



Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

**Jean Elías Fernández Díaz
Andrés David García Segura**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

**Jean Elías Fernandez Diaz
Andrés David García Segura**

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

Director (a):
MSc. Fabio Andres Bermejo

Línea de Investigación:
GI Fourier
Grupo de Investigación:
Gi-Fourier

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

Dedicatoria

A Dios, mis padres, mis compañeros y profesores. ¡Muchas gracias!

Agradecimientos Andrés García

Agradecimientos Jean Fernández

Resumen

Se realizó un estudio investigativo con el fin de determinar si un aire acondicionado adaptado para funcionar a partir de energía fotovoltaica con paneles solares pueda ser más eficiente en comparativa con uno alimentado por la red eléctrica, para esto se investigarán en bases de datos y se estudiará en las implementaciones que factores lo pueden favorecer teniendo en cuenta características muy puntuales tales como costos, tiempo de vida, potencia del equipo, etc. Como resultado se obtuvo que las tecnologías modernas de aires acondicionados te brindan una variedad amplia de productos de los cuales se seleccionó el más adecuado para el proyecto el cual fue el RECREATE. Con base este equipo se realizaron cálculos termodinámicos basándonos en el ciclo de compresión de vapor el cual nos arrojó que el COP es igual a 3.9. Teniendo como base el valor de COP, se obtuvieron los valores técnicos de instalación e inversión del KIT SOLAR que fue aproximadamente \$11.000.000COP. Finalmente, los cálculos de costos arrojaron que la implementación del sistema de refrigeración con paneles solares tendrá una TIR de 5.7años, los que nos indicó que es un proyecto viable.

Palabras clave: Paneles solares, Aire acondicionado,

Abstract

An investigative study was carried out in order to determine if an air conditioning adapted to work from photovoltaic energy with solar panels can be more efficient compared to one powered by the electrical network, for this they will be investigated in databases and studied In the implementations, what factors can favor it, taking into account very specific characteristics such as costs, life time, equipment power, etc. selected the most suitable for the project which was RECREATE. Based on this equipment, thermodynamic calculations were made based on the vapor compression cycle which showed us that the COP is equal to 3.9. Based on the COP value, the technical installation and investment values of the SOLAR KIT were obtained, which was approximately \$ 11,000,000 COP. Finally, the cost calculations showed that the implementation of the cooling system with solar panels will have an TIR of 5.7 years, which indicated that it is a viable project.

Keywords: Solar Panels, Air Conditioning

Contenido

	Pág.
1. Capítulo 1 – Planteamiento del problema, justificación y objetivos.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
2. Capítulo 2 - Marco referencial.....	7
2.1 Marco teórico.....	7
2.1.1 Energías renovables.....	7
2.1.2 Energía solar fotovoltaica.....	8
2.1.3 Elementos de un sistema solar fotovoltaico	9
2.1.3.1 Estructura para paneles solares	9
2.1.3.2 Módulo solar fotovoltaico (panel solar).....	11
2.1.3.3 Baterías o acumuladores	13
2.1.3.4 Inversores.....	15
2.1.3.5 Reguladores	16
2.1.4 Beneficios de la implementación de energía fotovoltaica.....	17
2.1.5 Electrodomésticos	18
2.1.6 Aires acondicionados	19
2.1.6.1 Aires acondicionados solares	23
2.1.7 Sistema de compresión de vapor.....	25
2.1.8 Datos climatológicos en Barranquilla.....	27
2.2 Marco legal de energías renovables.....	28
2.3 Estado del arte	30
3. Capítulo 3 – Metodología.....	33
3.1 Revisión del estado del arte.....	33
3.2 Análisis comparativo de nuevas tecnologías.....	34
3.3 Método de selección	34
3.1 Análisis técnico-económico.....	35
3.2 Selección de equipos para la generación.....	39
3.3 Análisis de costos.....	39
4. Capítulo – Resultados y discusión.....	43
4.1 Objetivo 1: Elaboración del estado del arte de las últimas tendencias tecnológicas en climatización y refrigeración con energía solar que se están implementando a nivel mundial.....	43
4.1.1 Equipo seleccionado	50
4.2 Objetivo 2: Establecimiento los parámetros operativos que permitan un obtener funcionamiento óptimo del equipo seleccionado de acuerdo con los factores climatológicos presentes en la ciudad.....	52
4.2.1 Selección de equipos para sistema de refrigeración.....	59

4.3	Objetivo 3: Ejecución del análisis técnico-económico para implementación de energía solar para el sistema de refrigeración de aire acondicionado seleccionado....	62
4.3.1	Análisis técnico-solar del sistema	62
4.3.2	Análisis técnico-económico	65
5.	Conclusiones y recomendaciones	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	68
6.	Bibliografía	75

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1. Estructura para paneles solares	10
Figura 2-2. Panel solar monocristalino	12
Figura 2-3. Panel solar policristalino	13
Figura 2-4. Panel solar amorfo	13
Figura 2-5. Inversor hibrido 3000va 3kva.....	15
Figura 2-6. Regulador para paneles solares.....	16
Figura 2-7. Esquema de kit solar.....	17
Figura 2-8. Etiqueta para la identificación de eficiencia del equipo.....	18
Figura 2-9. Sistemas de aires compactos (Arctic King WWK05CM91N)	20
Figura 2-10. Ficha técnica de aire Arctic King WWK05CM91N.....	20
Figura 2-11. Sistema partido de aire acondicionado con ficha técnica	21
Figura 2-12. Aire acondicionado 100% solar	23
Figura 2-13. Aire acondicionado solar-eléctrico (hibrido)	24
Figura 2-14. Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	25
Figura 2-15. Cambio de temperatura diaria	27
Figura 2-16. (A) Medias mensuales de radiación en Barranquilla, (B) Medias mensuales de horas de sol en Barranquilla y (C) medias mensuales de temperaturas en barranquilla. 28	28
Figura 3-1. Tabla del refrigerante con las entalpías existentes.....	36
Figura 3-2. Diagrama de Mollier	37
Figura 3-3. Determinación de la entalpía de mezcla	38
Figura 4-1. SolAir World AC-HIBRIDO-12-1 (Hibrido)	43
Figura 4-2. HotSpot Energy DC4812VRF (Solar)	44
Figura 4-3. JINTECH KFR-35GW/BP AC DC-TWA 1 (Hibrido)	45
Figura 4-4. RECREATE RC-ADC24GW-XA (Hibrido).....	46

Figura 4-5. SUNCHEES RC-ADC24GW-XA (Hibrido).....	47
Figura 4-6. Sistema de compresión de vapor con paneles solares como fuente de energía	52
Figura 4-7. Ficha técnica del refrigerante R32 (6°C)	53
Figura 4-8. Ficha técnica del refrigerante (46°C).....	54
Figura 4-9. Diagrama de Mollier para el estado de vapor	55
Figura 4-10. Entalpía de vapor para el punto 1.....	55
Figura 4-11. Diagrama de Mollier para el estado de vapor sobrecalentado	56
Figura 4-12. Diagrama de Mollier para el refrigerante R32	57
Figura 4-13. Panel Solar JA SOLAR 455W 24V y especificaciones técnicas.....	59
Figura 4-14. Batería para equipo solar Bluesun/OEM AGM-12V 150AH.....	59
Figura 4-15. Inversor Voltronic Axpert MKS 800W y regulador ZHCSolar 80 amp para equipo solar.....	60

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. Energías renovables	7
Tabla 2-2. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	9
Tabla 2-3. Tipos de estructuras para soportar paneles solares	10
Tabla 2-4. Tipos de baterías solares	14
Tabla 2-5. Consumo energético teórico	19
Tabla 2-6. Dispositivos del sistema de refrigeración	26
Tabla 2-7. Consumo eléctrico por meses de calefacción y refrigeración. Los meses duplicados se debe a que en ellos se registraron consumos tanto de refrigeración como de calefacción	32
Tabla 2-8. HSP por mes para un panel fotovoltaico inclinado a 30°	32
Tabla 3-1. Información de modelos de sistemas de alimentación solar para aires acondicionados	34
Tabla 3-2. Sistema de selección del equipo.	35
Tabla 4-1. Características técnicas y económicas de los sistemas investigados	48
Tabla 4-2. Consumo Eléctrico vs Uso Diario	49
Tabla 4-3. Componentes del sistema de paneles solares	50
Tabla 4-4. Sistema de toma de decisiones	51
Tabla 4-5. Equipos seleccionados para el KIT SOLAR (1 unidad por equipo)	61
Tabla 4-6. Cálculos de mecánicos y de eficiencia del sistema de refrigeración	62
Tabla 4-7. Cálculos de los paneles solares	63
Tabla 4-8. Cálculos de las baterías	63
Tabla 4-9. Estimación de costos	65
Tabla 4-10. Estimación de Retorno simple	66
Tabla 4-11. Flujos de caja	66

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 2-1. Coeficiente de operación.....	25
Ecuación 2-2. Coeficiente de operación relacionado con las entalpías	26
Ecuación 2-3. Flujo masico.....	26
Ecuación 3-1. COP con entalpías	37
Ecuación 3-2. Flujo masico.....	38
Ecuación 3-3. Trabajo del compresor	38
Ecuación 3-4. Ecuación del periodo simple de recuperación	40
Ecuación 3-5. Ecuación de la TIR	40
Ecuación 4-1. Coeficiente de rendimiento (COP)	54

Introducción

El estudio será efectuado debido a que en la ciudad de Barranquilla se presentan muchos inconvenientes al momento del uso de equipos de refrigeración doméstica, la ciudad presenta en promedio un alto número de grados de temperatura lo cual hace muy común el uso de estos equipos para mantener en los hogares un buen confort, actualmente en la ciudad se encuentra cerca el dato de que por lo menos en una de cada tres casas se encuentra uno de estos equipos.

Los aires acondicionados convencionales son equipos alimentados a través de energía eléctrica cuya función es retirar el calor acumulado en un espacio cerrado para así obtener un mayor confort en el lugar (Lopez Fernandez, 2010). Nuestro planeta se ha visto afectado por el derrochamiento y el mal uso que le hemos dado a la energía que tenemos, generando de esta forma efectos negativos para nuestro ecosistema como lo es por ejemplo el calentamiento global y debido a estos efectos hemos tenido la necesidad de crear conciencia sobre lo que estamos haciendo como humanos y se ha comenzado a implementar otro tipos de energías limpias las cuales puedan ser renovables tales como la energía fotovoltaica y la eólica (Energía, 2015), en este caso hemos implementado la energía fotovoltaica con el fin de aprovechar nuestro mayor generador de energía natural como lo puede ser el sol a través de paneles solares.

Si bien estos equipos son funcionales, también presentan irregularidades las cuales queremos solucionar, reemplazando su sistema alimentado con energía eléctrica por uno alimentado con energía fotovoltaica a través de paneles solares (Lopez-Molina, Muñoz-García, Moratiel-Yugueros, & Moreda Cantero, 2019). Los mayores inconvenientes que representan dichos equipos son el alto consumo de energía eléctrica, lo cual se plasma en la factura del servicio. Adicional a esto también se presentan fallas en el equipo o en sus partes, gracias a las intermitencias frecuentes que tiene el sistema eléctrico perjudicándolo e incluso averiándolo totalmente.

Al realizar este cambio a los equipos y utilizarlos a través de los paneles solares no solo se intenta ayudar al usuario sino también al medio ambiente, esta ayuda es ocasionada porque la energía que utiliza el panel solar es una energía limpia y renovable la cual no afectará al medio ambiente (Cortés & Arango, 2017).

El alcance del proyecto es realizar una evaluación técnico-económica para la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla.

1. Capítulo 1 – Planteamiento del problema, justificación y objetivos

1.1 Planteamiento del problema

En la ciudad de Barranquilla debido a sus condiciones climatológicas se requiere una alta demanda de equipos de refrigeración doméstica, estos equipos presentan un alto costo por lo cual no son accesibles para toda la comunidad y adicional a esto generan un aumento más que notorio en el consumo eléctrico el cual es reflejado en la factura de energía eléctrica.

Debido a las fallas que presenta regularmente la red eléctrica gracias a las fluctuaciones en los voltajes regularmente presentan daños en los equipos en su parte electrónica en los cuales cualquier tipo de reparación no resulta nada económica, gracias a esto se quiere analizar si el hacer uso de energías renovables como la energía fotovoltaica puede resultar ser más beneficiosa para los usuarios en temas de costos.

Los equipos de refrigeración domestica también tienen otro punto que no le favorece y es que debido al gran consumo eléctrico que generan dichos equipos estos a su vez presentan un alto grado de daño a la capa de ozono afectando directamente al medio ambiente, (Contreras Mazo & Rodriguez Peñon, 2010) por lo tanto, se intenta demostrar que realizando el cambio a energías renovables se pueda encontrar una mejora visible con respecto al calentamiento global que se está presentando actualmente (Lopez-Molina, Muñoz-García, Moratiel-Yugueros, & Moreda Cantero, 2019)

¿Qué tecnologías de refrigeración por energía solar se pueden implementar en la ciudad de barranquilla para satisfacer la demanda local?

1.2 Justificación

El motivo principal por el cual se realiza el estudio es establecer si implementar nuevas tecnologías a través de uso de energía solar en equipos domésticos en la ciudad de barranquilla puedan llegar a ser más beneficiosos que los convencionales.

Realizando el estudio también podemos determinar que desventajas pueden traer la implementación de estos equipos con respecto a sus costos de adaptación para hacer uso de la energía fotovoltaica, los costos de los paneles, etc.

De esta manera gracias a la base de datos diferenciarán los costos empleados en los dos equipos y se puntualizará si realizando el cambio de tecnología de eléctrica a la energía solar es más beneficioso para de esta manera satisfacer la demanda local con mayor eficacia

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar un estado del arte de las últimas tendencias tecnológicas en climatización y refrigeración con energía solar que se están implementando a nivel mundial
- Establecer los parámetros operativos que permitan un obtener funcionamiento óptimo del equipo seleccionado de acuerdo con los factores climatológicos presentes en la ciudad.
- Realizar un análisis técnico-económico de la implementación de energía solar para el sistema de refrigeración de aire acondicionado seleccionado

2. Capítulo 2 - Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Energías renovables

Las energías han sido en los últimos años indispensables para el desarrollo acelerado de un país. Estas como su palabra lo dice son energías que no pierden capacidad bruta de explotación debido a que la energía es tomada de recursos que encontramos a diario como lo son el agua, el sol, el viento, entre otros (Cortés & Arango, 2017). Dentro de todo lo conveniente que es usar energías renovables se encuentran, la capacidad bruta de explotación o la capacidad de no agotarse que estas poseen, su utilización libre y la libre tenencia de polución (Cortés & Arango, 2017). Dentro de las posibles energías renovables encontramos las mostradas en la Tabla 2-1:

Tabla 2-1. Energías renovables

Tipos de energía	Descripción
Energía solar	Se obtiene a través del sol y se le da uso teniendo como base su recolección mediante paneles solares, transformada a energía eléctrica y transmitida al sistema a energizar.
Energía hidráulica	Se obtiene a través del agua y se le da uso a teniendo como base su accionamiento de un sistema mecánico que genera trabajo y a su vez se convierte en energía aprovechable.

Continuación de la Tabla 2-1

Energía eólica	Se obtiene a través del aire o viento y se le da uso teniendo como base molinos de viento que se conectan a generadores de electricidad y transforma su energía a e medida que giran sus aspas.
Biocombustibles	Los biocombustibles son derivados de grasas animales, vegetales, degradación de microorganismos, materia orgánica. Estos al igual que los combustibles fósiles generan una combustión en el sistema a energizar. Los más reconocidos en el mercado son la biomasa y el biogás.
Energía mareomotriz	Se da por el aprovechamiento de las fuertes mareas u olas lo cual genera energía eléctrica. Esta es ampliamente usada en islas, zonas costeras y dispositivos flotantes o de navegación.
Energía geotérmica	Se da por el aprovechamiento de la energía que yace en el corazón del planeta la cual aprovecha las altas temperaturas y las transforma en energía eléctrica.

Fuente: (Gonzalez, 2009)

Teniendo en cuenta el país de Colombia como referencia se tiene que las energías renovables son de gran importancia en nuestro territorio ya que se poseen las diversas fuentes de energía renovables en cantidades suficientes para suplir la demanda energética del país.

2.1.2 Energía solar fotovoltaica

Como bien se mencionó en Energías renovables, la energía solar es aquella que tiene como fuente de generación el sol. En este orden de ideas la energía solar fotovoltaica (ESF) es una tecnología que tiene la capacidad de generar corriente continua teniendo como medio los semiconductores cuando son iluminados con un haz de fotones. Este se da cuando la luz incide sobre la célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, generando potencia eléctrica; cuando no tenemos luz, se extingue y la electricidad desaparece. En dicho caso, las células solares no necesitan ser cargadas

como las baterías, sin embargo, se combinan para abastecer un sistema por horas. Dichas células se mantienen en operación desde hace 30 años. Este tipo de energía al igual que todos los medios de generación energética, poseen ventajas y desventajas. En la Tabla 2-2 se muestran las ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Tabla 2-2. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Desventajas	Ventajas
Gran inversión inicial	Limpia, renovable, infinita, silenciosa
Difícil almacenamiento	Retribuida económicamente la producción para venta a red
Proceso de fabricación de módulos complejo y caro	Subvenciones
No competitiva con otras energías en la actualidad	Corto pay-back de la energía
Producción variable según climatología	Sin partes móviles modular

Fuente: (Grupo NAP, 2002)

2.1.3 Elementos de un sistema solar fotovoltaico

La generación de energía fotovoltaica no solamente se compone en la captación de energía mediante los paneles, también tiene un elemento que regula la carga energética (), un elemento que la almacena (batería) entre otros. A continuación, se muestran los elementos que componen un kit solar.

2.1.3.1 Estructura para paneles solares

Para el soporte de los paneles solares normalmente se utilizan módulos fotovoltaicos que sirven para soportar las condiciones del exterior. Estos elementos normalmente se utilizan para fijar la posición, ángulo de incidencia, altura entre otros factores que permiten la correcta absorción de radiación. La Figura 2-1 muestra el esquema tradicional de estructura de paneles solares.

Figura 2-1. Estructura para paneles solares



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

Estas estructuras suelen ser diferentes según la necesidad, es decir, si encuentran en alturas extremas se recomienda que el material posea alta resistencia mecánica (acero). Sin embargo, cuando se encuentran en superficies más cercanas al suelo se pueden usar materiales ligeros y con una buena resistencia (aluminio) (Alusinsolar, 2021). Existen diferentes modelos de estructura como se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Tipos de estructuras para soportar paneles solares

Nombre del sistema	Descripción	Esquema
Sistema Bulnes	Se fabrica según las necesidades requeridas: Tamaño, ángulo, orientación entre otros. Es ideal para instalar paneles solares con ángulos predeterminados.	
Sistema Gulpiyuri	Ideal para instalación en sectores industriales, con dimensiones predeterminadas como largo de fila, orientación o panel de orientación.	

Continuación Tabla 2-3

Sistema de Picos	Es ideal para las cubiertas planas tipo MetalDECK, PVC o telas asfálticas donde es imposible sujetar mediante taladro.	
Sistema Cantábrico	Nace a partir del sistema Bulnes, pero ideado para campo abierto. Es adaptable para el tamaño de paneles solares y ayuda a optimizar el espacio.	
Sistema Muniellos	Este sistema es diseñado para huertas, fincas o haciendas donde se instale en el suelo. Es diseñada para una extensa vida útil.	

Fuente: (Alusinsolar, 2021)

2.1.3.2 Módulo solar fotovoltaico (panel solar)

Dicho componente es el componente básico de los sistemas de energía solar fotovoltaicos, es el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Estos elementos están fabricados principalmente por materiales

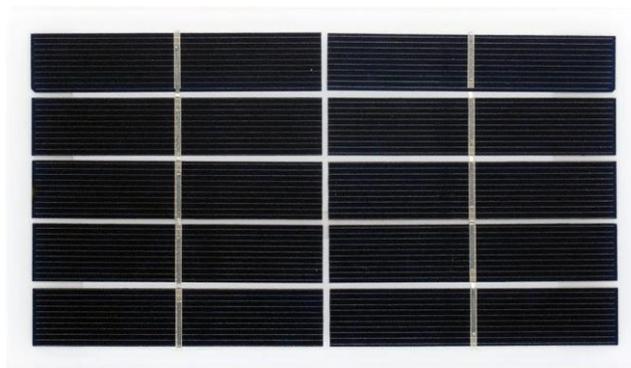
12 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

semiconductores monocristalinos, policristalinos o amorfos. Dichos paneles están constituidos por células fotovoltaicas, pequeños módulos interconectados eléctricamente y montados sobre un marco para soportarlos. Como se mencionó anteriormente estos se dividen en 3 los cuales serán mencionados a continuación:

1. Monocristalinos

- Células de un único cristal de silicio. La célula posee una forma circular u octogonal, además de tener un característico color azul oscuro uniforme.
- Rendimiento: 15% – 18%.
- Fabricación: Se funde silicio puro y se funde con boro.

Figura 2-2. Panel solar monocristalino



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

2. Policristalinos

- Formadas por un conjunto de cristales de silicio, poseen un rendimiento algo inferior a las células monocristalinas. La forma suele ser más rectangular y el color más intenso.
- Rendimiento: 12% – 14%.
- Fabricación: Igual al anterior, pero con menos fases de cristalización.

Figura 2-3. Panel solar policristalino



3. Amorfos

- Están compuestas por silicio sin cristalizar y son más baratas y menos eficientes que las anteriores. Este tipo de células se suele utilizar en calculadoras y relojes.
- Rendimiento: < 10%.
- Se deposita en forma de lámina sobre una superficie de plástico o vidrio.

Figura 2-4. Panel solar amorfo



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

2.1.3.3 Baterías o acumuladores

Las baterías o acumuladores cumplen un papel importante en el sistema solar fotovoltaico. Debido que la energía que se genera mediante los paneles solares fotovoltaicos no se

14 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

produce de manera continua y estable, siendo por factores climatológicos, ambientales o ciclos de día y noche, se amerita un elemento que almacene energía la cual se produce en exceso en momentos puntuales del día. Estas deben ser seleccionadas dependiendo la capacidad instalada y acorde a la cantidad de energía que necesitas almacenar (Alusinsolar, 2021). Existen diferentes tipos de baterías las cuales se mostrarán en la siguiente Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Tipos de baterías solares

Tipo de baterías	Descripción	Esquema
Baterías AGM	Estas están diseñadas para pequeñas instalaciones y sin necesidad de mantenimiento	
Baterías de litio	Son ligeras, compactas y con rápidos tiempos de carga, pueden ser utilizadas en cualquier instalación. Su principal desventaja es el coste.	
Baterías Monoblock	Están indicadas para instalaciones de autoconsumo aisladas muy pequeñas.	
Baterías estacionarias	Tienen una larga vida útil y están indicadas para instalaciones con altos y continuos consumos.	

Fuente: (Mercado Libre, 2020)

Adicionalmente, estas se dividen en potencias eléctricas, 12V, 24V y 48V, que a su vez se dividen para los diferentes consumos.

- **Baterías solares de 12V:** Se usan para consumos inferiores a los 100kWh y potencias de 1kW. Se recomiendan baterías monoblocks para estas capacidades (Ojeda, 2021).
- **Baterías solares de 24V:** Se usan para consumos que van entre 100 y 150kWh y una potencia entre 1 y 5kW. Se recomiendan baterías estacionarias para estas instalaciones (Ojeda, 2021).
- **Baterías solares de 48V:** Se usan para consumos que van por encima de 150kWh mensuales y potencias superiores a los 5kW. Se recomiendan baterías estacionarias o de litio (Ojeda, 2021).

2.1.3.4 Inversores

Estos son los encargados de transformar la corriente eléctrica continua (DC) la cual es producida por los paneles en corriente alterna (AC). El objetivo de transformar dicha energía es que puede ser consumida por cualquier aparato electrónico posible en los hogares, industria u otro sector (Ojeda, 2021). La Figura 2-5 muestra un inversor comercial ofrecido para sistemas solares.

Figura 2-5. Inversor híbrido 3000va 3kva



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

2.1.3.5 Reguladores

La funcionalidad de un regulador es generar una protección a los sistemas de almacenamiento (baterías) de sobrecargas y los excesos de descarga, posibilitando una mayor vida útil de estas. Se recomienda que se instale entre el panel solar y la batería. En la zona de carga, se ocupa de ofrecer la suficiente carga al acumulador evitando situaciones de sobrecarga, mientras que en la fase de descarga evita la descarga excesiva de la batería.

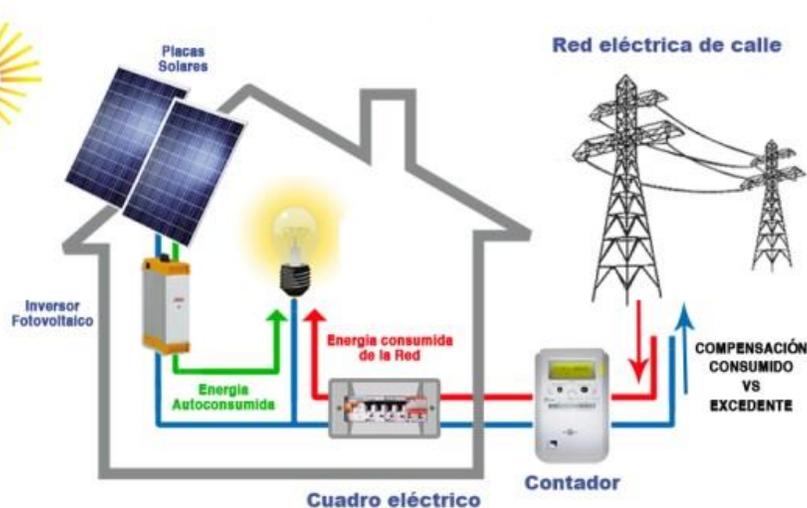
Figura 2-6. Regulador para paneles solares



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

Dichos componentes juntos hacen lo llamado en el mercado KIT solar. Este kit solar se selecciona dependiendo las condiciones térmicas, capacidades térmicas, ubicación, entre otros factores requerido por las condiciones. Un kit solar tiene un diseño abierto con muchas opciones. Aun así, es importante conocer los principales errores que se comenten para evitar problemas. Un buen diseño del kit solar aislado proporcionará siempre la energía necesaria para el consumo estimado.

Figura 2-7. Esquema de kit solar



Fuente: (Fotovoltaica, 2019)

2.1.4 Beneficios de la implementación de energía fotovoltaica

Este tipo de energía es la que utiliza la luz solar para transformarla en energía eléctrica genera múltiples beneficios, de los cuales los más importantes son el cuidado del medio ambiente y el ahorro económico, por lo cual es tan ampliamente usada hoy en día en diferentes tipos de aplicaciones (Alusinsolar, 2021). Dentro de los beneficios podemos observar los siguientes:

- **Fuente de energía renovable, no contaminante e inagotable:** Estos no precisan métodos químicos que contaminen, en otras palabras, este tipo de energía mitiga la generación de elementos perjudiciales o residuos que de otra manera son liberados a la atmosfera. Este tipo de energía se convierte en un sistema renovable generando autoconsumo y la no generación de emisiones de CO₂ (Alusinsolar, 2021).
- **Instalación sencilla y ahorro considerable:** Son de fácil instalación y se realiza de manera rápida, siendo ideales para el autoconsumo. Las variables de salida de los paneles (potencia y voltaje) están determinados por las características del sistema implantado y la ubicación deseada. Este tipo contiene un ahorro de dinero,

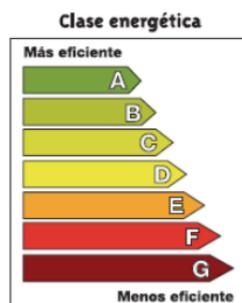
al obtener, se libera de la dependencia de las fuentes energéticas privadas (Alusinsolar, 2021).

- **Instalación en zonas rurales y con muchas horas de sol al año:** En las zonas aisladas es difícil que las redes eléctricas privadas lleguen, sin embargo, para dichas zonas este tipo (difícil acceso) estos sistemas son ideales (Alusinsolar, 2021).

2.1.5 Electrodomésticos

A lo largo de la vida útil de un electrodoméstico, el gasto en la factura eléctrica puede ser varias veces superior al precio de adquisición de este. Por ello, a la hora de la compra, hay que fijarse en el consumo de energía y optar, preferentemente, por los de clase A (son los más eficientes). Es muy importante elegir un electrodoméstico adaptado a nuestras necesidades. No basta con que sea eficiente, sino que es determinante que tenga un tamaño y prestaciones ajustados a nuestras necesidades. Los electrodomésticos van identificados con una etiqueta energética (Lopez Fernandez, 2010). La etiqueta energética permite al consumidor conocer de forma rápida la eficiencia energética de un electrodoméstico (Lopez Fernandez, 2010).

Figura 2-8. Etiqueta para la identificación de eficiencia del equipo



Fuente: (Lopez Fernandez, 2010)

Su ámbito de aplicación es europeo y constituye una herramienta informativa al servicio de los compradores de aparatos consumidores de electricidad. Tiene que estar obligatoriamente en cada electrodoméstico puesto a la venta (Lopez Fernandez, 2010).

Tabla 2-5. Consumo energético teórico

Equipo	Cantidad por vivienda	Potencia nominal (W)	Horas/día	Días de uso/Semanal	Energía consumida	Consumo mes (kWh/mes)
Bombillo de luz led	1	13	3	7	273	0.27 kWh/mes
Nevera 220lt	1	650	12	7	54600	54.6 kWh/mes
Lavadora 9.5kg	1	450	4	4	7200	7.2 kWh/mes
Plancha	1	1200	2	1	2400	2.4 kWh/mes
Ventilador	1	60	4	7	1680	1.68 kWh/mes
Aire acondicionado ON/OFF 12000btu	1	3516	8	7	196896	196.8 kWh/mes
Aire acondicionado Inverter 12000btu	1	2516	8	7	140896	140.8 kWh/mes
TV 43"	1	120	7	7	5880	5.88 kWh/mes
Computador	1	70	6	6	2520	2.52 kWh/mes
Equipo de sonido	1	100	4	3	1200	1.2 kWh/mes

Fuente: Autores

2.1.6 Aires acondicionados

El aire acondicionado es uno de los equipamientos que más rápidamente está creciendo en el sector doméstico. Este tiene como función generar un aumento o disminución de la temperatura utilizando el ciclo de compresión de vapor donde se transforma aire frío en caliente o viceversa. Los aires acondicionados son instalados ampliamente en lugares donde existan cambios bruscos de temperatura o lugares donde se mantenga una

20 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

temperatura no de confort y se necesite buscar un el confort en la temperatura como, por ejemplo, Barranquilla. Existen en el mercado dos tipos de aire acondicionado:

- **Los sistemas compactos:** tienen el evaporador y el condensador dentro de una misma carcasa. Los más habituales son los de tipo ventana (Lopez Fernandez, 2010).

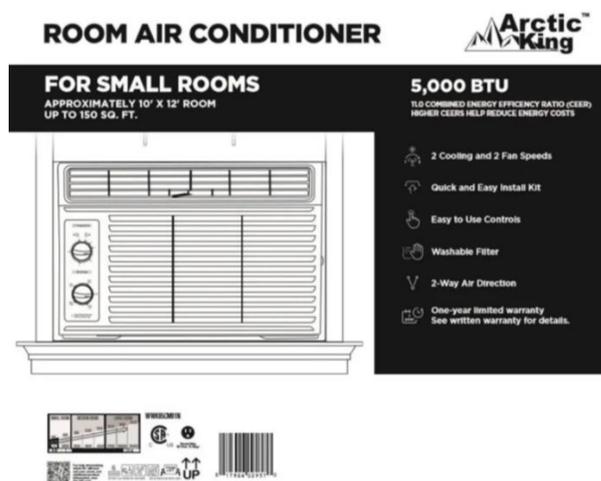
Figura 2-9. Sistemas de aires compactos (Arctic King WWK05CM91N)



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

Dicho sistema presenta la siguiente ficha técnica la cual se puede observar en la Figura 2-10.

Figura 2-10. Ficha técnica de aire Arctic King WWK05CM91N



Fuente: (Mercado Libre, 2020)

- **Los sistemas partidos:** son los que presentan una unidad exterior (condensador) y otra interior (evaporador), conectadas por conducciones frigoríficas para que pueda circular el refrigerante (Lopez Fernandez, 2010).

Figura 2-11. Sistema partido de aire acondicionado con ficha técnica

FULLTECH FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO
AIRE ACONDICIONADO TIPO MINISPLIT
FAC-12CSA/C1 Cod 33128 **INVERTER**

Unidad interior

Unidad exterior

Especificaciones
12.000 BTUH 110v/1PH/60hz
 Red de refrigeración en tubería de cobre de 1/2" x 1/4" aislada con espuma flexible elastomérica
 Carga de refrigerante R410A

Capacidad de enfriamiento	3.520 w	Consumo de energía	137 Kwh/mes
TIPO	C	Filtros	2
Temperatura Ambiente Adecuada	18 a 43°C	Eficiencia Energética	3.40 W/W
		Presión Sonora	40db a 1m

Control remoto
 *Modalidad Turbo
 *Temporizador programable
 *Filtro ecológico de fácil limpieza
 *Pantalla LED
 *Manual de instrucciones y mantenimiento

*Pueden variar según modelo.

FULLTECH

Fuente: (Mercado Libre, 2020)

A igualdad de potencia, la unidad evaporadora y la condensadora son mayores en los sistemas partidos, lo que les permite alcanzar mayores rendimientos que los equipos de ventana. Hay también una categoría de equipos, conocida popularmente como "pingüinos", que son del tipo transportable. Hay dos versiones: una que expulsa el aire al exterior a través de un tubo; y otra que tiene una especie de "maleta", que no es otra cosa que el condensador, que hay que situar en el exterior de la zona a climatizar. Son menos eficientes que los equipos de pared. Es importante elegir el tipo de equipamiento y potencia

que mejor responda a nuestras necesidades de frío/calor, dependiendo de las características de las habitaciones a climatizar.

La etiqueta energética de los equipos de aire acondicionado aporta la siguiente información:

- El consumo anual de energía
- La capacidad frigorífica
- El EER/COP, o coeficientes de eficiencia energética en frío y calor, respectivamente y establece dos medidas de eficiencia, para modos frío y calor (cuando existan).

En el aire acondicionado se pueden conseguir ahorros de energía superiores al 30% instalando toldos en las ventanas donde más da el sol, evitando la entrada de aire caliente en el interior de la vivienda y aislando adecuadamente muros y techos (Lopez Fernandez, 2010).

Hoy en día los aires acondicionados se dividen en 2 categorías que son las mayormente ofrecidas por sitios de comercio: Los aires ON/OFF y los aires inverter.

Los aires acondicionados con la tecnología ON/OFF funcionan de la siguiente forma:

- 1) Emitirá frío o calor hasta llegar a la temperatura deseada.
- 2) Una vez conseguida la temperatura, el motor del equipo se detiene completamente.
- 3) Si estamos en invierno, al dejar de emitir calor el aparato, la estancia se empezará a enfriar momentáneamente, o al contrario en verano.
- 4) Una vez “perdidos” del orden de unas décimas a un par de grados (según el modelo de aparato), el aire acondicionado se reactivará de nuevo, volviendo al paso 1.

Los aires acondicionados con la tecnología inverter funcionan de la siguiente forma:

- 1) Los equipos de aire acondicionado con tecnología inverter trabajan de manera continua, autorregulando la potencia del compresor en función de la temperatura de la estancia.

- 2) Los dispositivos con tecnología inverter suelen mantener muy bien la temperatura deseada, habitualmente sin llegar a perder un solo grado una vez alcanzada la temperatura deseada por el usuario

2.1.6.1 Aires acondicionados solares

Los aires acondicionado-solares tienen un método de funcionamiento similar a los tradicionales, solo que los paneles solares fotovoltaicos son los encargados de suministrar la energía necesaria el funcionamiento del equipo.

Cabe resaltar, que también existen los equipos de aire acondicionado que funcionan con energía fotovoltaica pero también se pueden conectar a la electricidad a los que normalmente le llamamos híbridos, la diferencia es que terminan consumiendo mucho menos energía de la red eléctrica privada y tiene un respetado por cualquier complicación en el sistema privado de red eléctrica. Por otro lado, los sistemas de aires acondicionados que funcionan 100% con energía solar depende única y exclusivamente de la luz solar para cargar sus baterías y así suministrar energía aprovechable al sistema de refrigeración. Estos no poseen un respaldo eléctrico de la red privada y son implementados para lugares donde no exista una red estable o existencia de red eléctrica. Lo importante para ambos casos es que en los días con más sol es cuando más calor hace y más se necesita el aire acondicionado, así que no habría problemas con energía solar (CODENSOLAR S.A.S, 2020).

Este tipo de tecnología se refleja en el uso de una unidad DC Inverter para el compresor como en los ventiladores de las unidades interiores y exteriores, lo que permite la obtención de una alta eficiencia, reduciendo así el consumo energético, lo que supone un destacado ahorro para el usuario (CODENSOLAR S.A.S, 2020).

En la Figura 2-12 se presenta un aire acondicionado 100% solar donde el funcionamiento no tiene intervención alguna con la energía privada de la red.

Figura 2-12. Aire acondicionado 100% solar

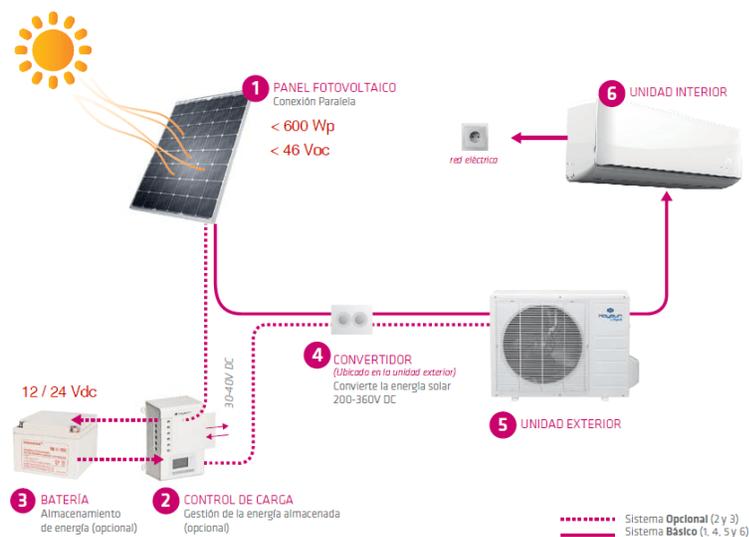
24 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla



Fuente: (CODENSOLAR S.A.S, 2020)

En la Figura 2-13 se observa el esquema de un aire solar fotovoltaico híbrido el cual utiliza la luz del sol para la captación de energía y su funcionamiento, pero adicionalmente tiene un respaldo en la red eléctrica.

Figura 2-13. Aire acondicionado solar-eléctrico (híbrido)

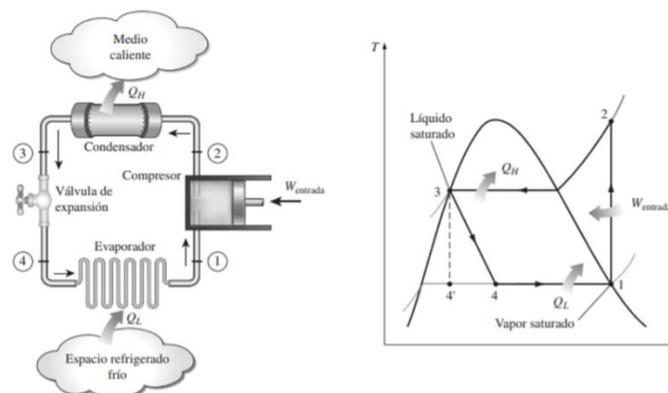


Fuente: (Salcantay, 2020)

2.1.7 Sistema de compresión de vapor

Los aires acondicionados cumplen con un principio termodinámico, este principio es conocido como el ciclo de compresión de vapor. En la Figura 2-14 se observa el esquema de un ciclo de compresión de vapor donde inicialmente el evaporador que es la parte que enfría el aire hasta condensar la humedad. Posteriormente, el condensador devuelve el calor retirado aire después de haber pasado por evaporador. En tercer lugar, el compresor que mueve el fluido refrigerante y finalmente la válvula de expansión induce la bajada de temperatura del refrigerante.

Figura 2-14. Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor



Se compone de cuatro procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica en un compresor
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador

El desempeño de los refrigeradores y de las bombas de calor se expresa en los términos de coeficiente de operación (COP), el cual se define como:

Ecuación 2-1. Coeficiente de operación

$$COP_R = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_{ent}}{W_{neto}}$$

Ecuación 2-1

Ecuación 2-2. Coeficiente de operación relacionado con las entalpias

$$COP_R = \frac{Q_{ent}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Ecuación 2-3. Flujo masico

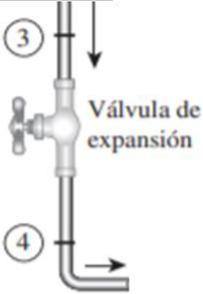
$$\dot{Q}_{ent} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

El principio de funcionamiento de los principales dispositivos del sistema de refrigeración se muestra en la Tabla 2-6:

Tabla 2-6. Dispositivos del sistema de refrigeración

Dispositivo	Descripción	Esquema
Evaporador	Se transfiere calor (absorbe) de la región fría al refrigerante, que experimenta un cambio de fase a temperatura constante. Para que la transferencia de calor sea efectiva, la temperatura de saturación del refrigerante debe ser menor que la temperatura de la región fría.	
Condensador	El refrigerante se condensa al ceder calor a una corriente externa al ciclo. El agua y el aire atmosférico son las sustancias habituales utilizadas para extraer calor del condensador. Para conseguir que se transfiera calor, la temperatura de saturación del refrigerante debe ser mayor que las temperaturas de las corrientes atmosféricas.	
Compresor	Para alcanzar las condiciones requeridas en el condensador logrando la liberación del calor desde el sistema al ambiente, es necesario comprimir el refrigerante de manera de aumentar su presión y en consecuencia su temperatura (generalmente temperaturas de sobrecalentamiento), los requerimientos de potencia de entrada dependen de las necesidades de enfriamiento.	

Continuación de la Tabla 2-6

Válvula de expansión	Liberado el calor en el condensador es necesario revertir el proceso del compresor de manera de obtener bajas temperatura al disminuir la presión (estrangular), logrando las condiciones requeridas en el evaporador.	
----------------------	--	---

Fuente: (Cengel, 2009)

2.1.8 Datos climatológicos en Barranquilla

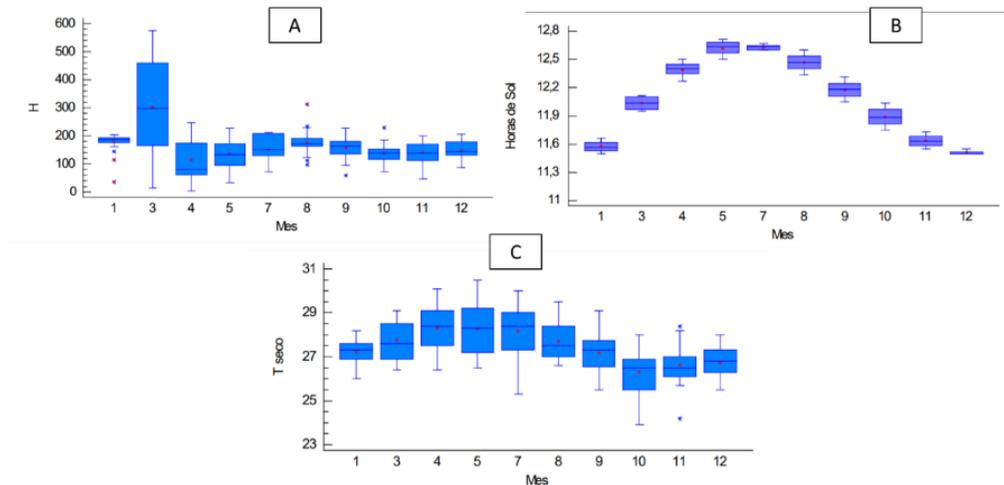
En la ciudad de Barranquilla, el invierno o temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es con grandes ráfagas de viento, parcialmente nublada y es muy caliente y opresivo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 36 °C.

Figura 2-15. Cambio de temperatura diaria



En la Figura 2-16 se muestran las medias mensuales de los diferentes ítems a tener en cuenta para el cálculo solar. La ilustración (A) muestra las medias de radiación con un datos promedios de la ciudad los cuales se mantienen en el rango de 180-190 y solo un dato supera el valor superior a eso. En la ilustración (B) se denotan las medias mensuales de horas sol teniendo como los meses más altos, abril, mayo, junio, julio y agosto. En la ilustración (C) se denota la Tseca de la ciudad, sin embargo, se denota hay tempersturas superiores en ciertas ocasiones (Vélez-Pereira, Vergara-Vásquez, Barraza-Coronel, & Agudelo-Yepez, 2015).

Figura 2-16. (A) Medias mensuales de radiación en Barranquilla, (B) Medias mensuales de horas de sol en Barranquilla y (C) medias mensuales de temperaturas en barranquilla.



Fuente: (Vélez-Pereira, Vergara-Vásquez, Barraza-Coronel, & Agudelo-Yepe, 2015)

2.2 Marco legal de energías renovables

El Sector Eléctrico Colombiano ha venido generando estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable. Por medio de entes reguladores como el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), los cuales han trabajado en legislaciones y decretos, entre estos:

- Se creó el Plan Energético Nacional (PEN) 1997 – 2010 Autosuficiencia Energética Sostenible, el cual es un documento que presenta ideas, perspectivas, retos, requerimientos y competencias sobre el desarrollo futuro del sector energético colombiano, en este se ratificó la Convención Marco por parte del Congreso, respecto a las emisiones del GEI (Energía, 2015).
- En diciembre del año 2000, se aprobó la Ley 620, la cual trataba acerca del “Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático”, favoreciendo a Colombia en cuanto a uso del Mecanismo Desarrollo Limpio previsto en dicho Protocolo (Energía, 2015)

-
- Colombia se acogió al Protocolo de Kioto, el cual ratificó mediante la Ley 697 del 2000. Encaminado a disminuir los efectos del cambio climático por la contaminación ambiental (Energía, 2015)
 - Mediante la ley 697 de 2001, se fomentó el uso racional y eficiente (URE) de energía en Colombia. El cual adoptó normas y estrategias para garantizar la satisfacción de las necesidades energéticas (eficiencia)
 - Para impulsar el uso de fuentes alternas de energía (Solar Fotovoltaica), se creó el Decreto 3652 y 3683 de 2003, los cuales establecen el programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales – PROURE (Energía, 2015)
 - Actualmente existe la Ley 143 de 1994, la cual establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo con actividades legales correspondientes al MME (Ministerio de Minas y Energía) (Energía, 2015)
 - Mediante la resolución 18 0919 de junio de 2010, se promueve la utilización de energías alternativas (Energía, 2015)
 - La ley 1715 de 2014, se creó con el fin de reglamentar la integración de las energías renovable no convencionales al sistema energético nacional, dentro de sus funciones delega a la CREG establecer tarifas para la energía solar FV, también regula la venta de créditos o excedentes de energía entregados a la red de distribución y transporte para auto generadores que produzcan menos de (5 MW), apoya la utilización de fuentes locales para producción de energía a través del Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) (Energía, 2015)
 - Los lineamientos de la política energética general vigente se encuentran en el PEN 2050, el cual presentar ideas, perspectivas, retos, requerimientos, competencias y panorama del sector energético (Energía, 2015).

El Sector Eléctrico Colombiano (SEC) cuenta con toda clase de oportunidades e incentivos tributarios para la implementación de la energía fotovoltaica. la Ley 1715 de 2014 concede grandes beneficios a las personas naturales o jurídicas que fomenten la investigación,

desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de las Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE), entre los cuales se encuentran:

- Descuento de la mitad en el impuesto de renta, a quienes declaren renta y hayan sido inversores de energías renovables no convencionales (Energía, 2015)
- Los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en energía solar FV, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, el 50% del valor total de la inversión realizada. Durante los 5 años siguientes al año gravable en el que hayan realizado la inversión (Energía, 2015)
- Los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala podrán vender a la red eléctrica, el excedente de energía que ellos no consuman (medición bidireccional), según disponga la CREG (Energía, 2015)
- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión, inversión, medición y evaluación de las FNCE, estarán excluidos de IVA.

2.3 Estado del arte

En las investigaciones acerca de sistemas de autogeneración energética se han presentado proyectos de diferentes partes de mundo de manera abundante, debido a que los sistemas de generación energética presentan costos muy altos, ineficiencia, entre otros factores negativos para el usuario. Teniendo en cuenta lo anterior, se han tomado trabajos de investigación acerca del tema a nivel nacional e internacional para determinar ventanas de procesos y enriquecer la información acerca de los sistemas de autogeneración solar para equipos de refrigeración.

En el trabajo de investigación realizado por Ingrid Paola Contreras y Camilo Rodríguez Peñón (Contreras Mazo & Rodríguez Peñón, 2010) que lleva como nombre *“Factibilidad para la creación de una empresa comercializadora de paneles solares para el funcionamiento de electrodomésticos en la ciudad e Barrancabermeja”* se realizó un estudio para implementar una empresa que aproveche el sol como fuente de energía para buscar un sistema de reemplazo para las energías corrientes y privadas las cuales tiene

altos costos. Como objetivos se plantearon diferentes metas las cuales fueron resueltas a medida que se avanzaba en el proyecto, estos objetivos se cruzaron de manera paralela con las anotaciones metodológicas que se instauraron para la resolución del proyecto. Los objetivos que a su vez se cruzaron con la metodología los de mayor importancia fueron los siguientes:

- Calcular la demanda potencial para el consumo de este producto
- Prever la oferta de mercado
- Estimar la demanda insatisfecha existente en el mercado
- Establecer el canal de comercialización apropiado
- Especificar las estrategias de promoción y publicidad requeridas para el lanzamiento y operación de la marca del producto

Como resultados los investigadores determinaron primeramente que el estudio de mercado mostró que el proyecto es factible teniendo en cuenta que existe una gran demanda por la implementación, la venta e instalación de estos sistemas de autogeneración mediante energía solar. Como segundo resultado la población manifestó una necesidad de implementar estos sistemas de autogeneración energética teniendo en contribuye a el ahorro de costos en términos económicos. En tercer lugar, los investigadores hallaron los valores de potencial y la demanda por hogar para la población, estableciendo así un precio de comercialización de estos sistemas. Finalmente, realizaron un plan de mercado para el público interesado en la implementación de este sistema de negocio.

En el trabajo de investigación realizado por Lopez-Molina et al. (Lopez-Molina, Muñoz-García, Moratiel-Yugueros, & Moreda Cantero, 2019) donde se realizó el estudio de los consumos convencionales de un invernadero para así implementar un sistema de refrigeración. a dicho invernadero. Para lo anterior los investigadores plantearon una metodología de calcular el sistema completo para abastecimiento parcial de energía eléctrica y también una propuesta de solución conjunta al elevado consumo energético actual en climatización, mediante la incorporación de una bomba de calor reversible. Para el desarrollo de lo anterior los investigadores se plantearon diferentes opciones, las cuales evaluaron a lo largo del desarrollo del proyecto. La primera es continuar los procesos

32 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

mediante la energía eléctrica, sin embargo, la más importante y él porque del trabajo es la implementación de paneles fotovoltaicos para el desarrollo de la refrigeración del invernadero. Como objetivo del proyecto fue medir el consumo de los sistemas de climatización actuales y establecer una alternativa para suministrarles electricidad a partir de energía solar fotovoltaica. Metodológicamente los investigadores realizaron una recopilación de consumo en la ciudad de Madrid como se muestra en la Tabla 2-7 por meses y el consumo en kWh.

Tabla 2-7. Consumo eléctrico por meses de calefacción y refrigeración. Los meses duplicados se debe a que en ellos se registraron consumos tanto de refrigeración como de calefacción

Mes	Consumo (kWh)
Enero	3296,05
Febrero	3123,86
Marzo	1829,89
Abril	1870,04
Mayo*	1297,96
Mayo	605,53
Junio	1979,74
Julio	1881,06
Agosto	1886,18
Septiembre	1816,18
Octubre	1384,14
Octubre*	943,47
Noviembre	1371,2
Diciembre	2366,82

Fuente: (Lopez-Molina, Muñoz-García, Moratiel-Yugueros, & Moreda Cantero, 2019)

Tabla 2-8. HSP por mes para un panel fotovoltaico inclinado a 30°

MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
HSP (30°)	3,45	4,6	5,86	6,06	6,58	7,3	7,76	7,44	6,51	5,14	3,76	3,29

Fuente: (Lopez-Molina, Muñoz-García, Moratiel-Yugueros, & Moreda Cantero, 2019)

3. Capítulo 3 – Metodología

Se realizará una investigación de tipo exploratorio y correlacional debido a que es imperante el uso de la energía solar en los hogares en primera instancia para la adaptación de equipos de refrigeración, en segundo lugar, para la disminución del consumo de energía eléctrica de empresas privadas y para el aprovechamiento de las condiciones climáticas de la ciudad de Barranquilla.

En esta investigación se realizará una revisión del estado del arte con el objeto de correlacionar todas las variables técnico-económicas para la implementación de la energía solar en equipos de refrigeración. Adicionalmente se generará un estudio técnico-económico básico para dar a conocer los gastos de instalación, consumo en KW/h, periodo de retorno de la instalación y otros valores para tener en cuenta.

3.1 Revisión del estado del arte

Para llevar a cabo este proyecto se deberá realizar una revisión de la literatura de los sistemas instalados con energía solar en general y posteriormente se evaluarán y se compararán los sistemas de refrigeración, todo con el objetivo de crear una correlación entre los sistemas de energía modernos de refrigeración, el consumo energético actual con empresas privadas suministradoras de energía y la alternativa de implementar un sistema autosostenible mediante energía aprovechando la ubicación geográfica de la ciudad de Barranquilla.

3.2 Análisis comparativo de nuevas tecnologías

El análisis comparativo de las nuevas tecnologías se hará recolectando de manera inicial las nuevas tecnologías propuestas por la ciencia y la industria fabricante de paneles solares, información de las empresas que se encarguen de la instalación y montaje de sistemas de sistemas de refrigeración con base en paneles solares y, por último, los modelos propuestos en el estado del arte.

Tabla 3-1. Información de modelos de sistemas de alimentación solar para aires acondicionados

Distribuidor	Descripción	Ficha técnica (Anexo)	Precio
Industria	Capacidad del equipo, marca, posible diseño y esquema de este	Descrita con tabla y esquemas	USD = Dolares

Fuente: Autores

Se realizará una descripción acompañada de las fichas técnicas e imágenes de los equipos a instalar. Estos sistemas serán escogidos teniendo en cuenta, las condiciones económicas de adquisición, las tecnologías, adquisición de información técnica, disponibilidad de importación, entre otros factores para la realización del proceso se selección.

3.3 Método de selección

Para afianzar lo anterior se diseñó un método de selección basado en 5 criterios de estado. El sistema de selección se muestra en la donde se propusieron 5 factores de vital importancia como lo son: Económico, disponibilidad, capacitación, ambiental y mantenimiento. Teniendo como base lo anterior, se generó un sistema de valoración del 1 al 5 que se explica posteriormente.

Tabla 3-2. Sistema de selección del equipo.

MODELO	FACTOR ECONOMICO	FACTOR DISPONIBILIDAD	FACTOR CAPACITACION	FACTOR AMBIENTAL	FACTOR MANTENIMIENTO	PROMEDIO
Nombre del equipo	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5

Siendo los valores de calificación los siguientes:

1 = *Necesito mejorar*

2 = *Regular*

3 = *Bueno*

4 = *Muy Bueno*

5 = *Excelente*

Posterior a la calificación se realizará la selección del sistema de refrigeración y con base en dicho equipo seleccionado. Se tendrán en cuenta las diferentes las características del equipo para a su vez seleccionar los equipos del KIT solar si lo amerita el sistema de refrigeración.

3.1 Análisis técnico-económico

El análisis técnico-económico constará de un análisis inicial de la ubicación geográfica de en la cual se va a realizar el proyecto, en este caso la ciudad de barranquilla que por su gran incidencia solar es una ciudad ideal para la instalación de estos sistemas de autogeneración energética.

Para dar inicio se tendrán en cuenta las condiciones climatológicas de barranquilla en el pico superior de las temperaturas el cual según investigaciones (Vélez-Pereira, Vergara-Vásquez, Barraza-Coronel, & Agudelo-Yopez, 2015) es de:

$$\text{Tempertura pico Barranquilla} = 36^{\circ}\text{C}$$

Para hallar las presiones según temperaturas se tiene que seguir la siguiente formula:

$$\text{Temp. seleciconada} \rightarrow \text{Presión manométrica} = \text{Presión atmosférica} - 1$$

36 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

En segundo lugar, se toma la ficha técnica del refrigerante para realizar el análisis del ciclo de compresión de vapor la cual se muestra en el “Anexo: Ficha técnica R32” ubicado en la página 69.

Teniendo en cuenta se estimarán las temperaturas de trabajo del ciclo, que en este caso serán:

- Temperatura de baja: 6°C
- Temperatura de alta 36°C

Las siguientes temperaturas se seleccionarán debido a las condiciones de trabajo de aire de trabajo convencional y, en segundo lugar, las condiciones climáticas de la ciudad de Barranquilla. Teniendo en cuenta lo anterior el sistema seleccionado presenta unas condiciones como las entalpías que las podemos calcular verificando valores en la tabla y los otros en la carta psicrométrica.

Los valores con tablas se extraerán teniendo en cuenta que deben estar los estados presentados en ciclo, en este caso la tabla presenta: entalpía de vapor y entalpía líquida como se muestra en Figura 3-1.

Figura 3-1. Tabla del refrigerante con las entalpías existentes

Propiedades termodinámicas
obtenidas mediante el programa REFPROP

Entalpías de tabla

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad líq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpía líq. KJ/Kg	Entalpía Vap. KJ/Kg	Entropía líq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
-50	1,1014	1208,40	3,2316	117,22	497,27	0,6683	2,3714
-48	1,2163	1202,80	3,5477	120,40	498,26	0,6824	2,3607
-46	1,3405	1197,20	3,8877	123,60	499,23	0,6965	2,3502
-44	1,4745	1191,50	4,2530	126,80	500,17	0,7105	2,3399
-42	1,6188	1185,90	4,6450	130,01	501,11	0,7244	2,3298
-40	1,7741	1180,20	5,0651	133,23	502,02	0,7382	2,3200
-38	1,9409	1174,40	5,5147	136,45	502,91	0,7519	2,3103
-36	2,1197	1168,60	5,9952	139,69	503,78	0,7655	2,3008
-34	2,3111	1162,80	6,5084	142,93	504,63	0,7791	2,2916
-32	2,5159	1156,90	7,0557	146,18	505,47	0,7926	2,2824

Fuente: (Gasserver, 2020)

Teniendo en cuenta lo anterior se comparan los valores dados por la tabla y tenemos que las entalpías solicitadas según la fórmula del COP son las siguientes:

- $h_1 = \text{Entalpía de vapor}$

- $h_2 =$ Entalpía de vapor sobrecalentado
- $h_3 =$ Entalpía líquida
- $h_4 =$ Entalpía de mezcla

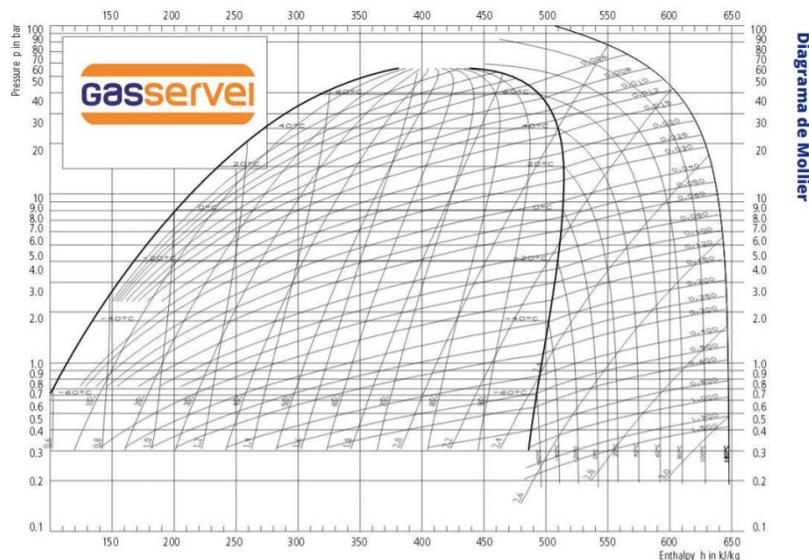
Por su parte el COP (como se mencionó en marco teórico) se puede hallar mediante las entalpías y para eso se escoge la ecuación presentada en el libro (Cengel, 2009) para hallar dicho valor:

Ecuación 3-1. COP con entalpías

$$COP_R = \frac{Q_{ent}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Al observar la ecuación se denota que solo se posee un solo valor de entalpías extraído mediante las tablas. Para hallar los otros valores se determinan unas presiones con las temperaturas seleccionadas y hallan con la carta psicrométrica o en este caso Diagrama de Moullier como se muestra en la Figura 3-2.

Figura 3-2. Diagrama de Mollier



Finalmente, teniendo este diagrama se estiman las presiones mediante las temperaturas y se hallan los valores en el diagrama de Mollier.

Para hallar h_1 se toma realiza la siguiente solución,

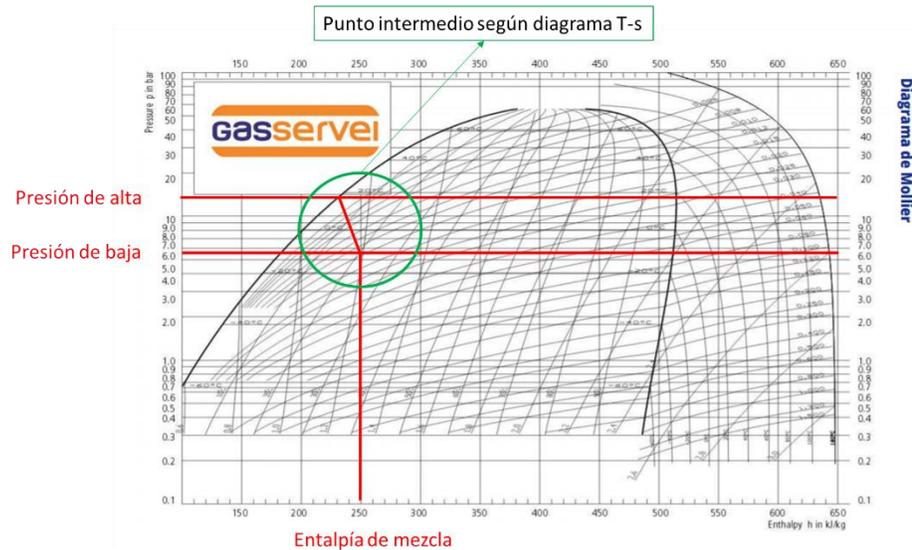
$$Temp.de\ baja = 6^{\circ}C = Presión\ de\ baja = Entalpía\ de\ vapor\ (h_1)$$

Para hallar h_2 se toma realiza la siguiente solución,

$$Temp.de\ alta = 36^{\circ}C = Presión\ de\ alta = Entalpía\ de\ vapor\ sobrecalentado\ (h_2)$$

Para hallar h_4 se toma un punto entre las 2 presiones ya que hay una caída de presión en el sistema de alta a baja (según el diagrama T-s), y con base en esa caída se determina la entalpía de mezcla (h_4) como se muestra en la Figura 3-3.

Figura 3-3. Determinación de la entalpía de mezcla



Finalmente, con los valores de entalpías hallados podemos determinar de manera inicial el COP y el W_{neto} o potencia del compresor y para fines técnicos del sistema de refrigeración el flujo masico y el trabajo del compresor.

Ecuación 3-2. Flujo masico

$$\dot{Q}_{ent} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Ecuación 3-3. Trabajo del compresor

$$W_{comp} = W_{neto} * T.de\ encendido\ estable \quad \text{Ecuación 3-3}$$

3.2 Selección de equipos para la generación

La selección de los elementos del KIT SOLAR se realiza teniendo en cuenta los cálculos realizados para el consumo del sistema, la capacidad requerida por el sistema y la energía que puede suministrar el panel solar seleccionado. En dicho caso, se realizaron una serie de consideraciones técnicas para la determinación de dichas tecnologías. Dichas consideraciones fueron de tipo técnicas las cuales presentan la capacidad necesitada por el sistema a seleccionar y partiendo de esa base se seleccionó el sistema que consta de:

- Paneles solares
- Baterías o almacenadores
- Inversor
- Regulador
- Estructura para soporte de kit solar

La valoración de la demanda energética para la instalación de sistemas de generación eléctrica que sean autosostenible depende de muchos factores, pero inicialmente del factor económico del cual se desprenden muchas valoraciones como la de los costos de instalación, tasa interna de retorno, consumo de los equipos a autogenerar y mantenimiento de los equipos de autogeneración que se van a instalar.

3.3 Análisis de costos

El análisis de costos se llevará a cabo comparando los costos de equipos principales versus el ahorro anual teórico basado en el promedio de energía reemplazado por el sistema fotovoltaico.

Como costos principales se tendrán los paneles solares, las baterías, el inversor, estructura y regulador.

Como ahorro se tiene el cálculo de la energía generada por el sistema fotovoltaico multiplicado por el precio de kWh que suele aparecer en el recibo de la electricidad. En el caso de este trabajo ese valor es de \$500/kWh.

Una medida rápida de evaluar el proyecto en el tiempo es el de retorno simple, este indica cuántos periodos constantes de ahorro e ingresos son equivalentes a una inversión total dada tal como se muestra en la Ecuación 3-4.

Ecuación 3-4. Ecuación del periodo simple de recuperación

$$\text{Periodo simple de recuperación (años)} = \frac{\text{Inversión}(COP)}{\text{Ahorros anuales}(\frac{COP}{\text{Año}})}$$

El retorno simple de inversión no tiene en cuenta fluctuaciones del flujo de caja en el tiempo como intereses, inflación, inversiones parciales, gastos no constantes, etc. Debido a que todo proyecto en el tiempo puede variar en sus costos, un buen indicador es la tasa interna de retorno o TIR que calcula la variación máxima que soportaría un flujo de caja predeterminado para no tener pérdida. Se calcula utilizando el método de “actualización de valor” o “Valor presente” que modifica cada movimiento futuro de capital por un factor periódico de tasa fija, tantas veces como periodos haya de diferencia. El valor presente de los costos se sustrae de las inversiones y estas deben ser favorables a quien hace el proyecto. Cuando a dicha ecuación se le fuerza a igualarse a cero significa que la tasa de actualización es la TIR. Dada la forma polinómica de la ecuación, esta no se despeja, tal como se muestra en Ecuación 3-5.

Ecuación 3-5. Ecuación de la TIR

$$\text{Ahorro anual} \sum_0^n (1 + i)^n - \text{Inversión} = 0 \rightarrow i = TIR$$

Debido a que no es alcance de este proyecto predecir las variaciones de flujo de caja, se evaluará la TIR para periodos aproximados comparables al tiempo de retorno simple.

Valores positivos y altos de TIR implican que puede haber grandes fluctuaciones en los flujos de caja supuestos, sin que sea desfavorable para el proyecto. Mientras que valores

muy bajos o negativos significan que el negocio generará pérdidas de manera probable. Periodos cortos de análisis tenderán a TIR más bajas y periodos largos a TIR más altas.

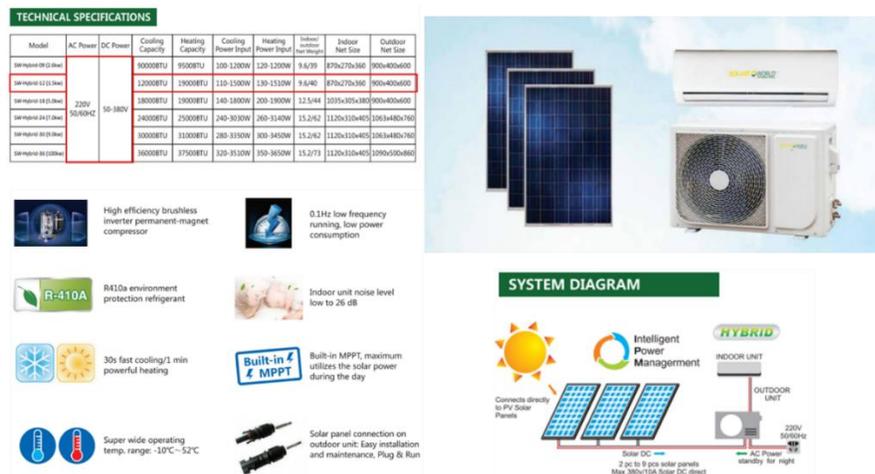
4. Capítulo – Resultados y discusión

4.1 Objetivo 1: Elaboración del estado del arte de las últimas tendencias tecnológicas en climatización y refrigeración con energía solar que se están implementando a nivel mundial

Como primer resultado tenemos la revisión del estado del arte tecnológico, el cual contaba de hacer una investigación en las principales empresas distribuidoras de aires acondicionados con la tecnología de funcionamiento solar. Para dar inicio se realizó una investigación de las marcas más comerciales en el mercado y sus características como se muestra a continuación.

Inicialmente se realizó una búsqueda de las tecnologías más completas en temas en el tema en cuestión, es decir, aires acondicionados que funcionen energía solar o usen el sistema híbrido para obtener energía eléctrica. Mediante la búsqueda encontramos las siguientes tecnologías mostradas en las siguientes imágenes:

Figura 4-1. SolAir World AC-HIBRIDO-12-1 (Hibrido)

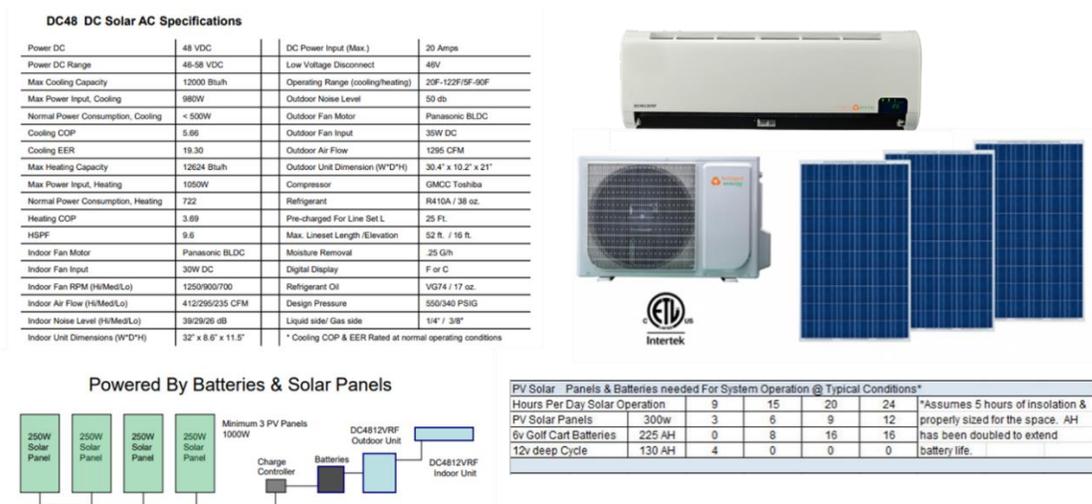


Fuente: (Solar world International, 2020)

4.4 Evaluación técnico-económica de la implementación de equipos de refrigeración domésticos alimentados con energía solar en la ciudad de Barranquilla

En la Figura 4-1 se muestra el modelo de aire acondicionado híbrido presentado por la empresa SolAir Word el cual presenta una ventaja la cual es que en el día funciona directamente con los paneles solares gracias a la corriente continua, es decir, puede funcionar directamente con la tecnología de los paneles sin un inversor, controlador de energía o batería de almacenamiento de energía. Esta tecnología muestra que a medida que exista un aumento en la energía solar generada mejora el funcionamiento de este y su eficiencia aumenta hasta la categoría SEER36 (Solair world International, 2020)

Figura 4-2. HotSpot Energy DC4812VRF (Solar)



Fuente: (Sunshine Works, 2021)

En la Figura 4-2 se puede observar la ficha técnica y el esquema del aire acondicionado completamente solar de la marca HOTSPOT. Este aire presenta la novedad que es completamente solar de lo cual se puede inferir rápidamente que no posee inversores. El diseño es básicamente una bomba de calor de corriente continua (CC). Adicionalmente, este diseño posee la tecnología SeaSpray la cual es especial para proteger los sistemas frente a daños corrosivos en las placas del circuito, evaporador, compresor y los motores del ventilador (Sunshine Works, 2021).

Figura 4-3. JINTECH KFR-35GW/BP AC DC-TWA 1 (Hibrido)

Solar & AC hybrid Conditioner system suggested configuration				
Model	Power input (w) average	Work Time (h) solar time	Solar Panel	Application area (m ²)
JNSAC-HS-12000BTU	800	9	340W*4	15~20
JNSAC-HS-18000BTU	1300	8	340W*6	20~30
JNSAC-HS-24000BTU	1700	8	340W*8	32~42



Model	Unit	JNSAC12000V2	JNSAC18000V2	JNSAC24000V2	
Power Supply	AC Power	Ph:1Ph	1Ph: 208V/240V/150-60Hz	1Ph: 208V/240V/150-60Hz	
	DC Power (PV in Series)	V	80-380V	80-380V	
	DC Power Current	A	<=12A	<=12A	
Advised Solar Panel	Pos	(3~4)*1300V in series	(3~5)*1300V in series	(3~8)*1300V in series	
	Capacity	W	3810(300-3800)	5070(1200-5000)	8450(1800-7500)
Rated Cooling	Power input	W	940(190-1270)	1400(220-2100)	1700(300-3200)
	Capacity	W	4100(1000-4500)	6100(1200-6500)	7800(1800-8100)
Rated Heating	Power input	W	1170(160-1700)	1770(220-2500)	2290(300-3500)
	Capacity	W	4100(1000-4500)	6100(1200-6500)	7800(1800-8100)
T1 EER (WW) (BTU/W)	/	3.75/12.75	3.80/12.35	3.80/12.30	
COP (WW) (BTU/W)	/	3.80/11.85	3.45/11.75	3.45/11.80	
Dehumidification capacity	L/h	1.3	1.7	2.5	
Indoor noise level (Turbo)	dB(A)	42.5	45	50	
	Dimension(W*H*D)	mm	840*205*295	1080*320*237	1080*320*237
Outdoor unit	Packing (W*H*D)	mm	920*300*380	1140*300*382	1140*300*382
	Net weight/Gross weight	Kg	9.0/12.5	15.0/18.5	15.0/18.5
Outdoor noise level	dB(A)	52	55	58	
	Dimension(W*H*D)	mm	802*594*323	802*594*323	800*700*337
Outdoor unit	Packing (W*H*D)	mm	910*622*405	910*622*405	1008*758*418
	Net/Gross weight	Kg	33.5/37.5	37/42.0	50/54.5
Refrigerant type	/	R410A	R410A	R410A	
Max Design pressure	MPa	4.31.5	4.31.5	4.31.5	
Refrigerant copper pipe	Gas side/Liquid side (inch)	inch	3/8 1/4	1/2 1/4	1/2 1/4
	Max. refrigerant pipe length	m	15	20	25
Refrigerant condition copper pipe length	Max. difference in level	m	8	10	10
		m	3	4	4
Connection wire length	m	4	5	5	
Electronic Expansion Valve	/	Yes	Yes	Yes	
Loading QTY 40' Hiy 23' GP	Sets	20085	18075	11580	
Application area	m ²	15-20	20-30	32-42	

Fuente: (Jntech , 2021)

El diseño mostrado en la Figura 4-3 presentado por la empresa JINTECH es un diseño se caracteriza por tener una tecnología similar al HOTSPOT que funciona directamente con los paneles solares durante el día, sin embargo, a diferencia de otras tecnologías este sistema solo almacena 9 horas de funcionamiento. Este diseño tiene por característico una aplicación que permite controlar el rendimiento del aire, el tiempo estimado de duración de la batería, el consumo eléctrico de la red, entre otros aspectos importantes del kit solar y del aire acondicionado (Jntech , 2021).

Figura 4-4. RECREATE RC-ADC24GW-XA (Hibrido)

Model No.	RC-ADC09GW-XA R32	RC-ADC12GW-XA R32	RC-ADC18GW-XA R32	RC-ADC24GW-XA R32	
Power Supply					
Star Power	V	DC 90-380V/MVX.15A			
AC Power connected	V	180-240V(50/60HZ)			
Cooling					
Rated cooling capacity	Btu/h	9000	12000	18000	24000
Cooling capacity Range	Btu/h	2866-9868	3482-13561	3681-18846	4594-24582
Rated Power Input	KW	0.82	1.06	1.42	1.79
Rated Current(AC)	A	3.82	4.28	5.96	8
SEER	Btu/w	26	25	24	24
AC unit configuration					
Indoor Air Flow (ft/min)	cfm	660	690	1080	1210
Indoor Noise (dB(A))	dB(A)	38	38	42	45
Max Refrigeration Pipe Length	ftm	15	15	15	15
Max Refrigeration Pipe Rise/Fall	ftm	5	5	5	5
Max Elevation Difference		15	15	15	15
Design Pressure	psig	660/345	660/345	660/345	660/345
Connection Type	Type	flare	flare	flare	flare
Connection Wiring	AWG	4*18AWG	4*18AWG	4*18AWG	4*18AWG
Operation Temperature					
Indoor (Cooling/Heating)	°F	60.8-89.6/60.8-89.6	60.8-89.6/60.8-89.6	60.8-89.6/60.8-89.6	60.8-89.6/60.8-89.6
Outdoor (Cooling/Heating)	°F	50-125.6/5-104	50-125.6/5-104	50-125.6/5-104	50-125.6/5-104
Indoor Unit					
Dimension (W*D*H)	mm	850*190*292	850*190*292	960*215*300	1042*220*320
Packing (W*D*H)	mm	910*265*350	910*265*350	1015*265*360	1135*305*395
Net Gross Weight	Kg	9.2/12	9.2/12	12.5/14.5	15.5/17.5
Outdoor Unit					
Dimension (W*D*H)	mm	795*290*655	795*290*655	795*290*655	860*304*733
Packing (W*D*H)	mm	910*265*350	910*265*350	910*265*350	1005*450*820
Net Gross Weight	Kg	31/35	31/35	35/39	51/55
Approvals					
Container Load 20'40'40HQ		84/174/216	84/174/216	78/171/212	54/118/131



Fuente: (Alibaba, 2020)

En la Figura 4-4 se observa el aire acondicionado RECREATE solar siendo este una unidad combinada de CC y CA. Este sistema puede ser alimentado directamente por paneles solares con todos los componentes de CC y tecnología CC completa. No se necesita controlador externo o inversor. Tiene incorporado un sistema de monitoreo remoto. Adicionalmente, este sistema posee una la aplicación de nombre Recreate APP para teléfono que permite encenderlo, apagarlo, cambiar el modo y la velocidad del viento. Además, la energía solar y el consumo de electricidad también se pueden mostrar y uno de los valores más importantes, cuánta electricidad se ahorra (Alibaba, 2020). Este sistema posee 3 modos de trabajo de funcionamiento:

- a) **Modo solar puro:** La energía solar pura es diseñada para lugares de trabajo sin electricidad estable, como escuelas lejanas, oficinas, etc.
- b) **Modo solar y eléctrico:** Energía solar y eléctrica es adecuada para lugares donde la gente quiere ahorrar su costo de electricidad, como bancos, hospitales y sitios comerciales escolares.

- c) **Modo solar y batería:** La energía solar y la batería son una opción perfecta para áreas con escasez de electricidad, como casas móviles al aire libre, hoteles en islas y campamentos en el desierto.

Figura 4-5. SUNCHEES RC-ADC24GW-XA (Hibrido)

ACDC solar, aire acondicionado 9000BTU de configuración del sistema:

- 380watt Un+ Grado mono panel solar*3pcs
- ACDC 9000BTU aire acondicionado*1unit



Fuente: (Sunchees Energy, 2021)

En la Figura 4-5 se muestra el sistema de aire acondicionado propuesto por SUNCHEES, el cual la red de trabajo, CA 220V para cuando se necesite la energía eléctrica. El aire acondicionado utiliza el poder del panel solar preferentemente, cuando esta no es suficiente, gracias a un sistema de seguimiento electrónico, el sistema cambiará automáticamente a ejecutar la red eléctrica (Sunchees Energy, 2021).

En la Tabla 4-1 se simplifican las características más importantes de las tecnologías antes mencionadas y adicionalmente se añaden más empresas que suministran este tipo de tecnología. En la tabla se filtraron diferentes ítems que ayudaron a determinar los valores con los cuales se seleccionó la tecnología más adecuada teniendo el concepto más importante, el ámbito técnico-económico.

Tabla 4-1. Características técnicas y económicas de los sistemas investigados

FABRICANTE	MODELO	TIPO DE TECNOLOGÍA	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO (BTU/h)	PRECIO
SolAir World	AC-HIBRIDO-12-1	Hibrido	9.000	950,25 \$ USD
LEZETi	AC/DC 12	Hibrido	11.500≈12.000	934,95 \$USD
HOTSPOT ENERGY	DC48	Solar	12.000	8.062 \$ USD
EVENT SOLAR & WIND	DC4812VRF	Solar	13.098≈12.000	7.198 \$ USD
EVENT SOLAR & WIND	ACDC12C	Hibrido	12.000	1.995 \$ USD
JNTECH	KFR-35GW/BPACDC-TWA1	Hibrido	12.000	1.699 \$ USD
SOLARCOOL	TKFR-26GW/DC	Hibrido	9.000	415 \$ USD
RECREATE	RC-ADC12GW/XA	Hibrido	12.000	450 \$ USD
SUNCHEES	RC-ADC24GW-XA	Hibrido	9.000	1550 \$ USD
OSYEA	OSYEA-26GW	Hibrido	9.000	1540 \$ USD
*NO INCLUYE KIT SOLAR				

Fuente: Autores

En la Tabla 4-1 se puede observar que el 80% de aires son con tecnología hibrida y el otro 20% es de energía totalmente solar, es decir, solo funciona con energía solar y no puede

conmutarse con energía suministrada por entes privados o públicos. La tecnología híbrida es ampliamente utilizada en el campo automotor para aprovechar los diferentes tipos de energía existentes y así disminuir el consumo de combustibles fósiles. En el caso de los aires acondicionados como los observados en la Tabla 4-1 se utilizan de manera potencial debido a que se presenta una disminución significativa en los costos de energía presentados por un hogar que contenga una cierta cantidad de aires acondicionados. En este caso, se obtuvo que estos aires híbridos están presentando costos más bajos que los únicamente solares, sin embargo, los aires explícitamente solares tienen una ventaja abismal respecto a los híbridos, el uso diario con energía solar. Continuando con lo anterior, los híbridos presentan bajos costos de adquisición y bajos costos de instalación, pero un tiempo limitado por su característica de computarse con la energía eléctrica.

Tabla 4-2. Consumo Eléctrico vs Uso Diario

FABRICANTE	N° BATERIAS	PANELES REQUERIDOS
SoIAir World	0	3
LEZETi	1	3
HOTSPOT ENERGY	16 BATERIAS TROJAN T-105 225AH	9
EVENT SOLAR & WIND	16 BATERIAS TROJAN T-105 225AH	10
EVENT SOLAR & WIND	1	3
JNTECH	1	3
SOLARCOOL	1	4
RECREATE	0	3
SUNCHEES	1	3
OSYEA	1	3

Fuente: Autores

Otro de los factores importantes que podemos observar en la es el del consumo eléctrico el cual nos da un valor promedio de 940,5W. Con base en lo anterior, y sabiendo que estos factores son de vital importancia se selecciona la marca RECREATE el cual posee una potencia de 960W y una duración de 12 horas de uso diario con energía solar.

Tabla 4-3. Componentes del sistema de paneles solares

FABRICANTE	N° BATERIAS	PANELES REQUERIDOS
SoIAir World	0	3
LEZETi	1	3
HOTSPOT ENERGY	16 BATERIAS TROJAN T-105 225AH	9
EVENT SOLAR & WIND	16 BATERIAS TROJAN T-105 225AH	10
EVENT SOLAR & WIND	1	3
JNTECH	1	3
SOLARCOOL	1	4
RECREATE	0	3
SUNCHEES	1	3
OSYEA	1	3

Fuente: Autores

Lo anterior se complementa con la información que se muestra en la Tabla 4-3 que son los componentes del kit solar, en este caso, batería(s) y paneles. Se puede observar que el 70% de los sistemas investigados presentan 3 paneles solares para dar funcionamiento al equipo de refrigeración durante un periodo estimado el cual lo da la batería o el mismo sistema de conversión de energía del sistema de refrigeración. Teniendo en cuenta lo anterior se premisa utilizar un equipo que posea una cantidad de paneles promedio (3) y la menor cantidad de baterías lo cual conlleva nuevamente a seleccionar el equipo RECREATE.

4.1.1 Equipo seleccionado

En el estado del arte demarcado anteriormente se observó que las características de los equipos eran fundamentales para la selección de este dando como primer candidato a la selección el equipo RECREATE. Adicionalmente, y como método para reforzar la selección antes realizada, se utilizó el modelo de selección propuesto el cual se muestra en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4. Sistema de toma de decisiones

MODELO	FACTOR ECONOMICO	FACTOR DISPONIBILIDAD	FACTOR CAPACITACION	FACTOR AMBIENTAL	FACTOR MANTENIMIENTO	PROMEDIO
AC-HIBRIDO-12-1	4	2	3	3	2	2,8
AC/DC 12	4	3	4	3	2	3,2
DC48	1	2	3	5	2	2,6
DC4812VRF	1	3	2	5	2	2,6
ACDC12C	3	3	2	3	3	2,8
KFR-35GW/BPACDC-TWA1	3	3	2	3	2	2,6
TKFR-26GW/DC	4	3	3	3	3	3,2
RC-ADC12GW/XA	5	4	4	3	4	4
RC-ADC24GW-XA	4	4	4	3	3	3,6
OSYEA-26GW	5	2	2	3	3	3

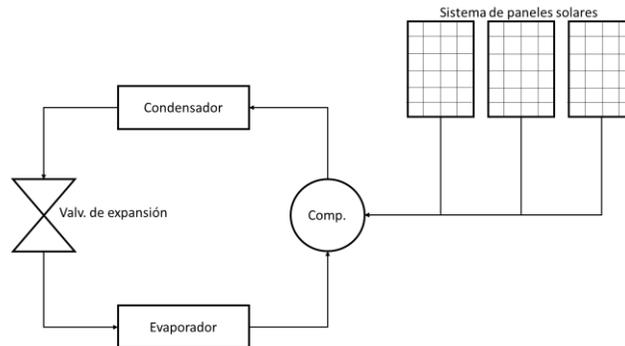
Fuente: Autores

La Tabla 4-4 muestra que el modelo de selección arrojó que en promedio el equipo RECREATE presenta las mejores características y mejor valoración técnico-económica que los otros equipos investigados. Teniendo en cuenta lo anterior, a dicho equipo se le hará un análisis termodinámico para validar su eficiencia y otros factores termodinámicos.

4.2 Objetivo 2: Establecimiento los parámetros operativos que permitan un obtener funcionamiento óptimo del equipo seleccionado de acuerdo con los factores climatológicos presentes en la ciudad.

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas de la ciudad y los parámetros operativos del sistema se modela el ciclo termodinámico que representa el equipo de refrigeración con el que funciona el aire acondicionado. Se observa en de manera inicial el evaporador que es la parte que enfría el aire hasta condensar la humedad; el condensador que devuelve el calor retirado aire, pero después de haber pasado por evaporador; el compresor que mueve el fluido refrigerante; y la válvula de expansión que induce la bajada de temperatura del refrigerante.

Figura 4-6. Sistema de compresión de vapor con paneles solares como fuente de energía



Partiendo del hecho de cuando se quiere acondicionar un recinto a temperatura confort (18° - 21°) lo primero que se realiza es establecer la temperatura de evaporación del refrigerante la cual siempre se encuentra 6°C a 7°C por encima de la temperatura de descarga del aire.

$$\text{Temperatura de evaporación} = 6^{\circ}\text{C}$$

Teniendo en cuenta la presión del aire se busca en la tabla de del refrigerante la cual se muestra en la Figura 4-7:

Figura 4-7. Ficha técnica del refrigerante R32 (6°C)

Propiedades termodinámicas
obtenidas mediante el programa REFPROP

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad liq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpía liq. KJ/Kg	Entalpía Vap. KJ/Kg	Entropía liq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
-50	1,1014	1208,40	3,2316	117,22	497,27	0,6683	2,3714
-48	1,2163	1202,80	3,5477	120,40	498,26	0,6824	2,3607
-46	1,3405	1197,20	3,8877	123,60	499,23	0,6965	2,3502
-44	1,4745	1191,50	4,2530	126,80	500,17	0,7105	2,3399
-42	1,6188	1185,90	4,6450	130,01	501,11	0,7244	2,3298
-40	1,7741	1180,20	5,0651	133,23	502,02	0,7382	2,3200
-38	1,9409	1174,40	5,5147	136,45	502,91	0,7519	2,3103
-36	2,1197	1168,60	5,9952	139,69	503,78	0,7655	2,3008
-34	2,3111	1162,80	6,5084	142,93	504,63	0,7791	2,2916
-32	2,5159	1156,90	7,0557	146,18	505,47	0,7926	2,2824
-30	2,7344	1151,00	7,6389	149,45	506,27	0,8060	2,2735
-28	2,9675	1145,00	8,2598	152,72	507,06	0,8193	2,2647
-26	3,2157	1138,90	8,9201	156,01	507,83	0,8326	2,2561
-24	3,4796	1132,90	9,6218	159,31	508,57	0,8458	2,2476
-22	3,7600	1126,70	10,3670	162,62	509,28	0,8589	2,2392
-20	4,0575	1120,60	11,1570	165,94	509,97	0,8720	2,2310
-18	4,3728	1114,30	11,9950	169,28	510,64	0,8850	2,2229
-16	4,7067	1108,00	12,8830	172,63	511,28	0,8979	2,2149
-14	5,0597	1101,70	13,8230	175,99	511,89	0,9109	2,2070
-12	5,4327	1095,20	14,8180	179,37	512,47	0,9237	2,1992
-10	5,8263	1088,80	15,8700	182,76	513,02	0,9365	2,1915
-8	6,2414	1082,20	16,9820	186,18	513,54	0,9493	2,1839
-6	6,6786	1075,60	18,1570	189,60	514,03	0,9620	2,1764
-4	7,1388	1068,90	19,3980	193,05	514,49	0,9747	2,1690
-2	7,6226	1062,10	20,7080	196,52	514,91	0,9874	2,1616
0	8,1310	1055,30	22,0910	200,00	515,30	1,0000	2,1543
2	8,6647	1048,30	23,5500	203,50	515,65	1,0126	2,1471
4	9,2245	1041,30	25,0900	207,03	515,96	1,0252	2,1399
6	9,8113	1034,20	26,7140	210,58	516,24	1,0377	2,1327

Fuente: (Gasserver, 2020)

Se seleccionó a 6°C y se revisó en la tabla el valor de la presión absoluta y se resta 1 para obtener el valor de la presión manométrica:

$$\text{Presión } 6^{\circ}\text{C R32} = 9,8113\text{bar} - 1$$

$$\text{Presión } 6^{\circ}\text{C R32} = 8,8113\text{bar}$$

$$\text{Presión } 6^{\circ}\text{C R32} = 127,79\text{psi}$$

El valor de 127,79psi se le conoce como la presión de baja, debido a que cuando se está en evaporación en un ciclo de compresión de vapor se está en presiones bajas. Lo anterior nos dice que este refrigerante trabaja en condiciones similares al refrigerante más comercial del mercado el cual es el R410 el cual trabaja aproximadamente a 130psi. Teniendo en cuenta que el sistema se va a instalar en la ciudad de barranquilla donde las temperaturas máximas son de 36°C y la temperatura de condensación son 10° por encima de la temperatura máxima, es decir, 46°C.

$$\text{Temperatura de condensación} = 46^{\circ}\text{C}$$

Se realiza la búsqueda de la presión en la tabla de del refrigerante la cual se muestra la Figura 4-8

Figura 4-8. Ficha técnica del refrigerante (46°C)

Propiedades termodinámicas
obtenidas mediante el programa REFPROP

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad liq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpía liq. KJ/Kg	Entalpía Vap. KJ/Kg	Entropía liq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
8	10,4260	1027,00	28,4260	214,15	516,47	1,0503	2,1256
10	11,0690	1019,70	30,2320	217,74	516,66	1,0628	2,1185
12	11,7420	1012,20	32,1370	221,36	516,80	1,0753	2,1114
14	12,4450	1004,70	34,1450	225,01	516,90	1,0878	2,1043
16	13,1790	997,06	36,2640	228,68	516,95	1,1003	2,0972
18	13,9460	989,28	38,4980	232,39	516,95	1,1128	2,0902
20	14,7460	981,38	40,8560	236,12	516,90	1,1253	2,0831
22	15,5790	973,34	43,3440	239,89	516,79	1,1378	2,0760
24	16,4480	965,16	45,9710	243,69	516,62	1,1503	2,0688
26	17,3530	956,82	48,7450	247,53	516,39	1,1629	2,0616
28	18,2950	948,31	51,6760	251,40	516,09	1,1755	2,0544
30	19,2750	939,62	54,7760	255,32	515,72	1,1881	2,0471
32	20,2940	930,75	58,0560	259,28	515,29	1,2007	2,0397
34	21,3530	921,67	61,5300	263,28	514,77	1,2134	2,0322
36	22,4540	912,37	65,2110	267,34	514,17	1,2262	2,0246
38	23,5970	902,83	69,1180	271,45	513,49	1,2391	2,0169
40	24,7830	893,04	73,2680	275,61	512,71	1,2520	2,0091
42	26,0140	882,96	77,6840	279,84	511,82	1,2650	2,0011
44	27,2920	872,58	82,3890	284,13	510,83	1,2781	1,9929
46	28,6160	861,86	87,4120	288,50	509,72	1,2914	1,9845
48	29,9890	850,77	92,7860	292,95	508,48	1,3048	1,9759
50	31,4120	839,26	98,5500	297,49	507,10	1,3183	1,9670
52	32,8870	827,28	104,7500	302,12	505,57	1,3321	1,9578
54	34,4150	814,78	111,4400	306,87	503,86	1,3461	1,9482
56	35,9970	801,68	118,6900	311,74	501,95	1,3603	1,9382
58	37,6350	787,90	126,5800	316,75	499,82	1,3749	1,9277
60	39,3320	773,31	135,2100	321,93	497,44	1,3898	1,9166

Fuente: (Gasserver, 2020)

Se calcula la presión de alta con base en la tabla del refrigerante teniendo como resultado:

$$\text{Presión } 46^\circ\text{C R32} = 28,6160\text{bar} - 1$$

$$\text{Presión } 46^\circ\text{C R32} = 27,6160\text{bar}$$

$$\text{Presión } 46^\circ\text{C R32} = 400,53\text{psi}$$

Este valor de 400,53psi se le conoce como la presión de alta cuando el refrigerante se encuentra en el

Teniendo en cuenta los conceptos termodinámicos presentados en el libro Termodinámica (Cengel, 2009) tenemos que:

Ecuación 4-1. Coeficiente de rendimiento (COP)

$$COP_R = \frac{Q_{ent}}{W_{neto,entrada}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

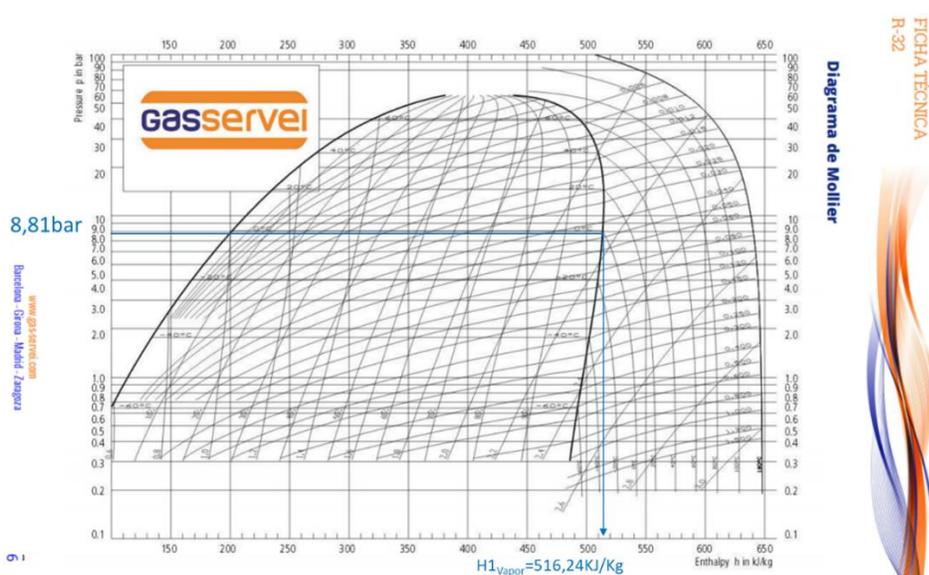
Teniendo en cuenta lo anterior, y conociendo el aire seleccionado sabemos que el calor de entrada por el aire es de 12000btu/h como se muestra:

$$Q_{ent} = \frac{12.000btu}{h} = 3516.85W = 3.52kW = 12660.67KJ/h$$

$$\dot{Q}_{ent} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

Para el poder conseguir el valor del COP_R , el W_{neto} y el flujo masico \dot{m} se realizará el análisis con las entalpías y el diagrama de Mollier. Inicialmente se definen los puntos respecto a los que se conocen y se estiman los que no se conocen. El primer punto por definir es el punto 1 (Vapor) y se tiene en cuenta la presión de baja que es de 8.81bar y se busca el valor en el diagrama como se muestra en la Figura 4-9.

Figura 4-9. Diagrama de Mollier para el estado de vapor



Fuente: (Gasserver, 2020)

Tenemos que el valor observado señalado se puede corroborar en la tabla teniendo en cuenta la presión y la temperatura como se muestra en la Figura 4-10.

Figura 4-10. Entalpía de vapor para el punto 1

Propiedades termodinámicas
obtenidas mediante el programa REFPROP

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad liq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpia liq. KJ/Kg	Entalpia Vap. KJ/Kg	Entropía liq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
6	9,8113	1034,20	26,7140	210,58	516,24	1,0377	2,1327

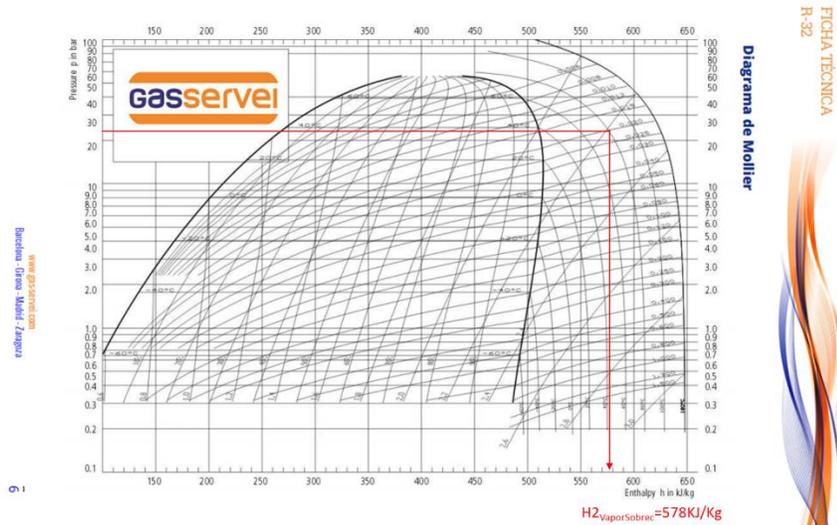
Fuente: (Gasserver, 2020)

Teniendo en cuenta lo anterior tenemos que:

$$h_1 = 516.24 \text{ KJ}/\text{Kg}; T_{eva} = 6^\circ\text{C}; P_{eva} = 8.81\text{bar}$$

El segundo punto por definir es el punto 2 (vapor sobrecalentado) y lo obtenemos utilizando la presión de alta (Compresor-Condensador = 27,61bar) como se muestra en la Figura 4-11. Como se mencionó anteriormente este punto se halló realizando una estimación mediante el diagrama y la apertura fuera del domo en el diagrama T-s como se observó en el apartado Sistema de compresión de vapor el cual se encuentra ubicado en la página 25.

Figura 4-11. Diagrama de Mollier para el estado de vapor sobrecalentado



Teniendo cuenta lo obtenido se define el valor de la entalpía 2 el cual es de:

$$h_2 = 578 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

Finalmente, el último punto a definir es cuando el refrigerante se encuentra en estado líquido (Mezcla) donde tiene como puntos de referencias los puntos 1 y 2 para hallar el valor del punto 4. En la Figura 4-12 se muestra cómo se correlacionan los 2 puntos, debido a que cuando se cae la presión de alta, busca llegar hasta la de baja para nivelar las presiones.

Figura 4-12. Diagrama de Mollier para el refrigerante R32



Teniendo en cuenta lo anterior, podemos observar la entalpía para la mezcla en el punto 4 es la siguiente:

$$h_4 = 274 \text{ KJ/Kg}$$

Con los datos de las entalpías hallamos el valor del COP_R

$$h_1 = 516.24 \text{ KJ/Kg}$$

Datos:

$$\begin{aligned} Q_{ent} &= 3.52 \text{ KW} \\ h_1 &= 516.24 \text{ KJ/Kg} \\ h_2 &= 578 \text{ KJ/Kg} \\ h_4 &= 274 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

Calculos:

$$COP_R = \frac{Q_{ent}}{W_{neto, entrada}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP_R = \frac{516.24 - 274}{578 - 516.24} = 3.922$$

$$W_{neto} = \frac{Q_{ent}}{COP_{ref}} = \frac{3.51KW}{3.922} = 0.89KW \approx 0.90KW$$

Para hallar el flujo másico utilizamos la

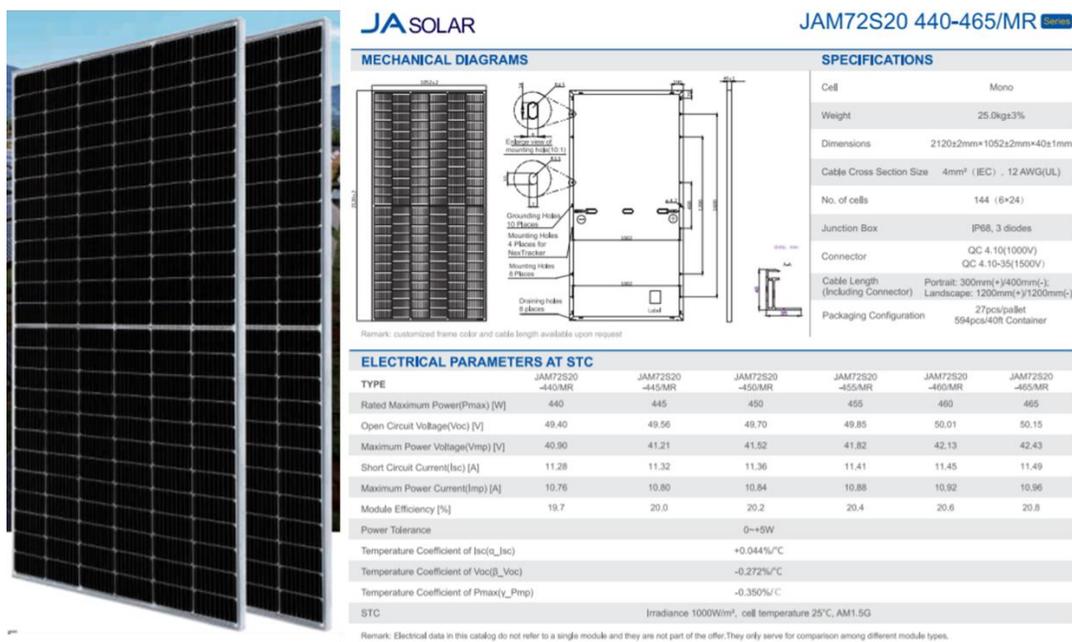
$$\dot{Q}_{ent} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{ent}}{(h_1 - h_4)} = \frac{12660.67KJ/h}{(516.24 - 274)KJ/Kg} = 52.26Kg/h$$

4.2.1 Selección de equipos para sistema de refrigeración

De manera inicial y con base en los requerimientos del sistema desde el punto de vista termodinámico, se seleccionaron los siguientes equipos que a su vez tienen fichas técnicas.

Figura 4-13. Panel Solar JA SOLAR 455W 24V y especificaciones técnicas



Fuente: (AutoSolar, 2021)

El precio de este panel está en el orden de los \$544.500 en peso colombiano y adicionalmente es un producto exento de iva. La selección también se hizo teniendo en cuenta que las condiciones climatológicas, económicas y de funcionamiento.

El segundo elemento seleccionado del KIT SOLAR son los dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica. En la Figura 4-14 se observa la batería seleccionada la cual se escogió teniendo en cuenta los cálculos del sistema los cuales se presentan en el apartado “**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**” el cual muestra de manera detallada las configuraciones del sistema seleccionado.

Figura 4-14. Batería para equipo solar Bluesun/OEM AGM-12V 150AH



Fuente: (Alibaba, 2020)

Esta batería se selecciona por 2 factores de gran importancia como lo son: Precio y factor de capacidad o factor de aprovechamiento. EL primer factor se tiene en cuenta debido a que los sistemas energéticos con alimentación son de alto costo, sin embargo, con un diseño acertado y una correcta selección de equipos se vuelve asequible y con una gran vida útil. Teniendo en cuenta lo anterior, esta batería utilizaría el 75% de su capacidad, lo cual es un buen indicio para su implementación ya que se disminuyen costos y se aumenta el uso del equipo en cuestión.

En tercer lugar, se seleccionan los equipos complementarios al KIT SOLAR como lo son, el inversor, regulador y la estructura como se muestran en la Figura 4-15. Estos se cotizaron en las diferentes páginas que suministran estos equipos teniendo como resultado la siguiente tabla de valores a la cual se le adicionaron los valores de las baterías y paneles.

Figura 4-15. Inversor Voltronic Axpert MKS 800W y regulador ZHCSolar 80 amp para equipo solar



Fuente: (AutoSolar, 2021; Amazon , 2018)

Tabla 4-5. Equipos seleccionados para el KIT SOLAR (1 unidad por equipo)

Equipo	Valor
Panel Solar	\$545.018
Batería	\$630.877
Inversor	\$1'248.000
Regulador	\$276.000
Estructura	\$2'000.000

Fuente: Autores

La tabla anterior muestra los valores unitarios de los equipos seleccionados y mencionados anteriormente. Estos valores están directamente correlacionados con los datos técnicos, termodinámicos y económicos.

4.3 Objetivo 3: Ejecución del análisis técnico-económico para implementación de energía solar para el sistema de refrigeración de aire acondicionado seleccionado

4.3.1 Análisis técnico-solar del sistema

Con esos valores calculados se realizó una tabla en Excel donde se introdujeron valores y variables para poder obtener los datos reales de implementación de los paneles solares y así mismo realizar los cálculos económicos teniendo en cuenta todas las especificaciones técnicas del sistema: La Tabla 4-6 muestra los cálculos termodinámicos hallados anteriormente en conjunto con valores de fichas técnicas y de eficiencias calculadas para el sistema a instalar.

Tabla 4-6. Cálculos de mecánicos y de eficiencia del sistema de refrigeración

Ecuación o dato	Nombre	Simb.	Magnitud	Unidad	Descripción
Dato		Pot Q _f	12000	BTU/h	Capacidad de enfriamiento
Dato		COP	3,922		COP=Q _f /W _c =POT _f /POT _c
Dato			3413	(BTU/h)/kW	conversión 1000BTU/h=0,293kW
$W_{neto} = \frac{Q_{ent}}{COP_{ref}}$		Pot W _c	0,90	kW	Potencia compresor
Dato		h ₁ -h ₄	242,24	KJ/kg	
$m = \frac{Q_{ent}}{(h_1 - h_4)}$		Pot _m	52,26	Kg/h	Flujo masico
Dato			12	h /día	tiempo de encendido estable
$W_{comp} = W_{neto} * T. de encendido estable$	Motor	W _c	10,8	kWh /día	Trabajo de compresor
Dato	Motor	e _T	90%		eficiencia mecánica
Dato	Motor	e _E	80%		eficiencia eléctrica
$EEM = \frac{W_{comp}}{E_{eficiencia\ electrica}}$	Motor	E _M	14,94	kWh /día	Energía eléctrica consumida

Fuente: Autores

Observamos en la tabla que los valores calculados son los que se evidenciaron anteriormente en el análisis termodinámico. Dichos cálculos nos mostraron varios valores para tener en cuenta, el de mayor importancia es de la Energía Eléctrica Consumida (EEC) la cual nos indicó que bajo las condiciones de que tenemos del equipo y las condiciones termodinámicas la energía que se consume por sistema de refrigeración instalado es de

14.94kWh/día, cabe resaltar que el valor kWh denota potencia, es decir, es comparable a Btu/h.

Tabla 4-7. Cálculos de los paneles solares

Ecuación o dato	Nombre	Simb.	Magnitud	Unidad	Descripción
Dato	Solar	E _i	5,5	kWh/(día·m ²)	Radiación solar diaria promedio
Dato	Panel		455	W	Potencia nominal de panel
Dato	Panel		49,85	V	Tensión de panel
Dato	Panel		11,41	A	Corriente de operación panel
Dato	Panel		20,4%		Eficiencia paneles
Dato	Panel		0,95		Factor de confiabilidad
Dato	Panel		2,12	m	Largo
Dato	Panel		1,05	m	Ancho
Dato	Panel		0,04	m	Espesor
Dato	Panel		7	paneles	Cantidad de paneles
$A_{panel} = L * A$	Panel		2,226	m ²	Área por panel
$A_{total} = N^{\circ}Paneles * A_{panel}$	Panel		15,582	m ²	Área total de paneles

Fuente: Autores

Por su parte, la Tabla 4-7 muestra los valores técnicos de los paneles seleccionados con anterioridad. Estos valores técnicos se utilizaron para hallar de manera inicial el área por panel y el área total. Lo anterior nos dictaminó las dimensiones de la estructura donde los paneles serán soportados que debe ser superior a 18m² con un área aprovechable de 15.5m². Adicionalmente, el número de paneles que aparece en la tabla se seleccionó teniendo en cuenta la relación de energía captada contra la que se consume, es decir, si el valor es menor a 1 se está gastando más de lo que se está captando por lo tanto esta relación debe ser 1 o ligeramente mayor que 1. Por lo cual el número de paneles seleccionados con base en esa relación es de 7 paneles.

Tabla 4-8. Cálculos de las baterías

Ecuación o dato	Nombre	Simb	Magnitud	Unidad	Descripción
Dato	Global		3733	COP/USD	Conversión peso dólar
$EDC = Radiación\ solar\ prom * Efi.\ Paneles * Factor\ de\ conf. * A_{total}$	Solar	E _c	16,61	kWh/día	Energía diaria captada
$Relación\ de\ energía\ captada\ vs\ consumida = EDC/EEM$	Motor	n _e	1,1116		n=E _c /E _M = cuanta energía se capta vs la que se consume. Debe ser mayor que 1
$CDC = EDC/Tensión\ del\ panel$	Solar		333,18	Ah/día	Corriente diaria captada

Continuación de la Tabla 4-8

$Corriente\ de\ diseño = CDC * 2$	Batería	666,35	Ah/día	Corriente de diseño a baterías (2x)
Dato	Batería	150	Ah	Capacidad de carga batería
Dato	Batería	1	días	Autonomía mínima
Dato	Batería	12	V	Tensión de batería
$N^{\circ}Baterias\ en\ serie = Tensión\ del\ panel / Tensión\ de\ la\ batería / 2$	Batería	3	Baterías	Baterías en serie
$Cantidad\ Mínima\ de\ bat = Corriente\ de\ diseño * Autonomía\ mínima / Capacidad\ de\ carga$	Batería	5	Baterías	Cantidad de baterías mínima
$Cantidad\ de\ baterías = (Cantidad\ mínima\ de\ baterías / N^{\circ}\ baterías\ en\ serie) * N^{\circ}\ baterías\ en\ serie$	Batería	6	Baterías	Cantidad de baterías
$F. Capacidad = (Corriente\ de\ diseño * Autonomía\ mínima) / (Cantidad\ de\ baterías * Capacidad\ de\ carga\ de\ batería)$	Batería	0,74		Factor de capacidad de batería

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que la corriente diaria captada ($Corriente\ diaria\ captada = \frac{Energía\ diaria\ captada}{Tensión\ del\ panel}$) es de 333,18ah/día y se recomienda que en una instalación siempre vaya el doble de la capacidad requerida por diseño es decir 666.36ah/día. Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionaron 5 baterías debido a que son las más idóneas para cumplir con la capacidad que es de 666ah/día, sin embargo, no se pueden colocar 5 batería en serie, deben ir 2 en serie y las demás en paralelo por lo cual se genera una diferencia entre el número de baterías en serie y la cantidad mínima de baterías para generar un valor de numero de baterías la cual es de 6. Finalmente, con base en esos datos se determina el factor de capacidad que como se mencionó anteriormente determina el porcentaje de uso de las batería, que en este caso es del 75%.

4.3.2 Análisis técnico-económico

La Tabla 4-9 muestra el resumen de los datos económicos calculados para evaluar los costos económicos de la implementación el sistema de paneles solares, su inversión total, el costo anual de energía eléctrica, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto de lo invertido (VPN). Cabe resaltar que el valor del aire acondicionado no es un valor que se va a ahorrar en la inversión debido a que se va a invertir en un equipo de refrigeración, por lo cual la verdadera inversión es el KIT SOLAR.

Tabla 4-9. Estimación de costos

Ecuación o dato	Nombre	Simb	Magnitud	Unidad	Descripción
Dato	Panel		146	USD	Precio Panel (USD)
$Precio\ panel\ COP = Precio\ panel\ USD$ <i>* Conversión peso dolar</i>	Panel		545.018	COP	Precio Panel (COP)
Dato	Panel		5,54	A	Corriente de operación panel
Dato	Panel		44,3	V	Tensión de operación panel
Dato	Batería		1	Kg	Masa de batería
Dato	Panel		19,2	Kg	Masa panel
	Panel		134,4	Kg	Masa paneles
Dato	Batería		169	USD	Precio Batería (USD)
$Precio\ batería\ COP = Precio\ batería\ USD$ <i>* Conversión peso dolar</i>	Batería		630.877	COP	Precio Batería (COP)
$Subtotal\ de\ panels = Cantidad\ de\ panels$ <i>* Precio panels COP</i>	Batería		3.815.126	COP	Subtotal paneles
$Subtotal\ de\ baterías = Cantidad\ de\ baterías$ <i>* Precio batería COP</i>	Batería		3.785.262	COP	Subtotal Baterías
$Inversión = Subtotal\ paneles + Subtotal\ baterías$ <i>+ Precio inversor</i> <i>+ Precio controlador</i> <i>+ Precio estructura</i>	Kit Solar		11.124.388	COP	Inversión total
Dato	Inversor		1.248.000	COP	Precio Inversor
Dato	Regulador		276.000	COP	Precio controlador
Dato	Estructura		2.000.000	COP	Precio estructura cotizado

Fuente: Autores

Inicialmente podemos observar que la implementación del sistema de refrigeración mediante energía solar está directamente relacionada con los valores antes mencionado en la selección de los equipos. Por lo cual, los valores calculados tienen una estimación real y actual de lo que costaría implementar este sistema de refrigeración.

En la Tabla 4-10 y Tabla 4-11 podemos observar la simplificación de los cálculos económicos para la implementación del sistema, dichas tablas hacen referencia a la TIR y al VPN.

Tabla 4-10. Estimación de Retorno simple

Energía autogenerada anual	3.926,6	kWh
Precio unitario de energía	500	COP/kWh
Ahorro anual estimado	1.963.294	COP/año
Inversión total	11.124.388	COP
Retorno simple	5,7	año

Fuente: Autores

Tabla 4-11. Flujos de caja

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Transacción	-11.124.388	1.963.294	1.963.294	1.963.294	1.963.294	1.963.294	1.963.294
	VPN (1,65%)			TIR (3 años)			TIR (6 años)
	\$ 2.339.754			-26,12%			1.66%

Fuente: Autores

Los cálculos realizados muestran una inversión necesaria de aproximadamente 11 millones de pesos que podrían ser recuperados en aproximadamente 6 años ya que se espera que el ahorro anual sea de poco menos de 2 millones.

Como complemento, haciendo un análisis de TIR a 6 años (que es aproximadamente el retorno simple), este es de 1,66%. Lo cual es muy justo, lo que sería un riesgo teniendo en cuenta la inflación en Colombia o una tasa alta de interés si se compra a crédito, o fluctuaciones grandes en la autogeneración fotovoltaica. Sería mejor poder ajustar a una TIR de al menos 10%, lo cual se daría al extender el flujo de caja a 9 años (TIR=10,41%).

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El comercio de aires acondicionados de tipo solar tiene un mercado amplio y se corroboró mediante la investigación realizada. Este tipo de aires tiene una diferencia muy marcada que ayuda al comprador a realizar su selección: Híbrido y Solar. En este proyecto fue el factor fundamental debido a que la funcionalidad híbrida se genera un respaldo entre los dos tipos de energía. Esto aplicaría firmemente para un sistema completo de electrodomésticos en el hogar.

El cálculo termodinámico presenta un resultado positivo para la implementación del sistema de paneles solares porque corroboró que la eficiencia de dicho aire en condiciones normales es superior al 3,9COP lo cual se relaciona directamente entre las categorías de eficiencia con A⁺. Teniendo en cuenta lo anterior, el consumo de este equipo híbrido con categoría A⁺ adaptado a paneles solares, generaría una disminución significativa en los consumos eléctricos que mediante energías convencionales. Adicionalmente, se corroboró que el refrigerante usado por esta tecnología (R32) presenta condiciones superiores al R410 y está dentro de las normas ambientales.

La inversión estimada es alrededor de 10 veces lo que cuesta un equipo de aire acondicionado convencional lo que puede disuadir a una persona a implementar la tecnología, sin embargo, un retorno de inversión de entre 6 y 9 años parece ser razonable para ser competitivo a quienes puedan permitírselo. A su vez, la fuerte inversión puede justificar más el almacenamiento eléctrico se posibilita como respaldo para el resto de la

casa, con lo que se vuelve interesante para casas que sufren interrupciones de suministro de unas pocas horas frecuentemente.

5.2 Recomendaciones

Implementar un sistema de medición hora a hora para evidenciar las fluctuaciones de la energía y así generar un análisis estadístico que permita una selección mas eficaz de los equipos y las tecnología solares.

Implementar el mismo diseño y selección de tecnología para los electrodomésticos de mayor consumo en los hogares.

Usar una TIR de 10% para analizar rediseños a futuro. De esta manera se asegura una buena sensibilidad a fluctuaciones fuertes en el flujo de caja proyectada a futuro.

A. Anexo: Ficha técnica R32



ESPECIALISTAS EN GASES REFRIGERANTES
Y PRODUCTOS PARA A/A Y REFRIGERACIÓN



FICHA TÉCNICA

R-32

Características y aplicaciones

El gas refrigerante **R-32** es un HFC puro, con cero agotamiento en la capa de ozono y bajo potencial de calentamiento atmosférico, utilizado en estado puro en pequeños equipos nuevos de aire acondicionado y refrigeración así como también ha sido comúnmente utilizado componente en distintas mezclas HFC.

El **R-32** es adecuado para nuevos equipos especialmente diseñados para R-32, en aplicaciones que normalmente habrían utilizado R-410A.

Dispone de un PCA (GWP) de 675, el cual está dentro de los límites aceptados para gases refrigerantes utilizados en equipos nuevos (splits) con una carga inferior a 3 kg puestos en el mercado a partir del 1/01/2025 según el reglamento Europeo CE N° 517-2014.

Algunas de sus características son:

- Es un refrigerante más eficiente energéticamente que el R-410A y con PCA (GWP) de 675, 68% inferior al R-410A.
- Su capacidad de refrigeración es similar al R-22 y R-502.
- El equipo precisa menor carga de refrigerante en comparación al R-410A.
- Mismas tuberías y lubricantes (POE) que el R-410A.
- Clasificación de seguridad: A2L, de baja toxicidad y baja inflamabilidad.

Aplicaciones:

- Inicialmente utilizado en algunos equipos nuevos de aire acondicionado, se le empieza a considerar también como una alternativa en bajas temperaturas.
- Ha sido utilizado como componente en mezclas HFC muy conocidas por la industria como el R-407C, R-410A, R-442A (RS-50), R-407F, R-453A (RS-70), etc.
- El R-32 está clasificado como inflamable, y por lo tanto, no es un refrigerante diseñado para reconversiones (retrofit) del R-410A.

Condiciones de servicio y trabajo

Debido a que el R-32 es un refrigerante puro, puede transferirse tanto en fase líquida como en fase gas.

Al ser un refrigerante puro, no tiene deslizamiento (Glide) de temperatura. En caso de fuga, podrá rellenarse el equipo directamente sin necesidad de recuperar el refrigerante remanente en el circuito.

FICHA TÉCNICA R-32



Lubricantes

El R-32 es compatible con aceites polioléster. En aplicaciones de aire acondicionado, los mismos aceites utilizados con el R-410A serán válidos para R-32.

NOTA: Según un estudio realizado en EUA por Air-conditioning and Refrigeration Technology Institute, Inc. (USA) y publicado en 1993, se observó que el R-32 no era miscible en todas las concentraciones de lubricante sintético (POE) a partir de temperaturas por debajo de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es importante considerar este punto para mezclas desarrolladas para trabajar en temperaturas bajas de refrigeración.

Datos ambientales

El R-32 no contiene cloro, de manera que el producto tiene $\text{ODP} = 0$ (capacidad para agotar la capa de ozono). El R-32 tiene un potencial directo de calentamiento atmosférico (GWP), **bajo**, reduciendo así las emisiones de CO_2 en caso de fugas directas.

Seguridad

El R-32 está catalogado como ligeramente inflamable según ASHRAE 34 y el proyecto de la norma ISO 817, y sólo se inflamaría cuando su concentración estuviera entre el límite inferior y superior de inflamabilidad:

	Límite inflamabilidad inferior	Límite inflamabilidad superior
Concentración R-32	13,3%	29,3%

CERI + Kayak Japan 2011

El R-32 está clasificado como A2L (Grupo L2), es decir, poco inflamable ya que la velocidad de combustión es más bien baja y no es tóxico.

Toxicidad y almacenamiento

R-32 es una sustancia con muy poca toxicidad. El índice por inhalación LC_{50} de 4 horas en ratas es de $1.107.000\text{ mg/m}^3$ (OECD 403) y el NOEL en relación a problemas cardíacos es aproximadamente de 735.000 mg/m^3 en perros. Los envases de R-32 deben ser almacenados en lugares frescos y ventilados, alejado de llamas libres, chispas y lejos de focos de calor. Se debe evitar la exposición directa al sol y la acumulación de carga electrostática. Mantener alejado de comidas, bebidas y piensos.

Componentes

Nombre químico	% en peso	Nº EC	Nº CAS	Nº registro REACH
Difluorometano R-32	100	200-839-4	75-10-5	01-2119471312-47-0000

FICHA TÉCNICA R-32



Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS		R-32
Fórmula		CH ₂ F ₂
Peso molecular		52.024
Densidad del líquido (25 °C)	Kg/l	0.9588
Punto de ebullición (1atm)	°C	-51.7
Viscosidad del líquido (20 °C)	cP	0.121
Viscosidad del vapor (20 °C)	cP	0.01238
Tensión superficial (20 °C)	mN/m	7.0
Presión del vapor (25 °C)	bar	16,897
Calor específico del líquido (25 °C)	kJ/kg.K	1.884
Calor específico del vapor (25 °C)	kJ/kg.K	0.82633
Punto de congelación	°C	-136
Temperatura crítica	°C	78,35
Presión crítica	bar	58.16
Densidad crítica	Kg/l	0.429756
Calor de vaporización a punto de ebullición (25 °C)	kJ/kg	270.22
Densidad del vapor (Air=1)		1,86
Presión de vapor a 20°C	mmHg	10319
Densidad del vapor a 20°C	g/ml	0.98
Límites de inflamación (Alto)	% v/v	31.0 ASTM 681-85
Límites de inflamación (Bajo)	% v/v	14.0 ASTM 681-85
Solubilidad del R-32 en agua a 25°C	log	0.21
COP		95
Inflamabilidad		A2L
ODP		0
PCA (GWP)		675
Toxicidad		No

Envases para R-32

Los envases para R-32 recargables han de cumplir las siguientes especificaciones:

- Ojiva de color rojo (inflamable).
- Rosca izquierdas (será necesario un adaptador para conectar a las mangueras de carga).
- Prueba de presión mínima: 48 bar.

FICHA TÉCNICA
R-32**Propiedades termodinámicas**

obtenidas mediante el programa REFPROP

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad líq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpía líq. KJ/Kg	Entalpía Vap. KJ/Kg	Entropía líq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
-50	1,1014	1208,40	3,2316	117,22	497,27	0,6683	2,3714
-48	1,2163	1202,80	3,5477	120,40	498,26	0,6824	2,3607
-46	1,3405	1197,20	3,8877	123,60	499,23	0,6965	2,3502
-44	1,4745	1191,50	4,2530	126,80	500,17	0,7105	2,3399
-42	1,6188	1185,90	4,6450	130,01	501,11	0,7244	2,3298
-40	1,7741	1180,20	5,0651	133,23	502,02	0,7382	2,3200
-38	1,9409	1174,40	5,5147	136,45	502,91	0,7519	2,3103
-36	2,1197	1168,60	5,9952	139,69	503,78	0,7655	2,3008
-34	2,3111	1162,80	6,5084	142,93	504,63	0,7791	2,2916
-32	2,5159	1156,90	7,0557	146,18	505,47	0,7926	2,2824
-30	2,7344	1151,00	7,6389	149,45	506,27	0,8060	2,2735
-28	2,9675	1145,00	8,2598	152,72	507,06	0,8193	2,2647
-26	3,2157	1138,90	8,9201	156,01	507,83	0,8326	2,2561
-24	3,4796	1132,90	9,6218	159,31	508,57	0,8458	2,2476
-22	3,7600	1126,70	10,3670	162,62	509,28	0,8589	2,2392
-20	4,0575	1120,60	11,1570	165,94	509,97	0,8720	2,2310
-18	4,3728	1114,30	11,9950	169,28	510,64	0,8850	2,2229
-16	4,7067	1108,00	12,8830	172,63	511,28	0,8979	2,2149
-14	5,0597	1101,70	13,8230	175,99	511,89	0,9109	2,2070
-12	5,4327	1095,20	14,8180	179,37	512,47	0,9237	2,1992
-10	5,8263	1088,80	15,8700	182,76	513,02	0,9365	2,1915
-8	6,2414	1082,20	16,9820	186,18	513,54	0,9493	2,1839
-6	6,6786	1075,60	18,1570	189,60	514,03	0,9620	2,1764
-4	7,1388	1068,90	19,3980	193,05	514,49	0,9747	2,1690
-2	7,6226	1062,10	20,7080	196,52	514,91	0,9874	2,1616
0	8,1310	1055,30	22,0910	200,00	515,30	1,0000	2,1543
2	8,6647	1048,30	23,5500	203,50	515,65	1,0126	2,1471
4	9,2245	1041,30	25,0900	207,03	515,96	1,0252	2,1399
6	9,8113	1034,20	26,7140	210,58	516,24	1,0377	2,1327

!!!! ATENCIÓN!!!!

Las presiones son absolutas, se ha de restar 1 para obtener la presión manométrica

FICHA TÉCNICA R-32



Propiedades termodinámicas obtenidas mediante el programa REFPROP

TEMP. °C	Presión bar absoluta	Densidad líq. Kg/m ³	Densidad Vap. Kg/m ³	Entalpía líq. KJ/Kg	Entalpía Vap. KJ/Kg	Entropía líq. KJ/Kg K	Entropía Vap. KJ/Kg K
8	10,4260	1027,00	28,4260	214,15	516,47	1,0503	2,1256
10	11,0690	1019,70	30,2320	217,74	516,66	1,0628	2,1185
12	11,7420	1012,20	32,1370	221,36	516,80	1,0753	2,1114
14	12,4450	1004,70	34,1450	225,01	516,90	1,0878	2,1043
16	13,1790	997,06	36,2640	228,68	516,95	1,1003	2,0972
18	13,9460	989,28	38,4980	232,39	516,95	1,1128	2,0902
20	14,7460	981,38	40,8560	236,12	516,90	1,1253	2,0831
22	15,5790	973,34	43,3440	239,89	516,79	1,1378	2,0760
24	16,4480	965,16	45,9710	243,69	516,62	1,1503	2,0688
26	17,3530	956,82	48,7450	247,53	516,39	1,1629	2,0616
28	18,2950	948,31	51,6760	251,40	516,09	1,1755	2,0544
30	19,2750	939,62	54,7760	255,32	515,72	1,1881	2,0471
32	20,2940	930,75	58,0560	259,28	515,29	1,2007	2,0397
34	21,3530	921,67	61,5300	263,28	514,77	1,2134	2,0322
36	22,4540	912,37	65,2110	267,34	514,17	1,2262	2,0246
38	23,5970	902,83	69,1180	271,45	513,49	1,2391	2,0169
40	24,7830	893,04	73,2680	275,61	512,71	1,2520	2,0091
42	26,0140	882,96	77,6840	279,84	511,82	1,2650	2,0011
44	27,2920	872,58	82,3890	284,13	510,83	1,2781	1,9929
46	28,6160	861,86	87,4120	288,50	509,72	1,2914	1,9845
48	29,9890	850,77	92,7860	292,95	508,48	1,3048	1,9759
50	31,4120	839,26	98,5500	297,49	507,10	1,3183	1,9670
52	32,8870	827,28	104,7500	302,12	505,57	1,3321	1,9578
54	34,4150	814,78	111,4400	306,87	503,86	1,3461	1,9482
56	35,9970	801,68	118,6900	311,74	501,95	1,3603	1,9382
58	37,6350	787,90	126,5800	316,75	499,82	1,3749	1,9277
60	39,3320	773,31	135,2100	321,93	497,44	1,3898	1,9166

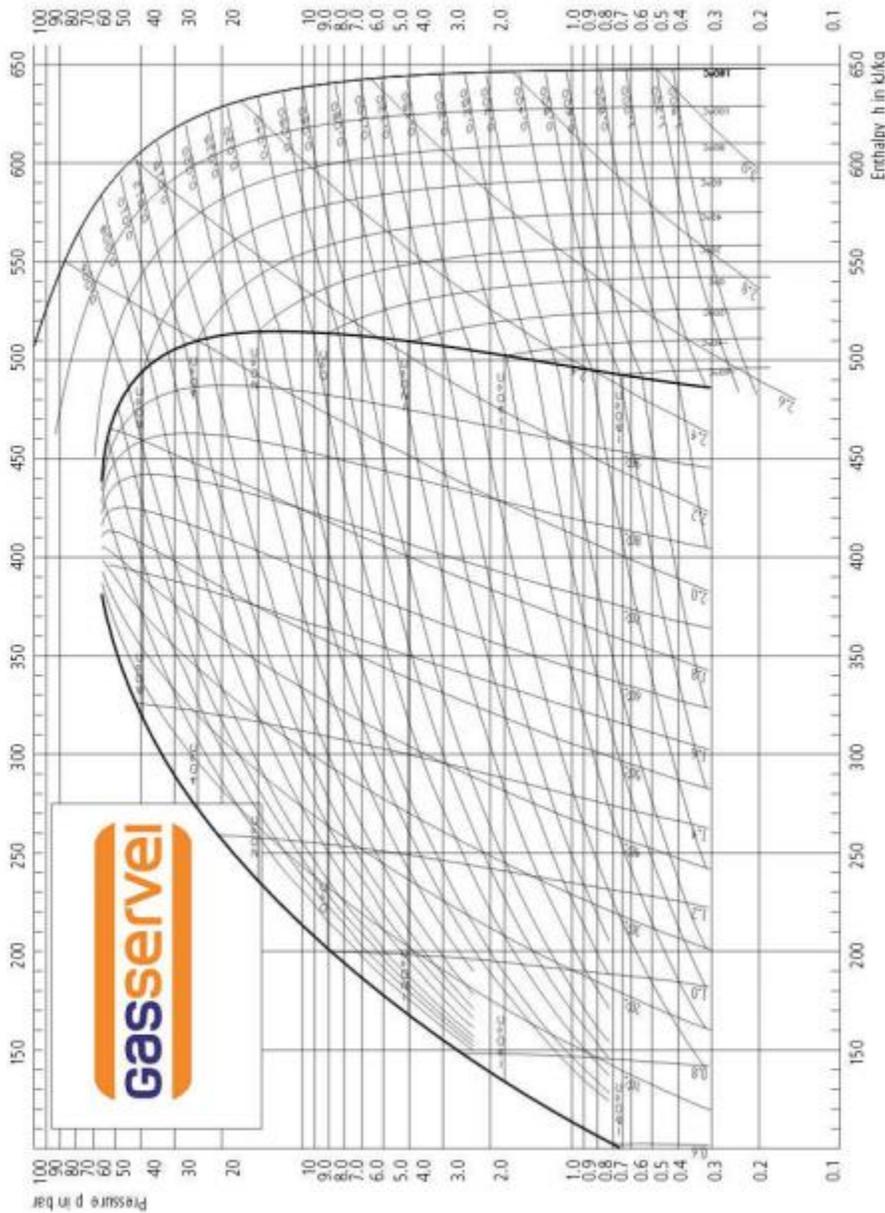
!!!! ATENCIÓN!!!!

Las presiones son absolutas, se ha de restar 1 para obtener la presión manométrica

FICHA TÉCNICA
R-32



Diagrama de Mollier



6. Bibliografía

- Alibaba. (24 de Noviembre de 2020). *Alibaba.com*. Obtenido de Batería de GEL para sistema de batería de panel solar, garantía de calidad, 12v, 150ah, 200ah, 250ah: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/quality-guarantee-12v-150ah-200ah-250ah-gel-battery-for-solar-panel-battery-system-60774898896.html>
- Alusinsolar. (15 de 12 de 2021). *Alusin Solar S.L.U.* Obtenido de <https://alusinsolar.com/instalaciones-fotovoltaicas/#placas>
- Amazon . (12 de Junio de 2018). *ZHCSolar*. Obtenido de ZHC Solar Web Site: https://www.amazon.com/controlador-regulador-protecci%C3%B3n-anti-ca%C3%ADda-disipador/dp/B078N17H1F/ref=sxin_9_pa_sp_search_thematic_sspa?adgrpid=119163277614&cv_ct_cx=solar+controller&dchild=1&gclid=Cj0KCQjw-LOEBhDCARIsABrC0TnHwbfuwsRp3vjcDBTrYZk9eEKPXE
- AutoSolar. (12 de Enero de 2021). *Autosolar Energía de Colombia S.A.S.* Obtenido de Panel Solar JA SOLAR 455W 24V Monocristalino Perc: <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-ja-solar-455w-24v-monocristalino-perc>
- Cengel, Y. (2009). *Termodinámica 7th*. Mexico DF: McGraw Hill.
- CODENSOLAR S.A.S. (15 de Julio de 2020). *Codensolar* . Obtenido de <https://codensolar.com/producto/aire-acondicionado-solar-100/>
- Contreras Mazo, I., & Rodriguez Peñon, C. (2010). *Factibilidad para la creación de una empresa comercializadora de paneles solares para funcionamiento de electrodomesticos en la ciuda de Barrancabermeja*. Barrancabermeja: Universidad Industrial de Santander - UIS.

- Cortés, S., & Arango, L. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25, 974-390.
- Energía, M. d. (2015). *PLAN ENERGÉTICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO*. Bogotá: UPME.
- Fotovoltaica. (23 de Mayo de 2019). *Tutiendaenergetica.es*. Obtenido de Tutiendaenergetica Web Site: https://www.tutiendaenergetica.es/blog/94_placas-solares-autoconsumo-ejemplo
- Gasserver. (2020). *Ficha tecnica R32*. Barcelona: GASSERVER.
- Gonzalez, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Grupo NAP. (2002). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación.
- Jntech . (15 de Abril de 2021). *Jntech Energy*. Obtenido de Jntech Energy Web Site: https://www.jntechenergy.com/12000btu-hybrid-solar-split-power-air-conditioner-price_p47.html
- Lopez Fernandez, J. (2010). *Optimización del consumo energético de una vivienda con soporte de energía solar*. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Lopez-Molina, I., Muñoz-García, M., Moratiel-Yugueros, R., & Moreda Cantero, G. (3-6 de Septiembre de 2019). Uso de energía solar fotovoltaica aplicada a la refrigeración de un invernadero. *Agro-Ingeniería*, 1-6.
- Mercado Libre. (14 de 11 de 2020). *Merado libre Mexico*. Obtenido de Mercado libre Web Site: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-611125173-estructura-de-paneles-solares-2-4-6-8-10-paneles-aluminio-_JM
- Ojeda, G. (5 de 04 de 2021). *Selectra*. Obtenido de Selectra Web Site: <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/baterias-solares>
- Salcantay. (15 de Agosto de 2020). *Todo en energía solar* . Obtenido de <https://www.todoensolar.com/Aire-acondicionado-solar-con-3-paneles>

-
- Solair world International. (2020). *Solar On Grid Hybrid ACDC air conditioner/heat pump*. Singapur: SolAir World International.
- Sunchees Energy. (15 de Abril de 2021). *9000BTU China AC/DC Híbrido De Energía Solar De Aire Acondicionado Para La Oficina Y El Uso En El Hogar*. Obtenido de Sun Sunchees : https://es.sunchees.com/9000btu-china-ac-dc-hybrid-power-solar-air-conditioners-for-office-and-home-use_p22.html
- Sunshine Works. (15 de Abril de 2021). *HotSpot Energy DC4812VRF*. Obtenido de SunshineWorks Web Site: <https://www.sunshineworks.com/shop/air-conditioning/hotspot-energy-dc4812vrf>
- Vélez-Pereira, A., Vergara-Vásquez, E., Barraza-Coronel, W., & Agudelo-Yepez, D. (Julio-Diciembre de 2015). Evaluación de un modelo estadístico para estimar la radiación solar en Barranquilla. *Tecno Lógicas*, 18(35), 34-44.