
**SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUPLIR
LA ENERGÍA DE UN AIRE ACONDICIONADO DE
USO RESIDENCIAL.**

YERSON FERNEY RICO CACUA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, mayo 31 DEL 2022

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUPLIR LA ENERGÍA DE UN AIRE ACONDICIONADO DE USO RESIDENCIAL.

YERSON FERNEY RICO CACUA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director: JUAN CARLOS SERRANO R.
PhD. en Ingeniería Mecánica
jcserrano@unipamplona.edu.co**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, mayo 31 del 2022**

Dedicatoria

A mi gran querida madre Rosa Omaira Cacua

Que ha estado siempre en apoyo incondicional, esmero y esfuerzo, enseñándome valores los valores más a menos para tratar de ser una persona con principios en la vida.
“la vida se vuelve más bella cuando tratas de sonreír cada día”

Al viejo querido del alma José Antonio Rico

Que me ha enseñado muchas formas de pensar, la paciencia y perseverancia, y a su gran solución de problemas, y antes ese apoyo como hombre ejemplar que me ha inculcado
“el único modo de hacer un gran trabajo es amar lo que haces”

A mi hermano Duván Antonio Rico Cacua

Con su gran malgenio pero el apoyo de hermano y respeto, a la inspiración y preocupación de que termine mis más anhelados proyectos.
“Un sueño no se hace realidad por arte de magia, necesita sudor, determinación y trabajo duro”

A mis dos padrinos; Manuel Rico y Raúl Gómez

En el camino estas grandes personas me han enseñado la perseverancia, la buena toma en las decisiones y valores buenos, el gran ejemplo es incomparable.
“Escoge un trabajo que te guste, y nunca tendrás que trabajar ni un solo día de tu vida”

A la gran familia

Que, ante la recocha, me han dado su apoyo, ánimos, y gratas enseñanzas, además de los valores bonitos de humildad, y honradez.
“la unidad y el apoyo es la base, en el crecimiento de personas admirables”

A mis amigos de carrera, Martín, Oscar, Guarrry, Alejandro y Carlos

Grandes aventuras, grandes esfuerzos en el apoyo académico e igualmente fuera de este, se cultivó una bonita amistad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo incondicional de mis padres y hermano, por el gran ánimo para tener éxito por cada reto que he asumido, a mis tíos y padrinos por los grandes consejos que me han dado en la vida, y a mi novia por su apoyo y fortaleza.

Agradezco a los maestros que me han inculcado el conocimiento a lo largo del aprendizaje hasta ahora, en especial a los maestros de Ingeniería Mecánica, la cual dieron la base para el desarrollo de este proyecto de grado, y en las demás áreas del programa, que a partir de los conocimientos básicos y a manera de ejemplo me inculcaron el pensar de un ingeniero mecánico, el cual se deriva como *un transformador de la energía*.

Agradezco sinceramente al director de este proyecto, por guiarme, corregirme, enseñarme y darme más sabiduría para realizar este proyecto de grado.

A mis compañeros y amigos de estudio, que nos apoyamos para superar día a día los retos propuestos, y a todas las personas que han sido y son participe de mi vida, que poco o mucho han dejado un útil granito de arena.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	11
1. ESTADO DEL ARTE	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Marco teórico	16
2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	23
2.1 Estadística	23
2.1.1 Tamaño de la muestra	23
2.1.2 Encuesta.	23
2.1.3 Distribución frecuencia	24
2.1.4 La media	24
2.1.5 La mediana	25
2.1.6 La moda	25
2.2 Estimación del consumo	25
2.3 Ángulo óptimo de inclinación	26
2.3.1 Distancia tierra-sol	26
2.3.2 Declinación solar	27
2.3.3 Ángulo de salida del sol	28
2.4 Radiación solar global	31
2.4.1 Ángulo óptimo de inclinación	31
2.4.2 Índice de transparencia atmosférica.	31
2.4.3 Radiación difusa de la superficie horizontal.	31
2.4.4 Radiación directa en la superficie horizontal.	32
2.4.5 Factor de conversión geométrico.	32
2.4.6 Radiación directa en la superficie inclinada a un ángulo β .	32
2.4.7 Radiación difusa en la superficie inclinada a un ángulo β .	32
2.4.8 Radiación global en la superficie inclinada a un ángulo β .	33
2.5 Determinación del generador fotovoltaico	33
2.5.1 Número de paneles fotovoltaicos	33
2.5.2 Número de módulos en serie	33
2.5.3 Número de módulos en paralelo	33
2.6 Determinación de los componentes electromecánicos	34

2.6.1	Dimensionado del bando de baterías	34
2.6.2	Dimensionado del regulador	34
2.6.3	Dimensionado del inversor.	35
3.	RESULTADOS	36
3.1	Determinación de la radiación solar promedio existente en el municipio de los Patios, Norte de Santander.	36
3.1.1	Para la radiación de la NASA.	36
3.1.2	Radiación para la UPME.	38
3.2	Determinación de la configuración ideal para un sistema de paneles solares	41
3.2.1	Tamaño de la muestra	41
3.2.2	Análisis de la encuesta	42
3.2.2.1	Estimación del consumo.	46
3.2.3	Ángulo de inclinación al sol.	47
3.2.4	Radiación global sobre una superficie inclinada.	47
3.2.5	Número de paneles.	48
3.2.5.1	Número de paneles en serie.	49
3.3	Definir los componentes electromecánicos del sistema solar fotovoltaico.	50
3.3.1	Banco de baterías.	50
3.3.2	Dimensionado del regulador.	51
3.3.3	Dimensionado del inversor.	51
4.	ANALISIS ECONOMICO	53
5.	CONCLUSIONES	58
6.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	59
7.	Bibliografía	60
8.	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Unidades de vivienda para el municipio de los Patios. (DANE, 2018)	41
Tabla 2: Intervalos de frecuencia, tanto para jornadas en la tarde como por la noche, ya que en la jornada de la mañana nadie lo utiliza, por tanto, se ignora.	44
Tabla 3: Intervalos de frecuencia para la potencia consumida en una vivienda, tanto para los hogares que utilizan EAA como para los que no.	45
Tabla 4: Ángulos necesarios para calcular la radiación global sobre una superficie inclinada.	47
Tabla 5: Datos del aeropuerto Camilo Daza, para una superficie inclinada.	48
Tabla 6: Datos experimentales para el aeropuerto camilo Daza.	49
Tabla 7: Selección de baterías. (<i>UCG316-12 Dimensions F11 Terminal</i> , 2022) *, (<i>Batería de 250Ah 12V GEL Maxpower - Solartex Colombia</i> , 2022) **, (<i>Batería de GEL 12V 250Ah Newmax SG 2500H Emergente Energía Sostenible</i> , 2022) ***.	50
Tabla 8: Selección del regulador. (<i>Controlador Carga Solar 60A PWM 12/24VDC AllPowers</i> , 2022)*, (<i>Controlador Regulador De Carga PWM 60A Con Puerto USB</i> , 2022) **, (<i>Controlador MPPT 60A 12/24/48V Powest</i> , 2022) ***.	51
Tabla 9: Selección de inversores. (<i>Inversor Victron Phoenix 12V 1200VA 120V VE.Direct 5-15R</i> , 2022) *, (<i>Inversor Growatt 1500W MIC 1500TL-X MPPT</i> , 2022)** (<i>Inversor Must PV3000 LMPK 1500w 12V 120v Mppt 80A</i> , 2022)***	52
Tabla 10: Costos por elementos del sistema.	53
Tabla 11: Calculo para hallar el año del punto de equilibrio.	54
Tabla 12: Calculo del VAN para un periodo de 20 años.	56
Tabla 13: Tasa interna de retorno (TIR), viabilidad según a diferentes tasas de descuento.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Métodos para producir refrigeración.(Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017)	17
Figura 2: Esquema con los componentes principales de las enfriadoras por absorción (López Villada et al., 2010)	19
Figura 3:Esquema de los componentes principales de las enfriadoras por compresión. (López Villada et al., 2010)	19
Figura 4: Aire acondicionado solar eléctrico. (Elías et al., 2021)	21
Figura 5: Clases de células fotovoltaicas (Innovación y Cualificación, 2017).	22
Figura 6: Diferencia entre los montajes de paralelo y en serie de los paneles solares. (Innovación y Cualificación, 2017)	22
Figura 7: Modelo de encuesta que se realizó en el municipio de los Patios.	24
Figura 8: Orbita de la tierra alrededor del sol. (Luque & Hegedus, 2003)	28
Figura 9: Posición relativa Tierra-Sol al mediodía de un día de declinación negativa (invierno en el hemisferio norte y verano en el hemisferio sur). (Luque & Hegedus, 2003)	28
Figura 10: Posición del sol en relación con un punto fijo de la tierra. (Luque & Hegedus, 2003)	29
Figura 11: La trayectoria del sol correspondiente a un día de invierno y verano representada sobre la esfera celeste. (Luque & Hegedus, 2003)	30
Figura 12: Altitud solar y se presenta frente al azimut ψ_s y también se visualiza la hora solar ω . (Luque & Hegedus, 2003)	30
Figura 13: Pestaña para seleccionar los datos en el POWER de la NASA. (NASA, 2020)	37
Figura 14: Datos de radiación de la NASA, elaboración propia y tomados de (NASA, 2020).	38
Figura 15: Mapa de radiación de Colombia dado por el IDEAM la cual es una subdivisión de la UPME. (IDEAM, 2014)	39
Figura 16: Promedio mensual de radiación global para Cúcuta, tomado de (IDEAM, 2014)	39
Figura 17: promedio mensual de la radiacion global acumulada del aeropuerto camilo Daza de Cucuta (IDEAM, 2020).	40
Figura 18: Error en la diferencia de los datos de la NASA y de la UPME.	41
Figura 19: Hogares en los que poseen o no un EAA.	42
Figura 20:Cantidad de EAA que se encuentran en un hogar.	43
Figura 21: Tipo de EAA más adquirido en los hogares.	43

Figura 22: Uso de EAA en hogares del municipio de los Patios según la encuesta realizada.	45
Figura 23: Uso de EAA en hogares del municipio de los Patios según la encuesta realizada.	46
Figura 24: Radiacion global sobre una superficie inclinada, para los datos experimentales del aeropuerto Camilo Daza.	48
Figura 25: Esquema de la organización de los componentes del sistema.	52
Figura 26: Grafica en que se muestra el punto de equilibrio, se adiciona un año más, a la intersección de las dos rectas.	55
Figura 27: Tasa interna de retorno se muestra que el maximo valor que puede tomar es cercano al 10%.	57

RESUMEN EXTENDIDO

Se estudió la implementación de módulos fotovoltaicos a un equipo de aire acondicionado (EAA) con una potencia de refrigeración de 12000Btu/h, para el municipio de los Patios, Norte de Santander. Para hacerlo posible, se obtuvo la radiación global sobre una superficie horizontal, a partir de las bases de datos de la NASA, la UPME y el aeropuerto Camilo Daza.

Los datos de radiación se transformaron por medio de cálculos en radiación global sobre una superficie inclinada, a partir de esta conversión se calculó el número de paneles fotovoltaicos de acuerdo al consumo del EAA, junto con las pérdidas asumibles en el sistema.

Luego se determinaron los componentes electromecánicos, como el inversor, baterías y el regulador, necesarios para que el EAA pueda funcionar armoniosamente con los módulos fotovoltaicos. A su vez se hizo un estudio económico, para determinar la viabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión del sistema.

1. INTRODUCCION

La demanda energética global crece exponencialmente, en donde uno de los enfoques principales a trabajar es el del rendimiento energético y económico. Es por esto que surge la necesidad de la búsqueda de alternativas para garantizar la seguridad energética y la rentabilidad de la misma. A esto se une el impacto ambiental generado por las termoeléctricas y el uso de combustibles fósiles el cual representa el 80% de la energía primaria consumida. El cambio climático y la tasa de aumento poblacional se posicionan como dos de las principales razones para el impulso de la mejora energética a nivel global, donde el aumento del consumo energético puede llegar al 50% en el año 2030. Por lo tanto, se requiere de la implementación de nuevas fuentes de energía, entre las que se encuentran la energía solar, la energía eólica, la biomasa, etc. que son las fuentes de energía renovables más utilizadas actualmente y se posicionan como las principales reemplazantes del uso de combustibles fósiles. (Kapilan et al., 2022)

Actualmente Colombia cuenta con plantas de energía hidroeléctricas y termoeléctricas, donde las termoeléctricas producen gases de efecto invernadero en grandes cantidades como lo son: el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso entre otros, (Seiler, 2002), que como se denota, son tecnologías que no son muy limpias ante el medio ambiente. Ante la necesidad de hacerle frente a la contaminación se han planteado muchas ideas ecológicas a los EAA (Health et al., 2018; Sandra Cortes et al., 2019), algunas de ellas son; la implementación de paneles solares y la energía solar térmica, ya que se estima que la energía recibida en la tierra por parte del sol puede cubrir la demanda anual, además este tipo de energía se ha convertido en una forma de energía económicamente bien posicionada. (Alrawi et al., 2022; Br. et al., 2017) y la energía térmica solar (Torres & Suárez, 2018).

La presente investigación se enfoca en estudiar un sistema donde se genere energía limpia, para suplir un equipo de aire acondicionado (EAA) de 12000 BTU/h, actualmente el planeta sufre de un calentamiento cada vez más grave, debido a los gases de efecto invernadero que se producen, como lo son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso entre otros (Seiler, 2002).

Ante la necesidad de hacerle frente a la contaminación se han planteado muchas ideas ecológicas a los EAA algunas de ellas son; la implementación de paneles solares (Br. et al., 2017) y la energía térmica solar (Torres & Suárez, 2018). Por lo que en este documento se plantea la energía fotovoltaica ensamblada a un EAA donde luego se verificará su viabilidad. Donde se hará un estudio del comportamiento de las personas que usan estos equipos, verificando mediante una encuesta el consumo y las horas de uso de un EAA, luego de este comportamiento determinar la cantidad de energía que se consume según el EAA de acuerdo a las

horas de uso, para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios y finalmente verificar la viabilidad de la implementación de este sistema.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La energía solar se caracteriza por ser un tipo de energía abundante, sin costo y amigable con el medio ambiente. Este tipo de energía está siendo ampliamente implementada en la iluminación, calefacción y generación de energía eléctrica. La industria fotovoltaica presentó un aumento del 49.5% de aumento en los últimos 5 años, se prevé que la cobertura de la energía solar va a ser del 11% de la producción mundial para el 2050. Lo que la posiciona como una de las principales fuentes de energía a nivel mundial, esto condiciona a muchos países a tomar medidas y comenzar a adquirir progresivamente las tecnologías propias de este tipo, llegando a incentivar la producción en masa, la mejora de la eficiencia de los dispositivos y en consecuencia dar una mayor rentabilidad. (Chandrasekar & Senthilkumar, 2021; Diner, 2011)

La implementación de los sistemas de generación de electricidad fotovoltaica se caracteriza por ser sistemas confiables por su rendimiento, el bajo costo de mantenimiento, ser una fuente de energía libre, no produce ningún tipo de contaminación sonora ni atmosférica y cuenta con una grande disponibilidad. Teniendo en cuenta estos factores anteriores y los factores económicos la viabilidad de este tipo de sistemas se alcanza entre los 7 a 10 años para tasas de interés del 4% y 8% usando baterías e interconexión a la red. (Silveira et al., 2013)

Los sistemas compuestos de paneles solares para la generación de energía eléctrica, son una alternativa viable para el consumo energético donde se puede obtener un ahorro del 70% comparado con el costo de la energía eléctrica convencional. Además, se puede llegar aprovechar 750kWh/año que representa una reducción de 0.13 toneladas por año de dióxido de Carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero. (Blandón et al., 2016)

Parte de la energía eléctrica que se consume, se utiliza para suplir las necesidades de cada hogar colombiano, que en promedio consume 150kW donde el 48% de esa energía se utiliza en la refrigeración (Minenergía, 2020), lo que presenta costos en la energía aplicada a un EAA. La tecnología de paneles solares fotovoltaicos podría ayudar a cubrir la demanda del 48% de la energía suministrada por la red eléctrica para el EAA, por eso se hace evidente calcular un sistema para la generación de

energía con paneles solares, por lo que cubriría la demanda energética de un EAA de 12000 BTU/h para uso residencial.

1.2 OBJETIVOS

Con el fin de solucionar el problema propuesto se proponen los siguientes objetivos:

Objetivo General

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica a partir de paneles solares para suplir la demanda de un EAA de uso residencial.

Objetivos específicos

1. Determinar la radiación solar promedio existente en el municipio de los Patios, Norte de Santander.
2. Determinar la configuración ideal para un sistema de paneles solares.
3. Definir los componentes electromecánicos del sistema solar fotovoltaico.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

(Yao et al., 2020), realizaron el estudio de aires acondicionados accionados por medio de energía solar fotovoltaica. Construyeron seis prototipos con diferentes tamaños de panel, con el fin de verificar el funcionamiento de los mismos a partir de la irradiancia solar. Se utilizó una batería para almacenar la energía, un inversor y un compresor. Como parámetros de diseño establecieron la relación entre la potencia máxima y la carga de poder (rpL). Los estudios mostraron que para una irradiancia de 600 W/m^2 y un rpL de 1.71, se alcanza una probabilidad de operación instantánea mayor a 0.98. Además, se realizó el análisis para el sistema en conjunto, donde estimaron el tiempo necesario para la carga de la batería y las condiciones según la radiación incidente.

(Li et al., 2020) Propusieron un método actualizado para el análisis de sistemas fotovoltaicos en lapsos de tiempos de diez horas, donde se consideran los cambios climáticos repentinos para el diseño de aires acondicionados de accionamiento directo. Como primera etapa, seleccionaron el método óptimo para el análisis basado en la coincidencia de energía oportuna. En la segunda etapa, simulaban la generación y consumo de energía para diferentes condiciones climáticas. Los índices tenidos en cuenta fueron autosuficiencia horaria, autoconsumo horario, probabilidad de energía cero y utilización de generación fotovoltaica. Los estudios mostraron que las condiciones climáticas influyen directamente en el consumo y adaptación energética, además la posibilidad de generación de energía fotovoltaica que cubre de forma satisfactoria el consumo eléctrico de los aires acondicionados, mejorando la autosuficiencia dependiendo de los lugares donde sea implementado.

(Nicolas et al., 2020), calcularon un sistema fotovoltaico de 225 paneles solares con un autoconsumo del 60% que alimentan a 16 equipos de aire acondicionado (EAA), donde la carga térmica es de 215 kW. El pronóstico confirmó una recuperación de la inversión a mediano plazo. En el aspecto de la contaminación ambiental, por medio de la implementación de este sistema mostró una reducción de 93 toneladas de dióxido de carbono al año. Este montaje permite una cobertura a partir de la energía solar de 150,533 kWh anualmente. Con las cifras obtenidas constataron que este tipo de generación de energía es más viable que el método de absorción por colectores, que fue la otra metodología estudiada.

En (Arencibia Carballo & Gustavo, 2016) analizaron el montaje realizado, a partir de paneles solares fotovoltaicos, generaron 85 TW/h por hora de energía eléctrica, cantidad de energía que puede suplir el consumo energético de un total de 100 millones de personas en el 2011. Europa es el continente que lidera esta implementación con una capacidad instalada es de 51 GW, en segundo lugar, se encuentra Japón con 5 GW, seguidamente se encuentra EE. UU, con 4.4 GW. El principal generador de energía en Europa es España con 3,523 GW. Con estas

cifras se puede garantizar que la energía solar fotovoltaica pueda ser implementada para uso de la vida diaria. América latina se encuentra entre las regiones que implementan a baja escala este tipo de energía, donde las aplicaciones llevadas a cabo hasta ahora son a baja escala.

En el estudio de (QUILES et al., 2016), analizaron un EAA con sistema *inverter*, conectado a paneles solares fotovoltaicos, donde se planteó un estudio durante un periodo de 4 meses, funcionando 12 horas cada día. Los resultados mostraron que es posible alcanzar una contribución de energía solar fotovoltaica al EAA superior en 50% durante un mes de verano.

Otra opción de contribuir energéticamente al funcionamiento de un EAA, es aplicar el método de absorción, el cual consiste en aprovechar la energía solar térmica utilizando un captador parabólico que garantice 3.5kW para calentar la solución de amoníaco-agua. Esto genera una alternativa ecológica, ya que se ha demostrado que permite un ahorro de 4900kW al año, equivalente a 1764 litros de petróleo, y representando una recuperación de 1,2 años respecto a la inversión de 5000 CUP (Peso cubano) (Torres & Suárez, 2018).

Por otra parte (Safizadeh et al., 2016) estudio un nuevo sistema de aire acondicionado de bajo consumo eléctrico que consta de una unidad de membrana, un sistema de deshumidificación absorptivo enfriado por evaporación (llamado sistema ECOS) y una unidad de enfriamiento convencional de alta eficiencia. Aquí la deshumidificación del aire se realiza mediante una combinación de la unidad de membrana y el sistema ECOS, y el enfriamiento sensible del aire se realiza mediante un enfriador convencional de alta eficiencia y en parte mediante el dispositivo de membrana. Para encontrar un equilibrio optimizado de los tres componentes del EAA, Se desarrolla un enfoque de simulación basado en optimización que utiliza un algoritmo genético. La combinación optimizada resultante, tiene el potencial de ahorrar más del 50% del costo operativo de por vida del sistema en comparación con los sistemas convencionales que suministran aire fresco al 100% (Safizadeh et al., 2016).

(Parrado et al, 2019) realizaron la implementación de un sistema solar fotovoltaico para suplir energía a un edificio en la Universidad Industrial de Santander (UIS). Realizaron el montaje de 37 paneles los cuales general 9,63 kW, que pueden ser monitoreados en tiempo real y de forma individual con el fin de verificar su interacción con horticultura y techos verdes. Como agregado fueron instalados medidores para el monitoreo de 300 variables eléctricas de la instalación.

(Cortés & Torres 2019), Realizaron la implementación de celdas fotovoltaicas para cubrir el gasto energético de un aire acondicionado en un Data Center en la ciudad de Bogotá Colombia, con el fin de reducir el costo por consumo energético de la red local e incentivar el uso de las energías renovables. Por medio del respectivo análisis, se pudo llegar a estimar un total de 39 celdas, donde la reducción del

consumo es de un 40%. También determinaron que el sistema On Grid, es el más viable para la implementación teniendo en cuenta variables como inversión inicial y costos de mantenimiento. Como primera etapa se realizó un análisis operativo, teniendo en cuenta la macro y micro localización del Data center, donde se analizó el comportamiento de la radiación solar en dicha ubicación y otros factores sociales. En la segunda etapa se realiza una simulación del proceso de consumo eléctrico a partir de los paneles y así determinar la cantidad requerida según el consumo para posteriormente en la tercera etapa realizar el análisis financiero de los dispositivos requeridos en la instalación. Finalmente realizaron el estudio de recuperación de la inversión según el costo de los suplementos y el gasto de energía ahorrada.

(Flórez et al, 2014), realizaron la implementación de energía solar y eólica para el abastecimiento del consumo de energía eléctrica de las cabañas de la granja experimental de Villa Marina. El cual consistió de una toma de datos de ambos tipos de energía para el proceso de estudio y posterior montaje de los componentes, de esta forma se pudo evidenciar el potencial energético de la zona y como este puede influir en la disminución del consumo energético de la red local. Los dos paneles y aerogenerador instalados proporcionan voltajes de 12, 24 ,48 voltios que son transformados mediante un inversor a los 110 voltios convencionales de uso doméstico y tecnológico. La inversión inicial requerida fue de 26 millones de pesos colombianos con un tiempo estimado de vida útil de 20 años.

2.2 MARCO TEÓRICO

El EAA es un equipo que suministra las condiciones de temperatura, humedad y calidad del aire en los espacios habitados. Para lograr este fin, los equipos de EAA utilizan diversos sistemas, como lo son: en su parte mecánica (el compresor), el tipo de fluido de trabajo (refrigerante), lugar de trabajo (edificio, cuarto, etc.), entre otras características. Lo anterior hace que, en última instancia, sea muy complejo una clasificación fija de los mismos.

Generalizando, los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC por sus siglas en inglés, *Heating, Ventilation and Air-Conditioning*), se pueden clasificar según su proceso de acondicionamiento del aire. En los sistemas unitarios, cada elemento es un generador de calor o frío independiente. Por otra parte, las instalaciones colectivas (a veces llamado sistema central) son aquellas donde la producción de frío o calor se suple a un grupo de usuarios en el mismo edificio (Yamile Díaz Torres. et al., 2019).

Existen instalaciones individuales que están formadas por equipos autónomos, donde la producción de frío está en la misma máquina, por lo cual, se le denominan de expansión directa o sistemas compactos. Ahora, cuando el condensador o compresor se encuentra en una zona exterior, y separado del evaporador, el cual

se ubica en una zona interior, se le denominan divididos (Yamile Díaz Torres. et al., 2019).

Otra denominación, son los sistemas centralizados o de dispersión, cuya instalación de frío se puede encontrar en las siguientes modalidades (Domènech, 2018):

- El centralizado, consiste en el tratamiento del fluido de trabajo en una central y luego se distribuye a los diferentes locales.
- El semicentralizado, donde el tratamiento del fluido (ya se calor o frío), se lleva a cabo en una central y otra parte en donde se ubica.
- El descentralizado, el cual cada local cuenta con su sistema propio para el debido tratamiento del fluido.

Para seleccionar un EAA se ha de tener en cuenta un criterio tales como, tipo de instalación, área a ocupar, tipo de ambiente, entre otros. (Yamile Díaz Torres. et al., 2019). En la Figura 1 se detalla los EAA más conocidos, aquí podemos observar los métodos o técnicas para producir refrigeración, el tipo de refrigerante, los diversos ciclos de refrigeración, así como los sistemas más utilizados.

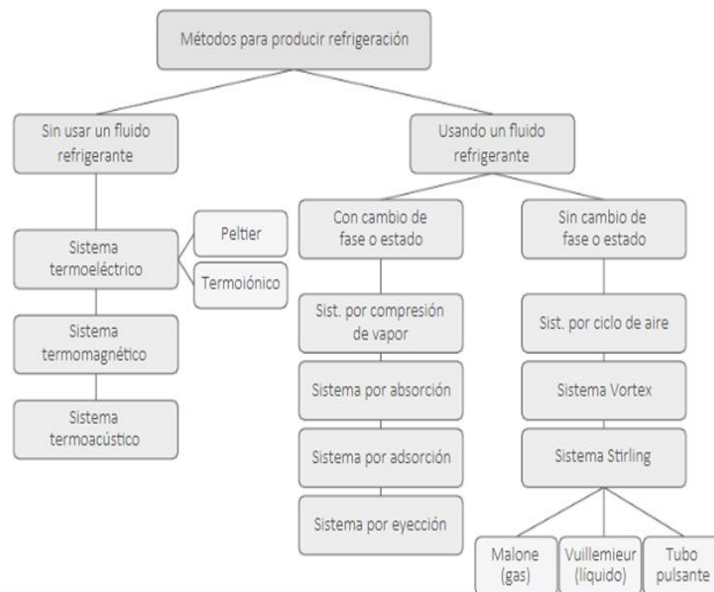


Figura 1: Métodos para producir refrigeración.(Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017)

En los EAA, el compresor, es el encargado de transformar el refrigerante del estado del fluido que viene del evaporador (generalmente, vapor a baja presión y baja temperatura), haciéndolo pasar de un estado un estado de alta presión (Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017).

Los compresores se pueden clasificar de acuerdo a su capacidad para refrigerar (kW/Ton R), por lo que se tienen los siguientes tipos; los compresores alternativos (capacidad de unidad <20 Ton R), el compresor scroll (capacidad de unidad <10

Ton R), el compresor de tornillo (Ton R <30 capacidad de unidad <200 Ton R) y los compresores centrifugados o roto dinámicos (capacidad de unidad de hasta 3000 Ton R). (Chua et al., 2013).

El condensador, es el componente que recibe el refrigerante en estado de vapor proveniente del compresor, por tanto, el fluido ingresa con alta presión y temperatura. En el condensador el fluido se enfría hasta transformarlo en líquido, esto sucede gracias a la transferencia de calor que se da entre el refrigerante y un fluido exterior que puede ser agua o aire a condiciones ambientales (Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017). Ahora bien, el trabajo del condensador consta de tres acciones fundamentales:

- ✓ El refrigerante que ingresa al condensador en forma de vapor sobrecalentado, y para poder ser condensado, debe eliminar el exceso de calor sensible, de modo que debe disminuir su temperatura a la de saturación.
- ✓ Una vez lograda la temperatura de vapor saturado se produce la condensación, o sea, el cambio del estado de vapor, a la de líquido sin la variación de la temperatura.
- ✓ Luego de condensar el líquido, éste pierde un poco de energía para lograr reducir la evaporación del refrigerante en la línea de líquido, antes de que el fluido de trabajo alcance el dispositivo de expansión, y aumentar el efecto de refrigerante neto.

En las siguientes Figura 2 y Figura 3 se muestran los esquemas para dos clases de ciclos de EAA, en la Figura 2 es para un EAA que opera bajo el ciclo de absorción, el cual consta con un sistema de intercambiador de calor, bomba y otros accesorios, y en la Figura 3 se detalla un EAA por compresión de vapor. Sea cual fuese el sistema la operación, tiene en común algunos componentes, como el condensador, evaporador, compresor y unidad expansiva, ya que estos son indispensables para su operación en los dos ciclos.

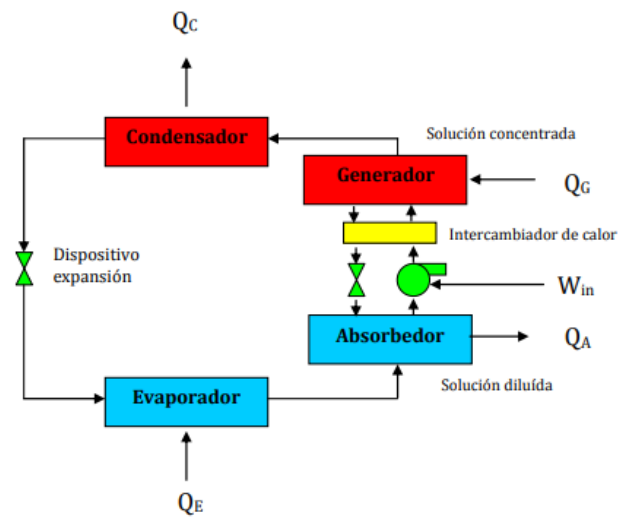


Figura 2: Esquema con los componentes principales de las enfriadoras por absorción (López Villada et al., 2010)

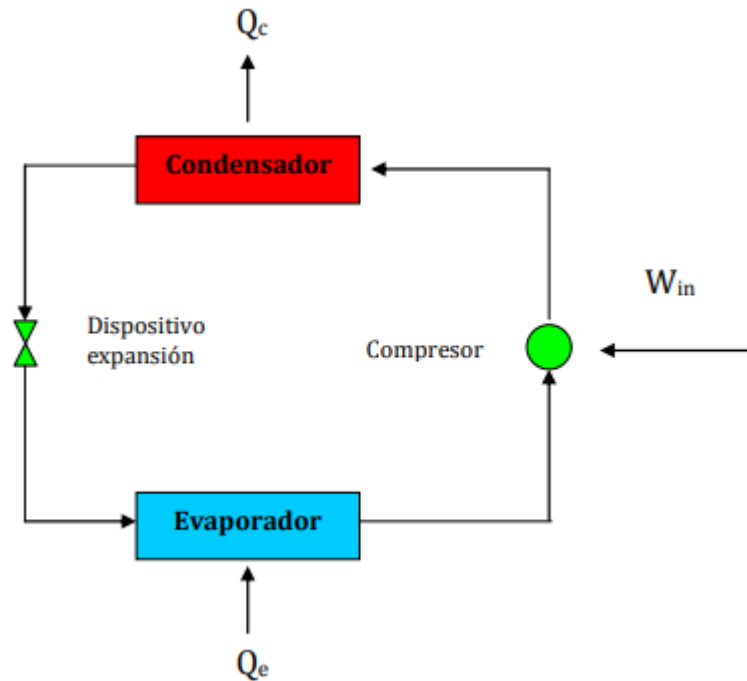


Figura 3: Esquema de los componentes principales de las enfriadoras por compresión. (López Villada et al., 2010)

Las cantidades de calor sensible que el condensador debe eliminar para enfriar desde el estado de sobrecalentamiento y producir el subenfriamiento es reducida comparada con la que tiene que eliminar para condensar el vapor saturado. Para lograr esos objetivos debe utilizarse un medio más frío que puede ser el mismo aire exterior o agua reciclada y enfriada mediante una torre de enfriamiento (Quadri, 2001)

El dispositivo de expansión (válvula), se encarga de bajar la presión y temperatura del líquido que proviene del condensador, produciendo así la repentina formación de vapor denominado flash-gas. Donde estos dispositivos están entre la baja y la alta presión, por lo que hay de dos tipos de expansión comúnmente utilizados, ellos son las válvulas de expansión y el tubo capilar (Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017).

El evaporador es el componente que está ubicado en la zona que se desea refrigerar o acondicionar, este recibe todo el líquido refrigerante a baja presión y temperatura, a medida que va recorriendo todo el evaporador, se va calentando de acuerdo al calor extraído en el medio a refrigerar o acondicionar, por lo que a la salida del evaporador este refrigerante se transforma en vapor sobrecalentado, el cual es transportado hacia el compresor para iniciar nuevamente su ciclo (Ernesto Sanguinetti Remusgo, 2017).

El refrigerante es el factor preponderante en el funcionamiento del EAA, además, este fluido de trabajo debe cumplir con los siguientes requisitos fundamentales, su miscibilidad con el lubricante de la máquina, no ser tóxico para el medio ambiente, entre otros. El refrigerante ha estado cambiando para ser más amigable con el medio ambiente, ya que en sus inicios se descubrieron buenos refrigerantes, pero a su vez eran muy contaminantes (Domènech, 2018).

Actualmente existen EAA tipo inverter, los cuales pueden ahorrar aproximadamente desde un 50% a un 70% del consumo eléctrico, esto depende de la marca y calidad, en comparación a su contraparte (no inverter). Gracias a un dispositivo sensible a los cambios de temperatura, los equipos inverter, varían las revoluciones del compresor, para así proporcionar la potencia demandada. El sistema inverter, hace que el compresor trabaje un 30% por encima de su potencia para así conseguir un enfriamiento rápido, y luego, por debajo del 15% de la potencia, lo cual indica, la reducción del ruido y del consumo (López, 2016).

La instalación solar fotovoltaica (ISF), se hace con el criterio, la aplicación a la que estará destinada, por tanto, en la clasificación de las ISF se tienen en cuenta; las aplicaciones autónomas (off-grid) que son las que producen energía sin estar conectadas a la red eléctrica, capaces de suplir al equipo eléctrico y las aplicaciones conectadas a la red, en las que la energía producida por los paneles es suministrada a la red eléctrica (Innovación y Cualificación, 2017).

Los elementos utilizados en una ISF constan de un módulo fotovoltaico, un regulador de carga que es el nexo entre los paneles fotovoltaicos y elementos de consumo, además, lo protege de sobrecargas y fija una tensión nominal, la batería, que se utiliza principalmente en las instalaciones autónomas, y el inversor que se encarga de convertir la corriente continua en alterna, de hasta 220 V con frecuencia de 60 Hz (Innovación y Cualificación, 2017). En la Figura 4 se muestra el montaje

de los componentes necesarios para la implementación de un EAA, donde además se puede visualizar el flujo de la energía por el montaje y el sentido de la misma.

En la Figura 5 se puede observar con más detalle las características de las clases de células fotovoltaicas, como se puede observar el monocristalino ofrece un rendimiento de laboratorio del 24% y en sitio un rendimiento entre el 15 al 18%, esta eficiencia es alta respecto a las células de policristalino y amorfo, el cual es obtenido de silicio puro fundido y luego dopado con boro.

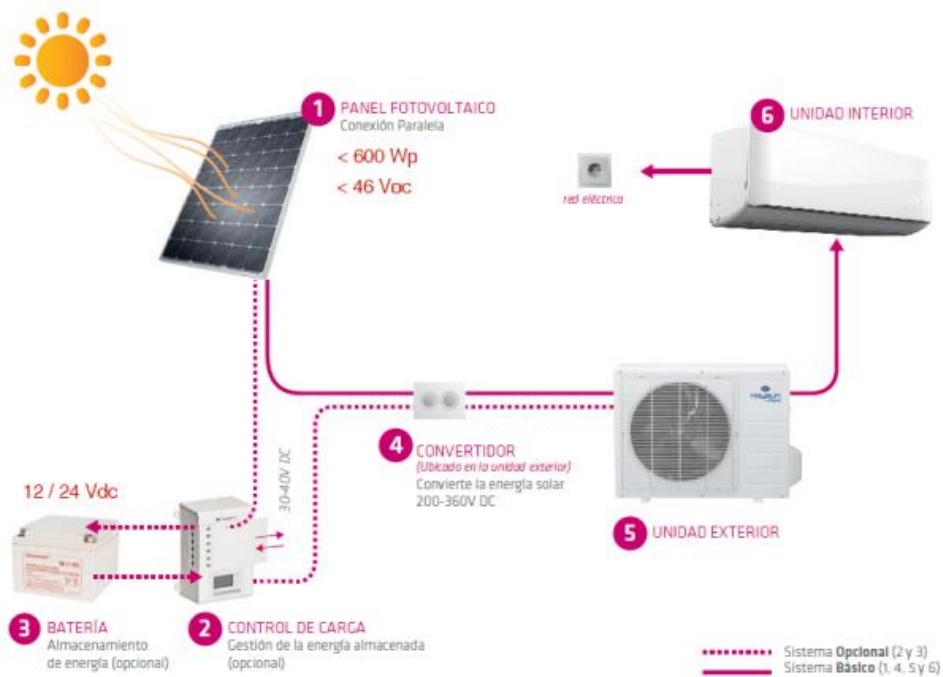


Figura 4: Aire acondicionado solar eléctrico. (Elías et al., 2021)

Un panel solar está constituido por un conjunto de células fotovoltaicas, donde están conectadas entre sí, encapsuladas y montadas en un marco, su tensión de salida es continua, y está diseñado para producir valores de (6 V, 12 V, 24 V), esto depende de la tensión a la que trabajará el sistema fotovoltaico, como se puede apreciar en la Figura 6, la corriente aumenta cuando los paneles se conectan en paralelo, pero el voltaje permanece igual, cuando el voltaje aumenta, quiere decir que los paneles están en serie, es decir, los voltajes de cada panel se suman, pero la corriente permanece constante. Se distinguen dos tipos de paneles solares que son fabricados de acuerdo a la tecnología de las células; de silicio cristalino (monocristalino y multicristalino) y silicio amorfo (Innovación y Cualificación, 2017).

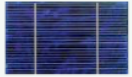
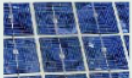
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura 5: Clases de células fotovoltaicas (Innovación y Cualificación, 2017).

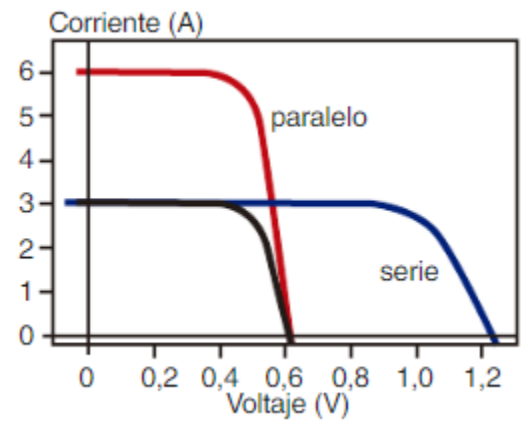


Figura 6: Diferencia entre los montajes de paralelo y en serie de los paneles solares. (Innovación y Cualificación, 2017)

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Estadística

3.1.1 Tamaño de la muestra

Es necesario determinar un tamaño muestral para conseguir la debida información que se necesita para la investigación en el municipio de los Patios. Por tanto, la fórmula para el cálculo de la muestra se encuentra a continuación (Catalina F. Figueroa M. et al., 2014; Zenaida Hernández Martín, 2012):

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q} \quad [1]$$

Donde:

N : es el total de la población (se escogerá las unidades de vivienda con personas presentes).

z_{α} : obtendrá un valor de 1.96 (declarando un valor de seguridad del 95%).

p : proporción esperada (en este caso es de un 50% = 0.5).

q : 1- p (en este caso $q = 1 - 0.5 = 0.5$).

d : precisión (se optará por un valor del 5% =0.05).

3.1.2 Encuesta.

Teniendo el tamaño de la muestra se hace necesario realizar una encuesta, la cual tiene la función para determinar el tiempo promedio de servicio de un EAA en un hogar en el municipio de los Patios. El resultado de esta encuesta arrojará información específica del tipo de EAA que utiliza más la población, así como la energía que se consume y el interés que preexiste en la población sobre la energía alternativa (Ecología). Para recolectar adecuadamente la información se realiza un modelo de cuestionario que será apreciado en la Figura 7, obteniendo datos como el consumo de la energía en una casa, si esta posee un EAA, de que tipo es el EAA, el tiempo que lo utiliza, entre otras cuestiones.

Esta encuesta se realiza con el fin de obtener información para el estudio de un aire acondicionado impulsado por una energía alternativa, se agradece la sinceridad de sus datos administrados ante las siguientes preguntas:

- 1) ¿Tiene usted un equipo de aire acondicionado?, (si no es así pase a la pregunta 5)
 Si ☐ No ☐
- 2) ¿Cuántos aires acondicionados posee en su hogar?

- 3) ¿Cuál es la potencia nominal de su equipo de aire acondicionado? (si son más de dos coloque la potencia de cada uno si es diferente, y en la línea ponga la cantidad que posee)
☐ 9000 Btu/h _____ ☐ 12000 Btu/h _____
☐ 18000 Btu/h _____ ☐ 24000 Btu/h _____
- 4) ¿Cuántas horas al día permanece su equipo de aire acondicionado encendido?
 (especifique las horas de operación si son; en la mañana, tarde o en la noche)
 Mañana: _____
 Tarde: _____
 Noche: _____
- 5) ¿Cuánta energía consume al mes (Kwh)? (favor poner el promedio de los últimos 3 recibos)

- 6) ¿Le gustaría tener a futuro un aire acondicionado que funcione con una energía alternativa (paneles solares, eólica, térmica solar...)?
 Si ☐ No ☐
- 7) ¿Compraría un aire acondicionado que funcione con alguna energía alternativa?
 Si ☐ No ☐
- 8) ¿Cuánto pagaría por un aire acondicionado que funcione con una energía alternativa?
☐ 4'000.000 ☐ 6'000.000
☐ más de 8'000.000

Figura 7: Modelo de encuesta que se realizó en el municipio de los Patios.

3.1.3 Distribución frecuencia

Es donde se presentan los datos resumidos, de tal manera que se puede en una visión panorámica del uso de EAA, así como el consumo de energía y de esta manera establecer un criterio sobre su comportamiento, es decir, la determinación de sus valores centrales, la variabilidad como se muestran, y es simétrico o no es simétricos con relación a un valor central (Salazar, 2018).

3.1.4 La media

Se define como la suma de todos los datos observados de la distribución, dividida por el número total de observaciones (Zenaida Hernández Martín, 2012), por lo que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1f_1 + x_2f_2 + \dots + x_nf_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{n} \quad [2]$$

Donde:

x_i : es la marca de clase

f_i : es la frecuencia absoluta.

3.1.5 La mediana

Se define como el valor de la variable que ocupa el lugar central, ordenando los datos de mayor a menor. También se puede definir como el valor de la variable que divide a la distribución en dos partes iguales, obteniendo el mismo número de datos (Zenaida Hernández Martín, 2012). Por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$M_e = L_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{i-1}}{f_i} * A_i \quad [3]$$

Donde:

L_i : límite inferior del intervalo en el cual se encuentra la mediana.

n : numero de datos del estudio. Es la sumatoria de las frecuencias.

F_{i-1} : frecuencia acumulada en el intervalo previo al que se encuentra la mediana.

A_i : amplitud del intervalo donde está la mediana.

f_i : frecuencia absoluta del intervalo donde está la mediana

3.1.6 La moda

Es aquel valor de la variable cuya frecuencia no es superada por la frecuencia de ningún otro dato. Este concepto corresponde al de la moda absoluta, y la moda relativa se define como el valor de un dato cuya frecuencia no es superada por la de sus datos contiguos (Zenaida Hernández Martín, 2012), por lo que su ecuación es:

$$M_o = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{f_i - f_{i-1} + f_i - f_{i+1}} * A_i \quad [4]$$

f_{i-1} : frecuencia absoluta del intervalo previo en el que se encuentra la moda.

f_{i+1} : frecuencia absoluta del intervalo posterior en el que se encuentra la moda.

3.2 Estimación del consumo

Es el potencial eléctrico al que están sometidos los equipos eléctricos para poder ser funcionales, e independientemente de la cantidad de los equipos que existan en un lugar, se determina la energía total consumida por estos.

Los equipos eléctricos pueden variar en su forma de consumo, pueden ser de corriente directa **DC** o corriente alterna **AC**, de acuerdo a lo anterior se definen las siguientes ecuaciones (Salamanca-Ávila, 2017a):

$$E_{DC} = \sum N_{equipos} \times t \times P_{eq} \quad [5]$$

$$E_{AC} = \sum N_{equipos} \times t \times P_{eq} \quad [6]$$

Donde:

$N_{equipos}$: número de equipos con las mismas características [adimensional].

t : tiempo en servicio [h].

P_{eq} : potencia equivalente del equipo [W].

A su vez es necesario sumar los equipos que trabajen tanto en corriente directa como en alterna, y dividir la potencia de cada sistema de acuerdo a la eficiencia de sus componentes y así obtener la energía equivalente.

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat}\eta_{inv}} \quad [7]$$

Donde:

E_T : Energía equivalente [W].

η_{Bat} : Eficiencia de la batería [adimensional].

η_{inv} : Eficiencia del inversor [adimensional].

3.3 Ángulo óptimo de inclinación

3.3.1 Distancia tierra-sol

El movimiento de la tierra alrededor del sol se describe como una órbita elíptica, donde el promedio de la distancia tierra-sol es de $149.46 \times 10^6 \text{ km}$. Por tanto, la órbita de la tierra se le puede describir en coordenadas polares mediante la siguiente ecuación (Ministerio de Minas & UPME, 2005):

$$R = \frac{a(1-e^2)}{(1+e\cos\alpha)} \quad [8]$$

Donde:

R : distancia tierra-sol [km].

a : unidad astronómica (semieje mayor de la elipse) [km].

e : excentricidad de la órbita terrestre ($e=0.01673$) [km].

α : posición angular de la tierra en la órbita [grados].

La posición angular de la tierra se puede modelar mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{2\pi(nd-1)}{365} \quad [9]$$

Donde:

nd : número del día del año, contado a partir del 1 de enero

Para cuando $\alpha = 0^\circ$ la tierra se encuentra más cerca al sol, por tanto, de la ecuación [8] se obtiene:

$$R = a(1 - e) = 0.983 \text{ U.A} \quad [10]$$

Para cuando $\alpha = 180^\circ$ la tierra se encuentra mas distante al sol, por tanto, la distancia tierra-sol es

$$R = a(1 + e) = 1.017 \text{ U.A} \quad [11]$$

La distancia R para efectos radiométricos, se puede expresar mediante una ecuación de fácil computo. Spencer expresó la distancia en términos de una serie de Fourier, con un error máximo de 0.01% (Ministerio de Minas & Upme, 2005):

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{R_0}{R} \right) = 1.00011 + 0.034221 \cos \alpha + 0.00128 \sin \alpha + 0.000719 \cos 2\alpha + 0.000077 \sin 2\alpha \quad [12]$$

Donde:

R_0 : distancia promedio tierra-sol (1 U.A) [km].

ε_0 : excentricidad [adimensional].

3.3.2 Declinación solar

El signo de la declinación es positivo, cuando el sol incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio norte, esto se da entre el 21 de marzo y el 23 de septiembre. Es negativo cuando incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio sur, es decir, entre el 23 de septiembre y el 21 de marzo, y varía entre -23.45° , cuando el sol se encuentra en la parte más baja del hemisferio sur, y $+23.45^\circ$, cuando se halla en la parte más alta del hemisferio norte como se aprecia en la Figura 8 y Figura 8. Durante dos veces al año toma el valor de cero, y esto sucede cuando el sol pasa sobre el ecuador y se conoce como equinoccio. Además, los valores diarios de la declinación solar pueden calcularse con un error máximo de 0.00006 rad , mediante la fórmula obtenida por Spencer, por tanto (Ministerio de Minas & UPME, 2005):

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \alpha + 0.070257 \sin \alpha - 0.006758 \cos 2\alpha + 0.000907 \sin 2\alpha - 0.002697 \cos 3\alpha + 0.00148 \sin 3\alpha)(180/\pi) \quad [13]$$

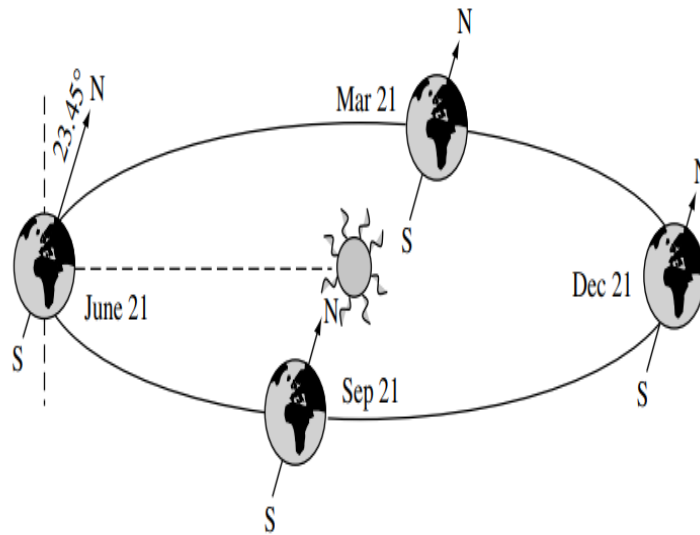


Figura 8: Órbita de la tierra alrededor del sol. (Luque & Hegedus, 2003)

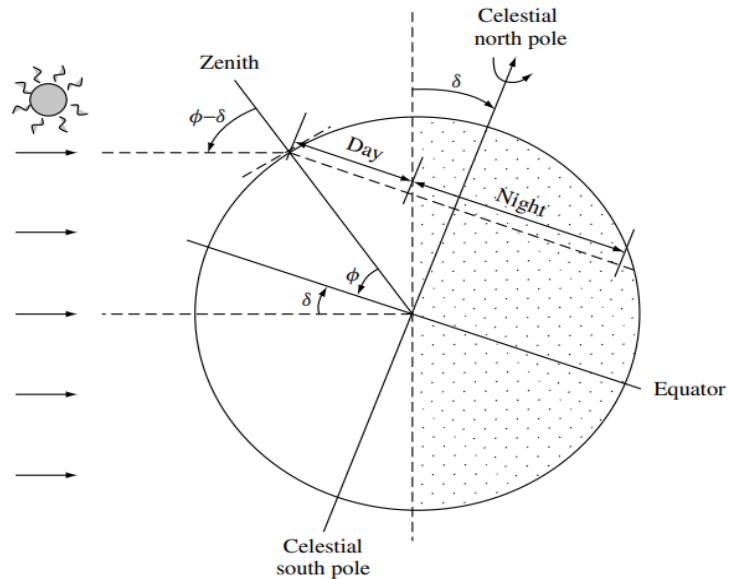


Figura 9: Posición relativa Tierra-Sol al mediodía de un día de declinación negativa (invierno en el hemisferio norte y verano en el hemisferio sur). (Luque & Hegedus, 2003)

3.3.3 Ángulo de salida del sol

Ahora, ubicando el lugar donde se requiere instalar el sistema fotovoltaico, es conveniente especificar la posición del sol mediante dos ángulos que hacen referencia al plano horizontal y vertical (Luque & Hegedus, 2003).

La vertical que se cruza con la esfera celeste es conocido como el zenit como se puede observar en la Figura 10. El ángulo zenit solar θ_{zs} , esta entre la línea vertical y el rayo solar incidente, para el acimut ψ_s se encuentra entre los meridianos de la ubicación y el sol (Luque & Hegedus, 2003).

El complemento del ángulo cenit se llama altitud solar ψ_s el cual representa el ángulo entre el horizonte y el rayo solar en un plano determinado por el zenit y el sol. El acimut solar hace referencia al sur (norte) y se define como positivo por la tarde y negativo por la mañana (Luque & Hegedus, 2003).

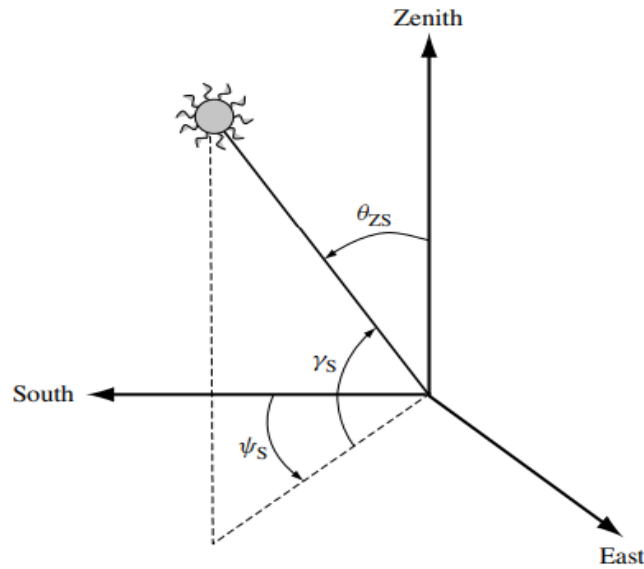


Figura 10: Posición del sol en relación con un punto fijo de la tierra. (Luque & Hegedus, 2003)

Para cualquier momento dado, las coordenadas angulares del sol de una superficie con respecto a un punto de latitud geográfica ϕ , donde el norte es positivo y el sur negativo, se calcula a partir de las ecuaciones (Luque & Hegedus, 2003):

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega = \sin \gamma_s \quad [14]$$

$$\cos \psi_s = \frac{(\sin \gamma_s \sin \phi - \sin \delta)}{\cos \gamma_s \cos \phi} (\sin \phi) \quad [15]$$

Donde ω se le denomina tiempo solar verdadero, tiempo aparente local, u hora solar, esta es la diferencia entre el mediodía y el momento seleccionado del día en términos de rotación, es decir, 360° en 24 horas. Cuando $\omega = 0$ se indica el mediodía de cada día, y adquiere valores negativos por la mañana y positivos por la tarde (Luque & Hegedus, 2003).

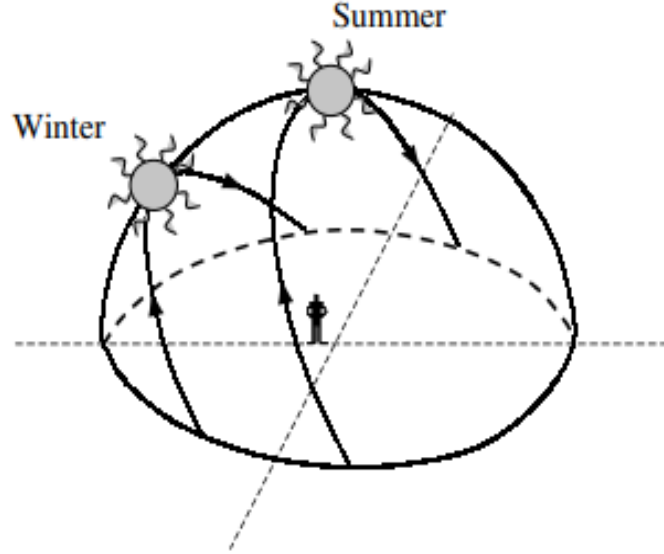


Figura 11: La trayectoria del sol correspondiente a un día de invierno y verano representada sobre la esfera celeste. (Luque & Hegedus, 2003)

La Figura 11 presenta la trayectoria del sol en la esfera celeste para un día de invierno y un día de verano, se puede observar que en invierno la altura solar es menor que en verano. Y en la Figura 12 la gráfica corresponde a la altitud solar versus el azimut. Entonces la ecuación [14] se puede usar para poder encontrar el ángulo de salida del sol ω_s , ya que el amanecer $\gamma_s=0$, entonces (Luque & Hegedus, 2003):

$$\omega_s = -(-\tan \tan \delta \tan \tan \phi) \quad [16]$$

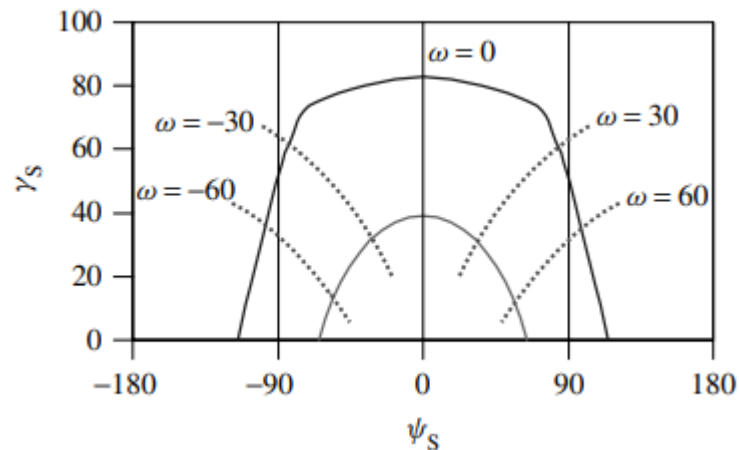


Figura 12: Altitud solar γ se presenta frente al azimut ψ_s y también se visualiza la hora solar ω . (Luque & Hegedus, 2003)

3.4 Radiación solar global

3.4.1 Ángulo óptimo de inclinación

La cantidad de radiación global que llega a una superficie es variable, por un lado, la radiación extraterrestre experimenta variaciones diarias y anuales regulares debido a la rotación de la tierra sobre su eje y alrededor del sol, estas variaciones son predecibles y pueden determinarse teóricamente mediante consideraciones geométricas. Por lo que la irradiancia extraterrestre sobre una superficie es dada por (Luque & Hegedus, 2003):

$$G_{od}(0) = I_{SC} \varepsilon_0 \cos \theta_{zs} \quad [17]$$

Cuando se integra a lo largo del día se obtiene:

$$G_{od} = G_{od}(0) = \frac{T}{\pi} I_{SC} \varepsilon_0 \left[-\frac{\pi}{180} \omega_s \sin \delta \sin \phi - \cos \delta \cos \phi \sin \omega_s \right] \quad [18]$$

Donde:

G_{od} : radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal [kWh/m^2].

I_{SC} : constante solar y equivale a ($1367 W/m^2$), (IDEAM, 2005b).

T : periodo o tiempo medido en [24 h].

Se utiliza $\frac{\pi}{180}$ para poder convertir de grados el ω_s a radianes, teniendo el ω_s en radianes se elimina $\frac{\pi}{180}$ quedando de la siguiente forma:

$$B_{od}(0) = \frac{T}{\pi} B_0 \varepsilon_0 [-\omega_s \sin \delta \sin \phi - \cos \delta \cos \phi \sin \omega_s] \quad [19]$$

3.4.2 Índice de transparencia atmosférica.

Es la relación entre la radiación solar en la superficie de la tierra y la radiación extraterrestre, lo que da una medida en la transparencia atmosférica, teniendo en cuenta lo anterior se da que (Luque & Hegedus, 2003):

$$K_d = \frac{G_d}{G_{od}} \quad [20]$$

Donde:

K_d : índice de claridad [adimensional].

G_d : radiación global diaria [kWh/m^2].

3.4.3 Radiación difusa de la superficie horizontal.

Es la componente de la radiación solar que, al encontrarse con pequeñas partículas en suspensión de la atmosfera a la trayectoria de la superficie de la tierra e interactuar con las nubes, esta se difunde en todas las direcciones. El flujo con el

cual esta energía incide sobre una superficie horizontal por segundo es lo que llamamos radiación solar difusa (IDEAM, 2005a; Luque & Hegedus, 2003).

$$D_d = G_d(1.39 - 4.027K_d + 5.531K_d^2 - 3.108K_d^3) \quad [21]$$

3.4.4 Radiación directa en la superficie horizontal.

Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin haber sufrido difusión ni reflexión alguna en su trayectoria y se puede determinar mediante la siguiente ecuación (Denegri et al., 2012; IDEAM, 2005a; Luque & Hegedus, 2003).

$$I_d = G_d - D_d \quad [22]$$

3.4.5 Factor de conversión geométrico.

Para poder definir el factor geométrico, y los demás valores para la radiación global en una superficie inclinada se ha de definir un ángulo de inclinación, es decir del lugar donde se instalarán los paneles fotovoltaicos, este ángulo se denominará β y puede asumir valores de $[10^\circ \text{ a } 60^\circ]$, no se pueden asumir valores menores de 10° ya que esta es mínima para los desagües en el invierno.

$$R_{b,\beta} = \frac{\omega_s \sin \phi \sin (\phi - \beta) + \cos \delta \cos (\phi - \beta) \sin \omega_s}{\omega_s \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \sin \omega_s} \quad [23]$$

Donde $R_{b,\beta}$ representa la relación entre las radiaciones directas diarias, entre una superficie inclinada y sobre una superficie horizontal, y se puede aproximar al valor de la relación correspondiente entre las radiaciones extraterrestres diaria sobre superficies similares (Caracterización et al., 2017; Luque & Heredas, 2003).

3.4.6 Radiación directa en la superficie inclinada a un ángulo β .

La radiación directa en una superficie horizontal se multiplica con el factor geométrico para obtener la radiación a un ángulo dado (Denegri et al., 2012; Luque & Hegedus, 2003) para la inclinación del panel fotovoltaico, por tanto:

$$I_{d,\beta} = I_d R_{b,\beta} \quad [24]$$

3.4.7 Radiación difusa en la superficie inclinada a un ángulo β .

Ahora para la radiación difusa se tiene

$$D_{b,\beta} = D_d \left[(G_d - D_d) \frac{R_{b,\beta}}{G_{od}} + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \frac{(G_d - D_d)}{G_{od}} \right] \quad [25]$$

3.4.8 Radiación global en la superficie inclinada a un ángulo β .

La radiación global en una superficie inclinada es la suma de la radiación difusa y directa, para componer la radiación total que le llega al panel fotovoltaico (Denegri et al., 2012; Jaime Wright Gilmore, 1988; Luque & Hegedus, 2003), por tanto:

$$G_{d,\beta} = I_{d,\beta} + D_{b,\beta} \quad [26]$$

3.5 Determinación del tamaño del sistema fotovoltaico

3.5.1 Número de paneles fotovoltaicos

El número total de paneles fotovoltaicos que se van a usar en la instalación viene dado por la siguiente ecuación (Arrieta Paternina et al., 2012; Gómez G. & Silva L., 2018):

$$N_T = \frac{E_T}{(P_p G_{m\beta} P_G)} \quad [27]$$

Donde:

E_T : Energía total requerida [Wh].

P_p : Potencia pico de modulo fotovoltaico [$W/Wh/m^2$].

$G_{m\beta}$: Radiación global sobre una superficie inclinada a un ángulo β [kWh/m^2].

P_G : Factor global de perdidas [0.65 y 0.9].

3.5.2 Número de módulos en serie

La asociación de paneles en serie se hace con el fin de aumentar la tensión del conjunto generador (Salamanca-Avila, 2017a).

$$N_S = \frac{V_{Bat}}{V_m} \quad [28]$$

Donde:

N_S : Número de módulos en serie [adimensional].

V_{Bat} : Tensión nominal de la batería [V].

V_m : Tensión nominal de los módulos fotovoltaicos [V].

3.5.3 Número de módulos en paralelo

La conexión de paneles en paralelo se realiza con el fin de aumentar la capacidad de la corriente del conjunto generador, esto a partir de la tensión nominal que se haya alcanzado mediante la conexión de paneles en serie (Salamanca-Avila, 2017a).

$$N_P = \frac{N_T}{N_S} \quad [29]$$

Donde:

N_P : Número de módulos en paralelo [adimensional].

3.6 Determinación de los componentes electromecánicos

3.6.1 Dimensionamiento del banco de baterías

El banco de baterías debe acumular la energía necesaria que suministrara la carga para los días nublados o durante la noche. Además, esta ha de contemplar unas pérdidas producidas por varios componentes (Arrieta Paternina et al., 2012; Salamanca-Ávila, 2017a), por lo que es necesario definir los siguientes parámetros:

$$C_{nb} = \frac{E_T D_a}{P_d} \quad [30]$$

Donde:

D_a : Días de autonomía, con baja o nula insolación.

P_d : Máxima profundidad en la descarga de la batería, la cual es dada por el fabricante y oscila entre los valores del 20% al 80%.

Para determinar la capacidad nominal del banco de baterías se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$C_n = \frac{C_{nb}}{V_{Bat}} = \frac{E_T D_a}{P_d V_{Bat}} \quad [31]$$

Donde:

C_{nb} : Capacidad nominal del banco de baterías en [Wh].

C_n : Capacidad nominal del banco de baterías en [Ah].

V_{Bat} : Tensión nominal de la batería en [V].

3.6.2 Dimensionamiento del regulador

El regulador es el encargado de controlar y administrar la intensidad de la carga y descarga de la batería, y la de los paneles solares, resultando beneficioso para el sistema ya que evita las sobrecargas, optimiza el sistema y alarga la vida útil (Arrieta Paternina et al., 2012; Salamanca-Ávila, 2017a).

$$I_G = I_R N_R \quad [32]$$

$$I_R = \frac{P_p \eta_m}{V_m} \quad [33]$$

Donde:

I_G : Corriente producida por el generador, en [A].
 I_R : Corriente producida por cada rama en paralelo del generador, en [A].
 N_R : Numero de ramas en paralelo del generador.
 P_p : Potencia pico del módulo fotovoltaico [W].
 η_m : Rendimiento del módulo.
 V_m : Tensión nominal de los módulos [V].

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo, por lo que:

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{Bat}} + \frac{P_{AC}}{110} \quad [34]$$

Donde:

I_C : Corriente que consume la carga [A].
 P_{DC} : Potencia de las cargas en DC [W].
 V_{Bat} : Tensión nominal de la batería [V].
 P_{AC} : Potencia de la carga en corriente alterna [W].
 De las dos corrientes anteriores se deja la más alta, y será la que soporte el regulador.

$$I_R = \max(I_G, I_C) \quad [35]$$

3.6.3 Dimensionamiento del inversor.

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada que está en corriente directa y convertirlo a la salida en corriente alterna, con una magnitud y frecuencia que sea necesaria para dicha aplicación (José A. Bravo L. & Alfonso A. Cano Narváez, 2017; Salamanca-Ávila, 2017b). Estos se utilizan en un rango muy variado de aplicaciones, desde una simple computadora hasta instalaciones industriales que manejan una alta potencia. Es necesario para convertir la corriente directa que se producen en los paneles solares para suplir la potencia de un EAA, entonces se hace necesario calcular:

$$P_{inv} = P_{AC}\eta \quad [36]$$

Donde:

P_{inv} : Potencia del inversor [kW].
 P_{AC} : Potencia de las cargas en [kW].
 η : eficiencia del inversor {adimensional}.

La anterior ecuación se usa para cuando hay un cálculo de energía después del módulo fotovoltaico, es decir energía que produce el módulo. Si no existe tal cálculo, entonces la energía AC estimada a partir del consumo de los equipos eléctricos será igual a la energía que operará el inversor.

4. RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO EXISTENTE EN EL MUNICIPIO DE LOS PATIOS, NORTE DE SANTANDER.

La radiación que existe en el municipio de los Patios, se obtendrá a partir de la teoría de cómo se calculan los datos de radiación emitidas por entidades como la NASA y la UPME.

4.1.1 Para la radiación de la NASA.

Para adquirir los datos de radiación solar sobre una superficie horizontal, se ingresó al sitio web de datos de meteorología y la energía denominada POWER de la NASA (NASA, 2020).

En esta página web se despliega una pestaña de opciones para escoger los datos que se desean consultar, como se observa en la en la Figura 13, aparece la primera opción, que es donde se escoge a que bases de datos se desea adquirir información, como es para radiación solar se selecciona **SSE-energía renovable**.

En la segunda opción se seleccionó **diario** que es el promedio temporal al que se desea acceder a los datos. Luego en la tercera opción se tiene que seleccionar la zona o el lugar donde se desea adquirir la información, por lo que la plataforma tiene una opción para seleccionar la zona del mapa que se desee, el programa automáticamente coloca las coordenadas para la zona, las coordenadas a las que se accedió para el municipio de los Patios fueron; una latitud de 7.75° y una longitud de -72.75° .

Para la cuarta opción, se seleccionó el rango de tiempo que se desea obtener los datos, para lo que se tomó para todo el año 2020, consecutivamente se seleccionó el formato **csv**.

En el siguiente paso hay que seleccionar alguno de los parámetros que están disponibles, para consultar la radiación se toma como **dimensionamiento y dirección de paneles solares y para aplicaciones solares térmica**. Luego en última instancia se selecciona enviar para poder descargar el conjunto de datos.

Figura 13: Pestaña para seleccionar los datos en el POWER de la NASA. (NASA, 2020)

Al estar los datos organizados, y como estos son diarios, entonces se hace un promedio de la radiación para cada mes durante el año 2020, los datos promediados se grafican, como aparece en la Figura 14, como se puede observar los meses con la radiación más alta es para febrero y septiembre, y el mes con más baja radiación es para julio.

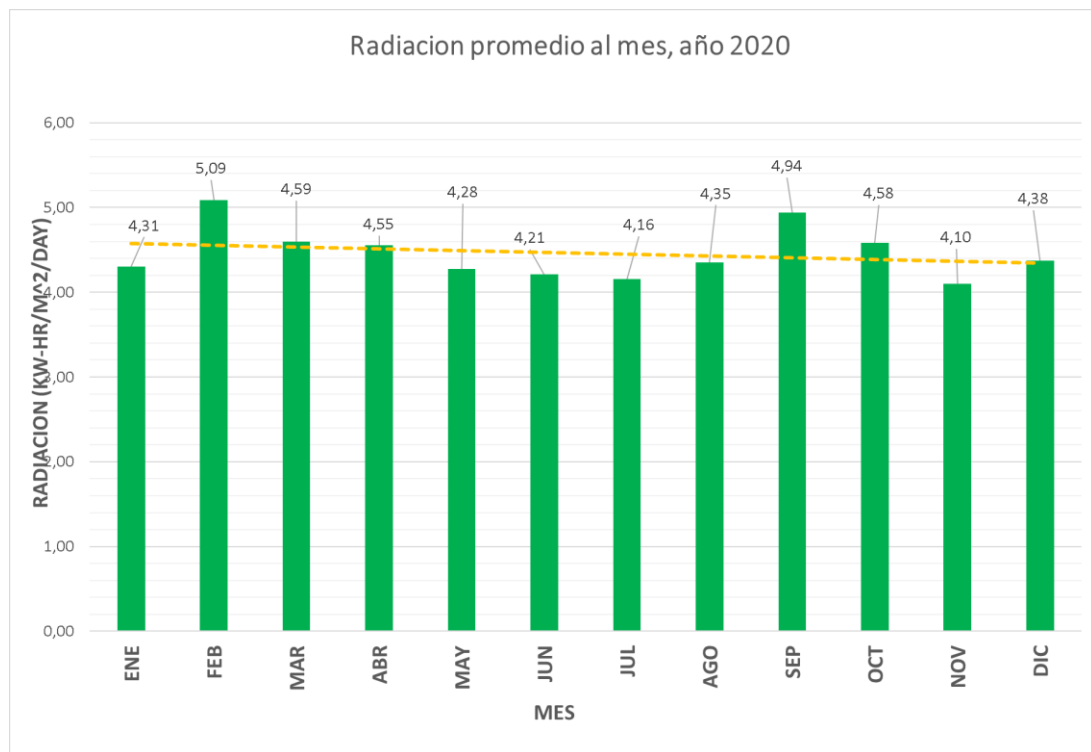


Figura 14: Datos de radiación de la NASA, elaboración propia y tomados de (NASA, 2020).

4.1.2 Radiación para la UPME.

Para la obtener los datos de radiación de la UPME, se accede al sitio web de IDEAM que es su homólogo (IDEAM, 2014), al entrar a la página web inmediatamente aparece un mapa de Colombia con un degrade de colores que es la **radiación global horizontal media diaria**, el mapa solo muestra puntos estratégicos como se ilustra en la Figura 15, en los puntos de color negro es donde se mantienen equipos para la toma de los datos de la radiación, además se ubican en casi todas las capitales de Colombia.

Se escoge el lugar más cercano al municipio de los Patios, que es Cúcuta capital de Norte de Santander, al momento de seleccionar el punto, se despliega una imagen, ilustrando los valores de radiación global horizontal promediados para cada mes. Luego la ilustración se descarga, y se puede apreciar en la Figura 15 y Figura 16, de la cual, esta última, nos dice que la radiación más alta es para el mes de septiembre y la más baja para el mes de abril.

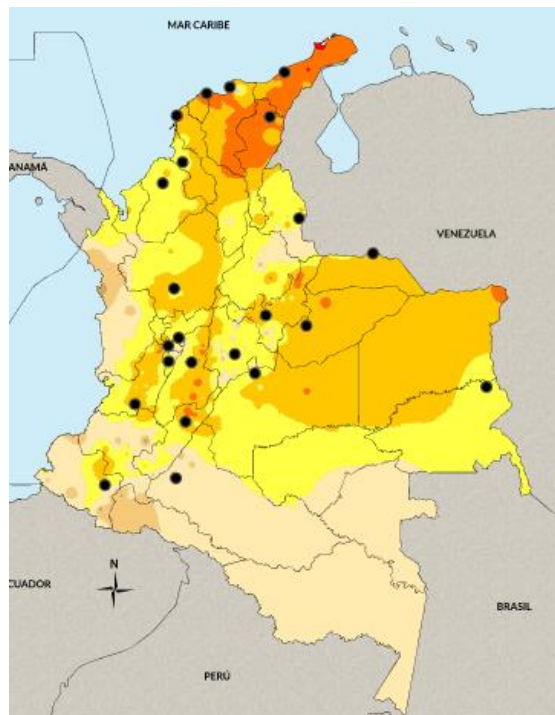


Figura 15: Mapa de radiación de Colombia dado por el IDEAM la cual es una subdivisión de la UPME. (IDEAM, 2014)

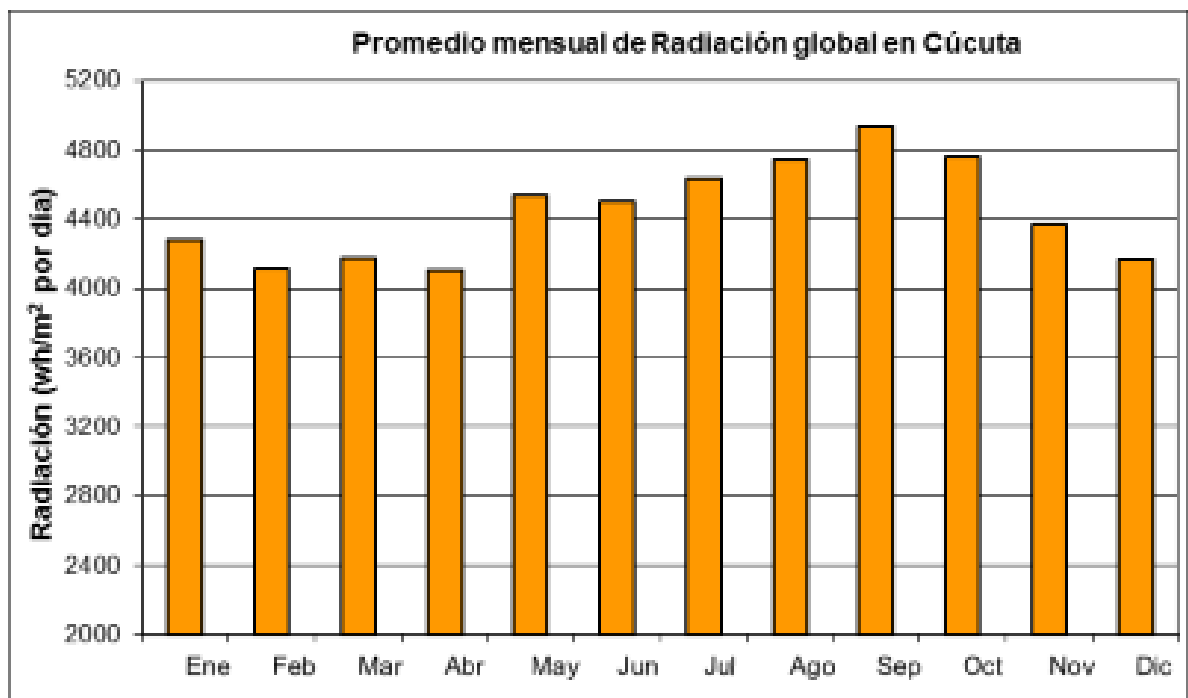
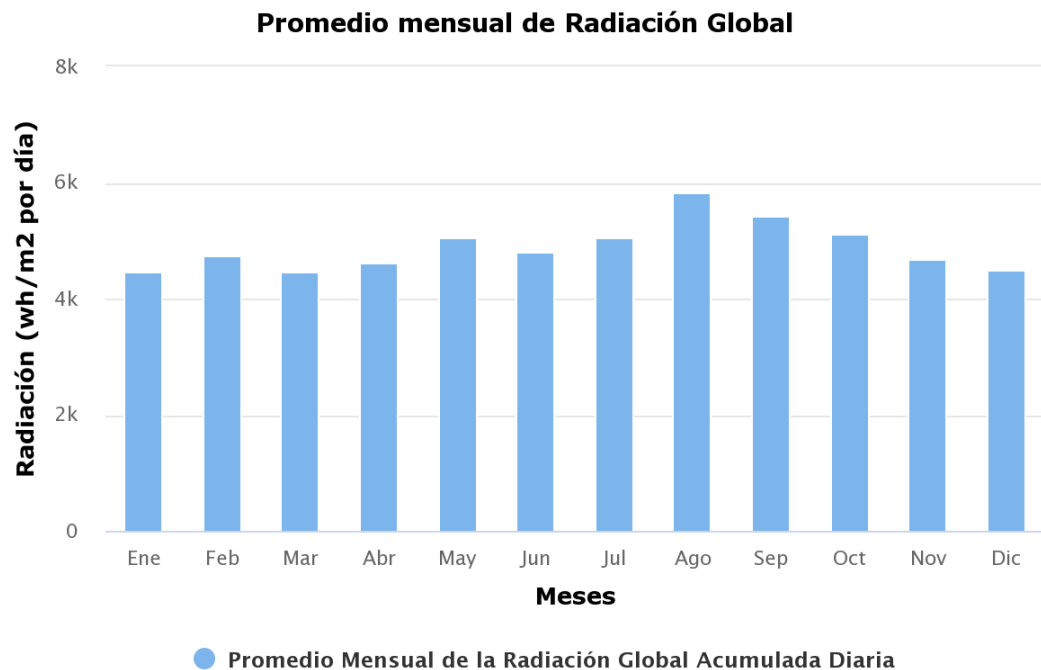


Figura 16: Promedio mensual de radiación global para Cúcuta, tomado de (IDEAM, 2014)



Highcharts.com

Figura 17: promedio mensual de la radiación global acumulada del aeropuerto camilo Daza de Cúcuta (IDEAM, 2020).

En la Figura 17 se ilustra los datos del aeropuerto Camilo Daza, que se tuvieron a través de su plataforma, datos de los cuales son obtenidos directamente en la estación meteorológica, además, son los más cercanos a la zona de estudio.

En la Figura 18 se ilustra el error en la diferencia de la toma de los datos para la NASA y la UPME, esto ya se debe al modo de precisión según los instrumentos que usan en la toma de los datos de cada una de las entidades, se denota en la figura que el mes con mayor diferencia es en febrero con un 17% en el error, el mes con un menor error es enero con un 0.23%, podría decirse que los datos se asimilar.

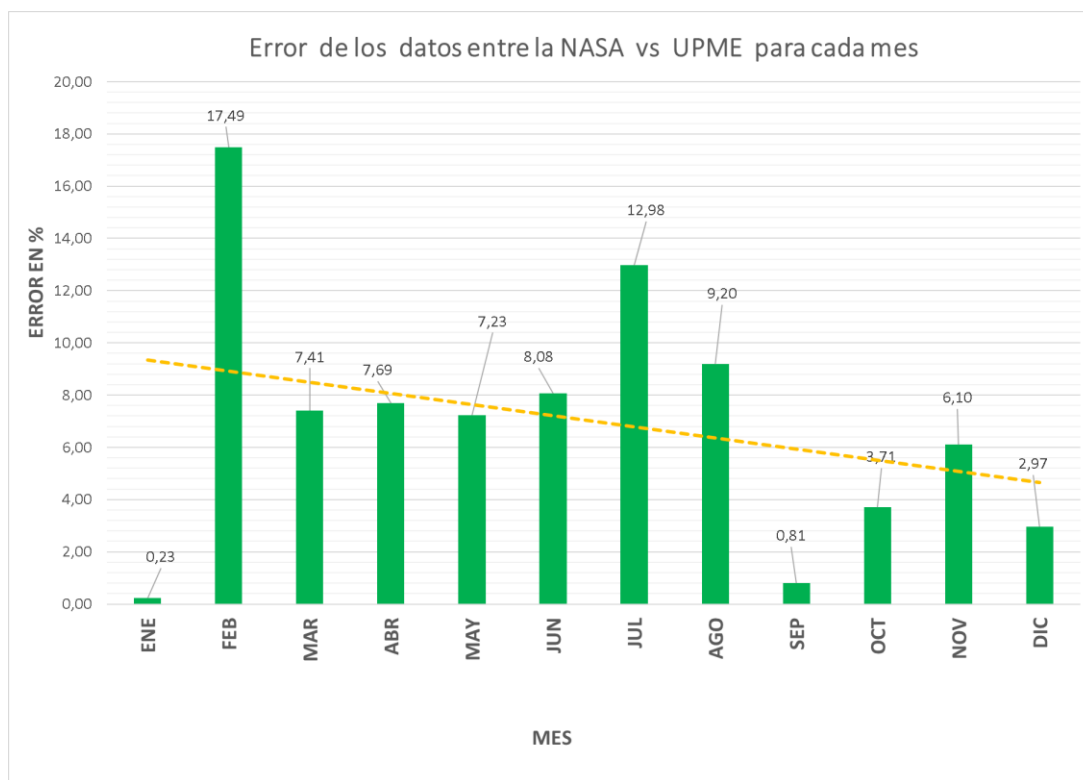


Figura 18: Error en la diferencia de los datos de la NASA y de la UPME.

4.2 DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN IDEAL PARA UN SISTEMA DE PANELES SOLARES

4.2.1 Tamaño de la muestra

Para obtener el tamaño de la muestra en la población a encuestar en la ciudad de los Patios, se consultó al DANE el tamaño de la población según; en unidades de vivienda, es decir, hogares en la ciudad de los Patios, ya que uno o varios EAA son adquiridos por los ciudadanos para el hogar. Por tanto, en la Tabla 1 se detalla el total de viviendas para la cabecera municipal de la ciudad de los Patios.

Total, cabecera municipal						
Unidades de vivienda según condición de ocupación				VIHOPE		
Unidades de vivienda con personas ausentes	Unidades de vivienda de uso temporal	Unidades de vivienda desocupadas	Unidades de vivienda con personas presentes	Unidades de vivienda	Hogares	Personas
1768	228	2777	22577	27350	23503	78789

Tabla 1: Unidades de vivienda para el municipio de los Patios. (DANE, 2018)

Pero no todas las viviendas con personas presentes o toda la población de los Patios puede adquirir un EAA, ya que muy buena parte de la población no tienen los recursos suficientes para adquirir un equipo de refrigeración como es el EAA, la población que puede adquirir un EAA es la clase media (estrato 3) y la clase media superior (estratos 4, 5, 6), la cual está presente en unos 15 barrios de los 48 existentes (Alcaldía Municipal de Los Patios, 2018). Por lo tanto, se hace necesario calcular un tamaño de la población a encuestar. Entonces de la ecuación [1]:

$$n = \frac{22577 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (22577 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 377.749 \approx 378$$

4.2.2 Análisis de la encuesta

Los resultados arrojados por la encuesta fueron los siguientes:



Figura 19: Hogares en los que poseen o no un EAA.

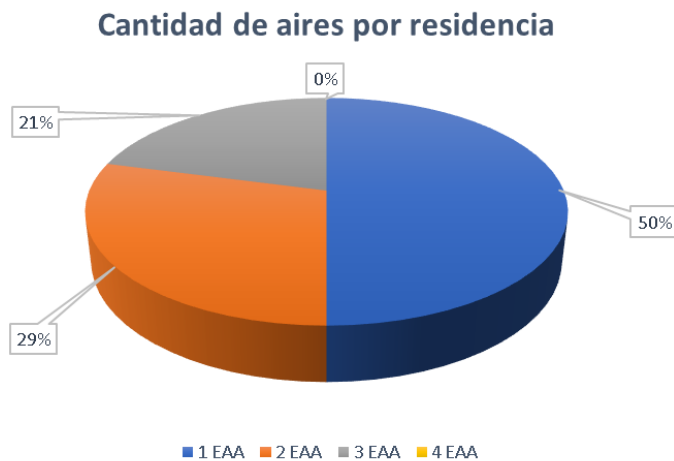


Figura 20: Cantidad de EAA que se encuentran en un hogar.

Según la Figura 19 más de la mitad de la población posee un EAA y en la Figura 20 nos da a entender que la mitad de la población posee solo 1 EAA, y el máximo número de EAA que llega a tener una residencia es de 3.

En la Figura 21 se ilustra los diferentes EAA que usa la población, entre ellos el más usado es el de 12000 Btu, los de 9000 Btu y 18000 Btu son usados en baja demanda, queda claro que para los de 24000 Btu no hay uso por parte de la población.

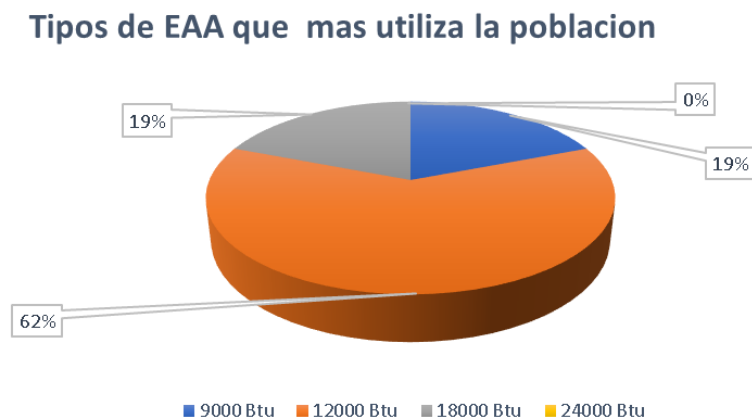


Figura 21: Tipo de EAA más adquirido en los hogares.

Mediante las ecuaciones [2], [3] y [4], se analizó la Tabla 2 para hallar el tiempo promedio que está en servicio el EAA, para eso se establecen los tiempos tanto en la mañana, tarde y la noche. Según la encuesta en la mañana no hay uso del EAA, por lo tanto, se trabaja para la tarde y la noche según el uso de horas para cada hogar.

	HORAS	MARCA DE CLASE (x)	HORA PICO TARDE	HORA PICO NOCHE	FRECUENCIA ABSOLUTA (f)	FRECUENCIA ACUMULADA (F)	x*f
1	[0-2] horas	1	73	28	101	14	101
2	[2-4] horas	3	43	86	129	143	387
3	[4-6] horas	5	0	14	14	157	70
4	[6-8] horas	7	0	72	72	229	504
TOTAL			116	200	316		1062

Tabla 2: Intervalos de frecuencia, tanto para jornadas en la tarde como por la noche, ya que en la jornada de la mañana nadie lo utiliza, por tanto, se ignora.

$$\bar{x} = \frac{1062}{316} = 3,36 \text{ h}$$

El valor de la media es de $\bar{x} = 3,36h$, ahora se establece el valor de la mediana, de la siguiente manera:

$$M_e = 4,24 \text{ h}$$

El valor de la mediana nos da como $M_e = 4,24 \text{ h}$, ahora se establece el valor de la moda mediante la ecuación [4], además, si se observa la Figura 22, donde se encontrará una gráfica con la frecuencia absoluta, hora pico en la tarde y por la noche, se denota que por la frecuencia absoluta el máximo pico esta entre 2 a 3 horas en promedio del uso del EAA.

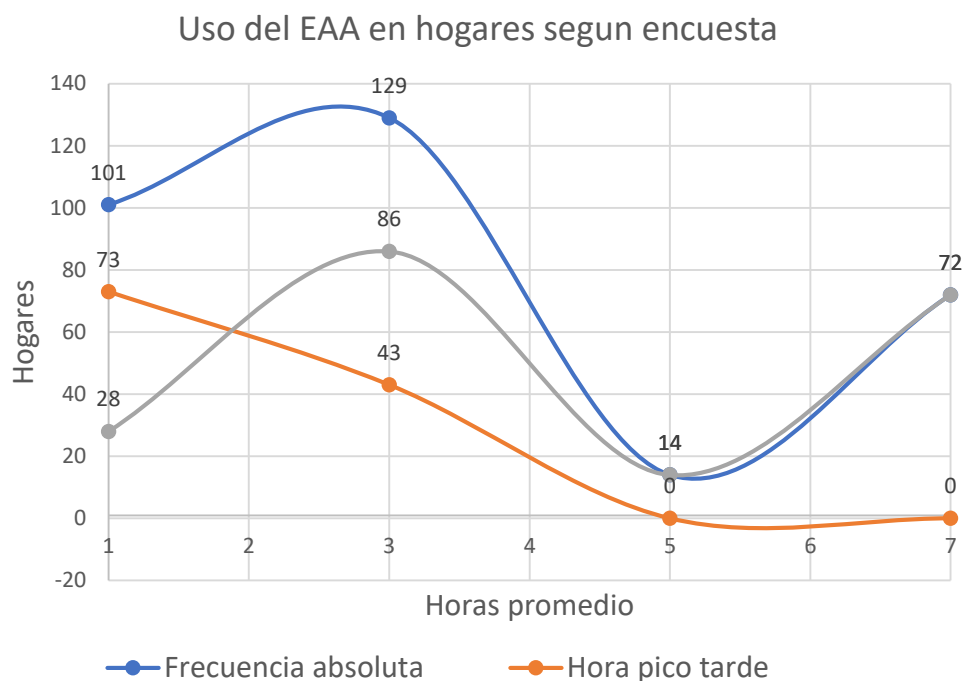


Figura 22: Uso de EAA en hogares del municipio de los Patios según la encuesta realizada.

$$M_o = 2,39 h$$

El valor de la moda es de $M_o = 2,39 h$, por tanto, analizando la media, la moda y la mediana el resultado refleja que el aproximado es de 3 horas, como se muestra en la

	HORAS	MARCA DE CLASE (x)	HORA PICO TARDE	HORA PICO NOCHE	FRECUENCIA ABSOLUTA (f)	FRECUENCIA ACUMULADA (F)	x*f
1	[100-150]	125	58	0	58	14	7250
2	[150-200]	175	44	43	87	101	15225
3	[200-250]	225	73	58	131	232	29475
4	[250-300]	275	0	29	29	261	7975
5	[300-350]	325	0	29	29	290	9425
6	[350-400]	375	0	44	44	334	16500
TOTAL			175	203	378		85850

Tabla 3, por lo que, las horas de uso de un EAA están en el rango de 2 a 4 horas, además por frecuencia se toma la mayor dejando que es, la jornada de la noche. Así que se tomara como 4 horas de uso diaria para el diseño del EAA.

	HORAS	MARCA DE CLASE (x)	HORA PICO TARDE	HORA PICO NOCHE	FRECUENCIA ABSOLUTA (f)	FRECUENCIA ACUMULADA (F)	X*f
1	[100-150]	125	58	0	58	14	7250
2	[150-200]	175	44	43	87	101	15225
3	[200-250]	225	73	58	131	232	29475
4	[250-300]	275	0	29	29	261	7975
5	[300-350]	325	0	29	29	290	9425
6	[350-400]	375	0	44	44	334	16500
TOTAL			175	203	378		85850

Tabla 3: Intervalos de frecuencia para la potencia consumida en una vivienda, tanto para los hogares que utilizan EAA como para los que no.

Ahora se calcula la potencia promedio que se consume en un hogar en el municipio de los Patios.

La Figura 23 muestra las estadísticas de la encuesta para la potencia consumida en los hogares con y sin EAA, donde se puede apreciar que el consumo habitual está entre los 200 y 250 kWh. De las ecuaciones [2], [3] y [4], se obtiene; una media de $\bar{x} = 227,11 \text{ kWh}$, una mediana de $M_e = 233,77 \text{ kWh}$ y una moda de $M_o = 215,06 \text{ kWh}$, las cuales se ubican en la posición 3, como se muestra en la Tabla 3 y mediante estas tres variables, se indica como un intervalo de consumo promedio de [200-250] kWh al mes para la población.

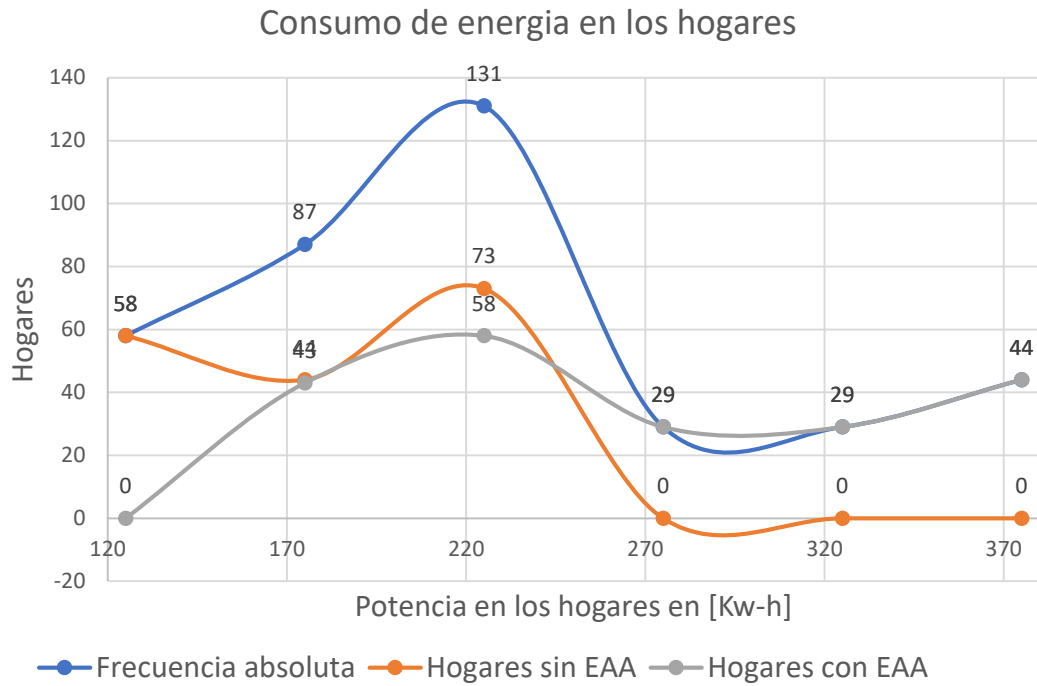


Figura 23: Uso de EAA en hogares del municipio de los Patios según la encuesta realizada.

4.2.2.1 Estimación del consumo.

Para la estimación del consumo se usan las ecuaciones [6] y [7] donde se obtiene:

$$E_{AC} = 1 * (4h) * (1.1kW) = 4.4 kWh$$

$$E_T = \frac{4.4 kWh}{0.85 * 0.9} = 5.752 kWh$$

Se obtiene que para el sistema el consumo del EAA es aproximadamente de 5.752 kWh al día.

4.2.3 Ángulo de inclinación al sol.

De acuerdo a las ecuaciones [8], [9], [12], [13] y [16] de la sección 3.3, se hace el cálculo para el promedio de los meses del año, para la posición angular de la tierra, la declinación, la distancia tierra al sol, la excentricidad y el ángulo de salida del sol, donde en la Tabla 4 se puede apreciar los valores para cada uno.

Se aclara en la Tabla 4 que se tomó como promedio cada mes, y al promedio respectivo del mes, es decir, el día se convirtió en uno de los 365 días que tiene el año, se puede ilustrar mejor en (Jaime Wright Gilmore, 1988)

Numero día del año	α (rad)	R (km)	ϵ (km)	δ (Grados)	ω_s (Grados)
16	0,25821309	147177479	1,031671815	-21,0915386	87,187538
45	0,75742508	147761913	1,02352693	-13,2921653	88,2777597
76	1,29106547	148870480	1,008340257	-1,646865766	89,790434
106	1,80749166	150147161	0,991265591	9,838422368	91,2641561
137	2,34113206	151321075	0,975945233	19,1444056	92,5311745
167	2,85755825	151999185	0,967256736	23,33083309	93,1453458
198	3,39119865	152022648	0,966958188	21,34557528	92,8496965
229	3,92483904	151352461	0,975540519	13,67444361	91,7736922
259	4,44126523	150231244	0,990156303	2,958950114	90,3767637
290	4,97490563	148911609	1,007783338	-8,959073047	88,8508042
320	5,49133182	147820749	1,022712322	-18,55994333	87,5519263
351	6,02497221	147177479	1,031671815	-23,31729734	86,8566994

Tabla 4: Ángulos necesarios para calcular la radiación global sobre una superficie inclinada.

4.2.4 Radiación global sobre una superficie inclinada.

Para el calcular la radiación solar sobre una superficie inclinada se utilizaron las ecuaciones [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25] y [26], se decide por los datos del aeropuerto Camilo Daza ya que estos están muy cerca del lugar donde se hace el estudio, y además ya que los datos se obtienen directamente del instrumento de medición, de manera que se obtiene la Figura 24 y la Tabla 5, de la cual se obtiene la radiación global sobre una superficie inclinada por mes, el cual el mes más alto es para agosto y el mes más bajo para marzo.

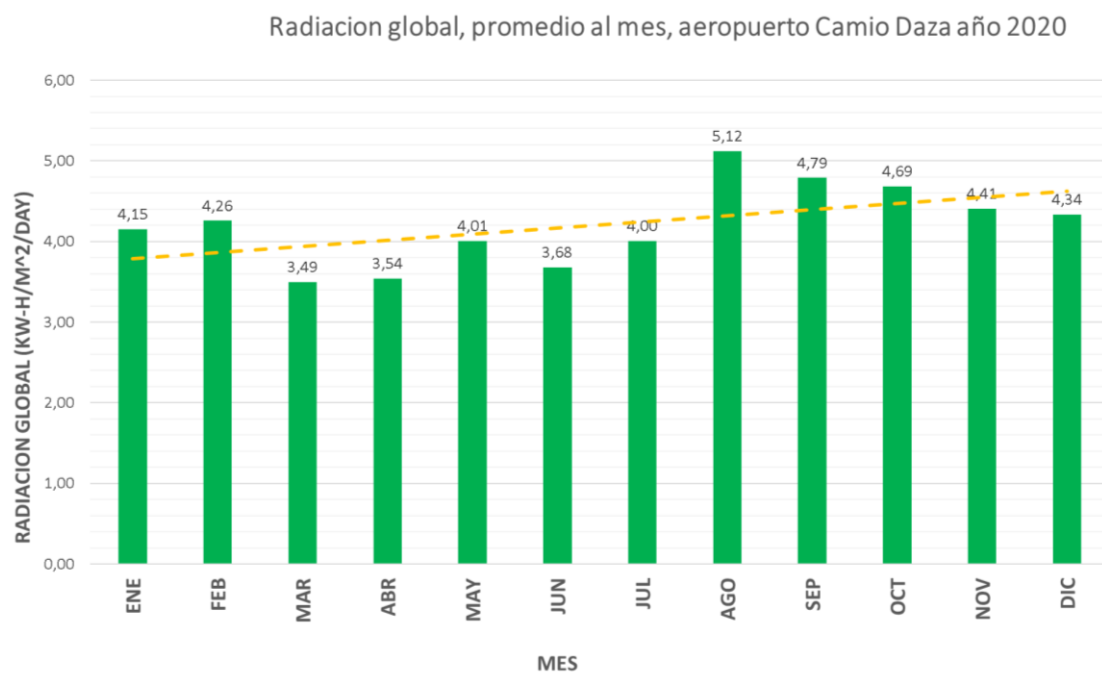


Figura 24: Radiación global sobre una superficie inclinada, para los datos experimentales del aeropuerto Camilo Daza.

Radiación global sobre una superficie inclinada (kW/M²/día)	
Mes	Aeropuerto Camilo Daza
Enero	4,15
Febrero	4,26
Marzo	3,49
Abril	3,54
Mayo	4,01
Junio	3,68
Julio	4,00
Agosto	5,12
Septiembre	4,79
Octubre	4,69
Noviembre	4,41
Diciembre	4,34

Tabla 5: Datos del aeropuerto Camilo Daza, para una superficie inclinada.

4.2.5 Número de paneles.

Para el cálculo del número de paneles se usó la ecuación [27], esta se utilizó para todos los meses del año.

De manera que para hacer el cálculo se tienen en cuenta el consumo del EAA que es de 5,75 kW, las pérdidas del sistema que tienen un valor de 0,7 y la potencia pico del panel 0,37 kWp.

MES	Radiancia (kW/M ² /dia)	cantidad de paneles
ENE	4,15	5,34
FEB	4,26	5,21
MAR	3,49	6,35
ABR	3,54	6,26
MAY	4,01	5,54
JUN	3,68	6,04
JUL	4,00	5,54
AGO	5,12	4,33
SEP	4,79	4,63
OCT	4,69	4,73
NOV	4,41	5,03
DIC	4,34	5,12

Tabla 6: Datos experimentales para el aeropuerto camilo Daza.

Para la Tabla 6 se tiene en cuenta los datos tomados en el aeropuerto Camilo Daza de la ciudad de Cúcuta, la cual nos arroja como máximo número de paneles fotovoltaicos es de 7.

4.2.5.1 Número de paneles en serie.

Antes de hacer el cálculo de la configuración de los paneles se hizo el cálculo previo para el banco de baterías obteniéndose una batería de 12 V, el cálculo está en la sección 3.3, y la tensión nominal de los módulos fotovoltaicos es de 40 V, por tanto, se usa la ecuación [28] y se obtiene:

$$N_s = \frac{12}{40} = 0.3 = 1$$

Como se obtiene 0.3 este se aproxima a 1, esto quiere decir que es más que suficiente para suplir a la batería de 12 V, teniendo el valor de los paneles en serie se hace necesario calcular cuantos paneles hay en paralelo, por lo que se usa la ecuación [29] y se obtiene:

$$N_p = \frac{7}{1} = 7$$

4.3 DEFINIR LOS COMPONENTES ELECTROMECAÑICOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

4.3.1 Banco de baterías.

Para determinar el banco de baterías se utilizará la ecuación [30].

$$C_{nb} = \frac{(5752 \text{ Wh}) \times (2)}{0.8} = 14380 \text{ Wh} = 14.380 \text{ kWh}$$

Se obtiene para el banco de baterías un total de 14380 kW, pero normalmente en el mercado las baterías están en la denominación de Ah por lo que es necesario usar la ecuación [31] y se obtiene:

$$C_n = \frac{14380 \text{ Wh}}{48} = 299.583 \text{ Ah}$$

$$C_n = \frac{14380 \text{ Wh}}{24} = 599.16 \text{ Ah}$$

$$C_n = \frac{14380 \text{ Wh}}{12} = 1198.33 \text{ Ah}$$

De acuerdo a los anteriores resultados que se dan conforme a la clase de batería (12 V, 24 V Y 48 V), se obtienen valores de Ah diferentes para cada caso, en primera instancia se puede escoger cualquier valor para el banco de batería, pero para este caso se tendrá el criterio económico, entonces de acuerdo a las fichas técnicas y precio en la Tabla 7 ,se selecciona la batería de 12 V con una capacidad de carga de 316 Ah, por lo que se necesita llegar a una acumulación de la energía de 1198.33 Ah, entonces se obtienen 4 de estos ejemplares para obtener una capacidad de energía de 1264 Ah, esta batería es de la empresa Autosolar.

Empresa	Batería	Voltaje (V)	Capacidad (Ah)	Precio (\$)
Autosolar	Ultracell *	12	316	1.666.000
Solartex	Mfix Power **	12	250	1.725.000
Emergente	Newimax ***	12	250	1.827.840

Tabla 7: Selección de baterías. (UCG316-12 Dimensions F11 Terminal, 2022) *, (Batería de 250Ah 12V GEL Maxpower - Solartex Colombia, 2022) **, (Batería de GEL 12V 250Ah Newmax SG 2500H | Emergente Energía SostenibleEmergente Energía Sostenible, 2022) ***.

4.3.2 Dimensionado del regulador.

Para el dimensionado del regulador primero se halla el valor de la corriente producida por cada rama en paralelo del bloque generador, por lo que se usa la ecuación [33], por tanto:

$$I_R = \frac{(370 \text{ W}) \times (0.7)}{40 \text{ V}} = 6.475 \text{ A}$$

Calculada la corriente para cada rama, se calcula la corriente producida por el generador, por lo que se usa la ecuación [32]:

$$I_G = (6.475 \text{ A}) \times (7) = 45.325 \text{ A}$$

Ahora se halla el valor de la intensidad que consume la carga, como el sistema que se diseña es AC, la potencia para corriente directa se desprecia, entonces de la ecuación [34], se obtiene:

$$I_C = \frac{5752 \text{ Wh}}{110} = 52.29 \text{ A}$$

Comparando los valores de I_G e I_C , se encuentra que I_C es mayor que I_G , por lo que se elige la intensidad mayor. Para la elección del regulador se elige una intensidad igual al valor de I_C o mayor.

Como se puede apreciar en la Tabla 8 hay diferentes tipos de reguladores consultados en la web, de todos ello se seleccionó el regulador de carga PWM de 60 A con puerto USB de la empresa Emergente, es pues el más apto como en economía y cumple con las especificaciones del cálculo, es decir estar por encima de la intensidad de corriente de 52.90 A.

Empresa	Regulador	Voltaje (V)	Capacidad (A)	Precio (\$)
Autosolar	AllPower*	12/24	60	253.000
Emergente	Solar**	12/24	60	187.000
Solartex	Powest***	12/24/48	60	940.000

Tabla 8: Selección del regulador. (Controlador Carga Solar 60A PWM 12/24VDC AllPowers, 2022)*, (Controlador Regulador De Carga PWM 60A Con Puerto USB, 2022) **, (Controlador MPPT 60A 12/24/48V Powest, 2022) ***.

4.3.3 Dimensionado del inversor.

Como se hizo la estimación en AC para equipos eléctricos, entonces el inversor obtendrá el valor del consumo del EAA, es decir 1100 W. Por lo que se busca en el mercado un inversor que tenga una potencia de 1100 W.

Según la Tabla 9 que se presenta una variedad de inversores y sus potencias, se selecciona el inversor MUST PV3000 LMPK 1500W 12V120V MPPT 80 A, el cual tiene el mejor precio y ofrece buenas prestaciones con respecto al consumo de potencia. Para funcionar según el EAA que su potencia es de 1100 W y este inversor tiene una potencia de trabajo por encima del EAA, por lo que no se correría el riesgo de que el equipo se dañe por una exigencia mayor del equipo de trabajo (EAA).

Empresa	Regulador	Voltaje (V)	Potencia (W)	Precio (\$)
Autosolar	Victron energy*	12	1200	1.746.600
Solartex	Growatt**	50-500	1650	1.640.000
Emergente	Must***	12	1500	1.442.000

Tabla 9: Selección de inversores. (Inversor Victron Phoenix 12V 1200VA 120V VE.Direct 5-15R, 2022) *, (Inversor Growatt 1500W MIC 1500TL-X MPPT, 2022)** (Inversor Must PV3000 LMPK 1500w 12V 120v Mppt 80A, 2022)***



Figura 25: Esquema de la organización de los componentes del sistema.

En la Figura 25 se ve una semejanza de cómo se conectará cada componente, para así como resultado final impulsar al EAA.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico y tiempo de equilibrio se tiene primero en cuenta la inversión inicial. Estos precios se sacaron de sitios web como *solartex emergente* y *autosolar*, sitios especializados en la distribución y venta de artículos para energías ecológicas, tal cual como se muestra en la Tabla 10.

Equipo	Precio unitario (\$)	Numero	Valor total (\$)
Panel solar	\$ 507.500	7	\$ 3.552.500
Baterías	\$ 1.666.000	4	\$ 6.664.000
Regulador	\$ 187.000	1	\$ 187.000
Inversor	\$ 1.442.000	1	\$ 1.442.000
Estructura y cableado	\$ 2.428.186	1	\$ 2.428.186
Mano de obra	\$ 2.000.000	1	\$ 2.000.000
			\$ 16.273.686

Tabla 10: **Costos por elementos del sistema.**

Para el punto de equilibrio, es decir, el tiempo que tarda en recuperarse el capital invertido, fue necesario consultar la tasa de inflación de la energía para Colombia, dando así un equivalente del 12.1 (UPME, 2022), e igualmente el precio del kWh para el año 2022 que fue de \$619.121 COP (peso colombiano) (CREG, 2022).

Por tanto, se utilizó el valor de la inflación para cada año que se adiciona, un mantenimiento para cada panel fotovoltaico que ronda entre los \$12.565.84 a \$41.886.13 COP (limpieza de casas, 2022), eso quiere decir que un promedio anual para cada panel seria de 17612 COP y anualmente para los 8 paneles fotovoltaicos costaría \$211.344 COP. También se involucró el consumo del aire acondicionado, ya que el punto de retorno, depende del ahorro de energía en kW al año del sistema que contrarresta a la inversión inicial.

Año	Deuda inicial (\$)	\$/kWh	Cobro fijo (\$)	Precio del consumo del EAA (\$)	Ahorro (\$)	Flujo de caja (\$)
1	16.273.686	619	211.344	3.561	1.281.945	1.070.601
2	15.203.085	694	221.911	3.992	1.437.060	1.215.149

3	13.766.025	769	232.478	4.423	1.592.175	1.359.697
4	12.173.850	844	243.046	4.854	1.747.291	1.504.245
5	10.426.560	919	253.613	5.284	1.902.406	1.648.793
6	8.524.154	994	264.180	5.715	2.057.521	1.793.341
7	6.466.632	1.069	274.747	6.146	2.212.636	1.937.889
8	4.253.996	1.144	285.314	6.577	2.367.752	2.082.437
9	1.886.244	1.218	295.882	7.008	2.522.867	2.226.985
10	- 636.623	1.293	306.449	7.439	2.677.982	2.371.534
11	- 3.314.605	1.368	317.016	7.870	2.833.098	2.516.082
12	- 6.147.703	1.443	327.583	8.301	2.988.213	2.660.630
13	- 9.135.916	1.518	338.150	8.731	3.143.328	2.805.178
14	- 12.279.244	1.593	348.718	9.162	3.298.444	2.949.726
15	- 15.577.688	1.668	359.285	9.593	3.453.559	3.094.274
16	- 19.031.247	1.743	369.852	10.024	3.608.674	3.238.822
17	- 22.639.921	1.818	380.419	10.455	3.763.790	3.383.370
18	- 26.403.711	1.893	390.986	10.886	3.918.905	3.527.918
19	- 30.322.615	1.968	401.554	11.317	4.074.020	3.672.467
20	- 34.396.635	2.042	412.121	11.748	4.229.135	3.817.015

Tabla 11: Calculo para hallar el año del punto de equilibrio.

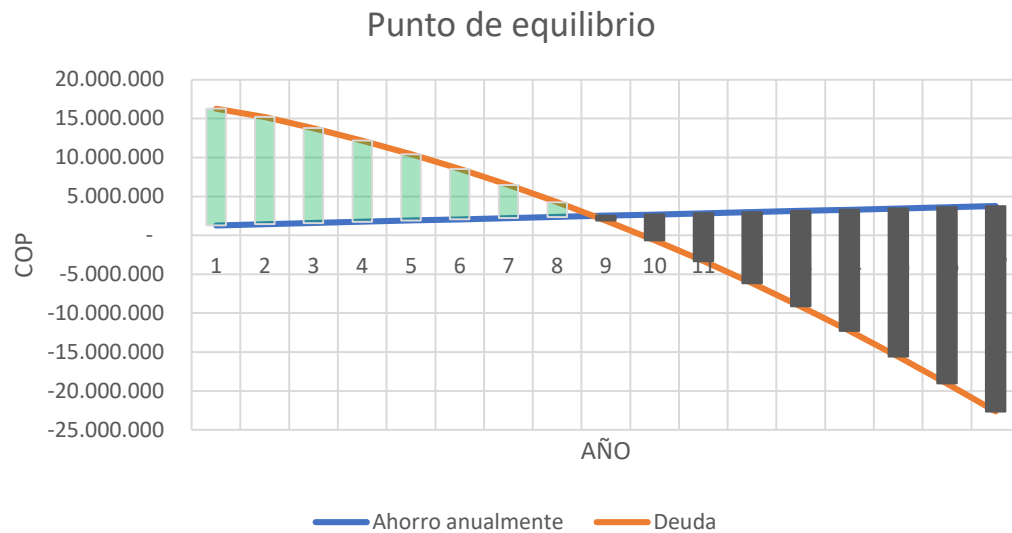


Figura 26: Grafica en que se muestra el punto de equilibrio, se adiciona un año más, a la intersección de las dos rectas.

Como se muestra en la Figura 26 y la Tabla 11, el punto de equilibrio para un financiamiento de contado se da a los 10 años después de la inversión del sistema, lo cual es bueno ya que la vida útil de los paneles es de 25 años y su eficiencia empieza a bajar después de los 20 años, y en este tiempo empiezan a perder la vida útil, el cual es por debajo del 80%, y la de las baterías con una vida útil de 18 años en condiciones óptimas.

Cálculo del VAN				
Periodo (año)	FNE		$(1+i)^{-n}$	$FNE(1+i)^{-n}$
0	-\$	16.273.686		-\$ 16.273.686
1	\$	1.070.601	\$ 1	\$ 1.010.001
2	\$	1.215.149	\$ 1	\$ 1.081.478
3	\$	1.359.697	\$ 1	\$ 1.141.628
4	\$	1.504.245	\$ 1	\$ 1.191.503
5	\$	1.648.793	\$ 1	\$ 1.232.074
6	\$	1.793.341	\$ 1	\$ 1.264.235
7	\$	1.937.889	\$ 2	\$ 1.288.807
8	\$	2.082.437	\$ 2	\$ 1.306.547
9	\$	2.226.985	\$ 2	\$ 1.318.149
10	\$	2.371.534	\$ 2	\$ 1.324.252
11	\$	2.516.082	\$ 2	\$ 1.325.440
12	\$	2.660.630	\$ 2	\$ 1.322.251

13	\$	2.805.178	\$	2	\$	1.315.177
14	\$	2.949.726	\$	2	\$	1.304.667
15	\$	3.094.274	\$	2	\$	1.291.132
16	\$	3.238.822	\$	3	\$	1.274.950
17	\$	3.383.370	\$	3	\$	1.256.463
18	\$	3.527.918	\$	3	\$	1.235.984
19	\$	3.672.467	\$	3	\$	1.213.798
20	\$	3.817.015	\$	3	\$	1.190.163
						8.615.015 €

Tabla 12: Calculo del VAN para un periodo de 20 años.

Para calcular la viabilidad del proyecto mediante una deuda, se tiene en cuenta el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno) (Pedro Arroyo & Ruth Vásquez, 2016), para el VAN se le asignara un valor de un 6% , y luego a ello se hacen los respectivos cálculos para cada periodo, como se muestra en la Tabla 12 para un periodo de 20 años que se estima la duración del proyecto se obtiene un capital positivo de alrededor de 8.615.014 COP, lo cual quiere decir que es bueno para el proyecto, esto quiere decir que resulta ser viable en primera instancia.

La Tabla 13 y la Figura 27, este valor nos indica que si el valor de la tasa de retorno es superior al del valor actual, el proyecto presenta viabilidad, por ende el proyecto sería bueno realizarlo. Para la TIR se presenta una viabilidad del 10.59% y se tienen otros valores que pueden servir, hasta qué punto porcentual llegar la mejor tasa, tal cual como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Tasa interna de retorno (TIR), viabilidad según a diferentes tasas de descuento.

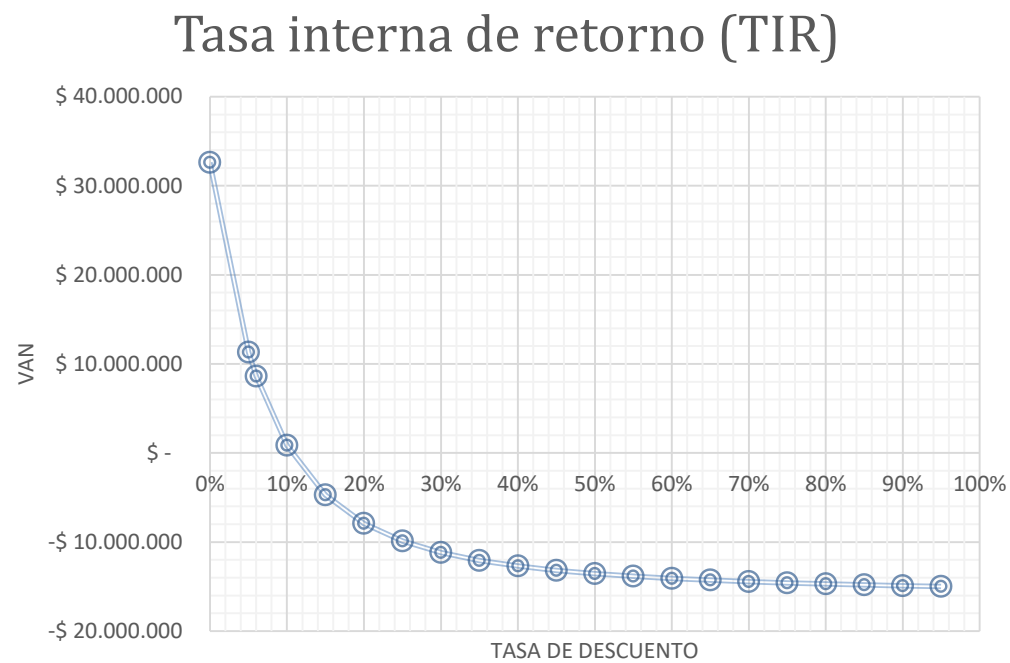


Figura 27: Tasa interna de retorno se muestra que el máximo valor que puede tomar es cercano al 10%.

En la Figura 27 puede apreciarse como es la variación del VAN, para diferentes tasas de descuento, donde el punto de equilibrio se alcanza para una tasa de interés del 10.59% cuyo a valor corresponde al intercepto de la recta con el eje de los descuentos.

6. CONCLUSIONES

- Al cambiar la configuración del sistema, ya sea la potencia de salida, el Watio pico del panel fotovoltaico y pérdidas, se pueden obtener resultados en el número de paneles que no coincidan, por lo que es necesario hacer un promedio de los resultados de la radiación global sobre una superficie inclinada, respecto a la NASA, la UPME y los del Camilo Daza.
- Como se detalla en el estudio económico, la regresión de la inversión es a los 10 años para un capital sin interés, y como los paneles ofrecen una energía limpia sin residuos de carbono, entonces, es evidente que las personas que tiene los recursos necesarios pueden adquirir un sistema como los que se estudió en este proyecto, retornar su inversión y, además, cuando se cumple el tiempo de retorno ya es ganancia lo que se obtiene, y el beneficio de una energía limpia.
- Para un capital prestado, se determina lo que es el VAN y la TIR para medir con respecto al capital si es viable, en este caso con una tasa del 6% la TIR da un valor del 10,59%, es decir es superior a la de la tasa de descuento, por lo que el proyecto es viable para su debida ejecución.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Para la toma de estudios futuros con respecto al tema se puede abarcar en la mejora del factor de sombra, el cual es un tema donde se diseña la mejor postura o ubicación de los módulos fotovoltaicos para recibir toda la radiación posible sin la obstaculización del rayo del sol directo, es decir, que no halla sombras en el módulo fotovoltaico.
- Se puede abarcar, en un tema de investigación, que trate del seguimiento de los módulos fotovoltaicos de acuerdo al posicionamiento del sol, ya sea por medios electrónicos extrayendo parte de la energía al bloque generador, o totalmente mecánico sin extraerle energía al bloque generador.
- También se puede abarcar la optimización de los competentes del aire acondicionado, tanto para el consumo como en la eficiencia de la refrigeración.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal de Los Patios. (2018, November 21). *Datos Abiertos Colombia*. Barrios Del Municipio de Los Patios Por Estratos. <https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Barrios-del-Municipio-de-Los-Patios-por-estratos/6mms-f7un>
- ANDRÉS MAURICIO GUERRERO AGUDELO. (2014). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA ORIENTAR A USUARIOS DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA ELECCIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN BASADO EN CRITERIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES, EN LA EMPRESA AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN SAS*. <https://core.ac.uk/download/pdf/159377826.pdf>
- Arrieta Paternina, Olmos Villalba, Luis Carlos, Izquierdo Nuñez, Jorge Luis, Alvarez López, & Ramon Antonio. (2012). Diseño de prototipo del sistema solar fotovoltaico optimizando el Angulo de inclinación de los paneles solares. *Prospectiva*.
- Baterías y Amperios. (2021a). *Batería solar 12V 1270Ah Sopzs*. <https://bateriasyamperios.com/producto/bateria-solar-12v-1270ah-sopzs/>
- Baterías y Amperios. (2021b). *Batería solar 24V 600Ah Sopzs*. <https://bateriasyamperios.com/producto/bateria-solar-24v-600ah-sopzs/>
- Baterías y Amperios. (2021c). *Batería solar 48V 390Ah Sopzs*. <https://bateriasyamperios.com/producto/bateria-solar-48v-390ah-sopzs/>
- Br., Br. J. A. B. López., Narváez, Br. A. A. Cano., & Blanco., Dr. N. (2017). "Propuesta para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica como fuente primaria de un sistema de climatización basado en equipos ahorrativos de Tecnología Invertir en los auditorios Carlos Martínez Rivas, Fernando Gordillo y Roberto Gonzáles de I., 1(1), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.758>
- Caracterización, ", Los, D. E., Eólico, R., Solar, Y., La, D. E., & de Juliaca, C. (2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6306/Huanca_Callata_Elmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Catalina F. Figueroa M., Chillán, M. R., Nely Angelica P. Marquez L., & Cristian H. Rodriguez M. (2014). *CATALINA FRANCISCA FIGUEROA MÁRQUEZ NELLY ANGÉLICA PARRA LUNA CRISTIAN HERNALDO RODRÍGUEZ MÉNDEZ*. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1038/1/Figueroa%20Marquez%20c%20Catalina%20Francisca.pdf>
- Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M., & Yan, J. (2013). Achieving better energy-efficient air conditioning - A review of technologies and strategies. *Applied Energy*, 104, 87–104. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.037>
- de Minas, M., & Upme, E. (2005). *Atlas de radiación solar en Colombia*. www.ideam.gov.co/www.upme.gov.co
- Denegri, M. J., Raichijk, C., Grossi, H., & Gersolar, G. (2012). Impreso en la Argentina. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.

-
- Domènech, A. L. M. M. À. (2018). *Alfaomega CLOUD - ABC del Aire Acondicionado* (A. Marcombo, Ed.; 1st ed.). julio 2018. <https://www-alfaomegacloud-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/reader/abc-del-aire-acondicionado?location=42>
- Ernesto Sanguinetti Remusgo. (2017). *manual de refrigeración y acondicionamiento de aire* (Macro, Ed.; 1st ed.). macro. <https://www-ebooks7-24-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/?il=6180>
- Félix Ortiz Garzón, Luz Hernández Gegén, & José Ramírez Quintero. (2018). GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN ZONAS RESIDENCIALES. *Ingenio Magno*, 9(2), 43–52.
- Health, B., Improving, B. Y., & Qualitythe, A. I. R. (2018). *Health and Environment Alliance (HEAL) Europe ’ s most polluting plants – situated in the Western Balkans*. August 2017, 1–8.
- IDEAM. (2005a). *Radiacion global*. LA RADIACIÓN SOLAR Y SU PASO POR LA ATMÓSFERA. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- IDEAM. (2005b). *Radiacion solar*. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- IDEAM. (2014). *Atlas Interactivo*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Innovación y Cualificación, S. L. (2017). *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaica*. IC Editorial.
- Jaime Wright Gilmore. (1988). Estimación De Los Promedios Diarios Y Mensuales De La Radiación. *UNICIENCIA*, 39–46.
- Jorge IvánRomero-Gelvez, Yordano Carrillo-Camacho, & Anderson Fabian-Cárdenas. (2020). *ENVERDECIMIENTO EN LA CADENA DE FRÍO COLOMBIANA MEDIANTE PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VEHÍCULOS REFRIGERADOS*. [http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/10112/Tra bajo%20de%20grado.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/10112/Tra%20bajo%20de%20grado.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- José A. Bravo L., & Alfonso A. Cano Narváez. (2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Tesis Monográfica para optar al Título de Ingeniero Eléctrico*.
- Juan S. Gómez G., & Nixon A. Silva L. (2018). *Diseño e Implementación de un Sistema de Energía Solar...* [https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1439/Dise%F1o%20e%20 Implementaci%F3n%20de%20un%20Sistema%20de%20Energia%20Solar....pdf;jsessionid=888A392D32051D79C22A8EA1B5A2BC63?sequence=3](https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1439/Dise%F1o%20e%20Implementaci%F3n%20de%20un%20Sistema%20de%20Energia%20Solar....pdf;jsessionid=888A392D32051D79C22A8EA1B5A2BC63?sequence=3)
- López, M. C. (2016). *Informe Técnico de Residencia Profesional Estudio de eficiencia y adaptación de aires acondicionados convencionales a tipo inverter Marc Claes López*. 32. [https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/289/Marc_Claes_Infor me Técnico_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/289/Marc_Claes_Infor me%20Técnico_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

-
- Luque, A. (Antonio), & Hegedus, Steven. (2003). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Wiley. <https://kashanu.ac.ir/Files/Content/Handbook.pdf>
- Minenergía. (2020). *En el Día Mundial del Clima, Minenergía promueve tips de uso eficiente de la energía eléctrica en los hogares colombianos*. Cundinamarca, Bogota. <https://www.minenergia.gov.co/en/historico-de-noticias?idNoticia=24185821>
- Minenergía, & UPME. (2021). *Informe Inflacion Energía Dic 2020*. http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Informe_Inflacion_Energia_Dic_2020.pdf
- NASA. (2020). *POWER Data Access Viewer*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Pérez, R. G. (2017). *replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas* (I. Editorial, Ed.; 2nd ed.). <https://www-ebooks7-24-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/stage.aspx?il=8733&pg=&ed=>
- QUILES, P. V., ALEDO, S., & AGUILAR, F. J. (2016). análisis energético de un sistema de aire acondicionado. *Доклады Академии Наук*, 469(3), 319–323. <https://doi.org/10.7868/s0869565216210155>
- Safizadeh, M. R., Morgenstern, A., Bongs, C., Henning, H. M., & Luther, J. (2016). Optimization of a heat assisted air-conditioning system comprising membrane and desiccant technologies for applications in tropical climates. *Energy*, 101, 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.007>
- Salamanca-Avila, S. (2017a). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 3(30), 263. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Salamanca-Avila, S. (2017b). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 3(30), 263. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Salazar, C. (2018). *FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf>
- Sandra Cortes, A., Karla Yohannessen, V., Lidya Tellerias, C., & Ericka Ahumada, P. (2019). Exposure to contaminants from coal-fired thermoelectric plants and children's health: What is the international and national evidence? *Revista Chilena de Pediatría*, 90(1), 102–114. <https://doi.org/10.32641/rchped.v90i1.748>
- Seiler, W. (2002). El cambio climático global. *Dyna*, 77(9), 35–38.
- Sistemas de aire acondicionado*. - Quadri, Nestor Pedro - Google Libros. (2001). https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=J-iWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA62&dq=aire+acondicionado+&ots=n4fVnmq7iq&sig=jPIAdvhM70rt5x0T7ukGsz6UiK4&redir_esc=y#v=twopage&q=aire+acondicionado&f=true
- Torres, Y. R. L., & Suárez, MSc. B. A. Díaz. (2018). *Propuesta de prototipo de aire acondicionado con el uso de energía solar térmica*. [https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/bitstream/uho/5624/1/Tesis final Lores.pdf](https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/bitstream/uho/5624/1/Tesis%20final%20Lores.pdf)
- Yamile Díaz Torres., Mario A Álvarez Guerra-Plasencia., Dries Haeseldonckx., & Rodríguez., C. R. (2019). 05 Presentation date: September, 2019 Date of

acceptance: November 2019 Publication date: January, 2020 THE AIR
CONDITIONER SYSTEM. BRIEF REVIEW OF ITS MAIN CHARACTERISTICS.
PART I L. *Duke Law Journal*, 1(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zenaida Hernández Martín. (2012). *METODO DE ANALISIS DE DATOS* (Vol. 6).