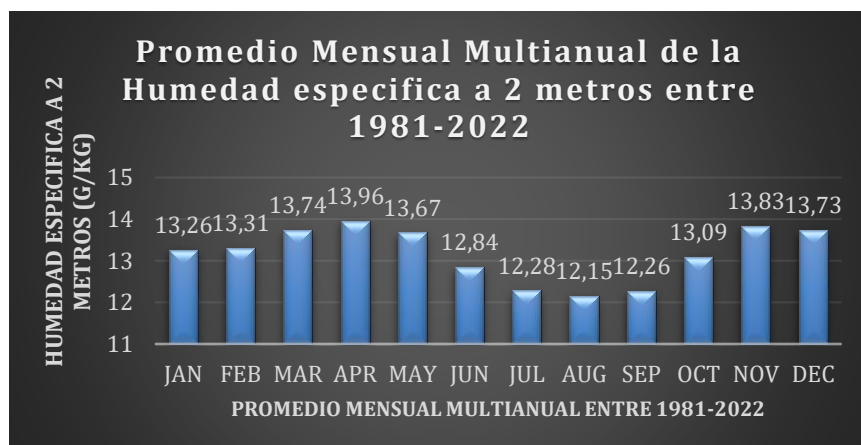
Capítulo 5

5 Resultados

5.1 Cálculos

Cabe recordar que un sistema de energía solar conectado a red es un sistema fotovoltaico que trabaja de manera conjunta a red eléctrica pública y la generación de energía de los paneles solares. Este sistema lo componen: Paneles Solares, Red eléctrica, Inversor de Red y un equipo de monitoreo. Para la realización del 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 conectado a red, en este caso en el municipio de Aipe, en un punto específico, de Latitud: 3,2117 y Longitud: -75,2428, utilizando el software "NASA POWER Pre-diction Of Worldwide Energy Resource", para tomar la base de datos meteorológicos como la irradiación solar global mensual multianual entre 1981 y 2022 (a), humedad específica a 2 metros (g/kg) (b), presión superficial del viento (kPa) (c), temperatura a 2 metros (°C) y (d), irradiación solar (Ver Figura 13).

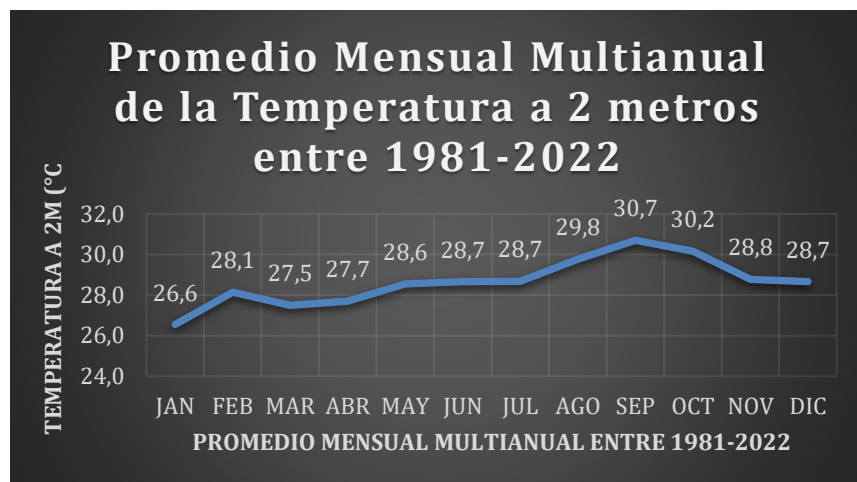
Figura 13 Condiciones climatológicas del municipio de Aipe



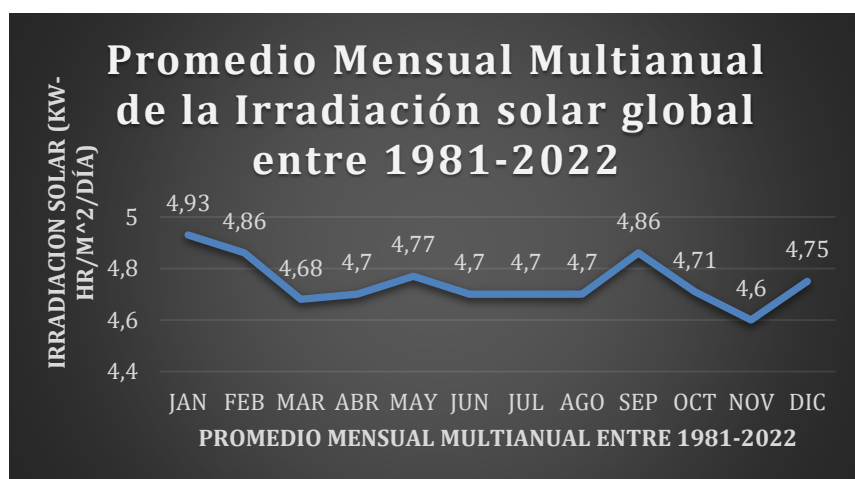
a)



b)



c)



d)

Fuente: Tomado de "NASA POWER Pre-diction Of Worldwide Energy Resource" (2023)

5.1.1 Hora solar pico

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

Para el cálculo de la Hora Solar Pico en el municipio de Aipe, se toma el valor promedio de la Gráfica Promedio Mensual Multianual de la Irradiación Solar entre 1981 y 2022 que fue de 4.75 kWh/m².

$$\text{Hora Solar Pico} = \frac{4,75 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (5.2)$$

$$\text{Hora Solar Pico} = 4,75 \text{ h} \quad (5.3)$$

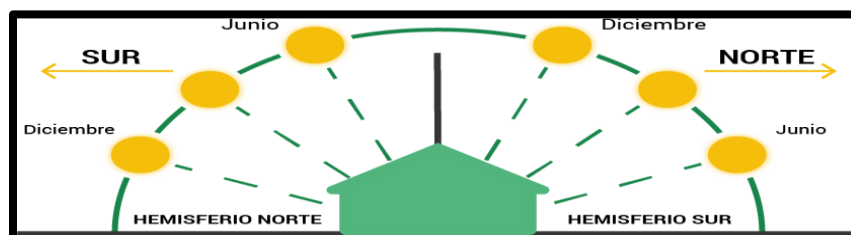
5.1.2 Ángulo de inclinación

Tabla 7 Latitud y ángulo de inclinación

Latitud del lugar (en grados)	Ángulo 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

Fuente: Tomado de “Energía solar autónoma” (2012)

Figura 14 Orientación para la inclinación del panel solar



Fuente: Tomado de “Energía solar autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo”, Oliver Style (2012)

Para que el panel solar consiga una mayor efectividad, los rayos solares deben incidir sobre ellas de una manera perpendicular a la superficie (Ver Figura 14). Colombia posee la ventaja de ser un país donde la radiación solar es óptima durante todo el año ya que tiene una posición geográfica muy buena debido a su proximidad a la línea del Ecuador, la posición del sol es vertical y poco inclinada (Ballesteros, 2016).

Sin embargo, en lo que respecta a la orientación, el sol tiene un trayecto en la cual sale por el este y ponerse por el oeste. Colombia al encontrarse en latitud norte la orientación

óptima para maximizar la producción es hacia el sur, ya que recibe más horas de luz. Se recomienda un ángulo de 15° (ver Tabla 7) para evitar la acumulación de sedimentos en la superficie del cristal, como excrementos de aves, materia orgánica, polvo, entre otros.

5.1.3 Consumo de la instalación

Para nuestro caso, calculamos la potencia adecuada para el local teniendo en cuenta sus dimensiones y el tipo de zona.

Altura: 2,4 m

Ancho: 3,6 m

Largo: 4,5 m

Zona cálida: 300 BTU/m³ (Cardenas,2021)

$$\#de\ BTU = (2,4m)(3,6m)(4,5m) \left(\frac{300\ BTU}{m^3} \right) \quad (5.4)$$

$$\#de\ BTU = 38,88m^3 \left(\frac{300\ BTU}{m^3} \right) = 11664\ BTU \approx 12000\ BTU \quad (5.5)$$

Posteriormente seleccionamos un aire acondicionado de 12000 BTU Inverter.

La capacidad de enfriamiento o el BTU, es la cantidad de calor que podemos extraer de un espacio, en otras palabras, es la potencia del aire acondicionado que para este caso es de 12000 BTU. La potencia de consumo mensual es de 142,56 kWh/mes en 132 horas de uso, la diferencia de potencial promedio es de 220 Voltios y para la corriente del sistema 28 Amperios (Ver Figura 15).

Cálculo de consumo

Consumo mensual: 142,56 kWh/mes

Horas mensuales: 132 h

$$\frac{142,56\ kWh/mes}{132h/mes} = 1,08\ kW \quad (5.6)$$

Consumo diario teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante.

$$1,08\ kW \times 4,4\ h/dia = 4,752\ kWh/día \quad (5.7)$$

Se Toma un factor de seguridad del 30% que justifica por la necesidad de asegurar un margen adicional frente a variaciones en la carga térmica, ineficiencias del sistema, fluctuaciones en las condiciones ambientales y el envejecimiento del equipo. Este margen ayuda a garantizar un rendimiento confiable y evitar sobrecargas que puedan afectar la vida útil del equipo.

$$4,752\ kWh/dia \times 1,3 = 6,1776\ kWh/día \quad (5.8)$$

Tabla 8 características técnicas aire del acondicionado

Modelo	MSABB-12CRDN1-MP0W
Especificaciones Técnicas	
Alimentación	208-230 V – 1Ph – 60 Hz
Capacidad (rango)	12000 BTU/h
Área de aplicación (Estándar de enfriamiento)	15-22 m ²
Entrada	1037 W
Corriente	4.5 A
EER	11,8 BTU/w
SEER	19 BTU/w
Ampacidad mínima del circuito	11 A
Máx. Corriente	15 A
Flujo de aire interior (Hi/Mi/Lo)	410Hi – 330Mi– 350Lo m3/h
Nivel de ruido interior (presión sonora)	37,5/34,5/24,5 dB(A)

Fuente: Tomado del equipo de refrigeración de aire acondicionado

Nota: Cabe aclarar que estos datos son suministrados por la etiqueta de características del Aire Acondicionado MiniSplit 12000BTU Inverter. Además, el consumo depende de la temperatura a la que se configure el aire acondicionado, pues a menor temperatura mayor consumo.

Figura 15 Etiqueta de características técnicas del Aire MiniSplit 12000 BTU Inverter

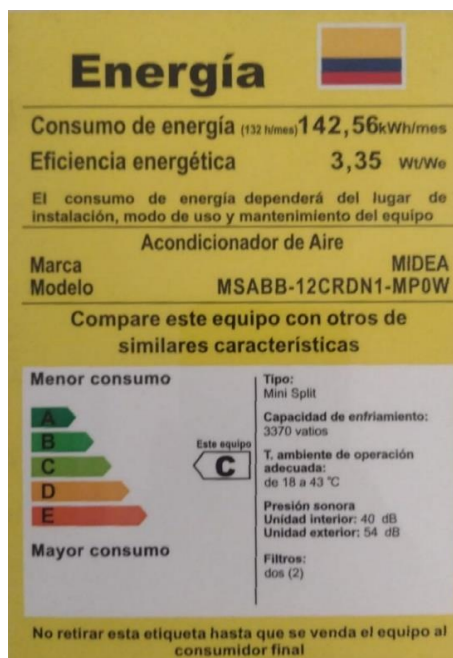


Figura 16 Corriente nominal experimental del compresor del Aire Acondicionado



Fuente: Tomado del equipo a diseñar corriente de arranque

Ahora, con ayuda de un amperímetro, se comprueba la corriente de arranque que circula en el aire Acondicionado (Ver Figura 16).

La Electrificadora del Huila instala en el municipio de Aipe en cada vivienda un contador monofásico o trifásico el cual mide el consumo de energía por hora (kW/h) para cobrar el servicio de energía eléctrica, los cuales son cobrados según el estrato socioeconómico o actividad comercial de cada sector con diferentes tarifas, para los estratos se les aplica un descuento o subsidio y para los más altos y áreas comunes no se aplica ningún descuento siendo para estos las tarifas son más elevadas.

Las viviendas ubicadas en zonas rurales de estratos 1, 2 y 3, que superan un consumo mensual de 173 vatios, enfrentan una tarifa de COP 983,3982 por parte de la Electrificadora del Huila durante el mes de marzo 2024 (Ver Tabla 9). En este contexto, la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red podría permitir la recuperación de la inversión en un plazo mediano, beneficiando especialmente a los hogares que deseen reducir sus costos de energía. Por otro lado, establecimientos como hoteles y restaurantes, que no reciben subsidios, se beneficiarían de manera más inmediata al instalar este tipo de sistemas, ya que enfrentan tarifas eléctricas más altas. En estos casos, la instalación de paneles solares podría generar un retorno de la inversión más rápido, dado el alto costo de su consumo energético. Cuando se genera un excedente de energía, existe la posibilidad de inyectarlo a la red eléctrica. Esto podría traducirse en una disminución de la factura mensual a través de un crédito equivalente al costo del consumo energético. Sin embargo, las condiciones y tarifas para dicha compensación pueden variar en función de la normativa vigente y del contrato establecido para la comercialización de la energía.

Tabla 9 Tarifas de energía eléctrica para clientes regulados marzo de 2024

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	393,3982	384,3303	375,2624	328,9228
	>CS	983,4955	960,8258	938,1560	822,3070
BAJO (Estrato 2)	0-CS	491,7477	480,4129	469,0780	411,1535
	>CS	983,4955	960,8258	938,1560	822,3070
MEDIO - BAJO (Estrato 3)	0-CS	835,9711	816,7019	797,4326	698,9609
	>CS	983,4955	960,8258	938,1560	822,3070
MEDIO (Estrato 4)	TODO	983,4955	960,8258	938,1560	822,3070
MEDIO - ALTO (Estrato 5) Y ALTO (Estrato 6)	TODO	1.180,1946	1.152,9909	1.125,7873	986,7684
AREAS COMUNES CON CONTRIBUCIÓN	TODO	1.180,1946	1.152,9909	1.125,7873	986,7684
AREAS COMUNES SIN CONTRIBUCIÓN	TODO	983,4955	960,8258	938,1560	822,3070

Fuente: Tomado de Electrificadora del Huila (2024)

Para este proyecto, se calcula el valor del costo de la energía eléctrica a partir del consumo del equipo Aire MiniSplit 12000BTU Inverter en un local comercial estrato 4 del municipio de Aipe (Huila) (Ver Figura 17).

Figura 17 Recibo de la energía del mes de marzo de 2024

Conceptos Electrohuila		
Concepto	Descripción	Valor
21	Consumo Periodo	\$259,813

Últimos Consumos		
Año	Mes	Consumo
2024	2	279
2024	1	187
2023	12	243
2023	11	285
2023	10	292
2023	9	317

Promedio Cuenta	Consumo Año Anterior
267	250

Liquidación del Consumo					
Medi	Desde	Hasta	Consumo	Valor	Valor
4	1	268	268	\$969.4511	\$259,813

Fuente: Tomado de la vivienda en el municipio de Aipe, Huila (2024)

$$\text{Valor Consumo/mes} = (\text{Consumo kWh}) \times (\text{Valor kWh}) \quad (5.9)$$

$$\text{Valor Consumo/mes} = (142,56 \text{ kWh/mes}) \times (969,4511 \text{ $/kWh}) \quad (5.10)$$

$$\text{Valor Consumo/mes} = \$138,205 \quad (5.11)$$

5.1.4 Módulos fotovoltaicos

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Energía Consumo diario} \times \text{Factor de seguridad}}{\text{Hora solar pico} \times \text{Potencia del panel}} \quad (5.12)$$

El factor de seguridad es del 30%, por lo tanto, se multiplica por 1,30 para evitar daños ocasionales al regulador.

$$\text{Número de paneles} = \frac{4,752 \text{ kWh} \times 1,30}{4,75 \text{ h} \times 545 \text{ W}} \quad (5.13)$$

$$\text{Número de paneles} = 2,39 \approx 3 \text{ paneles} \quad (5.14)$$

Parámetros de módulos solares de acuerdo a condiciones de temperatura e irradiación del lugar. Para conocer la temperatura real que tendrán las celdas fotovoltaicas en cualquier situación se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_{Celda} = T_{Ambiente} + [(NOCT - Temperatura\ de\ funcionamiento) * (E_{Sitio} / ENOCT)] \quad (5.15)$$

Donde:

E_{Sitio} : Irradiancia del lugar.

$ENOCT$: Irradiancia 800 W/m²

T de funcionamiento: 20 °C

NOCT (Temperatura Nominal de Operación de Celdas): 43 °C (Ver Tabla 10)

$T_{Ambiente}$: Temperatura ambiente del sitio. Para este caso es el promedio multianual de la Temperatura de Aipe (2020-2022) = **28,67°C**

Tabla 10 Especificaciones del panel solar de 545 W

MONO UL-545-144HV			
RENDIMIENTO ELÉCTRICO			
Parámetros eléctricos Condiciones de prueba estándar			
Tipo de modelo	UL-545M-144HV		
Potencia Output	Pmax	W	545
Potencia Tolerada	APmax	W	0/+5W
Eficiencia del módulo	η m	%	21.09
Voltaje a Pmax	Vm	V	41.8
Corriente a Pmax	Im	A	13.04
Voltaje Circuito abierto	Voc	V	49.9
Corriente Cortocircuito	Isc	A	13.65
STC: irradiancia de 1000 w/m ² , temperatura del módulo de 25 °C, AM1.5			
CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS			
Temperatura nominal de funcionamiento de la celda	NOCT	°C	43±2
Coeficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0.360
Coeficiente de temperatura de Voc	βVoc	%/°C	
Coeficiente de temperatura de Isc	αIsc	%/°C	+0.049

Fuente: Tomado de WccSolar (2023)

Se reemplaza en la ecuación (5.15)

$$T_{Celda} = 28,67^{\circ}\text{C} + [(43^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * 1000\text{W}/\text{m}^2 / 800\text{W}/\text{m}^2] \quad (5.16)$$

$$T_{Celda} = 57,42^{\circ}\text{C} \quad (5.17)$$

Ahora, se calcula el diferencial de temperatura:

$$\Delta\text{Temperatura} = T_{Celda} - \text{Temperatura Celda a STC} \quad (5.18)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.18):

$$\Delta T = 57,42^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} \quad (5.19)$$

$$\Delta T = 32,42^{\circ}\text{C} \quad (5.20)$$

Luego, se calcula los coeficientes de temperatura:

$$\% \Delta P_{max} = (\text{Coeficiente temperatura } \% P_m/^{\circ}\text{C}) * \Delta T \quad (5.21)$$

$$\% \Delta P_{max} = \left(-0,36 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right) * 32,42^{\circ}\text{C} \quad (5.22)$$

$$\% \Delta P_{max} = -11,67 \% \quad (5.23)$$

$$\% \Delta Voc = (\text{Coeficiente temperatura } \% Voc/^{\circ}\text{C}) * \Delta T \quad (5.24)$$

$$\% \Delta Voc = \left(-0,29 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right) * 32,42^{\circ}\text{C} \quad (5.25)$$

$$\% \Delta Voc = -9,4 \% \quad (5.26)$$

$$\% \Delta Isc = (\text{Coeficiente temperatura } \% Isc/^{\circ}\text{C}) * \Delta T \quad (5.27)$$

$$\% \Delta Isc = \left(0,049 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right) * 32,42^{\circ}\text{C} \quad (5.28)$$

$$\% \Delta Isc = 1,59 \% \quad (5.29)$$

Entonces:

$$P_{max} \text{ corregida} = [(100 \% + \% \Delta P_{max})/100 \%] * P_{max} \text{ a STC} \quad (5.30)$$

$$P_{max} \text{ corregida} = \left[\frac{100 \% + (-11,67 \%)}{100 \%}\right] * 545 \text{ W} \quad (5.31)$$

$$P_{max} \text{ corregida} = 481,4 \text{ W} \quad (5.32)$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = [(100 \% + \% \Delta Voc)/100 \%] * V_{mp} \text{ a STC} \quad (5.33)$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = \left[\frac{100 \% + (-9,4 \%)}{100}\right] * 41,8 \text{ V} \quad (5.34)$$

$$\text{Valor } V_{mp} \text{ corregida} = 37,87 \text{ V} \quad (5.35)$$

$$\text{Valor } Voc \text{ corregida} = [(100 \% + \% \Delta Voc)/100 \%] * Voc \text{ a STC} \quad (5.36)$$

$$\text{Valor } Voc \text{ corregida} = \left[\frac{100 \% + (-9,4 \%)}{100 \%}\right] * 49,9 \text{ V} \quad (5.37)$$

$$\text{Valor } Voc \text{ corregida} = 45,21 \text{ V} \quad (5.38)$$

$$\text{Valor } Imp \text{ corregida} = [(100 \% + \% \Delta Isc)/100 \%] * Imp \text{ a STC} \quad (5.39)$$

$$\text{Valor } Imp \text{ corregida} = \left[\frac{100 \% + (1,59 \%)}{100}\right] * 13,4 \text{ A} \quad (5.40)$$

$$\text{Valor } Imp \text{ corregida} = 13,61 \text{ A} \quad (5.41)$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = [100 \% + \% \Delta I_{sc}/100\%] * I_{sc} \text{ a STC} \quad (5.42)$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = [100 \% + (1,59\%)/100\%] * 13,65 \text{ A} \quad (5.43)$$

$$\text{Valor } I_{sc} \text{ corregida} = 13,91 \text{ A} \quad (5.44)$$

***NOTA:** STC es el valor a Condición de prueba estándar registrado en la **tabla 10**.

Tabla 11 Cuadro resumen final de las condiciones del Panel Solar

Parámetro	STC	Sitio
P _{máx}	545 W	481,39 W
V _{oc}	49,9 V	45,21 V
V _{mp}	41,8 V	37,87 V
I _{sc}	13,65 A	13,86 A
I _{mp}	13,4 A	13,61 A

Fuente: Elaboración propia

Para la Eficiencia del sistema solar fotoeléctrico

$$\eta = \frac{\text{Potencia de salida maxima}}{\text{Radiacion solar} \times \text{Area de los paneles solares}} \quad (5.45)$$

$$\eta = \frac{545 \text{ W} \times 3}{1000 \text{ W/m}^2 \times 2,58 \text{ m}^2 \times 3} \times 100\% \quad (5.46)$$

$$\eta = 21.12\% \quad (5.47)$$

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

$$rc = \frac{P_{\text{max en sitio}}}{P_{\text{max a STC}}} * 100 \% \quad (5.48)$$

$$\eta rc = \left(\frac{481,39 \text{ W}}{545 \text{ W}} \right) * 100 \% \quad (5.49)$$

$$\eta rc = 88 \% \quad (5.50)$$

5.1.5 Calor y tiempo de enfriamiento del local

A continuación, se muestra el cálculo de la transferencia de calor en las paredes del local donde se instalará el equipo. Para calcular la capacidad de retención de calor del local, se aplica la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k}{L} * A * (T_2 - T_1) \quad (5.51)$$

Datos:

Dimensiones del local:

Altura: 2,4 m

Ancho: 3,6 m

Largo: 4,5 m

$T_2: 35^\circ\text{C} + 273 = 308\text{K}$

$T_1: 29^\circ\text{C} + 273 = 302\text{K}$

Conductividad térmica (k) del ladrillo macizo y grosor (L) de la pared.

L: 0,12 m

k: 0,68 W/mK

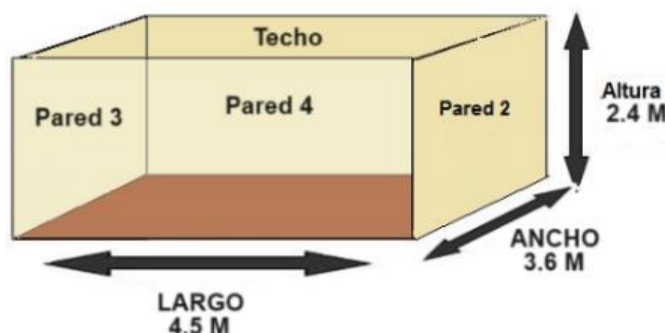
Conductividad térmica (k) del draibol y el grosor de este (L), material del cual esta echo el techo o cielorraso local es de:

L: 0,0159m

k: 0,037 W/mK

Primero se calcula el área total de las paredes y el techo:

Figura 18 Dimensiones habitación



Fuente: Elaboración propia.

Paredes

$$A_p = 2 * (\text{largo} \times \text{alto}) + 2 * (\text{ancho} \times \text{alto}) \quad (5.52)$$

$$A_p = 2 * (4,5\text{m} \times 2,4\text{m}) + 2 * (3,6\text{m} \times 2,4\text{m}) \quad (5.53)$$

$$A_p = 21,6\text{m}^2 + 17,28\text{m}^2 = 38,88\text{m}^2 \approx 39\text{m}^2 \quad (5.54)$$

Techo

$$A_T = (\text{largo} \times \text{ancho}) \quad (5.55)$$

$$A_T = (4,5m \times 3,6m) \quad (5.56)$$

$$A_T = 16,2m^2 \quad (5.57)$$

Ahora calcularemos la cantidad de calor transferido:

Paredes

$$P_{paredes} = \frac{0,68 \text{ W/mK}}{0,12 \text{ m}} * 39m^2 * (308K - 302K) \quad (5.58)$$

$$P_{paredes} = 5.67 \text{ W/m}^2K * 39m^2 * 6K \quad (5.59)$$

$$P_{paredes} = 1326 \text{ W} \quad (5.60)$$

Techo

$$P_{techo} = \frac{0,037 \text{ W/mK}}{0,0159 \text{ m}} * 16,2m^2 * (308K - 302K) \quad (5.61)$$

$$P_{techo} = 2,327 \text{ W/m}^2K * 16,2m^2 * 6K \quad (5.62)$$

$$P_{techo} = 226 \text{ W} \quad (5.63)$$

Finalmente, el calor total.

$$P_{p+t} = P_{paredes} + P_{techo} \quad (5.64)$$

$$P_{p+t} = 1326W + 226W = 1552W \quad (5.65)$$

Por lo tanto, la capacidad de retención de calor del local comercial es de 1552 W, cabe mencionar que no se tuvo en cuenta el calor del piso ya que es muy variable.

Para convertir vatios (W) a unidades térmicas británicas por hora (BTU/h), se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$1 \text{ W} = 3,41 \text{ BTU/h} \quad (5.66)$$

Por lo tanto, para convertir 1552 Watts a BTU/h sería:

$$1552 \text{ Watts} \times 3,41 \text{ BTU/h} = 5292,3 \text{ BTU/h} \quad (5.67)$$

Por lo tanto, la capacidad de retención de calor del local comercial equivale a 5292.3 BTU/h. Teniendo en cuenta las cargas térmicas internas, se asume que cada persona tiene un 500 BTU/h, Computadora 400 BTU/h, TV 600 BTU/h, lámpara LED 200 BTU/h. Partiendo de que son en promedio 3 personas, 2 Computadores, un TV, 2 lampara LED.

Tenemos que:

$$P_{total} = 5292,56 \text{ BTU/h} + 3 * 500 \text{ BTU/h} + 2 * 400 \text{ BTU/h} + 600 \text{ BTU/h} + 2 * 200 \text{ BTU/h} \quad (5.68)$$

$$P_{total} = 8592,56 \text{ BTU/h} \quad (5.69)$$

Finalmente, la carga térmica total del local es **8592,56 Btu/h**, muy por debajo de los 12000 BTU/h de aire acondicionado.

De la siguiente manera calculamos el tiempo que tarda un aire acondicionado de 12000 BTU/h en enfriar el local comercial.

- Convertir la potencia de enfriamiento del aire acondicionado a watts:

$$12000 \text{ BTU/h} \times \frac{1 \text{ W}}{3,41 \text{ BTU/h}} = 3519 \text{ W} \quad (5.70)$$

- Calcular la cantidad de calor que se necesita eliminar del local:

$$Q = m * c * \Delta T \quad (5.71)$$

Donde:

Q = cantidad de calor en julios

m = masa de aire en el local en kg

c = capacidad calorífica del aire en J/(kg*K)

ΔT = diferencia de temperatura en Kelvin

Datos:

Temperatura inicial: 35°C (308 K)

Temperatura final: 17°C (290 K).

Capacidad calorífica del aire es aproximadamente: 1000 J/(kg * K).

Para calcular la masa de aire en el local, utilizamos la ecuación:

$$m = V * \rho \quad (5.72)$$

Donde: V = volumen del local (en m³)

ρ = densidad del aire a la temperatura inicial (en kg/m³)

Dado que el local tiene un volumen de 39m³ y la densidad del aire a 35°C es aproximadamente 1,146 kg/m³, la masa de aire en el local será:

$$m = 39 \text{ m}^3 * 1,146 \text{ kg/m}^3 \approx 44,7 \text{ kg} \quad (5.73)$$

$$Q = (44,7 \text{ kg}) * \left(1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}}\right) * (308 \text{ K} - 290 \text{ K}) \quad (5.74)$$

$$Q = 804,6 \text{ kJ} \quad (5.75)$$

Calcular el tiempo necesario para enfriar el local:

$$P = \frac{Q}{t} \quad (5.76)$$

Donde:

P = potencia en watts

t = tiempo en segundos

$$3519 \text{ kW} = \frac{804,6J}{t} \quad (5.77)$$

$$t = \frac{804600 J}{3519 J/s} \approx 229 \text{ s} \quad (5.78)$$

$$t \approx 4 \text{ min} \quad (5.79)$$

Por lo tanto, el aire acondicionado de 12000 BTU tardará aproximadamente 4 min, en enfriar el local. Es importante tener en cuenta que este cálculo es una estimación y las condiciones reales pueden variar.

5.1.6 Inversor

Para seleccionar el inversor de sincronización a red se debe tener en cuenta que muchos de los electrodomésticos y aparatos con motor utilizados tienen “picos de arranque”, para ello es necesario saber que los picos de arranque son picos temporales de corriente que ocurren cuando un motor eléctrico se enciende. Estos picos pueden ser significativamente más altos que la corriente nominal que el motor utiliza durante su operación normal. Un ejemplo sería un compresor de aire acondicionado utilizado en este proyecto o un motor de una nevera puede requerir hasta 5 a 12 veces su corriente nominal en el momento de encenderse.

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

Partiendo de la potencia eléctrica de nuestra máquina de 1,08 kW se multiplica por el pico de arranque.

$$P = 1,08 \text{ kW} \times 12 \quad (5.80)$$

$$P = 12,96 \text{ kW} \quad (5.81)$$

Por tanto, tenemos que la potencia máxima de arranque requerida para nuestra maquina es de 12,96 kW.

Luego, se sabe que la potencia nominal de un inversor o de referencia es la mitad de la potencia pico de este debido a que los inversores están diseñados para

manejar picos de carga breves, pero su capacidad de operación continua es limitada por factores como la disipación de calor y la durabilidad de sus componentes, por lo tanto:

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = \frac{Potencia\ pico\ inversor}{2} \quad (5.82)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.82):

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = \frac{12.96\ kW}{2} \quad (5.83)$$

$$Potencia\ nominal\ inversor\ calculada = 6,48\ kW \quad (5.84)$$

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

$$Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 1,30 \times Potencia\ nominal\ inversor\ calculada \quad (5.85)$$

Se reemplaza en la ecuación (5.85):

$$Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 1,30 \times 6,48\ kW \quad (5.86)$$

$$Potencia\ nominal\ inversor\ ajustada = 8,425\ kW \quad (5.87)$$

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 del aire acondicionado.

5.1.7 Cables

Fórmula para la sección transversal del cable en DC:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\Delta V \times \sigma} \quad (5.88)$$

Donde

S: Sección transversal del cable (mm²).

L: Longitud del cable en 8 (m).

I: Corriente que fluye por el cable 13,65 (A).

σ es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 20 °C es de 56 m/Ω·mm²

ΔV : 49.9 V Caída de Voltaje.

Se reemplaza en la ecuación (5.88):

$$S = \frac{2(8\text{ m})(13,65\text{ A})}{49,9\text{ V} \times 0,01 \times \left(56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}\right)} \quad (5.89)$$

$$S = 7,82\text{ mm}^2 \quad (5.90)$$

Fórmula para la sección transversal del cable en AC:

Para el cálculo de la sección (S) de los conductores activos en los tramos de corriente alterna monofásica, se empleará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \times P \times L}{\Delta V \times \sigma \times V} \quad (8.91)$$

donde,

S es la sección del cable conductor, en mm^2

P es la potencia máxima que vaya a transportar el cable, en W (12960 W).

L es la longitud del cable conductor en ese tramo, en m. (20 m)

ΔV es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, que según se indica en el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, deberá ser en los conductores de alterna como máximo del 2%. (3V)

σ es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 20 °C es de $56\text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$

V es la tensión de línea de la red interior de la vivienda, en V (230 V).

Se reemplaza en la ecuación (5.91):

$$S = \frac{2 \times 12960\text{ W} \times 10\text{ m}}{3\text{ V} \times 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \times 230\text{ V}} \quad (8.92)$$

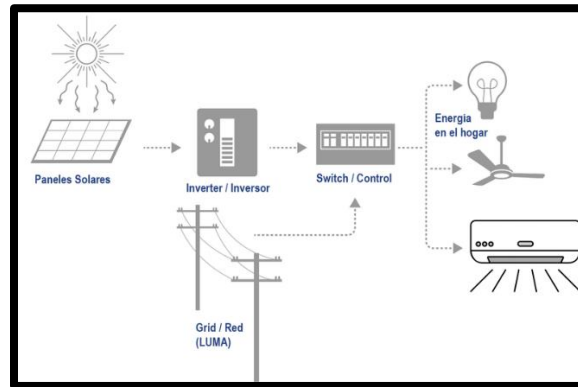
$$S = \frac{259200\text{ mm}^2}{24840} \approx 10\text{ mm}^2 \quad (8.93)$$

La sección transversal necesaria del cable DC sería de $7,82\text{ mm}^2$ y para el cable AC sería de 3 mm^2

5.2 Diseños

En el primer diseño se utiliza el programa Paint © 2024 Microsoft para dibujar el esquema de configuración con conexión a red de la instalación solar fotovoltaica de un aire acondicionado MiniSplit, mostrando los componentes que se necesitan.

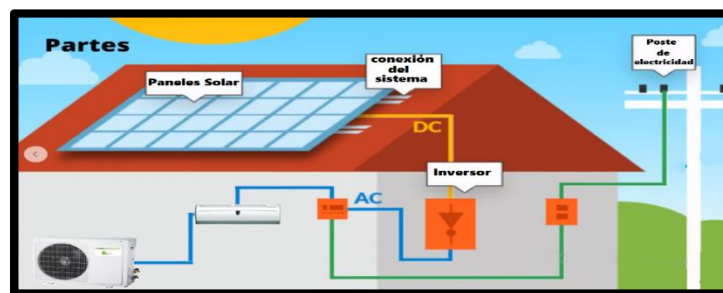
Figura 19 Esquema de configuración con conexión a red del sistema solar fotovoltaico.



Fuente: Elaboración propia en el programa Paint © 2024 Microsoft

Para el segundo diseño se emplea el programa SketchUp Pro2022, primordialmente para la planificación rural, en este caso el interior del local donde está el aire acondicionado MiniSplit mostrando la ubicación y distribución de la conexión de los elementos del sistema solar fotovoltaico tales como los 3 paneles solares 545 Wp con el gabinete eléctrico, simulando de como quedaría la instalación en la vida real (Ver Figura 20).

Figura 20 Diseño 3D de la planificación rural de la ubicación del Aire Acondicionado MiniSplit



Fuente: Elaboración propia en el programa SketchUp Pro 2022

Para el tercer y último diseño se usa el programa PV*SOL Premium 2022 (Ver Figura 21) 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 cada uno con dimensiones de 2182x1029x35 mm, 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 21 Diseño 3D simulación dinámica del sistema solar fotovoltaico



*Fuente: Elaboración propia en el programa PV*SOL Premium 2022*

Capítulo 6

6 Análisis de resultados

Aquí se detalla la entrevista que se realizó al profesor Sergio Alexis Castro Hermosa, PhD en ingeniería eléctrica y electrónica, quien ha llevado a cabo investigaciones en el campo del desarrollo de nuevas tecnologías fotovoltaicas y electrónica flexible. Específicamente, ha trabajado en la fabricación de células solares de perovskita en sustratos innovadores y flexibles, siendo reconocido como un experto en sistemas que emplean energía solar fotovoltaica.

6.1 Resultados de la entrevista

Una vez aplicados los instrumentos de recolección de información, se procedió a realizar el tratamiento correspondiente para analizar los datos de manera ordenada. Es importante destacar que la entrevista se llevó a cabo de mutuo acuerdo con el profesor, utilizando la aplicación de chat de WhatsApp como medio de comunicación ya que el mismo no se encontraba en el país.

Las conclusiones derivadas de la entrevista con el Dr. Alexis Castro Hermosa son las siguientes:

1. Factores Clave para la Eficiencia Energética: La ubicación geográfica, la radiación solar, la sombra y la capacidad de carga de la red son fundamentales para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos. La disponibilidad de espacio para los paneles es crucial para una implementación efectiva.
2. Impacto en Ahorro Energético y Emisiones: La implementación de sistemas solares puede no tener un gran impacto en términos de reducción de CO₂ debido a la predominancia de energía hidroeléctrica en el país. Sin embargo, son de gran ayuda durante períodos de escasez energética, como en situaciones de sequía.
3. Desafíos Técnicos y Administrativos: Los aires acondicionados presentan retos por la energía reactiva que consumen. Además, existen obstáculos burocráticos

impuestos por las empresas distribuidoras de energía que dificultan la adopción de sistemas fotovoltaicos.

4. Recomendaciones para Maximizar la Eficiencia: Es crucial considerar el diseño y la instalación de los paneles solares, su inclinación y orientación, así como el mantenimiento periódico para asegurar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.
5. Beneficios Económicos y Ambientales: Las instalaciones solares pueden resultar en un ahorro de costos significativos a largo plazo, incluyendo la eliminación del gasto en electricidad durante un periodo prolongado y beneficios fiscales, lo que refuerza la rentabilidad de la inversión.
6. Implicaciones para la Comunidad: La adopción de sistemas solares no solo beneficia a las empresas, sino que también actúa como un ejemplo educativo para la comunidad sobre la importancia de la sostenibilidad y la energía renovable.
7. Incentivos para la Adopción de Tecnología: Promover los beneficios tributarios y la atractivo visual de la instalación solar puede incentivar a los negocios a adoptar estas tecnologías. Además, el diseño de espacios que incorporen los paneles puede mejorar la experiencia del cliente.
8. Políticas Públicas Necesarias: Las políticas actuales son útiles, pero podrían mejorarse con créditos accesibles y simplificación de trámites. Capacitar a instaladores y promover tecnologías avanzadas como medidores inteligentes también podría facilitar la adopción.
9. Conciencia y Capacitación: La educación y concientización sobre el uso eficiente de la energía son fundamentales para que la población local adopte prácticas sostenibles y valore la importancia del ahorro energético.
10. Plan de Acción Integral: El diseño de un plan de acción para mejorar la eficiencia energética debe considerar aspectos técnicos, económicos y de capacitación. Un enfoque integrado garantizará resultados sostenibles y efectivos en la región.

Estas conclusiones proporcionan un marco valioso para entender los desafíos y oportunidades que presenta la implementación de sistemas de energía solar en Aipe, Huila, y resaltar la importancia de la eficiencia energética en el contexto actual. Para mayor información dirigirse a la sección de anexos (Pag 95).

6.2 Sección condiciones meteorológicas

Promedio Mensual Multianual de la Humedad Específica a 2 Metros: Se sugiere moderar el porcentaje entre las radiaciones directa, difusa y reflejada. Este equilibrio es fundamental para optimizar el rendimiento de los sistemas energéticos y mejorar la eficiencia de la captación solar en diferentes condiciones climáticas.

Promedio Mensual Multianual de la Presión Superficial del Viento: Es crucial considerar la dilatación provocada por los cambios de presión en los materiales utilizados. Los

paneles e instalaciones deben ser diseñados para soportar variaciones significativas de presión, garantizando su integridad estructural y funcionalidad a lo largo del tiempo.

Promedio Mensual Multianual de la Temperatura a 2 Metros: Considerando el factor TONC (Temperatura Operativa Normalizada de Confort), se evalúa la desviación térmica como un promedio que afecta la cantidad de energía disponible. Este parámetro es esencial para el diseño de sistemas de climatización y para la eficiencia en la conversión de energía solar.

Promedio Mensual Multianual de la Irradiación Solar Global: En relación con la estructura, es fundamental diseñar una arquitectura que sea capaz de tolerar las ráfagas de viento que se presentan en la región. Se deben contemplar medidas que aseguren que tanto los paneles solares como la estructura arquitectónica en su conjunto no colapsen bajo condiciones extremas de viento, garantizando así su continuo funcionamiento y seguridad.

6.3 Selección del Aire Acondicionado

Para este estudio se trabajó con un Aire Acondicionado (MIDEA) MiniSplit 12000BTU Inverter ya que dicho electrodoméstico se encontraba en el establecimiento comercial en Aipe, Huila, por lo que se facilitó hacer el estudio y de esta manera, se logró preservar el producto sin necesidad de instalar un nuevo aire, ahorrando tiempo y esfuerzo. (Ver Figura 22).

Figura 22 Aire Acondicionado (MIDEA) MiniSplit 12000 BTU Inverter



Fuente: Aire Acondicionado de referencia Mercado Libre (2023)

6.4 Selección del módulo fotovoltaico

Dada las condiciones medio ambientales, que tiene una variación térmica entre los 26.6 a 30.7 °C, el sustrato que más se adecua y nos garantiza una mayor estabilidad a lo largo del año es un panel monocristalino, que como ya se mencionó, es uno de los más eficientes del mercado, con una eficiencia que oscila entre el 15% y el 21%.

El panel solar monocristalino de 545 W (144 células) es un dispositivo de alta eficiencia (ver Figura 23) y se encuentra entre los más potentes en su categoría para sistemas de 72 V.

Gracias a su diseño con 9 buses y tecnología de células PERC, cada célula maximiza la producción de energía solar. Este panel ha sido fabricado utilizando células de silicio monocristalino de alto rendimiento, lo que contribuye a su eficiencia y capacidad de generación.

- Tipo de celda: monocristalino PERC 182x91 mm
- Número de células: 144
- Dimensiones del módulo: 2279x1134x35vmm

Figura 23 Panel Solar 545W Mono cristalino 12V/24V/48V 144 Células TIER 1



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

6.5 Selección del inversor

El Inversor On Grid Fronius Primo UL 10.0-1 208-240, ofrece un abanico de potencias entre los 3.8 kW y los 15.0 kW para corriente monofásica. Es el inversor con mayores cualidades para cualquier sistema Grid-Tie monofásico. Un inversor sólido que tiene un transformador adecuado para su aplicación en áreas residenciales y negocios menores.

Incorpora infinidad de respuestas propias, la tecnología con patente registrada SnapInverter que proporciona una instalación y reparación de manera muy fácil y al mismo tiempo segura Su diseño puede adecuarse a futuras exigencias, así que este es un inversor que nos garantiza resistencia y adaptabilidad.

Figura 24 Inversor On Grid Fronius Primo UL 10.0-1



Tabla 12 Parámetros eléctricos del Inversor

DATOS TÉCNICOS		
DATOS DE ENTRADA		PRIMO 10.0-1
Potencia FV recomendada (kWp)		8.0 - 15.5
Máxima Corriente de entrada nominal (MPPT 1 / MPPT 2)		33.0A / 18.0 A
Máxima CD total		51 A
Máxima corriente de corto circuito del arreglo FV		49.5 A / 27.0 A
Rango de voltaje operación		80 - 1000 VCD
Máximo Voltaje de entrada		1000 V
Voltaje de entrada nominal		655 VCD
Tamaño de conductor admisible de CD		AWG 14 - AWG 6 cobre desnudo
Rango de voltaje MPP		220 - 800 VCD
Número de MPPT		2
DATOS DE SALIDA		PRIMO 10.0-1
Máxima Potencia de salida	240	9995 W
	220	10905 W
	208	9995 W
Máxima corriente de salida continua con Vnom	240	41.6 A
	220	45.5 A
	208	48.1 A
OCPD / Breaker CA recomendado	240	60 A
	220	60 A
	208	60 A
Max. Eficiencia		97.9 %
Eficiencia CEC		96.0 %
Tensión de red		208 / 220 / 240 VCA
Frecuencia nominal		60 Hz
Distorsión armónica total		< 2.5 %
Factor de potencia (cos φ)		1 (ajustable de 0.85 - 1 ind/cap.)
Tamaño de conductor de CA admisible	AWG 10 - AWG 2 cobre sólido / (trenzado / finamente trenzado) AWG 10 cobre o AWG 8 aluminio para dispositivos de protección hasta 60 A, de 61 a 100 A debe ser usado mínimo AWG 8 para cobre o AWG 6 aluminio. AWG 6 - AWG 2 cobre (sólido / trenzado). Multiconducto conectado con AWG 12	

Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

La configuración del inversor On Grid Fronius Primo UL 10.0-1 208-240 incluye varios aspectos clave que optimizan su rendimiento para instalaciones solares conectadas a la red. Aquí hay un resumen de las características y especificaciones relevantes:

Datos de entrada:

- Potencia FV recomendada: 8.0 a 15.5 kWp.
- Corriente máxima de entrada: 33A /18A por cada MPPT.
- Rango de voltaje operativo: 80-1000Vcd.
- Rango de voltaje MPPT: 220-800Vcd.
- Sección admitida en conductor CD: AWG14 – AWG 6. (1.5 a 16 mm)

Datos de salida:

- Potencia máxima de salida: 9995W (208/220/240VCA)
- Eficiencia máxima: 97,9%.
- Tensión de red: 208 / 220 / 240VCA.
- Frecuencia nominal: 60Hz

Configuración Típica:

- **Conexión a Módulos Solares:** Conectar los paneles solares en cadena, asegurándose de no exceder el voltaje de entrada máximo.
- **Conexión a la Red:** El inversor debe estar conectado a la red eléctrica siguiendo las normativas locales.
- **Monitoreo:** Configurar la conectividad a Wi-Fi para habilitar el monitoreo remoto y la gestión de datos de producción.
- **Instalación Física:** Montar el inversor en un lugar protegido y ventilado, asegurando un acceso fácil para el mantenimiento.

Esta configuración permite un aprovechamiento eficiente de la energía solar generada, optimizando la producción y asegurando el cumplimiento de las normativas locales para la conexión a la red.

6.6 Selección de los cables

Figura 25 Cable solar



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

El cable solar está compuesto por un conductor de cobre, lo que le confiere una alta conductividad y resistencia. Este cable cuenta con un aislamiento de material termoestable, como el polietileno reticulado (XLPE), que permite su uso en diversas condiciones ambientales. La temperatura máxima de operación es de 90 °C en ambientes secos y húmedos. Además, los cables solares pueden soportar niveles de tensión que varían entre 600 V y 2000 V, dependiendo de la clasificación específica del cable (ver Figura 25).

Figura 26 Cables de Conexión del Inversor



Fuente: Tomado de Ineldec (2024)

Tabla 13 Características Cables de Conexión del Inversor

Características Cable THHN	
Capacidad de Corriente Nominal	25 A
Sección	Calibre 14 AWG
Diámetro Exterior Aprox.	2.9mm
Peso Total Aprox.	25 kg/km
Temperatura Máxima de Operación	Nominal: 90°C Cortocircuito: 250°C
Resistencia Eléctrica DC a 20°C	8.46 Ohm/km

Los cables de cobre THHN, son cables de cobre suave electrolítico con aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa de poliamida (nylon).

Se usa en instalaciones eléctricas de fuerza, control y alumbrados en interiores o exteriores de tipo residencial, comercial e industrial. Pueden instalarse en bandejas porta cables (CT), ductos y canalizaciones, en sitios secos y mojados, circuitos ramales, alimentadores y de entrada o acometida.

6.7 Selección de la estructura para el panel solar

La Estructura Cubierta Metálica 3 paneles KH915 es un tipo de Estructura para poder situar los paneles solares sobre una superficie de cubierta metálica o panel de sandwich. Para el anclaje de los paneles a la Estructura Cubierta Metálica 3 paneles KH915, se incluyen los presores laterales y centrales para que queden bien sujetos (Ver Figura 27).

Figura 27 Estructura cubierta metálica 1 panel



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

Este modelo de Estructura es apto para todo tipo y tamaño de paneles, desde paneles de 36 células y 12V hasta los modelos más grandes de 400W. Los presores regulables admiten paneles de cualquier tipo de grosor de marco.

6.8 Elementos de seguridad

6.8.1 Interruptores y Disyuntores (Protección de circuitos)

Figura 28 Interruptor general de corriente (IGC):



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

El DPS T2 1000VDC es un protector contra sobretensiones para sistemas fotovoltaicos, diseñado para cortar la corriente de toda la instalación en caso de emergencia. Fabricado

por Tomzn, este dispositivo ofrece alta calidad y desempeño, utilizando materiales retardantes de llama (PA66). Incluye un indicador de falla en rojo y un indicador de operación normal en verde.

Con una corriente de descarga nominal de 20 A, y una corriente máxima de 40 A, ambas con una curva de disparo tipo K, proporciona protección eficaz contra descargas atmosféricas que puedan afectar los equipos fotovoltaicos. Su tiempo de respuesta es de 25 nanosegundos y tiene un voltaje nominal de 1000 VDC. Además, su diseño asegura un bajo consumo de energía y una fácil instalación.

El protector cuenta con un grado de protección IP20 y sus dimensiones son: alto 90 mm, ancho 36 mm, fondo 68 mm.

Figura 29 Disyuntores de corriente continua (CC)



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

Los disyuntores de corriente continua (CC) protegen los paneles solares y los cables de CC contra sobrecargas y cortocircuitos, garantizando la seguridad de la instalación fotovoltaica.

- Disyuntor de corriente DC - Modelo TSL3-63B
- Tipo de polos: 1P+N, 3P+N
- Corriente nominal: 16A, 25A, 32A, 40A, 63A

Este dispositivo asegura una protección eficaz contra fallos eléctricos, contribuyendo a la seguridad general del sistema solar.

Figura 30 Disyuntores de corriente alterna (CA)



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

Se instala en la parte de corriente alterna, es decir, después del inversor, para proteger la conexión a la red y los equipos eléctricos de posibles fallos. Disyuntor de corriente alterna 1P+N 25A.

Modelo: DZ47-63 C25

Material: PA66

Corriente nominal: 25 A

Corriente de protección contra fugas: 30 A

Tensión nominal: AC 230 V / 400 V, 50 Hz

Capacidad máxima de corte de cortocircuitos: 6000 A

Este dispositivo proporciona una protección eficaz contra fallos eléctricos y fugas de corriente, asegurando tanto la red eléctrica como los equipos conectados.

Figura 31 Interruptor diferencial



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

Detecta fugas de corriente hacia tierra y desconecta automáticamente el sistema en caso de fuga peligrosa.

Interruptor diferencial Acti 9 iLD - 2P - 25A - 30mA - Clase A

Modelo: A9R61225

Tipo: RCCB (Residual Current Circuit Breaker)

Número de polos: 2P

Intensidad nominal: 25 A

Red: Corriente alterna (CA)

Sensibilidad ante fugas a tierra: 30 mA

Retardo de protección: Instantáneo

Clase de protección: Tipo A-SI

Posición de neutro: Izquierda

Este dispositivo garantiza una protección rápida y eficaz contra fugas a tierra, desconectando el sistema de manera instantánea para evitar riesgos.

6.8.2 Fusibles de Protección

Figura 32 Fusible de protección para sistemas solares fotovoltaicos NRZ28



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

El fusible de protección NRZ28-20 está diseñado para proteger las líneas de distribución en sistemas fotovoltaicos contra cortocircuitos. Es adecuado para sistemas con una

tensión nominal de hasta 1000Vcc, una corriente nominal de hasta 20A y una capacidad de cortocircuito máxima de 20kA.

Fabricado por Chint Electric, este fusible compacto y de alta capacidad está hecho con materiales de alta calidad, como DMC-2 y H62, y ha pasado rigurosas pruebas. Es de tipo gPV, específico para sistemas fotovoltaicos, y cuenta con un intervalo completo de corte de CC. Cumple con las normativas GB / T 13539.6, IEC60269-6 y posee certificaciones CQC, TUV, CE, entre otras.

Los fusibles se colocan en las conexiones eléctricas clave (como las conexiones entre paneles, cables, inversor y red) para prevenir daños causados por sobrecorrientes. Estos fusibles se funden en caso de un exceso de corriente, interrumpiendo el flujo y evitando daños mayores.

6.8.3 Protección en la Red Eléctrica

Figura 33 Relés para el control de energía en sistemas fotovoltaicos



Fuente: Tomado de SolarPlanet (2023)

Algunos sistemas fotovoltaicos incluyen relés de protección en la interconexión con la red eléctrica. Estos dispositivos desconectan automáticamente la instalación en caso de variaciones de frecuencia, voltaje o cualquier problema en la red que pueda poner en riesgo el sistema los mas utilizados son RS35, RS50 y RS80.

Corriente máxima de conmutación: 35 A (RS35), 50 A (RS50), 80 A (RS80). Aislamiento reforzado: 5000 V / 10 mm. Distancia de separación de contactos: $\geq 2,2$ mm (RS35); $\geq 1,8$ mm (RS50); $\geq 2,05 / 4,1$ mm (RS80). Potencia de retención: 0,1 W. Diseñado para montaje en PCB. Bobinas de corriente continua, clase de aislamiento F (155 °C). Cumple con las normativas EN 60730-1 (VDE 0631, parte 1) y EN 60335-1 (VDE 0700, parte 1). Certificaciones: RoHS.

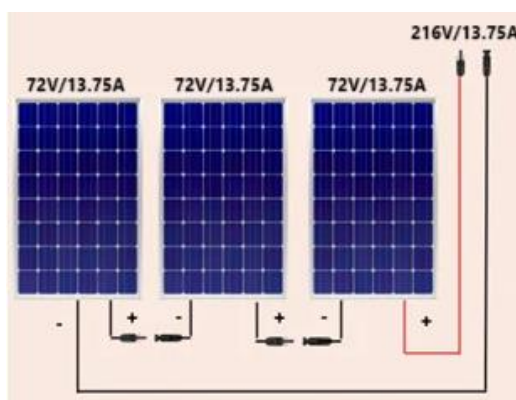
6.9 Diseño de la conexión

Debido a que el voltaje mínimo de operación del inversor es de 80 V, la configuración más adecuada para nuestro sistema solar fotovoltaico es la conexión en serie (Ver figura 34). Esta configuración permite elevar el voltaje de los módulos solares, que en este caso es de 72 V, hasta un rango de 216 V, lo cual asegura que el sistema funcione dentro de los parámetros requeridos por el inversor.

Es importante destacar que, para que el sistema pueda inyectar energía a la red eléctrica, se requiere un voltaje suficiente en la salida del inversor. El inversor debe generar un potencial más alto que el de la red para permitir el flujo de corriente hacia la misma. Si el voltaje del sistema es inferior al voltaje de la red, no será posible inyectar electricidad, ya que no se alcanzará el diferencial de voltaje necesario para que la corriente fluya de manera efectiva.

Por lo tanto, la conexión en serie no solo garantiza que el sistema se mantenga dentro del rango operativo del inversor, sino que también facilita la correcta inyección de energía a la red, optimizando el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Figura 34 Configuración en Serie de Paneles Solares para el Sistema Fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 7

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Para este estudio se llevó a cabo una serie de cálculos y análisis de todo el sistema de energía solar fotovoltaico, revisando principalmente el rendimiento y la eficiencia energética del mismo, en función de los materiales que componen los dispositivos y el análisis de la transferencia de calor en el sistema. Dentro de los componentes del sistema analizado se tienen el inversor, panel solar, elementos de seguridad, cables, entre otros. Se utilizaron las teorías, metodologías y procedimientos propios del cálculo y diseño de sistemas de energía solar fotovoltaico, aplicado al uso de energía en vivienda de tipo comercial, en este caso, para la alimentación de una máquina de refrigeración condicionada por aire. En los análisis y aspectos fundamentales del sistema propuesto, se revisaron y analizaron los materiales y componentes de los paneles solares para determinar los de mayor eficiencia; así como también el comportamiento de las características de los paneles solares ante aspectos fundamentales como la temperatura, encontrando que a mayor temperatura de dichas celdas la eficiencia se reduce considerablemente dado que la energía se libera rápidamente en forma de calor, ya que la región de agotamiento en el semiconductor se hace más delgada haciendo que haya menos impurezas que son las que producen la corriente eléctrica.

Con el desarrollo del presente estudio, se logró además precisar la incidencia de los aspectos meteorológicos en la generación de energía solar fotovoltaica; encontrando que es muy difícil encontrar las condiciones climatológicas perfectas. Sin embargo, las placas solares están pensadas para adaptarse a un amplio rango de temperaturas, que van

desde -40°C hasta $+85^{\circ}\text{C}$. Gracias a ello, funcionan sin problemas tanto en las regiones más frías como en las más cálidas del planeta. Es importante destacar que, aunque los paneles solares son capaces de funcionar en un amplio rango de temperaturas, su eficiencia se ve afectada por la temperatura ambiente. A medida que la temperatura

aumenta, la eficiencia de conversión de energía disminuye, especialmente en climas calurosos, donde puede reducirse entre un 0.3% y un 0.5% por cada grado Celsius sobre los 25°C. En contraste, en condiciones frías, su rendimiento puede mejorar, aunque la acumulación de nieve o hielo puede obstaculizar la captación de luz solar. Por lo tanto, es crucial considerar la temperatura promedio del lugar y una adecuada gestión térmica para maximizar el rendimiento y la durabilidad del sistema fotovoltaico.

Lo que sí puede variar es su eficiencia, que será mayor en climas templados. Dentro del análisis de los materiales que componen los paneles solares, cabe mencionar que los módulos fotovoltaicos están fabricados en silicio, un material semiconductor que cambia sus propiedades a medida que lo hace la temperatura ambiente. Por lo que bajo la influencia solar intensa y la alta temperatura ambiental, el silicio se calienta, provocando una caída de tensión en los módulos y, por tanto, una disminución de la energía generada. Ya dentro del sistema termodinámico de la habitación, teniendo en cuenta una serie de características tanto de los materiales del local como las especificaciones del aire, se logra una respuesta muy rápida de enfriamiento de la habitación, y debido a que este tiene un sistema de inversor se logra una reducción significativa del consumo respecto a un aire acondicionado.

De esta forma se desarrolló el estudio, en el que se evidencia la aplicación de los conceptos físicos adquiridos durante los estudios en el programa para llegar a una propuesta de un diseño con una base científica sólida. El sistema es una fuente de energía limpia y renovable que reduce el impacto ambiental de la vivienda y genera ahorros económicos para el propietario. Desde el punto de vista científico y técnico se considera viable la instalación de esta tecnología para atender la situación o el problema del local dado los estudios anteriormente realizados, se genera una incertidumbre alrededor del tema económico.

7.2 Recomendaciones

Para optimizar el rendimiento del sistema de energía solar fotovoltaico, se recomienda lo siguiente:

- Instalar los paneles solares en un lugar despejado, sin obstáculos que bloqueen la luz solar.
- Utilizar cables de cobre de alta pureza y asegurarse de que las conexiones estén bien hechas y sean eficientes esto ayuda a minimizar las pérdidas de energía en los empalmes entre los paneles y el inversor.
- Utilizar un inversor de calidad que permita aprovechar al máximo la energía generada por los paneles solares.

- Al elegir un dieléctrico, es crucial considerar varios aspectos para asegurar su eficacia y durabilidad. Verifica que tenga certificaciones de calidad (por ejemplo, ISO 9001 e IEC) y que haya superado pruebas de resistencia a la radiación UV y tratamientos contra plagas. Asegúrate de su cumplimiento con normas de aislamiento eléctrico (IEC 60216) y su resistencia a condiciones ambientales como lluvia y humedad, además de su capacidad ante corrosión y desgaste. Debe tener una buena clasificación de protección (como IP68) y ser compatible con otros materiales del sistema.
- Además, se recomienda realizar un mantenimiento regular del sistema fotovoltaico para garantizar su correcto funcionamiento. El mantenimiento debe incluir la limpieza de los paneles solares, la revisión de las conexiones eléctricas y la verificación del estado de los equipos.

Por último, es importante considerar un sistema aislado, ya que es técnicamente viable, se sugiere llevar a cabo un estudio económico, esto es especialmente relevante, ya que la inclusión de una batería incrementará los costos, dado que este componente es consumible y se desgasta con el tiempo en comparación con otros elementos del sistema.

Bibliografía

- Alcaldía Municipal de Aipe. (2018). “*Análisis de estrategias y proyectos de energía solar en el municipio de Aipe – Huila*”. Consultado el día 20 del mes de junio del año 2023. Disponible en: <https://www.google.com/url?client=internal-element-cse&cx=012067830255839863893:y7esaud9glg&q=https://www.huila.gov.co/loa/der.php%3FIServicio%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3Ddescargar%26idFile%3D46813&sa=U&ved=2ahUKEwiH3tH-v5mEAXUNmLAFHaGaAp8QFnoECACQAQ&usq=AOvVaw2hM2UjKo8SLRdONxhA84o>
- Algarin, C. R., & Álvarez, O. R. (2018). “*Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia*”. Espacios, 39(10). Disponible en: <https://ww.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>
- Aparicio, M. P. (2020). “*Radiación solar y su aprovechamiento energético*”. España, Barcelona: Marcombo.
- Arnabat, I. (2023). “*Sistemas de refrigeración y aire acondicionado: compresión y absorción*”. Calor y frio. Consultado el día 20 del mes de junio del año 2023. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>
- Ballesteros Ballesteros, V. (2016). “*Panorama mundial de las energías renovables e importancia de la energía solar fotovoltaica*”. Bogotá, Colombia. Revista Científica, 26, 194– 203. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/download/15348/15162/7982>

- Beltrán, M. V. (2019). “*Unidades de Tierras del Departamento del Huila*”. Colombia: Minagricultura, upra, Gobernación del Huila, POPSPR. Disponible en: <https://www.huila.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=39736>
- Benavides Ballesteros, H. O., Simbaqueva Fonseca, O., & Zapata Lesmes, H. J. (2017). “*Atlas de Radiación Solar Ultravioleta y Ozono de Colombia*”. Colombia: IDEAM, UPME. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- Caiña, C. (2023). “La energía solar en números”. Revista The Eco Experts. Disponible en: <https://www.theecoexperts.com/es/placas-solares/estadisticas>
- Cárdenas, J. (2021). “¿Qué potencia de aire acondicionado necesito? Fórmula y factores de cálculo”. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-calcular-la-potencia-del-aire-acondicionado-correctamente.html>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2019). Resolución CREG 024 de 2019: Normas para la interconexión de pequeños sistemas de generación distribuida. <https://www.creg.gov.co/>
- Colombia. “*Ley 1715 de 2014*”. Esta ley establece el marco regulatorio para el desarrollo de energías renovables no convencionales en Colombia. Capítulo V: Del desarrollo y promoción de la gestión eficiente de la energía. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Colombia. “*Resolución CREG 030 de 2019*”. Establece las condiciones técnicas y comerciales que deben cumplir los sistemas de generación distribuida con fuentes no convencionales de energía, como la energía solar. Artículo 15. Disponible en: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2019.htm
- Colombia. “*Norma Técnica Colombiana NTC 2050 Código Eléctrico colombiano*”. Establece las condiciones técnicas que deben cumplir los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica. Sección 690. Disponible en:

- [https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma %20N TC 2050 98 codigo electrico col.pdf](https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20N%20TC%202050%2098%20codigo%20electrico%20col.pdf)
- Echeverría Reina, A. J., García Arredondo, J. C., & Panesso Tascón, J. (2022). *“Implementación de medidas de eficiencia energética para la construcción factible de un refrigerador comercial con suministro de energía solar fotovoltaica”*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 32(2), 61–84. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rcin.5783>
- Flores Rivera, N. R., & Domínguez Ramírez, M. A. (2017). *“Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio”*. Maestría en Energías Renovables. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. CIMAV. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/791/1/Norma%20Rosario%20flores%20Rivera%2C%20Miguel%20%C3%81ngel%20Dom%C3%ADnguez%20Ram%C3%ADrez%20Maestr%C3%ADa%20en%20Energ%C3%ADas%20Renovables.pdf>
- Green, M. A., & Emery, K. (2019). Solar cell efficiency tables (version 55). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 27(5), 545-561. <https://doi.org/10.1002/pip.3134>
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Zou, J. (2015). Solar cell efficiency tables (version 45). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 24(1), 3-12. <https://doi.org/10.1002/pip.25239>
- González, A. (2021). Cálculo de cargas térmicas y diseño de espacios: Un enfoque práctico. Editorial Constructiva.
- Hurtado Morales, M. (2014). *“Síntesis y caracterización de películas delgadas del semiconductor Cu₂ZnSnS₄ y su uso como capa absorbente en celdas solares”*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52170>

- Inarquia. (2022). "4 proyectos innovadores con placas solares. *Energías renovables*". Consultado el día 20 del mes de junio del año 2023. Tomado de: <https://inarquia.es/proyectos-innovadores-placas-solares/>
- Morales, Dayana C., & Del Pozo, Freddy G.. (2021). Una breve introducción a la electrónica orgánica: celdas solares y transistores. *Maskay*, 11(2), 14-22. <https://doi.org/10.24133/maskay.v11i2.1927>
- Rodríguez Meza, M. A., & Cervantes Cota, J. L. (2006). "El efecto fotoeléctrico". *CIENCIA ergo-sum*, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 13(3), 303-311. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10413309.pdf>
- Salazar Massaro, M. I. (2020). "Estudio de viabilidad de un sistema solar de refrigeración para la implementación en campamentos de extracción en la selva peruana". [Trabajo de Investigación de Bachiller, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12815/127>
- Sampieri, R. H., Fernández collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). "Metodología de la investigación". McGraw Hill Education. / Interamericana Editores, S.A. DE C.V 6ª edición, México D.F. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Solmic (Un futuro brillante). (2023). "Blog: Aprende solar". Disponible en: <https://www.solmic.co/aprende-solar>
- Style, O. (2012). "Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo". ISBN: 8461578872. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Energ%C3%ADa_Solar_Aut%C3%B3noma.html?id=cNJB5tdbcJ0C&redir_esc=y
- Winter, N. (2022). "Renewables 2022 Global Status Report United States of America Factsheet". USA: Ren-21. Disponible en: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Fact_Sheet_USA.pdf

Zafra Galvis, O. (2006). "*Tipos de Investigación*". Revista Científica General José María Córdova, vol. 4, núm. 4, 2006, pp. 13-14 Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" Bogotá, Colombia. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/4762/476259067004.pdf>

Anexos

Entrevista:

JL: Buen día profesor Sergio, gracias por tomarte el tiempo de participar en esta entrevista. Mi nombre es Juan Losada y hoy me gustaría hablar contigo sobre la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en un establecimiento comercial en Aipe, Huila. ¿Estás listo para comenzar?

SC: Buen día, claro que si Juan con mucho gusto, estoy dispuesto a responder las preguntas relacionadas con este tema tan importante como lo es la energía solar. ¡Empecemos!

JL: ¿Qué factores se deben tener en cuenta al estudiar la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado?

SC: Los principales factores son: La ubicación geográfica, el área disponible, y la capacidad de carga de la red.

En cuanto a ubicación se debe tener en cuenta las condiciones como la radiación solar, sombras adyacentes, coordenadas geográficas.

La eficiencia se verá también afectada por la cantidad de paneles que se pueden poner físicamente sobre la vivienda, es decir si los cálculos dictan, por ejemplo, que se necesitan 20 paneles de 500 W, eso quiere decir que más o menos se necesitan unos 40 m² para la instalación, y si la vivienda no cuenta con ese espacio el sistema no podría ser muy.

Finalmente, se debe tener en cuenta tanto la carga instalada en la casa como la capacidad que se puede inyectar a la red, puesto que, al ser una instalación conectada a la red, la capacidad del sistema solar fotovoltaico estará limitado por la cantidad de energía que se puede inyectar al transformador. Esto es muy importante sobre todo si ya hay sistemas solares instalados puesto que la capacidad del transformador es limitada.

JL: ¿Cuál es la importancia de evaluar la eficiencia energética de este tipo de sistemas en términos de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂?

SC: Afortunadamente en el país contamos con una producción de energía limpia y de bajas emisiones ya que la mayor parte de la generación provienen de hidroeléctricas, por lo que la reducción de emisiones en este caso no sería muy grande. Sin embargo, la instalación fotovoltaica ayuda en momentos de escasez y bajo nivel de los embalses como está pasando en estos momentos en el país a causa del fenómeno del niño

JL: ¿Qué metodologías o herramientas se utilizan para medir la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico en combinación con un aire acondicionado?

SC: El tema del aire acondicionado es bastante complejo, ya que, al contar con un motor, este consume potencia activa y reactiva. El sistema fotovoltaico solo ayuda al ahorro de potencia activa, esto puede ser un problema ya que las empresas distribuidoras de energía “castigan” al usuario cuando la energía reactiva consumida supera en gran medida a la activa. Por esto se debe calcular el sistema para que el ahorro de energía activa no sea del 100 % y se permita mantener una buena relación entre la energía activa/reactiva, o contar con herramientas como bancos de condensadores que ayuden a reducir las pérdidas por potencia reactiva

JL: ¿Cuáles son los principales desafíos que se enfrentan al analizar la eficiencia energética de este tipo de sistemas en el contexto actual?

SC: Como lo mencione anteriormente los aires acondicionados presentan un desafío debido a las pérdidas energéticas inducidas por el motor. También, desde mi opinión las empresas distribuidoras de energía este momento ponen muchas trabas a los usuarios que desean mudar a sistemas fotovoltaicos. Por eso se debe plantear nuevas estrategias para reducir los trámites o simplificar los trámites como se hace actualmente en el exterior.

JL: ¿Qué recomendaciones podría dar para maximizar la eficiencia energética de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica en una unidad de aire acondicionado en esta región?

SC: Siempre se debe tener en cuenta las consideraciones de diseño fotovoltaico las cuales están muy bien establecidas garantizando la máxima eficiencia del sistema. Actualmente existen software que permiten simular y proyectadas sombras y su efecto sobre los paneles. Uno de los factores que poco instaladores tienen en cuenta es la inclinación y la orientación de los paneles. Adicionalmente el mantenimiento del sistema (por ejemplo, limpieza constante) n un mejor desempeño a lo largo de la vida útil del sistema,

JL: ¿Cuáles son los beneficios económicos y ambientales de implementar medidas para mejorar la eficiencia energética en este tipo de sistemas en un establecimiento comercial en Aipe, Huila?

SC: En general los beneficios económicos son el no pago de electricidad por 25 años con un retorno de la inversión entre 6 a 7 años. Beneficios tributarios como reducción del impuesto de renta del establecimiento comercial.

JL: ¿Qué impacto puede tener en la comunidad local la implementación de prácticas sostenibles en términos de eficiencia energética en este tipo de establecimientos?

SC: La instalación de este tipo de sistemas en establecimientos comerciales sirve como ventana didáctica ya que los clientes pueden concientizarse del uso y los beneficios de estos sistemas.

JL: ¿Cómo se puede incentivar a las empresas y hogares en Aipe, Huila, a adoptar tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético en sus sistemas de aire acondicionado?

SC: Creo que para los comerciantes se puede enfatizar bastante en los beneficios tributarios y el punto de retorno de la inversión, además que la instalación solar puede servir como punto de atracción para los clientes sobre todo si se cuenta con un diseño atractivo, además dependiendo del diseño se pueden usar los paneles como cubiertas mejorando la comodidad del lugar.

JL: ¿Qué políticas públicas podrían implementarse a nivel local para promover el uso de sistemas solares fotovoltaicos en combinación con aires acondicionados y mejorar la eficiencia energética en la región?

SC: Las políticas actuales son buenas, ya que se cuenta con excepción del IVA en los componentes, descuentos tributarios. Creo que se debe mejorar en cuanto a créditos de bajo interés o cero intereses para la instalación ya que implica un costo inicial alto. Además, las empresas como la Electrificadora del Huila deben facilitar los trámites además de capacitar a los instaladores solares.

JL: ¿Qué papel juega la capacitación y concientización de la población local en la adopción de medidas para mejorar la eficiencia energética en sus hogares y negocios?

SC: Juega un papel muy importante ya que la gente debe entender que los recursos se están acabando y debemos tratar de ahorrar lo que más se pueda. Aunque contamos con hidroeléctricas, la red esta sobrecargada y más en tiempos como estos de sequía.

JL: ¿Cómo pueden las empresas de servicios públicos en Aipe, Huila, contribuir a la promoción de la eficiencia energética en la comunidad y en la implementación de sistemas solares fotovoltaicos?

SC: Lo primero es facilitar los trámites ya que en estos momentos son ellos quienes bloquean muchos de las instalaciones fotovoltaicas. Adicionalmente este tipo de empresas deben dar un salto tecnológico e introducir medidores inteligentes ya que estos le muestran al usuario en tiempo real su consumo lo que le permite entender mejor como ahorrar energía en su vivienda. Estos medidores ya funcionan en casi todas las casas de Europa y no son costosos

JL: ¿Qué aspectos deben considerarse al diseñar e implementar un plan de acción para mejorar la eficiencia energética en sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en la zona?

SC: Primero los aspectos técnicos: Radiación solar, estudio de cargas, acceso a la red eléctrica. Luego el aspecto económico, créditos de fáciles accesos, nuevos modelos de financiación, etc. Capacitación técnica a los instaladores por medio de la electrificadora para mejorar los tiempos de los trámites.

Tabla 14 Propiedades generales del silicio

Propiedad	Valor
Densidad atómica	$5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ $5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$
Peso atómico	28.09
Densidad (ρ)	2.328 g cm^{-3} 2328 kg m^{-3}
Banda prohibida de energía (EG)	1.1242 eV
Concentración de portador intrínseco (ni) a 300 K*	$1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$
Concentración de portador intrínseco (ni) a 25°C*	$8.6 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ $8.6 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$
Constante de celosía	0.543095 nm
Punto de fusión	1415 °C
Conductividad térmica	$1.5 \text{ Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$ $150 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Coeficiente de expansión térmica	$2.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Densidad efectiva de estados en la banda de conducción (NC)	$3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ $3 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$
Densidad efectiva de estados en la banda de valencia (NV)	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ $1 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$
Permitividad relativa (ϵ_r)	11.7
Afinidad electrónica	4.05 eV
Coeficiente de difusión del agujero (Dh)	$kT/q \mu_h$