

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN  
AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT DEBIDO AL CAMBIO DE  
REFRIGERANTE**

**MATEO GIL HERNANDEZ  
ANDRES MEDINA TARRIBA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2019**

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN  
AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT DEBIDO AL CAMBIO DE  
REFRIGERANTE**

**MATEO GIL HERNANDEZ  
ANDRES MEDINA TARRIBA**

**Proyecto de grado presentado como prerrequisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Asesor metodológico  
ARLEY SALAZAR HINCAPIE  
Ingeniero Mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2019**

## Resumen

En este trabajo de investigación da la oportunidad de conocer el cambio en los diferentes factores de un aire acondicionado tipo mini Split tales como el consumo energético, diferenciación de presión, coeficiente de enfriamiento y trabajo del equipo en los datos que se tomaron en las pruebas experimentales se demostró que el refrigerante R22 tiene un consumo energético de 5.31 watt y el refrigerante R422D tiene un consumo de 6.83 watt, cuando el refrigerante R22 circula en el aire acondicionado las temperaturas de enfriamiento son un poco más bajas teniendo una temperatura de 8.5°C y circulando el refrigerante R422D tiene una temperatura de 9.85°C, según los dos datos tomados el R22 nos da un mejor rango de temperatura de confort.

Este documento contiene los pasos que se llevaron a cabo para la recolección de datos los cuales nos demostraron las diferencias que se tiene en un aire acondicionado cuando se es sustituido el gas refrigerante que trae desde la fábrica en este caso el refrigerante R22 y el cual debe ser sustituido en este caso por el refrigerante R422D, teniendo en cuenta los resultados de esta investigación y con los resultados obtenidos el refrigerante R22 es más viable debido al menor consumo energético y el menor esfuerzo que hacen los componentes del aire acondicionado para circular este refrigerante pero debido a lo toxico que es con el medio ambiente este debe ser sustituido y el refrigerante R422D es el refrigerante indicado teniendo en cuenta que el consumo es 28% más que el refrigerante R22 y este refrigerante si es compatible con las normas ambientales las cuales exigen el protocolo de Kioto y el protocolo de Montreal.

Para lograr este objetivo se requirió conocimiento de una herramienta de programación, para esto se utilizó arduino el cual se le conectaron 10 sensores de temperatura y 4 sensores de presión los cuales arrojaban los datos en una base de datos para después revisar los resultados de dichas pruebas.

**Palabras claves:** Arduino, protocolo de Kioto, protocolo de Montreal, sensores, aire acondicionado.

## **Abstract**

In this research work gives the opportunity to know the change in the different factors of a mini Split type air conditioner such as energy consumption, pressure differentiation, cooling coefficient and equipment work in the data that were taken in the experimental tests it was demonstrated that the refrigerant R22 has an energy consumption of 5.31 watt and the refrigerant R422D has a consumption of 6.83 watt, when the refrigerant R22 circulates in the air conditioner the cooling temperatures are a little lower having a temperature of 8.5 ° C and circulating refrigerant R422D has a temperature of 9.85 ° C, according to the two data taken the R22 gives us a better comfort temperature range.

This document contains the steps that were carried out for data collection which showed us the differences that you have in an air conditioner when you replace the refrigerant gas that comes from the factory in this case the refrigerant R22 and which must to be replaced in this case by the refrigerant R422D, taking into account the results of this investigation and with the results obtained the refrigerant R22 is more viable due to the lower energy consumption and the less effort that the air conditioning components make to circulate this refrigerant but Due to the toxicity of the environment, it must be replaced and the refrigerant R422D is the refrigerant indicated, taking into account that the consumption is 28% more than the refrigerant R22 and this refrigerant if it is compatible with the environmental regulations which require the Kyoto Protocol and the Montreal Protocol.

To achieve this goal, knowledge of a programming tool was required, for which Arduino was used, which was connected to 10 temperature sensors and 4 pressure sensors which dropped the data into a database to later review the results of said tests.

**Keywords:** Arduino, Kyoto protocol, Montreal protocol, sensors, air conditioning.

## Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>1. Introducción</b> .....	9
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	11
2.1 Pregunta problematizadora .....	14
<b>3. Justificación</b> .....	15
<b>4. Objetivos</b> .....	16
4.1 Objetivo general .....	16
4.2 Objetivos específicos.....	16
<b>5. Marco teórico</b> .....	17
5.1 Ciclo de refrigeración. ¿Cómo funciona? .....	17
5.2 Compresor .....	18
5.3 Condensador .....	18
5.4 Válvula de expansión .....	18
5.5 Evaporador .....	18
5.6 Coeficiente de rendimiento – COP .....	20
5.7 Flujo másico .....	20
5.8 Tasa de remoción de calor (QL) .....	20
5.9 Tasa de rechazo de calor (QH) .....	21
5.10 Protocolo de Kioto .....	21
5.11 Protocolo de Montreal .....	21
5.12 Subenfriamiento .....	22
5.13 Sobrecalentamiento .....	23
5.14 R22 .....	23
5.15 R422D (MO29).....	24
5.16 Retrofit .....	24
<b>6. Estado del arte</b> .....	26
<b>7. Metodología</b> .....	31
7.1 Metodología experimental .....	31

7.2	Metodología para realizar la programación de la unidad de adquisición de datos.....	35
7.3	Metodología numérica para el análisis de datos .....	36
<b>8.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>39</b>
8.1	Datos experimentales .....	39
8.2	Calculo de variables .....	42
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>47</b>
<b>Anexos</b>	.....	<b>49</b>
<b>Referencias</b>	.....	<b>57</b>

## Lista de imágenes

<i>Imagen 1. Eliminación gradual del gas refrigerante HCFC-22, México.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 2. Tipos de refrigerantes según su ODP y GWP. ....</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 3. Sistema de un aire acondicionado tipo Mini split. ....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 4. Esquema del aire acondicionado tipo mini Split y sistema de adquisición de datos ..</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 5. Plano electrónico del aire acondicionado.....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 6. Diagrama P-h para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 7. Comparación de temperatura de salida de aire en el evaporador.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 8. Comparación de corriente en el compresor .....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 9. Diagrama P-H para el R22. Fuente coolpack.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 10. Esquema de trabajo de equipo de aire acondicionado.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 11. Diagrama P-H para el R422D. fuente Genetron Properties.....</i>	<i>45</i>

**Lista de tablas.**

*Tabla 1. Características de los equipos y componentes empleados en la investigación para determinar la variación del rendimiento de un aire acondicionado tipo mini Split debido al cambio de refrigerante..... 34*

*Tabla 2. : Promedio de resultados para la investigación del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado tipo mini Split, con dos tipos de refrigerante..... 39*

*Tabla 3. Parámetros de entrada para el cálculo de variables del R22. Adaptado coolpack..... 42*

*Tabla 4. Parámetros de entrada para el cálculo de variables del R422D. Adaptado del software Genetron Properties..... 43*

*Tabla 5. Calculo de las variables a investigar con el cambio de refrigerante..... 46*

## 1. Introducción

En el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, circulan gases refrigerantes que son útiles para reducir o mantener la temperatura de un ambiente por debajo de la temperatura del entorno, para ello se debe extraer calor del espacio y transferirlo a otro cuerpo cuya temperatura sea inferior a la del espacio refrigerado; esto pasa por diversos estados o condiciones denominados *procesos*.

El protocolo de Kioto es un tratado por medio del cual se busca eliminar los gases de efecto invernadero que causa el calentamiento global. De la misma forma, el protocolo de Montreal fue diseñado para proteger la capa de ozono reduciendo la producción y el consumo de numerosas sustancias las cuales están destruyendo esta.

Con relación a lo anterior, actualmente el gremio industrial busca la forma de reducir costos mientras que se preserva el medio ambiente a través de prácticas ecológicas, pues bien, se sabe que los gases refrigerantes son una de las causas en el deterioro de la capa de ozono.

Debido a las prácticas industriales y hábitos del hombre, el cambio climático se ha convertido en un tema relevante en diferentes ámbitos, por lo tanto, este proyecto estudio el comportamiento de los refrigerantes R22 y R422D. El primero de estos es utilizado en los equipos de aire acondicionado tipo *Mini Split*. De acuerdo con lo planteado anteriormente, el tratado de Montreal y protocolo de Kioto buscan eliminar los refrigerantes que causan daño a la capa de ozono.

La capa de ozono es muy útil para limpiar todos los dañinos rayos ultravioleta del sol a través de absorción máxima de la dañina radiación ultravioleta en enfermedades de cáncer de piel, daño a los ojos, disminución de las tasas de crecimiento de la vegetación, alteración en el ecosistema e instiga el riesgo de enfermedad.

Este proyecto genera aportes para encontrar una solución a los problemas ambientales que trae consigo el uso del refrigerante R22, encontrando un sustituto como es el refrigerante R422D, el cual cumple con los parámetros ambientales según el protocolo de Kioto y el protocolo de Montreal. Con este trabajo también se encontró que este refrigerante es la mejor

**Comentado [1]:** Mucha teoría, esto debería ir en la sección de teoría o problema, pero de una manera más analítica, mas resumida, NO COPIE Y PEGUE.

**Comentado [2]:** Utilice la opción : REFERENCIA, AGREGAR TEXTO (para que Word organice automáticamente la tabla de contenido) VER VIDEO : <https://www.youtube.com/watch?v=tmLjFatDgNO>

**Comentado [3]:** En la introducción: en ella se presenta y señala la importancia y orientación del estudio, el significado que éste tiene en el avance del campo respectivo y la aplicación en el área investigada

**Comentado [4]:** La introducción es una primera muestra de lo que aborda el trabajo de grado. Si bien es necesario un poco de teoría, no se puede abusar mucho de esta, pues entonces se convertiría en un marco teórico-conceptual. Recomiendo que la introducción comience mencionando investigaciones o trabajos previos sobre el tema, los avances y el aporte para el trabajo de grado (dos párrafos aproximadamente); luego de eso, mencionar levemente el problema (un párrafo: apoyarse de conectores como: por lo tanto, es por eso, en tal medida...); posteriormente, hablar de elementos teóricos (máximo tres párrafos); luego, mencionar el valor agregado del tema del trabajo de grado, es decir, los aportes o la importancia para el área (dos párrafos aproximadamente). Por último, mencionar en qué consiste el trabajo de grado, su organización y métodos (un párrafo). Tener en cuenta el comentario del profesor.

alternativa, no solo para el medio ambiente sino para las personas las cuales van a realizar este cambio debido a que el consumo es solo 28% mayor.

Exigiendo una eliminación gradual de los fluidos halogenados. Los refrigerantes más inseguros para el medio ambiente, como los CFC ya están prohibidos. El HCFC será eliminado gradualmente por los países desarrollados en 2020 y para los países en desarrollo en 2030.

R22 se acepta como el refrigerante más adecuado, pero se eliminará gradualmente según el programa.

Para tal experimento se utilizó un refrigerante el cual cumple con los estándares ambientales y técnicos para suplir este refrigerante (R22) debido a los problemas ambientales los cuales deterioran la capa de ozono se busca reducir su consumo e el mundo.

El refrigerante R422D fue diseñado originalmente para sustituir al R-22 en enfriadoras de agua de expansión directa. También puede utilizarse en sistemas de aire acondicionado doméstico y residencial, así como en sistemas de refrigeración de temperatura media. Compatible con el aceite original del sistema. Capacidad frigorífica ligeramente inferior al R-22.

## 2. Planteamiento del problema

Hoy en día, es evidente que ocurre un cambio climático, esto, debido a la alta cantidad de dióxido de carbono emitido por automóviles y fábricas que no cumplen con los requisitos ambientales exigidos por el gobierno nacional. A esta problemática se le suma el uso del refrigerante R22, el cual es dañino para la capa de ozono debido a sus propiedades y compuestos. Por medio del tratado de Montreal y el protocolo de Kioto (firmado por varios países del mundo, incluyendo Colombia) se busca desaparecer los refrigerantes a base de hidrofluorocarbonos.

Debido a los problemas ambientales los cuales se presentan a nivel mundial se busca cambiar el refrigerante R22 de todos los equipos pero la gran interrogante es cual refrigerante cumple con las especificaciones técnicas que sea parecida a él refrigerante R22 los cuales tengan las mismas propiedades como consumo energético, diferenciación de presión, coeficiente de enfriamiento y trabajo del equipo.

El consumo energético en estos aires tipo mini Split es muy importante para los usuarios debido a los altos costos de la energía eléctrica en nuestro país.

Al respecto, la normativa indica que a partir del 1 de enero de 2004 se prohíbe la manufactura de todo tipo de equipos con HCFCs (Hidroclorofluorocarbonos).

Como se muestra en la imagen 1, se puede observar como los gases dañinos para el medio ambiente van desapareciendo poco a poco, esperando llegar a una instancia de un 100% de eliminación de los gases refrigerantes que dañan la capa de ozono de nuestro planeta.

**Comentado [5]:** Es la descripción y caracterización de la situación determinada, de la necesidad sentida y debe terminar formulando una pregunta o hipótesis de trabajo, donde se relacionen dos o más variables.

Un problema es:  
Sinónimo de dificultad, ejercicio o pregunta práctica y teórica que exige respuesta o solución. Se refiere a un hecho no resuelto que debe encontrar una respuesta teórica y/o práctica, lo cual posibilitará resolver parcial o totalmente el problema.

En sí el problema es una dificultad con la que tropieza el investigador, la que debe ser superada, identificada o explicada para que posteriormente sea eliminada o neutralizada.

Es una pregunta que surge de una realidad teórica y/o práctica en la que se mueve el investigador.

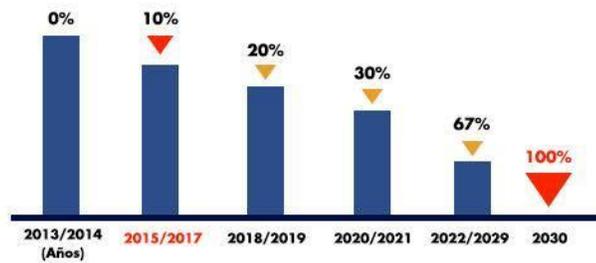
Es un vacío existente en un área del conocimiento, algo que se ignora y que se sitúa frente al entendimiento inquietándolo y exigiéndole una respuesta.

También puede ser una necesidad que debe ser satisfecha. Aquí se refiere a algo que hace falta para alcanzar un fin determinado.

Igualmente puede referirse a una causa que hay que determinar, descubrir, precisar o explicar.

Cuando se identifica un problema es necesario tener presente además de lo que se indica en el siguiente cuadro, las variables que se van a trabajar, cómo se relacionan y qué se desconoce de ellas.

**Protocolo de Montreal**  
**"Phase-Out" en México**  
**Eliminación gradual del Gas Refrigerante HCFC-22\* (Emisivo)**



*Imagen 1. Eliminación gradual del gas refrigerante HCFC-22, México. Fuente: <https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/refrigerante-y-ecologia/>*

El ODP (Ozone Depletion Potential) es medido con base en el potencial de daño del refrigerante R-11, de tal manera que un refrigerante con ODP de 0.5 es menos dañino en la capa de ozono en un 50% a comparación al R-11. De la misma manera, el GWP (Global-warming potential) es medido con base en el potencial de daño del refrigerante R-744, también conocido como dióxido de carbono.

En la imagen 2 podemos apreciar los diferentes tipos de refrigerantes con su respectivo ODP (Ozone Depletion Potential) y GWP (Global-warming potential), respectivamente por sus siglas en inglés esto nos ayuda a definir qué tan contaminante es algún tipo de refrigerante el cual utilizamos en nuestras casas o en las industrias.

Refrigerante	ODP	GWP
Refrigerantes halocarbonados		
R-11	1	4000
R-12	1	8100
R-123+yf	0	4
R-22	0.05	1700
R-32	0	675
R-125	0	220
R-134a	0	1300
R-141b	0.11	0.09
R-143a	0	1000
R-404A	0	3750
R-407C	0	1610
R-410A	0	1725
R-417A	0	2240
R-422A	0	2530
R-422D	0	2230
R-437A	0	1800
R-438A	0	2264
R-507A	0	0.35
Refrigerantes hidrocarburos		
R-170	0	0
R-290	0	3

*Imagen 2. Tipos de refrigerantes según su ODP y GWP. Fuente: <https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/refrigerante-y-ecologia/>*

En países latinoamericanos se ha trabajado en la eliminación de los refrigerantes que afectan la capa de ozono como el R-11 y el R-12. Estos se conocen como halocarbonados de tipo CFC, los cuales contienen enlaces de Cloro (Cl), elemento que en la atmósfera destruye los enlaces de ozono.

Igualmente, existen otros refrigerantes perjudiciales para la capa de ozono como R-22 y el R141b, los cuales son utilizados en la industria latinoamericana. Estos refrigerantes se conocen como halocarbonados de tipo HCFC (al igual que los de tipo CFC contienen cloro, pero a un nivel más bajo). Por otra parte, el R-22 es el refrigerante más utilizado para los equipos de aire acondicionado de baja gama, mientras que el R141b es erróneamente utilizado para la limpieza de tuberías de cobre. (Puerto, 2011)

## 2.1 Pregunta problematizadora

¿Por qué se debe cambiar el refrigerante R22?

Por parte de los usuarios los cuales tienen este tipo de refrigerante en el sistema temen de cambiarlo debido a los cambios que estos puedan tener en el sistema más aun en el consumo de energía. Aún más cuando este aumenta su consumo energético teniendo en cuenta el costo de la energía eléctrica en el país.

Como bien se indicó anteriormente, el refrigerante R22 hace parte de la familia de los hidroclorofluorocarbonados, los cuales son dañinos para la capa de ozono. Los efectos en la salud de las personas al contacto con este pueden ser graves, ya que los rayos ultravioleta (UV) que logran atravesar la capa lo hacen con mayor intensidad, aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades de la piel, además de esto, también pueden afectar los ojos, produciendo reducción visual o pérdida de la misma.

Del mismo modo, las plantas también se ven afectadas, ya que sus procesos de desarrollo se ven alterados, esto puede ocasionar que crezcan anormalmente, además de que afecta el tiempo de desarrollo y la forma en que generan sus propios nutrientes. Esto es un tema importante ya que las plantas son una fuente del oxígeno, de manera que es algo que nos afecta directamente.

### 3. Justificación

Este proyecto se realizó para determinar el consumo energético que se emplea en un aire acondicionado tipo mini Split al cambiar el refrigerante el cual viene de fábrica que es el R22 por un refrigerante que es su sustituto como lo es el R422D. Además de esto el ambiente es parte fundamental de este proyecto ya que como seres humanos estamos comprometidos con el medio ambiente para así brindar un mejor futuro a nuestros sucesores.

En diferentes sitios o sectores de las principales ciudades del mundo y el país, en algunos edificios se emplean aires acondicionados de tipo *Mini Split*. Estos son utilizados para el adecuamiento de espacios que buscan brindar una mejor sensación de temperatura; dichos aparatos utilizan un refrigerante R22, sobre el cual se implementó una ley en el año 2011 que prohíbe el uso de este en el aire acondicionado *Mini Split*, por ser altamente dañino para la capa de ozono, la cual protege el planeta de la radiación ultravioleta (UV). Un exceso de este tipo de radiación, puede producir diferentes enfermedades como: cáncer de piel, cataratas, reducción en la respuesta del sistema inmunológico, interferencia en el proceso de fotosíntesis de las plantas y afectación en los ecosistemas marinos. Además de lo anterior, la destrucción de la capa de ozono es producto del uso frecuente y cotidiano de los CFC que se emplean en refrigeración, aire acondicionado, disolventes de limpieza, materiales de empaquetado y aerosoles.

En Estados Unidos se promueve el uso del refrigerante R-410A, el cual reemplaza el R-22 en los equipos de aire acondicionado. Este refrigerante es conocido como zeotrópico, ya que es una mezcla de diferentes refrigerantes tales como (R-125 y R-32); cabe señalar que el problema del R-410A, es que se compone de R-125 y R-32, elementos que también ocasionan el calentamiento global. Aun así, a diferencia del R-134a, su reciclaje es más complejo ya que cualquier escape del gas genera un cambio en su composición.

En definitiva, con la realización de este trabajo se busca en primer lugar, dar cuenta y resaltar las alternativas existentes en materia de refrigeración, esto, a la par de motivar el uso de productos más ecológicos y amigables con el ambiente. Por otra parte, con el proyecto, se busca demostrar y justificar que el uso de un refrigerante diferente al R-22 es mucho más óptimo para un aire acondicionado y para el medio ambiente.

**Comentado [6]:** Es la importancia del estudio investigativo, la conveniencia o para qué sirve a nivel social, práctico, teórico, etc., a qué vacío teórico, técnico, tecnológico, práctico o metodológico responde la investigación.

La justificación se refiere a las razones que motivan el estudio. En ella se presentan los aspectos que hacen conveniente y beneficiosa una investigación, con la justificación se responde al por qué y para qué de la investigación.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar la variación del rendimiento energético de un aire acondicionado tipo mini Split cuando se sustituye el refrigerante R22 por el R422D.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el rendimiento energético de un aire acondicionado tipo Mini Split que usa R22 como fluido de trabajo.
- Determinar el rendimiento energético de un aire acondicionado al sustituir el R22 por el R422D.
- Realizar un análisis comparativo del rendimiento energético del sistema de aire acondicionado debido al cambio de refrigerante.

## 5. Marco teórico

Para desarrollar esta investigación es importante conocer las miradas y definiciones de diferentes términos, esto con el fin de ir a la par de lo que se entiende en este por algunos de los términos más importantes y determinantes. Por eso, se abordaron los conceptos: ciclo de refrigeración, su funcionamiento y compuestos; coeficiente de rendimiento (COP); flujo másico; QL; QH; protocolo de Kioto y de Montreal, con el fin entender cuáles son las bases conceptuales y por lo tanto cómo se acoplan dichos términos a este trabajo. Desde un primer momento, es importante aclarar que las variaciones en cuanto a la denominación y significado se presentan de acuerdo a la posición de un autor, contextos, desarrollo, comportamiento, prácticas y demás elementos que se presentan en un momento de investigación.

### 5.1 Ciclo de refrigeración. ¿Cómo funciona?<sup>1</sup>

Para saber cómo funciona el ciclo de refrigeración, se deben conocer cuáles son sus partes básicas y principales. Estas son:

- Compresor
- Condensador
- Válvula de expansión
- Evaporador

Estos son los cuatro elementos principales que componen el ciclo de refrigeración, si faltara alguno de ellos, no sería posible que se ejecutaran las funciones correspondientes en el ciclo. A continuación, se especifican cada una de las partes, además del objetivo de las mismas dentro del circuito frigorífico y su principio de funcionamiento.

---

<sup>1</sup> Se realiza la definición del ciclo de refrigeración, teniendo en cuenta la siguiente fuente: Gerfri. (2018). *El ciclo de refrigeración - cómo funciona*. Recuperado de: <https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>

## 5.2 Compresor

Su función en el ciclo de refrigeración consiste en aspirar el vapor del evaporador y ayudarlo a entrar en el condensador. Este trabajo lo consigue mediante la aportación de una energía exterior como la electricidad.

## 5.3 Condensador

El objetivo del condensador es extraer calor del refrigerante. Este calor en principio, es la suma del calor absorbido por el evaporador y el producido por el trabajo de compresión.

## 5.4 Válvula de expansión

Tiene como objetivo proporcionar la diferencia de presión establecida entre los lados de alta y baja presión del circuito de refrigeración.

La forma más simple para lograrlo es mediante un tubo capilar entre el condensador y el evaporador, de manera que este le produzca una pérdida de carga al refrigerante. Esta solución, del tubo capilar, es válida para pequeñas instalaciones, pero cuando se trata de regular grandes cantidades de refrigerante es conveniente el uso de la válvula de expansión.

En tal caso se utilizan válvulas de expansión termostáticas, que utilizan un bulbo sensor de temperatura que se ubica a la salida del evaporador en contacto con la tubería, y que tiene en su interior una cantidad del mismo refrigerante que utiliza el circuito. Si se produce un enfriamiento del vapor que sale del evaporador, se enfría el bulbo y disminuye la presión que se transmite a la válvula, y ésta se cierra, por lo que llegará menos refrigerante al evaporador. Si llega menos refrigerante, habrá más superficie de recalentamiento y aumentará la temperatura de recalentamiento.

## 5.5 Evaporador

Este elemento intercambia calor; por sus necesidades caloríficas, absorbe calor del medio en el que se encuentra, con lo cual lo enfría. Normalmente es de circulación forzada de aire mediante ventilador, y para este se utilizan tubos de aletas para aumentar la superficie de intercambio.

Ya a este punto, conociendo los principales elementos que forman el ciclo de refrigeración, solo queda saber cuál es el comportamiento del refrigerante en el evaporador, compresor, condensador y la válvula de expansión.

Comportamiento del refrigerante en el ciclo de refrigeración.



Imagen 3. Sistema de un aire acondicionado tipo Mini split. Fuente: <https://tuair acondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funcional/>

De acuerdo con la imagen 3, situándonos en el punto 1, antes de la válvula de expansión en el que el refrigerante se encuentra en estado líquido a una cierta presión; su paso al evaporador lo controla la válvula de expansión termostática, cuyo funcionamiento está regulado por la temperatura y por la presión. Esta válvula le produce una pérdida de carga al refrigerante mediante una estrangulación brusca, lo que ocasiona que la presión descienda desde la que tenía en el punto 1 (salida del condensador), hasta la existente a la entrada del evaporador, entre el punto 2 y 3.

La válvula es la que regula las dos partes del ciclo frigorífico, la zona de alta presión y la zona de baja presión.

Esta baja de presión en el evaporador hace que el refrigerante hierva y se produzca su evaporación, absorbiendo calor del recinto en que se encuentra a través del aire del mismo, y

transfiriéndolo al líquido, que se va transformando en vapor en el interior de los tubos del evaporador, hasta que se evapora totalmente (final del punto 3).

El refrigerante entra en el compresor a baja presión y temperatura, en forma de gas, posteriormente es comprimido, aumentando su presión y su temperatura, donde comienza el punto 4. Ahora entra en el condensador y mediante la acción de un fluido exterior (agua o aire), se le extrae calor al refrigerante, lo cual produce un enfriamiento del mismo favoreciendo su condensación, hasta alcanzar el estado líquido; a partir de aquí es impulsado de nuevo hacia la válvula de expansión donde se repite el ciclo frigorífico.

#### 5.6 Coeficiente de rendimiento – COP

Para los refrigeradores se define el *coeficiente de desempeño* ( $COP_R$ ) según el mismo principio que para las máquinas térmicas siendo “lo que se saca” el calor  $|Q_f|$  que se extrae del foco frío y “lo que cuesta” el trabajo  $|W|$  necesario para ello. A diferencia del rendimiento de una máquina térmica, el coeficiente de desempeño puede ser mayor que la unidad (normalmente lo es, de hecho). (buitrago, 2014)

#### 5.7 Flujo másico

El gasto másico, flujo másico o caudal másico es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. En el Sistema Internacional se mide en unidades de kilogramos por segundo, mientras que en el sistema anglosajón se mide en libras por segundo. Se usa frecuentemente en sistemas termodinámicos como tuberías, toberas, turbinas, compresores o difusores. (Wikipedia, 2017)

#### 5.8 Tasa de remoción de calor (QL)

Es la tasa de remoción de calor el cual tiene un equipo de aire acondicionado.

### 5.9 Tasa de rechazo de calor (QH)

Es la tasa de rechazo de calor de un equipo de aire acondicionado.

### 5.10 Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Los gases son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y los otros tres son tipos de gases industriales fluorados: los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En el protocolo se acordó una reducción de al menos un 5 %, de las emisiones de estos gases en 2008-2012 en comparación con las emisiones de 1990. Esto no significa que cada país se comprometía a reducir sus emisiones de gases regulados en un 5 % como mínimo, este es un porcentaje correspondiente a un compromiso global y cada país suscriptor del protocolo tenía sus propios compromisos de reducción de emisiones.

El protocolo fue adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009 eran 187 los estados que lo habían ratificado. Estados Unidos, que era cuando se firmó el protocolo el mayor emisor de gases de invernadero (desde 2005 lo es China), nunca lo ratificó.

El protocolo forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. El protocolo vino a dar fuerza vinculante a lo que en ese entonces no pudo hacer la CMNUCC.

### 5.11 Protocolo de Montreal

Fue firmado en septiembre de 1987 y entró en vigor en enero de 1989, para este se llegó a un acuerdo sobre las medidas específicas a tomar, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.

El Protocolo de Montreal busca fijar plazos máximos para la eliminación de la producción y consumo de las principales sustancias agotadoras de la capa de ozono. Las principales medidas adoptadas fueron:

Establecimiento de las fechas de control de las sustancias agotadoras. Restricciones al comercio con Estados que no sean parte del Protocolo: Prohibición a la importación o exportación de sustancias agotadoras o productos que las contengan. Clasificación de los países miembros: Artículo 2, Países desarrollados (aquellos que consumen más de 0.3 kg/per capita/año) y Artículo 5, Países en vías de desarrollo (aquellos que consumen menos de 0.3 kg/ per capita/año). Adopción de un mecanismo de financiación: Establecimiento de un Fondo Multilateral, y de su Comité Ejecutivo, encargado de las labores administrativas, directrices y políticas. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018)

#### 5.12 Subenfriamiento

Es de sobra conocido el efecto positivo sobre la capacidad de cualquier sistema frigorífico cuando el líquido condensado ve reducida su temperatura por debajo del punto de saturación. Esta acción se denomina SUB-ENFRIAMIENTO.

En el campo de la Refrigeración por el sistema de Compresión, que utiliza un compresor para aspirar los vapores formados en el evaporador, aumentando su presión y así descargarlos al condensador para su condensación o licuefacción, permitiendo su reutilización en un ciclo continuo de Aspiración – Compresión – Condensación - Expansión-Evaporación, el grado de subenfriamiento reduce la cantidad del líquido condensado que se alimenta al dispositivo de expansión para su posterior evaporación en el evaporador para una capacidad frigorífica determinada. ( Refrigeración y Frío , 2016)

### 5.13 Sobrecalentamiento

El sobrecalentamiento es el número de grados que un vapor está por encima de su temperatura de saturación, o punto de ebullición, a una determinada presión.

La importancia de conocer el sobrecalentamiento del sistema El sobrecalentamiento da una indicación de si la cantidad de refrigerante que fluye hacia dentro del evaporador es apropiada para la carga.

Un sobrecalentamiento alto provoca una deficiente refrigeración y un consumo excesivo de energía. Se debe a que el sistema no tiene suficiente refrigerante.

Un sobrecalentamiento bajo, ocasionado por un exceso de refrigerante en el sistema, podría provocar que el refrigerante vaya al líquido del compresor causando daños (cofrico, 2010).

### 5.14 R22.

El gas refrigerante R22 es un hidroclorofluorocarbono (HCFC) ampliamente usado en todos los sectores de la refrigeración y climatización. Tiene un bajo valor de ODP y unas excelentes propiedades termodinámicas que hacen que este refrigerante sea idóneo para aplicaciones de alta y media temperatura en instalaciones fijas, transporte refrigerado y aire acondicionado. El R22 se podrá utilizar como refrigerante puro en la recarga de instalaciones existentes hasta el año 2010. A partir de esta fecha estará prohibido su utilización, y únicamente estará permitido el uso de R22 reciclado hasta el año 2015. Actualmente ya existen sustitutos directos del R22 como son el R417A, R422A y R422D (consultar sus correspondientes fichas técnicas). Debido a sus excelentes propiedades termodinámicas el R22 se utiliza como componente en mezclas de refrigerantes como el R403B, el DI36, DI44, etc., para aplicaciones de media y baja temperatura.

El R22 es un refrigerante muy estable y se puede utilizar con la mayoría de los materiales usados normalmente en la refrigeración: sin embargo se deben evitar metales como magnesio, zinc, y aleaciones de aluminio con contenidos de magnesio superiores al 2%. El R22 es compatible con la mayoría de plastómeros y elastómeros, pero normalmente su comportamiento con estos materiales dependerá también de la temperatura de trabajo y

del tipo de aceite utilizado. Como norma general la compatibilidad del R22 con el Neopreno, la Goma Butílica y la Buna S es buena; entre los plásticos, el PVC, el Nylon y el PTFE son los más recomendables para utilizar con R22. El R22 es miscible con los aceites minerales, alquilbencénicos y poliolésteres (POE). (plusfroid, 2009)

#### 5.15 R422D (MO29)

es un refrigerante HFC sencillo de utilizar, que no daña la capa de ozono y que sustituye al R-22 en sistemas de refrigeración de expansión directa de baja y media temperatura como, por ejemplo, los sistemas comerciales de supermercados y las aplicaciones de acondicionamiento de aire por expansión directa entre los que se incluyen los enfriadores de agua. También puede utilizarse en sistemas de aire acondicionado profesionales y domésticos, así como en sistemas de refrigeración de temperatura media. ISCEON® MO29 es compatible con lubricantes tradicionales y nuevos. La reconversión no requiere el cambio de lubricante en la mayoría de los casos. (salvadorescoda, 2009)

#### 5.16 Retrofit.

En un procedimiento de Retrofit, es decir, de sustitución de un fluido refrigerante por otro, o bien, en un procedimiento de limpieza de un sistema de refrigeración o aire acondicionado, el vaciado es fundamental para garantizar que el proceso sea ejecutado correctamente y obtenga el resultado esperado.

Como es sabido, solamente con el vaciado es posible remover la humedad y la condensación de gas de un sistema, garantizando de esta forma, la eficiencia del equipo. Vea abajo 7 sugerencias sobre como realizar, de manera eficaz, el procedimiento de vaciado:

- Utilice bombas de alta evacuación y vacuómetro
- El vacuómetro debe estar colocado lo más lejos posible de la bomba de vacío
- Realice el vacío con un mínimo de 500 micrones

- El vaciado del sistema debe medirse siempre por la presión y no por el tiempo
- Recuerde: El vaciado debe realizarse en los cilindros o equipos de refrigeración al comenzar el proceso del carga
- Nunca cargue cilindros bajo presión de aire positivo
- El compresor nunca debe ser utilizado para realizar vaciado en un circuito de refrigeración

(chemours, 2018)

## 6. Estado del arte

Hoy en día se debe reconocer que las investigaciones y demás producción científica no surge de un momento a otro, especialmente en las áreas de ciencias exactas y aplicadas. Es por ello, que para este trabajo se reconoce la producción científica en materia de teoría y práctica sobre el tema que se aborda, es una ventaja y ayuda para fortalecer los conocimientos y brindar un aporte a este trabajo. Es por ello, que a continuación se presenta la producción científica en materia de refrigerantes durante los últimos 6 años, ya que la información o avances que se presenta en este lapso de tiempo todavía se puede considerar válida o vigente.

(Moratalla Loarte, 2012) Existe en la actualidad en el mercado mundial de maquinaria frigorífica una gran cantidad de equipos fabricados para trabajar con los refrigerantes clorofluorados “con fecha de caducidad”. Las normativas internacionales prohíben la fabricación de estos refrigerantes y ya han establecido un calendario para su retirada total del mercado. [...] En los equipos de elevadas potencias, con altos valores de vida útil, resulta económicamente interesante transformar mecánicamente estos equipos para permitir su trabajo con los nuevos refrigerantes desarrollados. En este Trabajo de Fin de Grado se expuso el procedimiento a seguir para hacer el retrofitting (transformación mecánica y de control) en una unidad enfriadora de agua que da servicio a la instalación de climatización de un buque de crucero para trabajar con uno de estos refrigerantes. El estudio que se presento tiene por objeto analizar y comparar las alternativas que se pueden presentar al armador para la adecuación de las unidades enfriadoras para su funcionamiento con refrigerantes alternativos al R22. Se analizan como refrigerantes sustitutivos el R-507a y el R134a.

(Choudhari, 2017)El uso del refrigerante natural R290 puede desempeñar un papel vital en el cumplimiento de los objetivos de los protocolos internacionales como Montreal y Kyoto. Debido a problemas ambientales como el agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global, el R22 debe eliminarse de manera urgente. En este artículo se analizaron posibilidades de R290 como un sustituto potencial de R22. El análisis del rendimiento termodinámico de los

refrigerantes R290 y R22 se realizó utilizando un ciclo de compresión de vapor estándar, con un rango de temperatura de evaporación de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la temperatura de condensación de  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , según los cálculos analíticos.

(Shaik, 2017) En este artículo describe el rendimiento termodinámico teórico del sistema de refrigeración por compresión de vapor utilizando mezclas de HFC y HC como una alternativa para reemplazar el refrigerante R22. El análisis del rendimiento termodinámico de todas las mezclas de refrigerantes investigadas se evaluó a las temperaturas de condensación y evaporación de  $54.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Los resultados muestran que el COP para la mezcla refrigerante R134a / R1270 / R290 (50/5/45 en porcentaje en masa) es 2.10% más alto entre las mezclas refrigerantes estudiadas R22, R431A, R410A, R44A, R134a, R1270, R290 y quince tipos de refrigerantes mezclados.

(Alibakhsh Kasaeian, 2018) En este artículo podemos apreciar como los refrigerantes amigables con el medio ambiente pueden ser útiles a la hora de cambiar nuestro refrigerante R22 dañino para el medio ambiente en el cual vivimos. Se evaluó cualquier sustancia por su impacto general en el entorno global, la eficiencia energética, la rentabilidad y la seguridad. Este artículo revisa los estudios experimentales y teóricos que se han llevado a cabo con refrigerantes inocuos para el medio ambiente, como hidrocarburos, hidrofluorocarbonos, R744 (dióxido de carbono), hidrofluoro olefina y nanorrefrigerantes.

(Maiorino., 2011) En consecuencia, el R422D respeta los límites del Protocolo de Montreal, su impacto ambiental global podría ser alto. En este documento, se informó de un análisis experimental en términos de TEWI destinado a identificar el impacto ambiental global de los sistemas R22 adaptados con R422D. Para este propósito, se consideró un refrigerador de expansión directa para aplicaciones comerciales e investigaron el consumo de energía con la temperatura del depósito de frío ajustada a  $-5, 0, 5, 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La investigación experimental confirmó que el sistema, cuando se actualiza con R422D, conduce a un aumento de TEWI. Por lo tanto, se realizó un análisis de optimización dirigido a escenarios ecológicos.

(Wu, 2013) La última situación en desarrollo de R744, R717, HC-290, RE170, HFC-32, HFC-161, HFC-152a, HFO-1234yf, HFO-1234ze (E) y sus mezclas se resumieron y evaluaron técnicamente. Actualmente no ha habido ningún tipo de fluidos que puedan reemplazar el HCFC-22 perfectamente en la mayoría de los equipos existentes. Se deben tener en cuenta muchos factores al seleccionar una alternativa, como la propiedad termodinámica, el impacto ambiental, la eficiencia del sistema, la tecnología, la inflamabilidad, la toxicidad, el costo, la política, etc., que pueden considerarse como un problema de decisión con múltiples objetivos.

(Ciro Aprea, 2011) En este documento, se analiza experimentalmente el rendimiento energético de un enfriador de acceso directo que trabaja con R22 y su sustituto R422D. El análisis experimental permitió determinar la capacidad de enfriamiento, la potencia eléctrica absorbida, el COP y otras variables que caracterizan el funcionamiento de la planta. Los resultados demostraron que la capacidad de enfriamiento para R422D fue menor que para R22, mientras que la potencia eléctrica absorbida con R422D fue mayor que con R22. Como consecuencia, la COP de R422D fue menor que la de R22

(Devecioğlu, 2015) Los parámetros de energía y exergía de los gases R417A y R424A que se pueden usar en lugar de R22 se investigaron experimentalmente para un acondicionador de aire de tipo split. Aunque las cantidades de GWP de los refrigerantes alternativos disponibles son más altas en comparación con R22, sus valores de ODP son cero. Los experimentos se realizaron para tres valores diferentes de temperatura ambiente de 25 ° C, 30 ° C y 35 ° C. Las condiciones de prueba cubiertas se llevaron a cabo para el caso de estado estable mientras se mantenía la temperatura del medio interior a una temperatura constante de 22 ° C.

(Atilla G. Devecioğlu, 2017) Es sabido por investigaciones anteriores que los parámetros de energía de los sistemas, que operan utilizando refrigerantes directamente alternativos, tienen parámetros de energía más pobres en comparación con R22. Las cantidades de capacidad de enfriamiento también se desean mantener constantes mientras se cambia el refrigerante de los

sistemas originalmente diseñados y construidos para funcionar con R22. Para lograr este objetivo, se investigó el rendimiento del refrigerante R453A mediante el acoplamiento de un líquido tipo placa al intercambiador de calor de succión para un acondicionador de aire que funciona con R22.

(Qi, 2016) En este documento, se realizó una evaluación del rendimiento del condensador de flujo paralelo (MCPF) en un sistema de refrigeración residencial / comercial en una sala de calorímetro con túnel de viento. Las características de rechazo de calor y caída de presión para los intercambiadores de calor se compararon utilizando R22, R410A y R407C como fluidos de trabajo. Los resultados experimentales mostraron que el rechazo por calor del condensador MCPF con R410A fue mayor que el de R22 y R407C en un 15.6 ~ 26.3% y 12.3 ~ 22.7% en condiciones de carga total y parcial, respectivamente. La tendencia de caída de presión del lado del refrigerante de R410A en el condensador MCPF fue menor que la de R22 y R407C con el mismo caudal másico.

(Sharmas Vali Shaik, 2017) Se investigó el rendimiento termodinámico teórico de un acondicionador de aire de ventana 0.8 TR con diez mezclas de refrigerante binario que consiste en propileno (R1270) y propano (R290) basándose en el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor. El rendimiento termodinámico de todas las mezclas de refrigerantes se calcula a las temperaturas de evaporación y condensación de 7.2 ° C y 54.4 ° C (condiciones ARI) respectivamente. Los resultados revelaron que el coeficiente de rendimiento para la mezcla R1270 / R290 (75/25 en% en masa) fue más cercano a R22. La variación porcentual en la cantidad de poli para la mezcla R1270 / R290 (75/25 en% en masa) fue mínima en un 0,97% entre las diez mezclas de refrigerantes investigadas en comparación con R22.

(Na Liu, 2016) Las características de caída de presión de R32, R152a y R22 durante la condensación se investigaron experimentalmente en un minicanal horizontal circular ( $d_h = 1.152$  mm) y dos cuadrados ( $d_h = 0.952$  y  $1.304$  mm). Los experimentos usaron temperaturas de

saturación de 30 ° C a 50 ° C, flujos de masa de 200 a 800 kg / (m<sup>2</sup> s) y calidades de vapor de 0.1 a 0.9. Los experimentos investigaron los efectos de las condiciones de flujo (flujo de masa, calidad del vapor y temperatura de saturación), el diámetro del canal, la geometría del canal y las propiedades termofísicas de las caídas de presión.

(Ali H. Al-Zaidi, 2018) Se realizó una investigación experimental para estudiar el efecto del flujo de masa de refrigerante, la calidad del vapor local, el caudal de refrigerante y la temperatura del refrigerante de entrada en el coeficiente de transferencia de calor de condensación local. La visualización de flujo también se realizó para capturar patrones de flujo durante la condensación de flujo utilizando una cámara de alta velocidad integrada con un microscopio. Los experimentos se realizaron a una temperatura de saturación de 60 ° C, rango de flujo de masa 48–126 kg / (m<sup>2</sup> s), rango de velocidad de flujo de refrigerante de 0,5–1,1 L / min y rango de temperatura de refrigerante de entrada de 20–40 ° C.

(Dehu Qv, 2017) A través de un estudio experimental y teórico, se alcanza una duración de inyección óptima de 8 s para maximizar el potencial de refrigeración del IAC. Además, en un ciclo completo de día y noche, tanto la capacidad de enfriamiento como la relación de eficiencia energética (EER) del IAC dentro del ciclo de inyección de dos fases se incrementan en un 25% y un 32%, respectivamente, en comparación con las de un dispositivo no asistido por inyección. C.A. Además, la inyección de dos fases ofrece la mayor eficiencia exergética, aproximadamente el 50% o más en el ciclo de refrigeración, mostrando un rendimiento termodinámico notable del IAC

## 7. Metodología

### 7.1 Metodología experimental

Se realizó el montaje de un sistema de adquisición de datos a un equipo de acondicionamiento de aire tipo mini Split modelo TLDA18FS-ADR, con el fin de realizar unas experimentaciones con dos tipos de refrigerantes, R22 y R422D, para obtener cual es la variación en la capacidad de enfriamiento, calor eliminado al ambiente, consumo de energía eléctrica y el coeficiente de rendimiento.

En la imagen 5 se muestra el esquema del aire acondicionado tipo mini Split y el sistema de adquisición de datos, montaje realizado para llevar a cabo esta investigación.

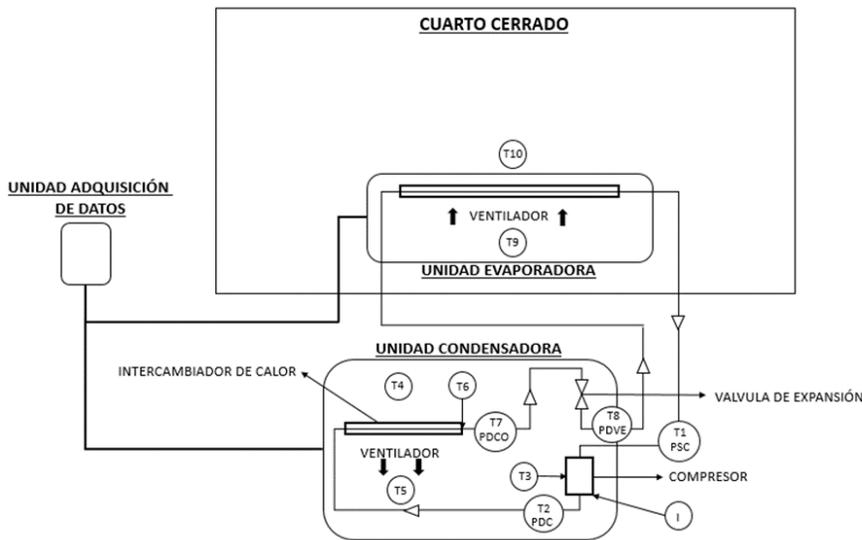


Imagen 4. Esquema del aire acondicionado tipo mini Split y sistema de adquisición de datos.  
Fuente elaboración propia

De la imagen 4

T1: temperatura del refrigerante en la succión del compresor, este es medido sobre la tubería con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T2: temperatura del refrigerante a la descarga del compresor, medido sobre la tubería con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T3: temperatura de la carcasa del compresor medido con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T4: temperatura del aire a la entrada del condensador medido con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T5: temperatura del aire a la salida del condensador medido con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T6: temperatura del refrigerante en el punto medio del condensador, medido sobre la tubería con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T7: temperatura del refrigerante a la salida del condensador medido sobre la tubería con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T8: temperatura del refrigerante a la salida de la válvula de expansión, medida con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T9: temperatura del aire a la entrada del evaporador medido con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

T10: temperatura del aire a la salida del evaporador medido con un sensor de temperatura DS18B20 con una precisión de  $\pm 0.5$  °C.

PSC: presión de succión del compresor, medido con un transductor de presión 5V, de 0 a 200 PSI con una precisión de 1% fs.

PDVE: presión descarga de la válvula de expansión, medido con un transductor de presión 5V, de 0 a 500 psi con una precisión de  $\pm 1$  % fs.

PDCO: presión descarga del condensador, medido con un transductor de presión 5V, de 0 a 500 psi con una precisión de  $\pm 1\%$  fs.

PDC: presión descarga del compresor, medido con un transductor de presión de 5V, de 0 a 500 psi con una precisión de  $\pm 1\%$  fs.

I: corriente en amperios, medida con un sensor de corriente no invasivo SCT013, con una precisión del 1-2%.

Para la elaboración de la investigación se realizaron dos experimentaciones y dos repeticiones para cada experimentación, la primera experimentación fue realizada con el refrigerante R22 y la segunda con R422D.

Para la elaboración de la experimentaciones y repeticiones con cada uno de los refrigerantes se procedió de igual forma; se tomaron datos durante un día con el equipo encendido a una temperatura de 18 °C, una temperatura ambiente de 25 °C con el fin de no afectar la medición de los sensores de temperatura, esta temperatura ambiente se garantizó mediante un equipo de aire acondicionado integral instalado en el laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas realizadas, la experimentación se realizó durante 3 horas con un paro del equipo de 1 hora y luego 4 horas más de toma de datos, la unidad de adquisición de datos se programó para adquirir información de los sensores cada 15 minutos y al finalizar guardar los datos en una memoria micro SD, con estos mismos parámetros se procedió para realizar las repeticiones.

Las características de los equipos y los componentes utilizados para la investigación se muestran en la tabla 1.

<b>Equipo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Mini Split	Referencia	TLDA18FS-ADR
	Fuente de alimentación	220-230V a.c.60 Hz. 1ph
	Capacidad de enfriamiento	4536 kcal/h
		5.3 kW
		18000 Btu/h
Corriente	9.6 Amps	

Arduino uno	Tensión de funcionamiento	5V
	Voltaje de entrada	7-12 V
	Botones de entrada analógica	6
	Microcontroladores	ATmega328
Sensor de temperatura	Referencia	DS18B20
	Voltaje de entrada	3-5.5 V
	Rango de temperatura	-55 a 125 °C
Sensor de corriente	Referencia	No invasivo SCT013
	Corriente de entrada	0-100 A
	Plug	3.5 mm
	Temperatura de trabajo	-25 a 70 °C
Transductor de presión	Entrada	0-200 psi
		0-500 psi
	Tiempo de respuesta	≤ 1ms
	Temperatura de funcionamiento	-40 a 125 °C
	Salida	0.5V a 4.5V
Arduino microSD	Alimentación	3.3-5V
Switching power supply	Voltaje de entrada	110V -240V
	Voltaje salida	12V
	Corriente salida	20 <sup>a</sup>
	Frecuencia de entrada	47-63 Hz
Regulador	Referencia	CPT 12V a 5V
	Entrada	DC 8-20V
	Salida	DC 5V, 3A, 15W

*Tabla 1. Características de los equipos y componentes empleados en la investigación para determinar la variación del rendimiento de un aire acondicionado tipo mini Split debido al cambio de refrigerante.*

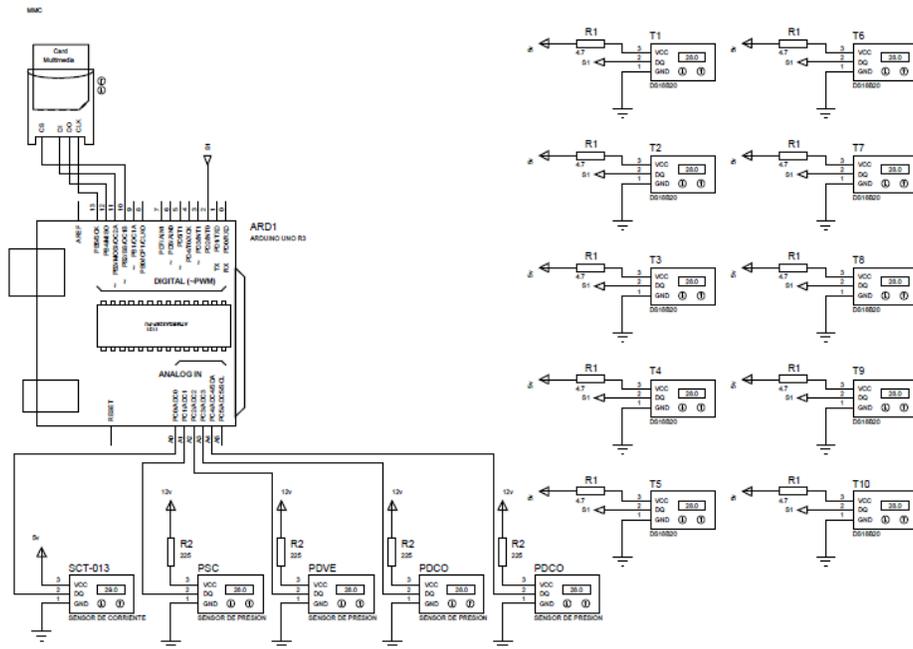


Imagen 5. Plano electrónico del aire acondicionado.

## 7.2 Metodología para realizar la programación de la unidad de adquisición de datos

Para realizar la programación del equipo de adquisición de datos, luego de realizar la instalación de los sensores y componentes mencionados en la tabla 1, se realizó un código en el programa de Arduino.cl, software que permite programar el Arduino uno y utiliza el puerto para subir el programa a la placa.

En el código es donde introducimos los parámetros que se quieren para realizar la toma de datos de las experimentaciones, cuantos datos se desean guardar, cada cuanto tiempo se desea que se haga una lectura de los sensores.

Código de programación realizado con programa Arduino, fuente propia anexo 1.

### 7.3 Metodología numérica para el análisis de datos

El objetivo de las experimentaciones y repeticiones fue tomar datos de los sensores para comparar el comportamiento del equipo de aire acondicionado con dos tipos de refrigerante, también realizar los cálculos de algunas variables, calor eliminado al ambiente ( $Q_H$ ), tasa de eliminación de calor del espacio ( $Q_L$ ), entrada de potencia al compresor ( $W_{in}$ ), coeficiente de rendimiento (COP), potencia (Pot). También se tomaron valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento, con el fin de realizar un buen análisis de los datos obtenidos para comparar el funcionamiento del equipo con el cambio de refrigerante.

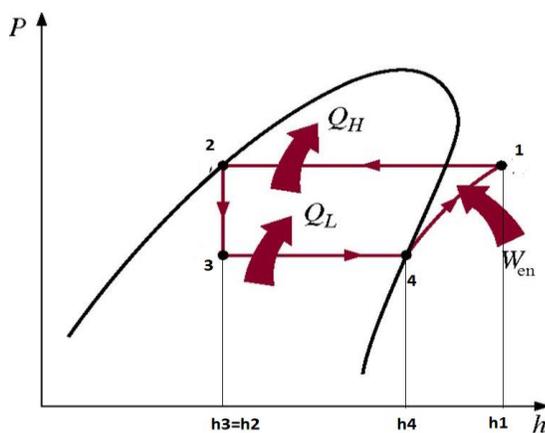


Imagen 6. Diagrama P-h para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, fuente adaptada de McGraw-Hill Interamericana editores S.A

La entrada de potencia al compresor,  $W_{in}$ , se calculó según la ecuación (1)

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (1)$$

El flujo másico  $\dot{m}_r$  se calculó con la ecuación (2)

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Pot}}{(h_{out} - h_{in})} \quad (2)$$

La potencia  $Pot$  se calculó con la ecuación (3)

$$Pot = V * I \quad (3)$$

$h_1, h_4, h_3$  son las entalpías en los puntos del proceso leídas en tablas de propiedades termodinámicas, se leen en la tabla del refrigerante utilizado.

$h_{out}$  es la entalpia leída a la presión de descarga en tablas de propiedades termodinámicas.

$h_{in}$  es la entalpia leída a la presión de succión en tablas de propiedades termodinámicas.

$V$  es el voltaje del equipo.

$I$  es la corriente promedio del equipo, esta se toma de los promedios calculados de los valores tomados por la unidad de adquisición de datos.

El calor eliminado al ambiente  $Q_h$  se calculó con la ecuación (4)

$$Q_h = W_{in} + Q_L \quad (4)$$

La tasa de eliminación e calor del espacio  $Q_L$  se calculó con la ecuación (5)

$$Q_L = m_r(h_4 - h_3) \quad (5)$$

El coeficiente de rendimiento  $COP$  se calculó con la ecuación (6)

$$COP = \frac{Q_L}{W_{in}} \quad (6)$$

El sobre calentamiento  $S_H$  se calculó con la ecuación (7)

$$S_H = T1 - T_{sat}@PSC \quad (7)$$

El subenfriamiento  $S_C$  se calculó con la ecuación (8)

$$S_C = T_{sat}@PDC - T7 \quad (8)$$

**Comentado [UdW7]:** Explicar cada término de la ecuación

Donde  $T_7$  es la temperatura del refrigerante a la salida del condensador y  $T_{sat}@PDC$  es la temperatura de saturación leída en la table de propiedades termodinámicas del refrigerante a la presión de descarga del compresor

## 8. Resultados

### 8.1 Datos experimentales

En la tabla 2 se resumen los datos obtenidos durante las experimentaciones y repeticiones del funcionamiento del equipo de aire acondicionado tipo mini Split, con los dos refrigerantes, en la tabla se presentan los promedios de los valores tomados por cada sensor durante la investigación.

Variable	Unidad	Refrigerante R22	Refrigerante R422D
T1	°C	7.73	7.89
T2	°C	38.58	43.87
T3	°C	42.28	45.74
T4	°C	25.95	28.99
T5	°C	30.92	33.77
T6	°C	29.55	34.01
T7	°C	24.63	26.44
T8	°C	26.46	28.1
T9	°C	25.33	22.04
T10	°C	8.25	9.87
I	Amp	5.31	6.83
PSC	Psi	61.12	56.39
PDVE	Psi	217.96	329.09
PDCO	Psi	188.07	293.71
PDC	Psi	219.17	284.83

Tabla 2. : Promedio de resultados para la investigación del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado tipo mini Split, con dos tipos de refrigerante.

De la tabla 2 se pueden tener en cuenta varios promedios que demuestran claramente el rendimiento del equipo con el cambio de refrigerante, se puede observar que la T3 ( temperatura en la carcasa del compresor ), con el R22 es de 42.28 °C y con el R422D es de 45.74 °C, esto demuestra que el compresor tiene un mayor trabajo o esfuerzo para realizar su trabajo, esto se

puede ver reflejado con el promedio del sensor de corriente I, con el R22 fue de 5.31 Amp y con R422D fue de 6.38 Amp, lo cual dice que el consumo de energía con este refrigerante es mayor.

Como también se pudo observar que la T10 (temperatura del aire a la salida del evaporador) con el R22 fue de 8.25 °C y con R422D fue de 9.87 °C, esto demuestra que con el refrigerante R22 el se logra una temperatura menor a la salida del evaporador, esto ayuda a que la temperatura programada por el usuario se alcance en un menor tiempo y el compresor trabaje en intervalos de tiempo más cortos.

Con los datos obtenidos durante las experimentaciones y repeticiones se pudo hacer una comparación respecto al funcionamiento del equipo de aire acondicionado, con el refrigerante R22 se pudo observar que el equipo tenía una temperatura en la salida del aire del evaporador más baja, por lo cual el equipo llegaba a la temperatura programada en un menor tiempo, esto tenía como resultado un intervalo más amplio o un mayor número de intervalos donde el equipo apagaba el compresor, también se pudo observar que la corriente del compresor con el refrigerante R422D es mayor, lo cual se traducía en un consumo de energía más elevado, y teniendo en cuenta que el equipo con este refrigerante apaga el compresor en una menor proporción, esto iba aumentar ese consumo energético. Para entender mejor esta comparación se realizó una gráfica de la temperatura de salida del aire en el evaporador *imagen 8* y una gráfica de la corriente del compresor *imagen 9*.

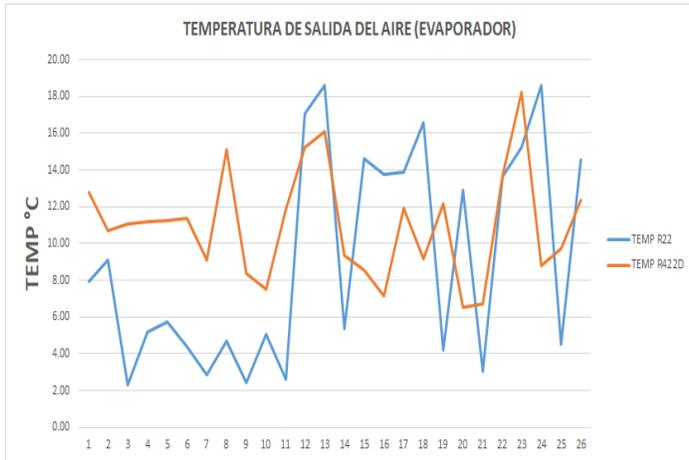


Imagen 7. Comparación de temperatura de salida de aire en el evaporador

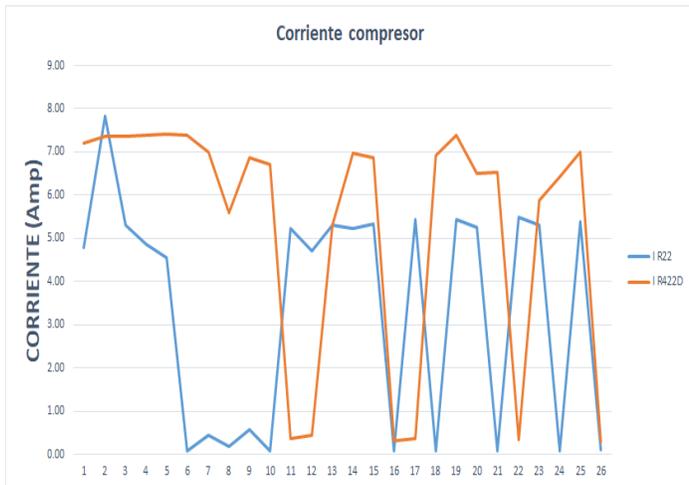


Imagen 8. Comparación de corriente en el compresor

## 8.2 Calculo de variables

En esta sección se presentan los resultados de los cálculos de las variables, estos cálculos se realizaron con el apoyo del software COOLPACK, para los cálculos respectivos a los datos obtenidos con el refrigerante R22, para los cálculos con los datos obtenidos con el refrigerante R422D se usó el software GENERATRON PROPERTIES 1.4.

Temperatura evaporación	1 °C	Temperatura condensación	42 °C
Sobrecalentamiento $S_H$	11.73 °C	Subenfriamiento $S_C$	17.97 °C
Dp evaporador	0 bar	Dp condensador	2.14 bar
Dp línea de succión	0 bar	Dp línea líquida	0 bar
Dp línea descarga	0 bar		
Eficiencia isentrópica	1		

Tabla 3. Parámetros de entrada para el cálculo de variables del R22. Adaptado coolpack

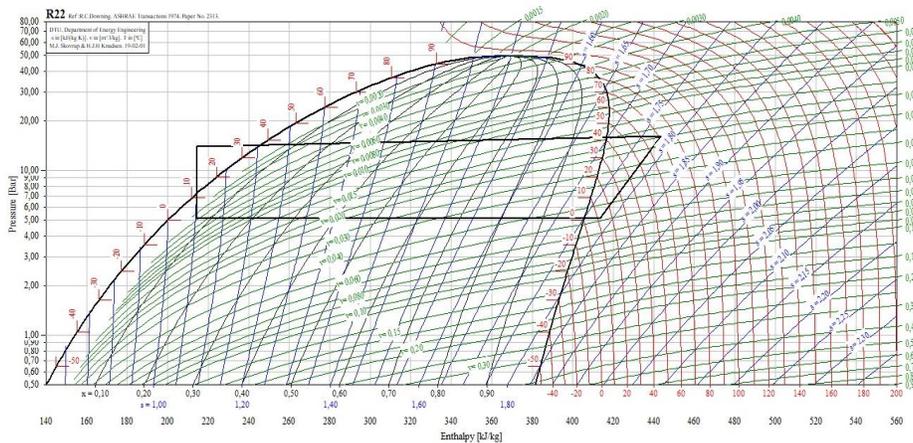


Imagen 9. Diagrama P-H para el R22. Fuente coolpack

Compresor	Capacidad de enfriamiento	5070 W
	Eficiencia isentrópica	1
	Eficiencia volumétrica	1
Línea de descarga	Temperatura de entrada al condensador	43,87 °C
		0 kPa
	Caída de presión	
Condensador	Presión de condensación	2053,81 kPa
	Temperatura a la salida	26,44 °C
	Caída de presión	61,22 kPa
Línea de líquido	Temperatura en la entrada de la válvula de expansión	26,44 °C
	Caída de presión	0
Evaporador	Presión de evaporación	478,77 kPa
	Temperatura a la salida	7,89 °C
	Caída de presión	0
Línea de succión	Temperatura de succión del compresor	7,89 °C
	Caída de presión	0

*Tabla 4. Parámetros de entrada para el cálculo de variables del R422D. Adaptado del software Genetron Properties.*

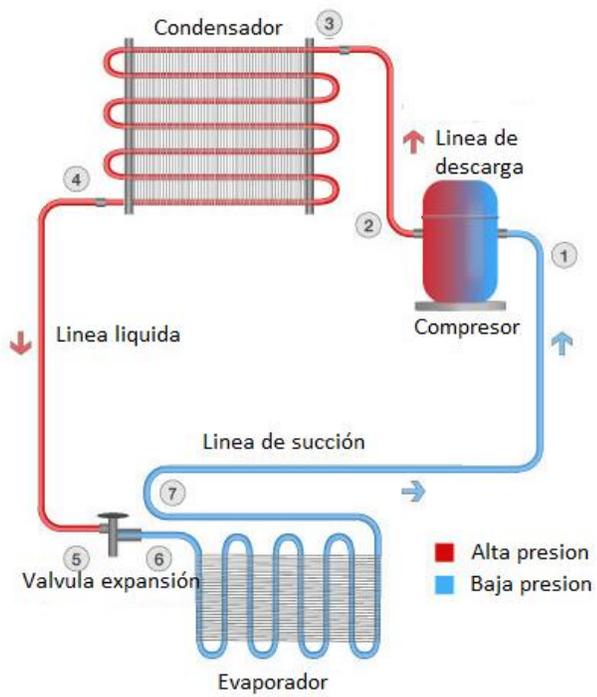


Imagen 10. Esquema de trabajo de equipo de aire acondicionado. Adaptado del software Genetron Properties

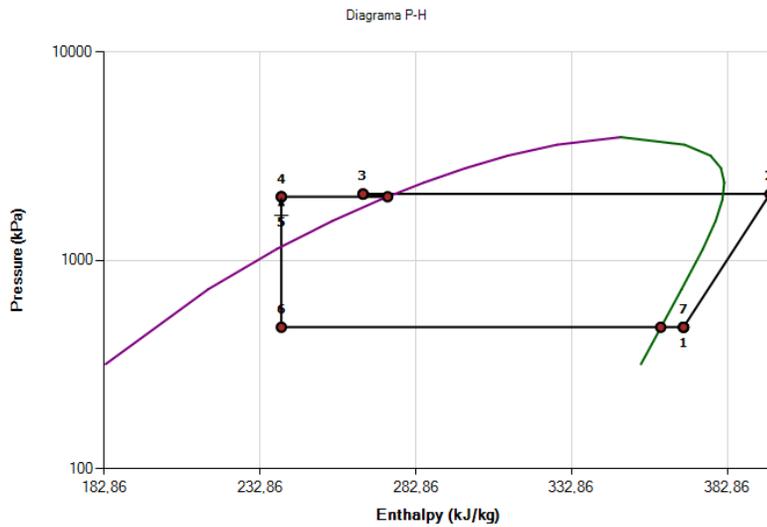


Imagen 11. Diagrama P-H para el R422D. Fuente Genetron Properties

De la imagen 9 e imagen 11 se puede observar el diagrama P-H para un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor, se puede ver una caída de presión y el sobrecalentamiento y subenfriamiento.

Con el apoyo del software Coolpack y Genetron Properties se realizaron los cálculos de las variables a investigar, en la Tabla 5 están los resultados de los cálculos con el cambio de refrigerante; estos resultados demuestran el rendimiento del equipo de aire acondicionado con cada uno de los refrigerantes, se puede apreciar que el rendimiento del equipo con el refrigerante R22 es mayor en cuanto a capacidad de enfriamiento y energéticamente.

Variable	Unidad	Refrigerante R22	Refrigerante R422D
La entrada de potencia al compresor $\dot{W}_{in}$	Kw	0,573	1,09
El flujo másico $\dot{m}_r$	Kg/s	0,019	0,039
La potencia $P_{ot}$	Watt	584,1	751,3
El calor eliminado al ambiente $Q_h$	Kw	4,354	5,07
La tasa de eliminación de calor del espacio $Q_L$	Kw	3,782	1,029
El coeficiente de rendimiento $COP$		6,6	4,64

**Comentado [UdW8]:** En una tabla con Iso del R22

Tabla 5. Calculo de las variables a investigar con el cambio de refrigerante

## 9. Conclusiones

El rendimiento energético del equipo de acondicionamiento de aire, tipo mini Split, teniendo en cuenta la investigación y datos obtenidos podemos determinar que el equipo con el refrigerante R22 tiene una capacidad de enfriamiento alta, con el coeficiente de rendimiento  $COP = 6.6$  podemos saber que se logran 6.6 Kw de potencia de refrigeración por cada Kw de potencia consumida por el compresor; se puede observar que el compresor del equipo trabaja en intervalos más cortos ya que llega a su temperatura deseada con mayor facilidad, esto se puede determinar gracias a los datos obtenidos durante la experimentación y sus repeticiones, con el promedio del sensor de corriente  $I = 5.31$  Amp se puede ver que tiene un consumo de corriente bajo comparado con el parámetro dado por el fabricante el cual es de 9.6 Amp, para entender más con respecto al consumo de energía del compresor se calculó la entrada de potencia al compresor  $W_{in} = 0,573$  Kw. También se determinó el calor eliminado al ambiente  $Q_h = 4,354$  Kw y la tasa de eliminación de calor del espacio  $Q_L = 3,782$  Kw. Con estos datos se pudo analizar el rendimiento energético.

Con los datos tomados por los diferentes sensores de la unidad de adquisición de datos se pudo determinar el rendimiento energético cambiando el refrigerante de R22 a R422D, con estos datos se pudo establecer el promedio de consumo de corriente del compresor  $I = 6,83$  Amp, como también analizar los datos para determinar el tiempo de trabajo del compresor; con los cálculos de las variables se pudo determinar el coeficiente de rendimiento  $COP = 4,64$ , el cual nos dice que se logran 4,64 Kw de potencia de refrigeración por cada Kw consumido por el compresor, se pudo determinar el calor eliminado al ambiente  $Q_h = 5.07$  Kw y la tasa de eliminación de calor del ambiente  $Q_L = 1.029$  Kw, como también el trabajo de entrada al compresor  $W_{in} = 1,09$  Kw, estos datos muestran el rendimiento energético del equipo de aire acondicionado con el refrigerante R422D.

Comparando el rendimiento energético y los datos obtenidos por la unidad de adquisición de datos, del equipo de acondicionamiento de aire tipo mini Split, con los dos refrigerantes (R22, R422D), la temperatura del aire a la salida del evaporador T10, con el R22 es 8.25 °C con R422d es 9.87 °C, esto ayuda a que la temperatura deseada se alcance en un tiempo menor traduciendo esto en un trabajo más corto del compresor esto ahorra energía y aumenta el rendimiento energético del equipo, el promedio de la corriente consumida por el compresor, con el equipo en

funcionamiento I, con R22 es 5.31 Amp y con R422D es 6.83 Amp, lo cual demuestra que el promedio de consumo de energía del compresor es mayor con el refrigerante R422D, esto también se ve reflejado en el cálculo de la entrada de potencia del compresor  $W_{in}$  que con R22 es 0.573 Kw y con R422D es 1.09 Kw. Con respecto al flujo másico  $m_r = 0,019 \text{ Kg/s}$  para el R22 y  $m_r = 0,039 \text{ Kg/s}$  para el R422D, se puede decir que con un flujo másico menor de R22 se puede tener un mayor rendimiento energético, con respecto al coeficiente de rendimiento  $COP$  se calculó para el R22 un  $COP = 6.6$  y para el R422D un  $COP = 4.64$ , lo cual dice que se logra una mayor potencia de refrigeración por Kw de potencia consumida por el compresor con el refrigerante R22.

Analizando las variables calculadas para las dos experimentaciones, con el cambio de refrigerante, se puede concluir que con el refrigerante R22 se tiene un mayor coeficiente de rendimiento, un rendimiento energético mayor, lo cual significa que el equipo eliminara una mayor cantidad de calor de la habitación que se está refrigerando, el compresor trabajara en intervalos menores lo cual reduciría en gran proporción el consumo de energía.

## Anexos

Anexo 1 código de programación para unidad de adquisición de datos. Fuente propia

```
#include <Wire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include "EmonLib.h"

#include <SPI.h> // incluye libreria interfaz SPI

#include <SD.h> // incluye libreria para tarjetas SD

#define SSpin 10 // Slave Select en pin digital 10

File archivo; // objeto archivo del tipo File

OneWire ourWire(2); //Se establece el pin 2 como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

DeviceAddress address1 = {0x28, 0xBD, 0x13, 0x27, 0x0, 0x0, 0x80, 0x1B}; //dirección del
sensor 1

DeviceAddress address2 = {0x28, 0x50, 0x7, 0x27, 0x0, 0x0, 0x80, 0x1B}; //dirección del sensor
2

DeviceAddress address3 = {0x28, 0x35, 0x1D, 0x27, 0x0, 0x0, 0x80, 0xF2}; //dirección del
sensor 3

DeviceAddress address4 = {0x28, 0x70, 0x88, 0x26, 0x0, 0x0, 0x80, 0x86}; //dirección del
sensor 4

DeviceAddress address5 = {0x28, 0x4B, 0xA7, 0x26, 0x0, 0x0, 0x80, 0x4}; //dirección del
sensor 5

DeviceAddress address6 = {0x28, 0xF2, 0xC1, 0x5B, 0x6, 0x0, 0x0, 0x70}; //dirección del
sensor 6
```

```
DeviceAddress address7 = {0x28, 0xC4, 0xC1, 0x5B, 0x6, 0x0, 0x0, 0x2F}; //dirección del
sensor 7

DeviceAddress address8 = {0x28, 0xFF, 0xC2, 0x78, 0x6B, 0x14, 0x3, 0xC}; //dirección del
sensor 8

DeviceAddress address9 = {0x28, 0x56, 0x8, 0x27, 0x0, 0x0, 0x80, 0xC6}; //dirección del sensor
9

DeviceAddress address10 = {0x28, 0x45, 0x8D, 0x26, 0x0, 0x0, 0x80, 0x52}; //dirección del
sensor 10

float voltajeRed = 230.0;

float Presion1 = 0;

float Presion2 = 0;

float Presion3 = 0;

float Presion4 = 0;

EnergyMonitor emon1;

int rede = 230.0;

int pin_sct = 0;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  emon1.current(pin_sct, 29);

}
```

```
void loop(){
  double Irms = emon1.calcIrms(1480);
  sensors.requestTemperatures(); //envía el comando para obtener las temperaturas
  float temp1= sensors.getTempC(address1);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
  float temp2= sensors.getTempC(address2);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 2
  float temp3= sensors.getTempC(address3);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 3
  float temp4= sensors.getTempC(address4);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 4
  float temp5= sensors.getTempC(address5);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 5
  float temp6= sensors.getTempC(address6);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 6
  float temp7= sensors.getTempC(address7);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 7
  float temp8= sensors.getTempC(address8);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 8
  float temp9= sensors.getTempC(address9);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 9
  float temp10= sensors.getTempC(address10);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 10
  Presion1= analogRead(A1);
  Presion1= Presion1*0.0048875;
  Presion1= (50*Presion1)-50;
  Presion2= analogRead(A2);
  Presion2= Presion2*0.0048875;
  Presion2= (125*Presion2)-125;
  Presion3= analogRead(A3);
  Presion3= 0.0048875*Presion3;
  Presion3= (125*Presion3)-62.5;
  Presion4= analogRead(A4);
  Presion4= 0.0048875*Presion4;
  Presion4= (125*Presion4)-62.5;
```

```
Serial.println("inicializando tarjeta...");
if (!SD.begin(SSpin)) { // inicializacion de tarjeta SD
  Serial.println("fallo en inicializacion !");// si falla se muestra texto correspondiente y
  return; // se sale del setup() para finalizar el programa
}
Serial.println("inicializacion correcta"); // texto de inicializacion correcta
archivo = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE); // apertura para lectura/escritura de archivo
prueba.txt

if(archivo){
  for(int i=1; i <12; i++){
    double Irms = emon1.calcIrms(1480);
    sensors.requestTemperatures(); //envía el comando para obtener las temperaturas
    temp1= sensors.getTempC(address1);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
    temp2= sensors.getTempC(address2);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 2
    temp3= sensors.getTempC(address3);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 3
    temp4= sensors.getTempC(address4);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 4
    temp5= sensors.getTempC(address5);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 5
    temp6= sensors.getTempC(address6);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 6
    temp7= sensors.getTempC(address7);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 7
    temp8= sensors.getTempC(address8);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 8
    temp9= sensors.getTempC(address9);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 9
    temp10= sensors.getTempC(address10);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 10
    Presion1= analogRead(A1);
```

```
Presion1= Presion1*0.0048875;
Presion1= (50*Presion1)-50;
Presion2= analogRead(A2);
Presion2= Presion2*0.0048875;
Presion2= (125*Presion2)-125;
Presion3= analogRead(A3);
Presion3= 0.0048875*Presion3;
Presion3= (125*Presion3)-62.5;
Presion4= analogRead(A4);
Presion4= 0.0048875*Presion4;
Presion4= (125*Presion4)-62.5;
```

```
archivo.println(i);
archivo.print("T1 = ");
archivo.println(temp1);
archivo.print("T2 = ");
archivo.println(temp2);
archivo.print("T3 = ");
archivo.println(temp3);
archivo.print("T4 = ");
archivo.println(temp4);
archivo.print("T5 = ");
archivo.println(temp5);
archivo.print("T6 = ");
archivo.println(temp6);
```

```
archivo.print("T7 = ");
archivo.println(temp7);
archivo.print("T8 = ");
archivo.println(temp8);
archivo.print("T9 = ");
archivo.println(temp9);
archivo.print("T10 = ");
archivo.println(temp10);
archivo.print("Corriente = ");
archivo.println(Irms);
archivo.print("PSC = ");
archivo.println(Presion1);
archivo.print("PDVE = ");
archivo.println(Presion2);
archivo.print("PDCO = ");
archivo.println(Presion3);
archivo.print("PDC = ");
archivo.println(Presion4);
```

```
Serial.println(i);
Serial.print("T1 = ");
Serial.println(temp1);
Serial.print("T2 = ");
Serial.println(temp2);
Serial.print("T3 = ");
```

```
Serial.println(temp3);  
Serial.print("T4 = ");  
Serial.println(temp4);  
Serial.print("T5 = ");  
Serial.println(temp5);  
Serial.print("T6 = ");  
Serial.println(temp6);  
Serial.print("T7 = ");  
Serial.println(temp7);  
Serial.print("T8 = ");  
Serial.println(temp8);  
Serial.print("T9 = ");  
Serial.println(temp9);  
Serial.print("T10 = ");  
Serial.println(temp10);  
Serial.print("Corriente = ");  
Serial.println(Irms);  
Serial.print("PSC = ");  
Serial.println(Presion1);  
Serial.print("PDVE = ");  
Serial.println(Presion2);  
Serial.print("PDCO = ");  
Serial.println(Presion3);  
Serial.print("PDC = ");  
Serial.println(Presion4);
```

```
    delay(900000);  
  
  }  
  archivo.close();  
  Serial.println("escritura correcta");  
} else{  
  Serial.println("error en apertura de datos.txt");  
}  
}
```

## Referencias

- Refrigeración y Frío . (22 de junio de 2016). *Refrigeración y Frío Imprimir*. Obtenido de Refrigeración y Frío Imprimir: <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/subenfriamiento-de-liquido-refrigerante.html>
- Ali H. Al-Zaidi, M. M. (enero de 2018). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894177717302820>
- Alibakhsh Kasaiean, S. M.-M. (noviembre de 2018). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118305409>
- Atila G. Devecioğlu, V. O. (febrero de 2017). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116328551>
- buitrago, N. (2014). *FISICA DE FLUIDOS Y TERMODINAMICA*. Obtenido de FISICA DE FLUIDOS Y TERMODINAMICA: <https://nikolasbuitragoj.wordpress.com/tercer-corte/consultas/coeficiente-de-rendimiento/>
- chemours. (2018). *chemours*. Obtenido de dr retrofit: [https://www.chemours.com/Refrigerants/es\\_MX/news\\_events/noticias\\_refrescantes/edicion\\_21/dr\\_retrofit.html](https://www.chemours.com/Refrigerants/es_MX/news_events/noticias_refrescantes/edicion_21/dr_retrofit.html)
- Choudhari, C. S. (marzo de 2017). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217301066>
- Ciro Aprea, A. M. (diciembre de 2011). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911004399>
- cofrico. (29 de diciembre de 2010). *cofrico s.a*. Obtenido de cofrico: <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/el-sobrecalentamiento-en-los-sistemas-de-refrigeracion-2/>
- Dehu Qv, B. D. (enero de 2017). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916315471>
- Devecioğlu, V. O. (2015). Thermodynamic performance of air conditioners working with R417A and R424A as alternatives to R22 Performance thermodynamique des conditionneurs d'air fonctionnant avec le R417A et le R424A comme alternatives au R22. *sciencedirect*, 15-30.
- Gerfri. (2018). *Aire acondicionado*. Obtenido de <https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>
- Maiorino., C. A. (febrero de 2011). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544210006778>

manufacturingterms. (2016). *manufacturingterms*. Obtenido de manufacturingterms:  
<https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Supercooling.html>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). *Minambiente*. Obtenido de Protocolo de Montreal:  
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=192:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-8#leyes>

Moratalla Loarte, M. (2012). Retrofitting en enfriadoras centrífugas de agua utilizando R22 para trabajar con R507a ó R134a en instalaciones de HVAC en buques de crucero. *sciencedirect*, 50-70.

Na Liu, J. L. (febrero de 2016). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089417715002897>

plusfroid. (2009). *plusfroid*. Obtenido de plusfroid: <http://plusfroid.pt/wp-content/uploads/2015/04/R22.pdf>

Puerto, E. (febrero de 2011). *Dipac*. Obtenido de Diseño e ingeniería de proyectos climatizador:  
<https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/refrigerante-y-ecologia/>

Qi, Z. (diciembre de 2016). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700716302328>

salvadorescoda. (2009). *salvador escoda*. Obtenido de salvador escoda:  
[https://www.salvadorescoda.com/tecnico/GF/tec%20GF01172-175\\_R422D.pdf](https://www.salvadorescoda.com/tecnico/GF/tec%20GF01172-175_R422D.pdf)

Shaik, S. V. (marzo de 2017). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217300759>

Sharmas Vali Shaik, T. A. (marzo de 2017). *sciencedirect*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217300711>

Wikipedia. (11 de octubre de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de Gasro másico:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Gasto\\_m%C3%A1sico](https://es.wikipedia.org/wiki/Gasto_m%C3%A1sico)

Wikipedia. (28 de noviembre de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Protocolo de Kioto:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Kioto](https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto)

Wu, Z. Y. (septiembre de 2013). *sciencedirec*. Obtenido de sciencedirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544213004957>