

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO DE  
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE TIPO “MINI SPLIT”, PARA EL  
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA  
BOLIVARIANA**

Presentado por:

ANDRÉS FELIPE MARÍN GUARÍN

SEBASTIÁN MONTOYA CORREA

Director:

CESAR ALEJANDRO ISAZA ROLDÁN

I.M., Ph.D.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

COLOMBIA

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo de grado, en especial a nuestro director César Alejandro Isaza Roldán por su confianza, apoyo y dedicación de tiempo.

Agradecemos al CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y CALIDAD EN REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN por facilitarnos el área y herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo de grado.

Para terminar agradecemos a la Universidad Pontificia Bolivariana por otorgar el medio para una formación integral en valores y conocimiento técnicos que permitieron llevar a cabo este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1 OBJETIVOS</b> .....	15
<b>1.1 Objetivo General</b> .....	15
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	15
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1 Aire acondicionado</b> .....	16
<b>2.2 Historia del Aire Acondicionado</b> .....	16
<b>2.3 Principios del aire acondicionado en Colombia</b> .....	17
<b>2.4 Refrigeración</b> .....	17
<b>2.5 Necesidad y Confort del acondicionamiento del aire</b> .....	18
<b>2.6 Parámetros a controlar en el acondicionamiento del aire</b> .....	19
<b>2.7 REFRIGERANTES Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b> .....	21
<b>2.7.1 Denominación de los refrigerantes</b> .....	23
<b>2.7.2 Clasificación de los refrigerantes de acuerdo a la seguridad</b> 25	
<b>2.7.3 Tipos de refrigerantes</b> .....	27
<b>2.8 Características e impacto ambiental del uso de refrigerantes</b> .	30

<b>2.9</b>	<b>Criterios de selección del refrigerante R410A</b> .....	<b>31</b>
<b>2.9.1</b>	<b>Características del refrigerante R410A</b> .....	<b>31</b>
<b>2.10</b>	<b>Refrigeración por compresión de vapor</b> .....	<b>32</b>
<b>2.11</b>	<b>Variables termodinámicas del proceso</b> .....	<b>33</b>
<b>2.11.1</b>	<b>Temperatura</b> .....	<b>33</b>
<b>2.11.2</b>	<b>Presión</b> .....	<b>34</b>
<b>2.12</b>	<b>CICLO DE CARNOT</b> .....	<b>34</b>
<b>2.13</b>	<b>CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE</b>	
<b>VAPOR</b>	<b>35</b>	
<b>2.14</b>	<b>CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE</b>	
<b>VAPOR</b>	<b>36</b>	
<b>2.15</b>	<b>COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR</b>	
<b>COMPRESIÓN DE VAPOR</b> .....	<b>37</b>	
<b>2.15.1</b>	<b>Compresor</b> .....	<b>37</b>
<b>2.15.2</b>	<b>Condensador</b> .....	<b>38</b>
<b>2.15.3</b>	<b>Dispositivo de expansión</b> .....	<b>38</b>
<b>2.15.4</b>	<b>Evaporador</b> .....	<b>38</b>
<b>2.16</b>	<b>AIRES ACONDICIONADOS TIPO MINI SPLIT</b> .....	<b>39</b>
<b>2.16.1</b>	<b>Definición aire acondicionado tipo mini Split</b> .....	<b>39</b>
<b>2.16.2</b>	<b>Ventajas y desventajas sistema de aire acondicionado tipo</b>	
<b>mini Split y el sistema de aire acondicionado de ventana</b> .....	<b>41</b>	

<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	<b>46</b>
4.1	ELABORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS .....	46
4.2	MONTAJE DEL MINI SPLIT .....	47
4.3	PROCESO DE INSTALACIÓN DEL MINI SPLIT .....	48
4.3.1	Proceso de recuperación del refrigerante .....	50
4.3.2	Chequeo fugas .....	53
4.3.3	Soldadura.....	55
4.3.4	Vacío .....	60
4.3.5	Carga de refrigerante.....	62
4.3.6	Prueba de funcionamiento .....	64
<b>5</b>	<b>INSTRUMENTACIÓN</b> .....	<b>66</b>
5.1	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN	
	66	
5.1.1	Presiones de trabajo del mini Split.....	67
5.1.2	Temperaturas de trabajo del mini Split .....	67
5.1.3	Consumo energético del mini Split .....	68
5.1.4	Sistema de adquisición de datos.....	68
5.2	INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	69
5.2.1	Instalación de los sensores de temperaturas.....	69

5.2.2	Instalación de transductores de presión.....	70
5.2.3	Instalación del medidor de consumo energético.....	70
5.2.4	Instalación de los indicadores.....	70
6	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DIDÁCTICO.....</b>	<b>72</b>
6.1	Dimensiones del tablero didáctico.....	72
6.2	Adecuación del sistema.....	73
7	<b>MONITOREO FINAL DE LAS VARIABLES.....</b>	<b>75</b>
8	<b>GUÍA PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN.....</b>	<b>81</b>
	<b>GUIA DE REFRIGERACIÓN.....</b>	<b>81</b>
	Parámetros a controlar en el acondicionamiento del aire.....	81
	Refrigeración por compresión de vapor.....	83
	Variables termodinámicas del proceso.....	83
	Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.....	84
	Componentes del sistema de refrigeración por compresión de vapor.....	85
	Aires acondicionados tipo mini split.....	86
9	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
10	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
11	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>95</b>
12	<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

<b>13 GLOSARIO .....</b>	<b>110</b>
--------------------------	------------

### LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Explicación carta psicrometría, estrés y confort térmico. ....	19
Ilustración 2. Circulación del aire en un recinto. Figura tomada de (e-URE, 2005) .....	21
Ilustración 3. Presentación comercial de los refrigerantes. Tomado de (Castro, 2014) .....	23
Ilustración 4. Codificación del refrigerante R134a. Tomado de (Ruiz, 2012)..	25
Ilustración 5. Ciclo de refrigeración de Carnot por compresión de vapor (realizado por los autores).....	33
Ilustración 6. Esquema del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (realizada por los autores).....	36
Ilustración 7. Esquema y diagrama T-s del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor (Realizado por los autores) .....	37
Ilustración 8 Ensamble básico para el funcionamiento del equipo. Tomado de (tecnoastur) .....	40
Ilustración 9. Esquema aire acondicionado tipo mini Split figura tomada de (Aire acondicionado tipo mini Split, 2014) .....	41
Ilustración 10. Diagrama de flujo metodología. (Realizado por los autores)...	43
Ilustración 11. Perfil de la estructura del chasis (Tomada por los autores) ....	46
Ilustración 12. Chasis de soporte para el Mini Split (Tomado por los autores) .....	47

Ilustración 13. Montaje del Mini Split en el chasis (Tomado por los autores) .	48
Ilustración 14. Líneas de succión y descarga del compresor. (Tomado por los autores) .....	50
Ilustración 15. Identificación de líneas en el árbol de manómetros. (Tomado por los autores) .....	51
Ilustración 16. Conexión para la recuperación por vapor en un sistema de aire acondicionado tipo mini Split. Tomado de (Rodríguez, 2013) .....	52
Ilustración 17. Identificación de los elementos que componen el condensador. (Tomado por los autores) .....	53
Ilustración 18. Chequeador de fugas CPS LMS 3000 DB. (Tomado por los autores) .....	54
Ilustración 19. Chequeo de fugas. (Tomado por los autores) .....	55
Ilustración 20. Equipo de soldadura oxiacetilénica. (Tomado por los autores)	56
Ilustración 21. Encendedor para soldadura oxiacetilénica. Tomado de (jolmar). .....	57
Ilustración 22. Proceso de instalación de los transductores de presión. (Tomado por los autores) .....	59
Ilustración 23. Instalación de capilares y transductores de presión alta y baja. (Tomado por los autores) .....	60
Ilustración 24. Bomba de vacío. (Tomado por los autores) .....	61
Ilustración 25. Conexión de manguera de baja a línea de servicio del condensador (Tomado por los autores) .....	63
Ilustración 26. Abastecimiento del refrigerante R410A en estado líquido (Tomado por los autores) .....	64

Ilustración 27. Monitoreo de la corriente consumida por el Mini Split (Tomado por los autores) .....	65
Ilustración 28. Especificaciones del equipo. (Tomado por los autores) .....	66
Ilustración 29. Presión de saturación a diferentes temperaturas de condensación, para refrigerante R410a (Tomado por los autores) .....	67
Ilustración 30. Plano instrumentación. (Tomado por los autores) .....	71
Ilustración 31. Plano de taller panel de control. (Tomado por los autores) .....	72
Ilustración 32. Diseño gráfico del panel de control (Tomado por los autores)	73
Ilustración 33. Panel con numeración de estaciones. (Tomado por los autores) .....	73
Ilustración 34. Panel de instrumentación. (Tomado por los autores) .....	74
Ilustración 35. Monitoreo variables estación 1. (Tomado por los autores) .....	76
Ilustración 36. Monitoreo variables estación 2 (Tomado por los autores) .....	77
Ilustración 37. Monitoreo variables estación 3 (Tomado por los autores) .....	78
Ilustración 38. Monitoreo variables estación 4-5. (Tomado por los autores) ..	79
Ilustración 39. Monitoreo variables estación 6. (Tomado por los autores) .....	80
Ilustración 40. Diagrama esquemático y T-S para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor .....	85
Ilustración 41. Ensamble básico para el funcionamiento del equipo. Tomado de (tecnoastur) .....	87
Ilustración 42. Diagrama de referencia del ciclo (Realizada por los autores) .	88

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los refrigerantes según ANSI/ASHRAE 34. Tomado de (Yañez, 2014).....	24
Tabla 2. Inflamabilidad y toxicidad de los refrigerantes según el grupo de seguridad. Tomado de (Ministerio Del Ambiente de Chile, 2011) .....	27
Tabla 3. Datos técnicos del refrigerante R410A. Tomado de (Aires Acondicionados, 2013).....	32
Tabla 4 Consumo eléctrico del equipo. Realizada por los autores. ....	70
Tabla 5. Identificación de instrumentación.....	74
<i>Tabla 6. Descripción de estaciones.....</i>	<i>75</i>
Tabla 7. Leyenda estación 1.....	76
Tabla 8. Leyenda estación 2.....	77
Tabla 9. Leyenda estación 3.....	78
Tabla 10. Leyenda estación 4-5. ....	79
Tabla 11. Leyenda estación 6.....	80
Tabla 12 Datos Experimentales y nominales.....	89
Tabla 13. Correspondencia de datos calculados.....	92

## RESUMEN

La contaminación y los cambios climáticos son fenómenos que se han venido presentando durante los últimos años, adquiriendo cada vez más fuerza. Por esta razón las personas buscan tener mejores condiciones ambientales haciendo uso de los sistemas de acondicionamiento de aire.

Este trabajo de grado consiste en el diseño y construcción de un equipo de acondicionamiento de aire tipo *mini split* con fines educativos, con este se pretende mostrar el proceso de instalación que requieren estos equipos, el ahorro significativo que puede llegar a tener una instalación adecuada siguiendo las prácticas de instalación, mantenimiento y uso recomendadas, el monitoreo de las variables involucradas en el proceso por medio de unos sensores de presión y temperatura, se ubicará un medidor del consumo energético para observar el comportamiento del equipo bajo diferentes condiciones de operación. En el ciclo de refrigeración correspondiente se emplea el refrigerante R410A (implementado en este trabajo).

Para ello se elaboró una estructura (chasis) en perfiles de aluminio en la cual se ubican las unidades del mini Split que son el evaporador y el condensador.

La principal característica del diseño del equipo es la parte didáctica la cual permite por medio de unas guías elaboradas para el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana (CIRCLI) que todos los estudiantes de pregrado, postgrado e inclusive técnicos, medir y controlar las variables del proceso, con esto se puede monitorear posibles fallas, malas prácticas, fugas de líquido refrigerante, obstrucciones, entre otras y realizar un plan de mantenimiento adecuado a apuntando a la reducción del consumo energético de estos equipos.

Para la fabricación e instalación del equipo se realizan una serie de procesos de manufactura, como son cizallado, torneado, fresado y soldadura en la parte de instalación de los sensores de medición.

La instrumentación utilizada para monitorear las presiones y temperaturas tanto de alta como de baja son monitoreadas por medio de transmisores de presión y temperatura al igual que para el monitoreo del consumo energético, a través de indicadores digitales y también con posibilidad de visualizar en un computador a través de una interfaz gráfica denominada "Stitrad" ®.

Durante la instalación se realizan procesos como el de recuperación de refrigerante con el fin de proteger el medio ambiente, chequeo de fugas en la tubería que transporta el refrigerante, se hacen pruebas de vacío y carga de refrigerante y finalmente unas pruebas de funcionamiento.

**Palabras claves:** Acondicionamiento de aire, consumo energético, eficiencia, carta psicométrica, ciclo de refrigeración, Mini Split, transmisores de presión y temperatura, pruebas de vacío, refrigerante 410A.

## ABSTRACT

Pollution and climate change are phenomena that have been occurring in recent years, gaining more strength. For this reason people seek to have better environmental conditions by making use of air conditioning systems.

This degree work involves designing and building a team of air conditioning mini split for educational purposes, this is to show the installation process requiring such equipment, significant savings can have a proper installation following installation practices, maintenance and recommended use, monitoring of the variables involved in the process by means of pressure and temperature sensors, a measure of energy consumption to observe the behavior of the equipment under different operating conditions was located. All these devices will be installed in a control panel that will psychometric chart and the cycle for the R410A coolant (implemented in this work).

To do this a frame (chassis) of aluminum profiles in which mini split units which are the evaporator and condenser are located was prepared.

The main feature of the design team is the didactic part which allows by means of guides developed for the laboratory of the Pontifical Bolivarian University that all students in undergraduate, graduate and even technicians, measuring and controlling process variables with this You can monitor possible faults, bad practices, coolant leaks, blockages, among others and perform appropriate maintenance plan aiming at reducing energy consumption of office equipment.

For the manufacture and installation of equipment a number of manufacturing processes are performed, such as shearing, turning, milling and welding in the installation part of the measuring sensors.

The instrumentation used to monitor the pressure and temperature of both high and low are monitored by means of pressure transmitters and temperature as well as for monitoring of energy consumption through digital displays and with ability to view a computer to through a graphical interface called "Stitrad" ®.

During installation processes such as refrigerant recovery in order to protect the environment, checking leaks in pipes conveying the coolant they are conducted, and vacuum tests refrigerant charge and eventually become a performance tests.

**Keywords:** Air conditioning, power consumption, efficiency, psychometric chart, refrigeration cycle, Mini Split, pressure and temperature transmitters, vacuum testing, R410A refrigerant.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia existen organismos que controlan y regulan las buenas prácticas en refrigeración, ventilación y climatización. Como lo es el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible quien vela por una buena gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables. Encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores. (minambiente, 2015)

Debido al poco conocimiento de las buenas prácticas en refrigeración que tienen los técnicos, ingenieros y demás profesionales del sector de la refrigeración en nuestro país, se realizan prácticas indebidas como la liberación de refrigerantes a la atmosfera, irrespetando las normas establecidas por el ministerio, ocasionan así una contribución al deterioro de la capa de ozono, aumentando el calentamiento global y dejando a un lado la conciencia ambiental.

La refrigeración y el acondicionamiento de aire constituyen sistemas ampliamente utilizados para distintas aplicaciones industriales y domésticas, además involucran equipos que demandan altos consumos energéticos y materiales con un alto riesgo ambiental, por esto es necesario tener precauciones en su instalación y manejo, que permitan un funcionamiento apropiado sin afectar el medio ambiente y de una manera rentable.

La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con un Laboratorio de Refrigeración y Climatización (CIRCLI) en el cual se puede estudiar el impacto que generan los equipos de climatización y refrigeración en la vida de las personas, las condiciones de salud de las mismas y el efecto ambiental que estos generan.

El CIRCLI fue implementado, buscando desarrollar avances científicos y tecnológicos en el país a través de la unión entre el gobierno, las industrias colombianas y la Universidad Pontificia Bolivariana para desarrollar proyectos que generen desarrollo para nuestro país. (Universidad Pontificia Bolivariana, 2014)

Si bien el (CIRCLI) ha sido utilizado para diversos estudios industriales y análisis energéticos en refrigeración y reciclaje de líquidos refrigerantes, a la fecha no se cuenta con un equipo que facilite el entendimiento del funcionamiento por parte de técnicos y futuros ingenieros, lo cual dificulta el aprendizaje práctico en el laboratorio.

Lo anterior muestra la necesidad de realizar un equipo didáctico para simplificar la comprensión del funcionamiento de los equipos de acondicionamiento de aire. Para el caso se diseñará y construirá un equipo didáctico de aire acondicionado tipo mini-Split con el cual no cuenta el (CIRCLI), ya que estos sistemas son utilizados en

instalaciones domésticas y pequeñas oficinas. Este equipo didáctico servirá para capacitar técnicos e ingenieros en la adecuada instalación, operación y mantenimiento de estos sistemas, permitiendo conocer cada uno de los elementos que conforman el sistema, evaluar las condiciones de desempeño y detectar causas de falla.

Uno de los principales problemas que se presentan en los sistemas de aire acondicionado está relacionado con el alto consumo energético, puesto que pueden llegar a consumir hasta un 70 por ciento de la energía total de un hogar o una pequeña oficina, este gasto está en función del mantenimiento del equipo y su contexto operacional. Estos altos consumos, generalmente se incrementan por prácticas inadecuadas y la falta de conocimiento o competencias de los técnicos e incluso ingenieros responsables de la instalación y mantenimiento de los equipos razón por la cual este modelo didáctico servirá para solucionar estas falencias. (Guggenberger, 2014)

Este trabajo generara una mejor comprensión por parte de los estudiantes de pregrado en cuanto al funcionamiento de un sistema de aire acondicionado tipo mini Split, comúnmente usado en hogares y pequeñas oficinas.

La implementación de las guías diseñadas en este trabajo es incentivar a los estudiantes a indagar un poco más sobre los sistemas de aire acondicionado, conociendo sus fenómenos físicos y su funcionamiento. Logrando adquirir conocimientos, destrezas y competencias para la adecuada instalación, operación y mantenimiento de estos tipos de equipos.

La Universidad podrá fortalecer la infraestructura del (CIRCLI) de Refrigeración y Climatización, para los programas de formación que ofrece a través de las diferentes facultades y en formación continua.

El alcance de este trabajo es de carácter académico, será un aporte importante para el (CIRCLI) de refrigeración y climatización de la U.P.B., y servirá de material de referencia para la formación de técnicos e ingenieros en el tema.

El alcance de este proyecto está limitado estrictamente a lo enunciado en los objetivos específicos.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo General

Realizar el diseño y construcción de un equipo de aire acondicionado didáctico, a partir de uno tipo mini Split, para el laboratorio de refrigeración de la Universidad Pontificia Bolivariana (CIRCLI).

## 1.2 Objetivos específicos

- Evaluar las necesidades desde el punto de vista de formación para los técnicos e ingenieros responsables de la instalación de equipos de aire acondicionado tipo mini Split.
- Adaptar un equipo de aire acondicionado tipo mini Split para servir como elemento didáctico.
- Realizar una guía para la práctica de laboratorio con el aire acondicionado tipo mini Split.

## 2 MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan el principio de funcionamiento y elementos involucrados en la operación de un aire acondicionado tipo mini Split.

### 2.1 Aire acondicionado

El acondicionamiento de aire es el proceso por el cual al aire de un ambiente determinado se le modifican ciertas características tales como la humedad y la temperatura de igual manera permite controlar su calidad y flujo.

En 1842, Lord Kelvin inventó el principio del aire acondicionado. Para conseguir un ambiente agradable y sano, el científico creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante. Para ello se basó en 3 principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja.
- El cambio de estado del refrigerante de líquido a gas absorbe calor.
- La presión y la temperatura están directamente relacionadas, ya que a mayor temperatura mayor presión en el sistema de refrigeración. (Cengel & Boles, 2009)

Las industrias textiles del Sur de los Estados Unidos fueron las primeras en utilizar los sistemas de aire acondicionado. La fábrica de Algodón *Chronicle Mill* en Carolina del Norte, tenía un gran problema debido a la ausencia de humedad lo cual creaba un exceso de electricidad estática generando así que las fibras de algodón se deshilaran y fuera difícil tejerlas, a lo cual se le dio solución con el acondicionamiento del aire (González Báez, 2011).

### 2.2 Historia del Aire Acondicionado

Las expresiones aire acondicionado y acondicionamiento del aire se han popularizado mucho durante los últimos años.

La historia del desarrollo de la industria del acondicionamiento del aire es de mucho interés porque muestra la necesidad de una estrecha colaboración entre el hombre de ciencia, el ingeniero, el productor y el vendedor. La ingeniería fue resolviendo gradualmente el problema del diseño de los equipos de acondicionamiento del aire y, en la década del treinta, comenzó con la producción de éstos. Hacia 1940, la del aire acondicionado era ya una industria establecida sobre bases firmes, científicas y técnicas, pero con un mercado limitado para sus productos. (Harris, 1961)

El termino aire acondicionado, probablemente fue primero empleado para significar el proceso de humidificación del aire en plantas textiles y poder controlar los efectos de la electricidad estática y reducir el rompimiento de fibras. En invierno, cuando el aire se calentaba y se secaba, producía cargas estáticas en los hilos que estaban

en movimiento volviéndolos frágiles y frecuentemente se rompían. La humidificación significa agregar agua al aire, esto le dio un gran ímpetu al desarrollo del aire acondicionado en la historia. (Jennings & Lewis, 1970)

En 1851 fue concedida la primera patente en EEUU para un equipo de refrigeración y aire acondicionado, la obtuvo el doctor John Gorrie, director del hospital naval en Apalachicola, Florida. Fue la primera máquina ampliamente reconocida y aceptada a partir de la cual se hicieron muchas mejoras y diseños nuevos. En ese momento a comienzos del siglo, aparece "ARSE" American Society of Refrigeration Engineers. En 1911 el ingeniero electricista Wills H. Carrier diseño un sistema de aire acondicionado que aunque era ruidoso e ineficiente cumplía con su función; un años después construye el primer sistema de compresor centrifugo. A partir de 1930 éstos equipos comienzan a ser más versátiles y a ser instalados en cualquier parte.

El refrigerante más usado hasta comienzos de la década de los 30 era el amoniaco, el cual trabajaba a presiones altas y era considerado peligroso; posteriormente se desarrollan una serie de refrigerantes hidrocarburos, fluorados y fluoroclorados, contando actualmente con gran cantidad de refrigerantes con distintas nomenclaturas.

Los equipos de aire acondicionado de ventana ocupaban mucho espacio y gastaba mucha agua, fue a raíz de estos problemas que la industria desarrollo el equipo "Split". (Botero Gonima, 1990).

### **2.3 Principios del aire acondicionado en Colombia**

Los primeros equipos fueron traídos a Colombia en la década de los 40 por J. Glottman y eran de marca Typhoon, la compañía los importo como algo novedoso que venía a completar la línea de electrodomésticos, pero tuvo dificultad para venderlos por falta de personal capacitado para su instalación y mantenimiento.

Posteriormente se crearon talleres y empresas fabricantes de estos equipos, como la Nestor Moseres y Cia y Páramo las cuales iniciaron con las grandes instalaciones en Colombia en la década de los 50 principalmente en hoteles. (Botero Gonima, 1990)

### **2.4 Refrigeración**

Refrigeración es la rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener más baja que su alrededor, la temperatura de un espacio dado o de un producto. En cualquier proceso de refrigeración, el cuerpo empleado como absorbente de calor se llama agente de refrigeración o agente refrigerante. (Hernández Goríbar, 1973).

La refrigeración es el proceso de mover el calor de un área donde no es aceptable a otra donde el calor no es objetable. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el calor siempre fluye de un material que tiene una temperatura alta a un material que tiene una temperatura baja. (Harper, 2000)

## **2.5 Necesidad y Confort del acondicionamiento del aire**

La necesidad del acondicionamiento de un ambiente radica, en primer lugar, en el hecho de que todo ser viviente, para ejercer con libertad sus funciones vitales en cualquier condición de reposo o trabajo, necesita que las condiciones del ambiente donde reside sean apropiadas a las exigencias de su organismo. (Escuder, 1994)

La colaboración entre la ingeniería, la producción y la comercialización ha cambiado el concepto general que veía el acondicionamiento del aire como un lujo costoso y experimental por el de que es un complemento seguro, económico y necesario para el mejor vivir. Por tanto, el propietario de su casa ha sido convencido de los beneficios del aire acondicionado para la salud y el confort de su familia; el comerciante, de los beneficios del aire acondicionado para el confort de su clientela y la eficiencia de su personal; y el industrial, de la necesidad del control de la temperatura y la humedad en los procesos industriales. (Harris, 1961)

La comodidad de las personas bajo el punto de vista del aire acondicionado, depende de cuatro factores primordiales, que son:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Pureza del aire

El comportamiento fisiológico del cuerpo humano demanda que la cantidad de calor interno producido por el cuerpo, sea igual a la cantidad de calor externo perdido.

Para establecer “estándares” de los factores mencionados, es indispensable encontrar los valores óptimos para que el cuerpo humano tenga la sensación de comodidad, este confort y estrés térmico se puede observar en el recuadro azul y verde respectivamente en la siguiente figura, para ello se utilizan herramientas como la carta de comodidad de la cual se concluye que una temperatura determinada con cierta humedad y movimiento de aire produce la misma sensación de calor o frío que otra temperatura, con otra humedad y otro movimiento de aire. (Hernández Goríbar, 1973).

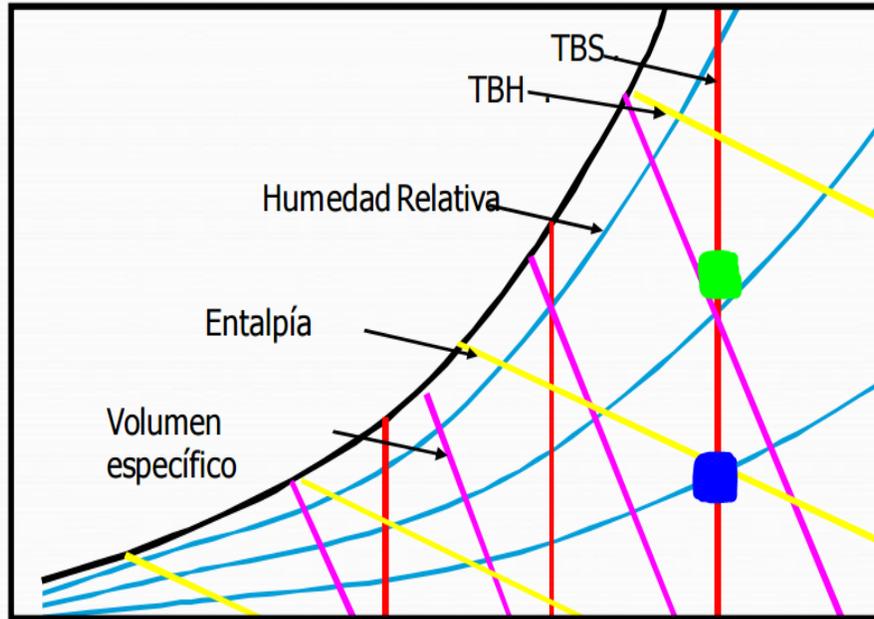


Ilustración 1. Explicación carta psicrométrica, estrés y confort térmico.

La American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ha hecho investigaciones durante años, con millares de individuos de diferentes localidades en un intento de relacionar los factores humedad, temperatura y movimiento del aire. Como resultado ha nacido el concepto de temperatura efectiva, la cual es una medida del confort que involucra los efectos combinados de la temperatura, la humedad relativa y el movimiento del aire. (Harris, 1961)

## 2.6 Parámetros a controlar en el acondicionamiento del aire

La mayoría de personas consideran que el acondicionamiento de aire se refiere a “el enfriamiento del aire”, lo cual es un concepto incompleto debido a que el acondicionamiento del aire también puede ser para calentar el medio.

El acondicionamiento de aire consiste en mantener las condiciones ambientales necesarias de temperatura, humedad relativa, movimiento y limpiar el aire que circula en un lugar para garantizar las condiciones de higiene y el confort requerido por los seres humanos. (e-URE, 2005)

A continuación se muestra como se controla cada una de estas condiciones:

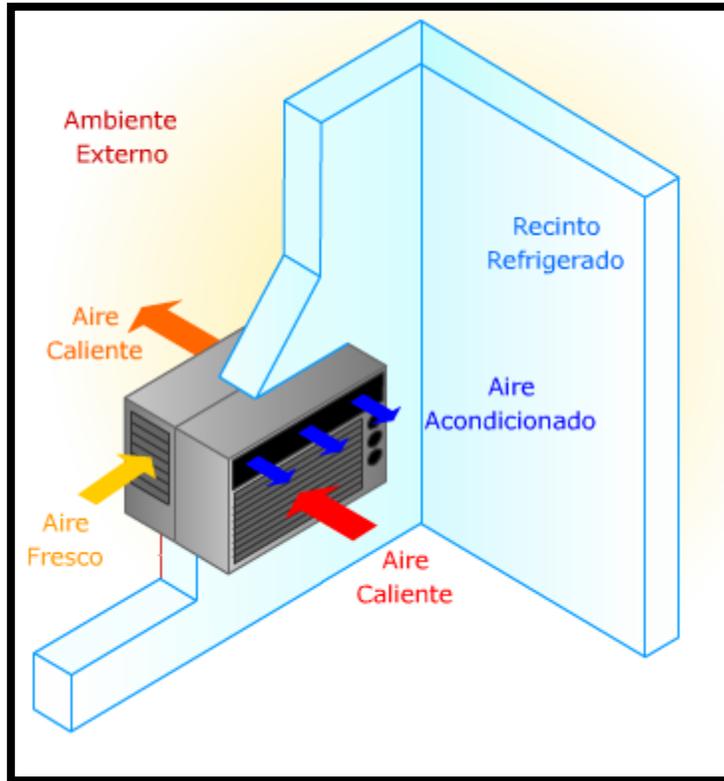
- **Temperatura:** la temperatura del aire se controla calentándolo o enfriándolo, según las condiciones ambientales y el confort deseado por el usuario.
- **Humedad:** la humedad es la cantidad de vapor de agua contenida en la atmosfera. Cuando se habla de vapor de agua se refiere al proceso donde se

parte de agua en estado líquido que es calentada por algún mecanismo y logra llevar a su punto de ebullición convirtiéndose en vapor. (Juan Carlos Fallas Sojo, 2006)

Esta se controla por medio de la humidificación o deshumidificación que son procesos de adición o eliminación de vapor de agua al aire respectivamente.

- **Higienizado del aire:** El aire puede ser limpiado por medio de los siguientes procesos:
  - ✓ **Filtración:** Es un proceso de separación de partículas contaminantes por medio de un elemento llamado filtro. (filtración, 2005)
  - ✓ **Ventilación:** Es el proceso de introducción de aire exterior al espacio interior, con lo cual se diluye la concentración de contaminantes. (Pita E. G., 1997)
- **Movimiento:** El movimiento del aire se refiere a la velocidad del aire y hacia los lugares que se dirige. Se controla por medio del equipo de distribución o circulación que tenga el Mini Split.

En la siguiente ilustración se muestra como es la circulación del aire en un recinto refrigerado.



*Ilustración 2. Circulación del aire en un recinto. Figura tomada de (e-URE, 2005)*

## 2.7 REFRIGERANTES Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Refrigerante es teóricamente cualquier fluido o sustancia que pueda absorber calor a una baja presión y a una baja temperatura, y que lo pueda liberar a una presión mayor y a una temperatura mayor. (Gases Refrigerantes, 2010)

Los refrigerantes tienen la capacidad de cambiar de estados de gas a líquido o viceversa. El refrigerante en fase líquida se encarga de absorber calor a baja presión, con esto cambia de fase a vapor (gas), este calor lo libera cuando está a alta presión y cambia de fase gaseosa a líquida. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

El efecto de refrigeración de un refrigerante se mide por la cantidad de calor que es capaz de absorber desde que entra al evaporador como líquido, hasta que sale como vapor, es decir, es la diferencia entre el calor que contiene el líquido y el calor contenido en el vapor después de pasar por el evaporador. (Hernández Gorívar, 1973)

Un refrigerante se puede emplear de los modos siguientes:

1. En un ciclo de refrigeración por compresión de vapor: se emplea un compresor para incrementar la presión del vapor del refrigerante desde la presión en el evaporador a la presión en el condensador.
2. En un ciclo de absorción: el aumento de presión se produce por el calor que suministra el vapor que circula por la batería de tubos, en donde, la cámara produce el efecto de aspiración y el generador el de compresión.
3. En un ciclo de gas (proceso inverso del ciclo Brayton).
4. En un ciclo transcrito.

Los más habituales son los dos primeros, generalmente el refrigerante absorbe calor por evaporación a temperaturas y presiones bajas. Al condensarse a presión más alta, cede su calor a cualquier medio circundante, normalmente aire o agua. (Alarcon Creus & Boixareu Vilaplana, Refrigerantes, 2009)

Un sistema de refrigeración es un sistema cerrado que controla la presión y la temperatura de un refrigerante, para regular la absorción y rechazo del calor por el refrigerante. Un lado del sistema reduce la presión y temperatura del refrigerante, lo que causa que el refrigerante absorba calor del aire o del agua en el sistema. (Harper, 2000)

En la industria de la refrigeración en sistemas de aire acondicionado, neveras y bombas de calor es donde se utilizan comúnmente los refrigerantes. Estos se clasifican de acuerdo a la interacción que tengan con el objeto primario así:

- **Refrigerantes primarios:** son aquellos que al evaporarse a cierta presión y temperatura absorben calor y la transfieren a la atmósfera. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)
- **Refrigerantes secundarios:** es cualquier fluido enfriado por un refrigerante primario que circula como fluido de transferencia de calor para retirar la carga térmica del sistema. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

En la siguiente Ilustración se muestra la presentación comercial de los refrigerantes utilizados en para el acondicionamiento del aire en sistemas de aire acondicionado tipo mini Split.



*Ilustración 3. Presentación comercial de los refrigerantes. Tomado de (Castro, 2014)*

### **2.7.1 Denominación de los refrigerantes**

La denominación de los refrigerantes debe ser por su fórmula o denominación química como lo establece el artículo 4.1 del reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011)

La nomenclatura de los refrigerantes esta estandarizada por medio del Instituto Nacional Americano de estándares ANSI,ASHRAE (tabla 1) donde se clasifican por medio de una denominación numérica que fue adoptada por ISO 817 que es la Organización Internacional de Normalización.

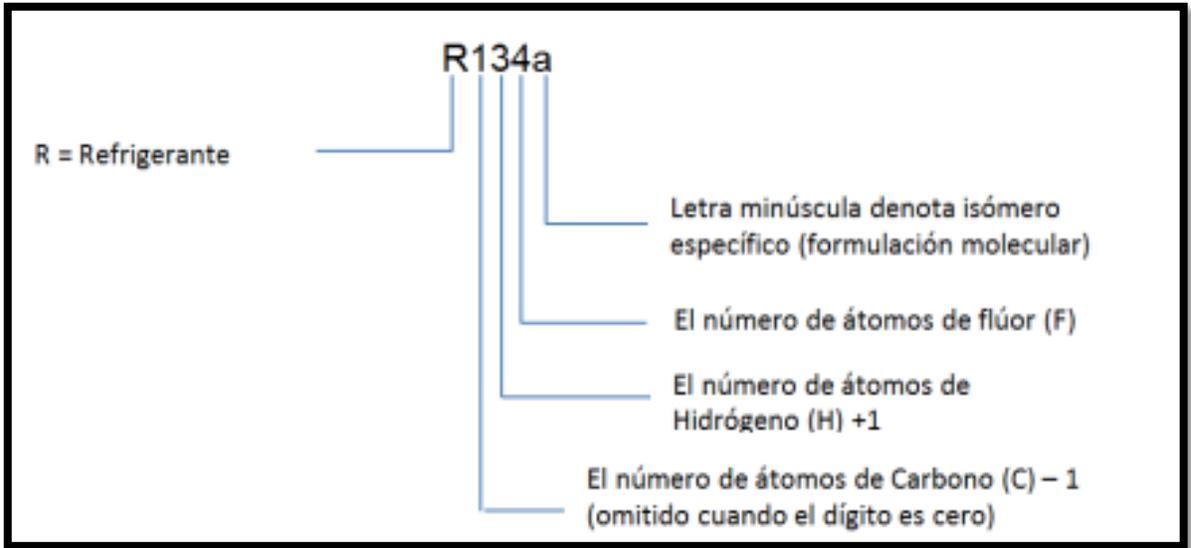
Tabla 1. Clasificación de los refrigerantes según ANSI/ASHRAE 34. Tomado de (Yañez, 2014)

Serie	Nombre	Gas
000	Metanos	R-12
100	Etanos	R-134a
200	Propanos	R-290
400	Zeotropos	R-401A
500	Azeotropos	R-502
600	Orgánicos	R-600a
700	Inorgánicos	R-717

El estándar para la denominación de los refrigerantes comienza por una letra seguida de un número, estos códigos fueron establecidos a partir de su fórmula química de la siguiente manera:

- Las letras minúsculas establecen que es un gas isómero, lo que indica la simetría en el peso atómico. El más simétrico no tiene letra y al disminuir la simetría aparecen las letras a,b,c, etc.
- La letra mayúscula establece que es una mezcla zeotrópica y están dentro de la serie 400. Las letras A, B, C a la derecha del número se utilizan para diferenciar las mezclas con diferente proporción pero con los mismo componentes.
- En ocasiones aparecen mezclas zeotrópicas que están en la serie 50, el número es según la aparición del refrigerante.
- La serie 600 es para los compuestos orgánicos misceláneos.
- La serie 700 es para los compuestos inorgánicos. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Como se estableció anteriormente la codificación de los refrigerantes está regida por la norma internacional ISO 817. Ver ilustración 3 así:



*Ilustración 4. Codificación del refrigerante R134a. Tomado de (Ruiz, 2012)*

Para cualquier otro tipo de refrigerante la codificación se determina así:

- La letra R mayúscula indica que es un refrigerante
- El primer número comenzando por el lado izquierdo representa el número de átomos de carbono menos 1. Cuando es igual a cero no se implementa.
- El segundo número de izquierda a derecha indica el número de átomos de hidrogeno más 1.
- El tercer número de izquierda a derecha determina el número de átomos de flúor del compuesto.
- Cuando se tienen dobles enlaces de carbono, aparece el cuarto número que indica la cantidad de los enlaces que precederán a los demás.
- Cuando aparece una B después de los números significa que hay presencia de Boro en el refrigerante.

### **2.7.2 Clasificación de los refrigerantes de acuerdo a la seguridad**

Los refrigerantes son clasificados por grupos de seguridad por parte de la ANSI/ASHRAE 34 y consiste en una letra que significa la toxicidad del refrigerante y un número que indica la flamabilidad del mismo.

### **2.7.2.1 Clasificación de los refrigerantes según su toxicidad**

Estos se dividen en dos categorías A, B las cuales se basan en el grado de exposición permisible del refrigerante así:

- **Clase A:** son los que poseen un grado de toxicidad no identificado para concentraciones inferiores o iguales a 400 ppm. (Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2006)
- **Clase B:** son los refrigerantes que tienen un grado de toxicidad en concentraciones inferiores a 400 ppm. (Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2006)

### **2.7.2.2 Clasificación de los refrigerantes según su inflamabilidad**

Los refrigerantes se dividen en 3 grupos según su inflamabilidad así:

- **Clase 1:** son los refrigerantes que no generan propagación de la llama cuando son sometidos a pruebas en aire a 100°C y 101,3 kPa. (Ministerio Del Ambiente de Chile, 2011)
- **Clase 2:** son los refrigerantes que tienen generan baja propagación de la llama. Límite inferior de inflamabilidad superior a 0.10 kg/m<sup>3</sup> a 21°C y 101 kPa y un calor de combustión inferior a 19 kJ/kg. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)
- **Clase 3:** son los refrigerantes altamente inflamables, límite de inflamabilidad inferior o igual a 0.10 kg/m<sup>3</sup> a 21°C y 101 kPa y un calor de combustión superior o igual a 19 kJ/kg. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

La siguiente tabla 2 muestra la clasificación de los refrigerantes y como va incrementando la toxicidad a medida que aumenta el grupo de seguridad, también muestra el aumento de la toxicidad en función del grupo de seguridad.

Tabla 2. Inflamabilidad y toxicidad de los refrigerantes según el grupo de seguridad. Tomado de (Ministerio Del Ambiente de Chile, 2011)

		GRUPO DE SEGURIDAD	
INFLAMABILIDAD CRECIENTE ↑	Inflamabilidad superior	A3	B3
	Inflamabilidad inferior	A2	B2
	Ninguna propagación de llamas	A1	B1

Toxicidad inferior	Toxicidad superior
-----------------------	-----------------------

↓  
 TOXICIDAD CRECIENTE  
 →

### 2.7.3 Tipos de refrigerantes

Los refrigerantes a parte de estar clasificados por su seguridad e inflamabilidad también son clasificados por su composición química natural.

#### 2.7.3.1 Halocarbonados

Son compuestos químicos que contienen halógenos como cloro, bromo, flúor y a veces hidrogeno.

Los halocarbonados se dividen en tres grupos importantes así:

- **Clorofluorocarbonos (CFC):** Estos comenzaron a producirse en los años 30 para la refrigeración, posteriormente se utilizaron como propulsores para aerosoles, en la fabricación de espumas, etc.

Estos son grandes contaminadores de la capa de ozono debido a que no existen sumidero en la troposfera y por su poca reactividad son transportados donde se degradan por la acción de los rayos UV liberando los átomos de cloro que son los encargados del deterioro de la capa de ozono.

En la actualidad este tipo de refrigerantes son prohibidos por su alto grado de contaminación. Estos son algunos de los refrigerantes que fueron eliminados: R11, R113, R114, R115, R12, R13, R400, R500, R502, R503. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

- **Hidroclorofluorocarbonos (HCFC):** son compuestos formados por átomos de cloro, flúor, hidrogeno y carbono. Estos también contribuyen al deterioro de la capa de ozono. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ambiente, 2012)

Existen restricciones internacionales y nacionales en relación a los HCFC, debido a los efectos medioambientales que pueden provocar. En muchos países de la UE, está prohibido su empleo como refrigerantes en nuevas instalaciones. Sin embargo, estos refrigerantes se pueden encontrar todavía en un gran número de instalaciones existentes. (grundfos, 2013)

Estos compuestos son buena alternativa en sistemas comerciales de refrigeración y aire acondicionado, siempre y cuando se esté cumpliendo con el control de su fabricación e implementación. Algunos de estos son: R123, R124, R124b, R22. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

- **Hidrofluorocarbonos (HFC):** son el grupo más común de gases fluorados. Los HFC son empleados en varios sectores y equipamientos como sustancias refrigerantes. Principalmente podemos encontrar estos gases en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, bombas de calor, como agentes espumantes, en extintores de incendios, como propelentes en aerosoles y en disolventes. (Ministerio de Agricultura, 2014)

Estos gases no afectan la capa de ozono por lo cual son los sustituyentes de los CFC y los HCFC. Pero estos gases son gases que provocan el efecto invernadero, ocasionando problemas de calentamiento global. Algunos de estos son: R125, R134a, R152a, R161, R227ea, R23, R236ea, R236fa, R245fa, R32. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

- **Mezclas:** son la unión de varias sustancias refrigerantes distribuidas de la misma manera, las mezclas se utilizan para lograr cumplir las funciones del refrigerante y reducir la contaminación ambiental.

En esta familia se tienen dos grupos de mezclas:

- ✓ **Mezclas Zeotrópicas:** Básicamente son mezclas de dos o más líquidos de diferente volatilidad. Cuando se usa como refrigerante, al hervir en el evaporador, se evapora un mayor porcentaje del componente más volátil, y cambia el punto de ebullición del líquido remanente. (Glosario Refrigeración y aire acondicionado, 2012)
- ✓ **Mezclas Azeotrópicas:** Mezcla líquida de dos o más sustancias que se comporta como una sustancia única, en el hecho que el vapor producido por la evaporación parcial del líquido tiene la misma composición que el líquido. La mezcla en ebullición constante muestra

un punto máximo o mínimo de ebullición, comparado con el de otras mezclas de las mismas sustancias. (AGA S.A., 2009)

### **2.7.3.2 Refrigerantes inorgánicos**

Son compuestos químicos que no tienen carbono, excepto el CO<sub>2</sub>. Los refrigerantes inorgánicos más comunes son:

- **Agua, R718:** es una buena opción debido a que no es tóxica ni inflamable. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Para nuestro caso no es la correcta debido a que es un refrigerante que funciona a muy baja presión.

- **Amoniaco, R717:** Es un gas incoloro, corrosivo, irritante, tóxico y de olor fuerte. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Para nuestro caso no es la opción correcta debido a que es un refrigerante que en presencia de humedad destruye los metales no ferrosos como el zinc, el cobre y sus aleaciones.

- **Dióxido de carbono, R744:** Es un gas incoloro e incombustible, es de baja toxicidad, es económico. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Para nuestro caso no es la opción correcta debido a que es un refrigerante que es comúnmente utilizado en sistemas pequeños, a altas presiones se pierde bastante la eficiencia del refrigerante.

### **2.7.3.3 Refrigerantes orgánicos**

Estos refrigerantes son compuestos químicos que contienen carbono, excepto el R744, además de esto son ecológicos y biodegradables. Son Refrigerantes más completos que los inorgánicos. Los refrigerantes orgánicos más comunes son:

- **Hidrocarburos (HC):** Son compuestos formados únicamente de carbono e hidrógeno. (Baeza, 1996)

Para nuestro caso puede ser una opción adecuada siempre y cuando se garantice una alta pureza por parte del fabricante.

- **Etano (R170):** Gas inflamable, incoloro e inodoro. Es más pesado que el aire, puede alcanzar grandes distancias localizando una fuente de ignición, puede

formar mezclas inflamables con el aire. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Para nuestro caso no es una opción adecuada debido a la densidad y a su inflamabilidad y volatilidad.

- **Propano (R290):** Es un compuesto inodoro y no tóxico a presiones y temperaturas normales. Cuando se presuriza es un líquido, con una densidad de energía 270 veces mayor que en su forma gaseosa. (Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010)

Para nuestro caso puede ser una opción adecuada siempre y cuando se garantice una alta pureza por parte del fabricante

- **Isobutano (R600a):** Es un gas incoloro, inflamable con olor levemente dulce, licuado, más pesado que el aire. (Gases Puros, 2010)

Para nuestro caso puede ser una opción adecuada siempre y cuando se tenga una buena ventilación, un control de fugas del refrigerante, se eviten soldaduras con llama.

## 2.8 Características e impacto ambiental del uso de refrigerantes

El problema de la destrucción de la capa de ozono está asociado en gran parte a las malas prácticas del uso de refrigerantes, sus sistemas contenedores (destrucción inadecuada de equipos, fugas en los sistemas, un mal procedimiento durante la instalación y el mantenimiento) y las emisiones que estos generan a la atmosfera. (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, programa de las naciones unidas para el desarrollo, unidad técnica de ozono)

Actualmente el mundo ha venido teniendo una transformación en la industria de la refrigeración y del aire acondicionado. Esta evolución ha contribuido al calentamiento global y a los deterioros significativos en la capa de ozono, por esta razón se buscó sustituir el uso de refrigerantes por otros fluidos que presenten condiciones similares a estos como el amoníaco y los hidrocarburos. Pero esto no ha sido posible debido a que dichos fluido tienen una alta toxicidad e inflamabilidad. (Lopez, 2004)

La solución para reducir la contaminación ambiental, es realizar prácticas adecuadas en cuanto al proceso de instalación, conocer el manual de funcionamiento, realizar inspecciones del comportamiento del sistema para detectar posibles fugas y verificar el estado de los componentes del equipo periódicamente. (Ocampo & Palacio, 2010)

## **2.9 Criterios de selección del refrigerante R410A**

Antes de hacer el proceso de selección del refrigerante se deben conocer el protocolo de Montreal para saber cuáles refrigerantes tienen restricciones en uso y cuáles no. además también se debe conocer las condiciones de trabajo del equipo, para así hacer una selección adecuada y garantizar el buen funcionamiento del equipo.

Para seleccionar un refrigerante no solo se debe mirar su capacidad para remover calor, también se debe tener en cuenta propiedades como la toxicidad, la densidad, la inflamabilidad, la viscosidad. (C., 1987)

Para el correcto funcionamiento del Mini Split didáctico se seleccionó el refrigerante R410A debido a sus implicaciones ambientales, a los rangos de las propiedades físicas como temperaturas y presiones, a las propiedades termodinámicas (ver tabla 3).

### **2.9.1 Características del refrigerante R410A**

El R410a es un gas HFC (Hidrofluorcarburo), una mezcla de dos refrigerantes semiazeotrópica (50% de R32 y 50% de R125) con puntos de ebullición diferente, por lo que debe cargarse en fase líquida. No es inflamable, explosivo ni tóxico, cuenta con la clasificación A1 bajo los estándares de ASHRAE 34. (Totaline, 2009)

Las características técnicas del refrigerante utilizado se muestran en la siguiente tabla:

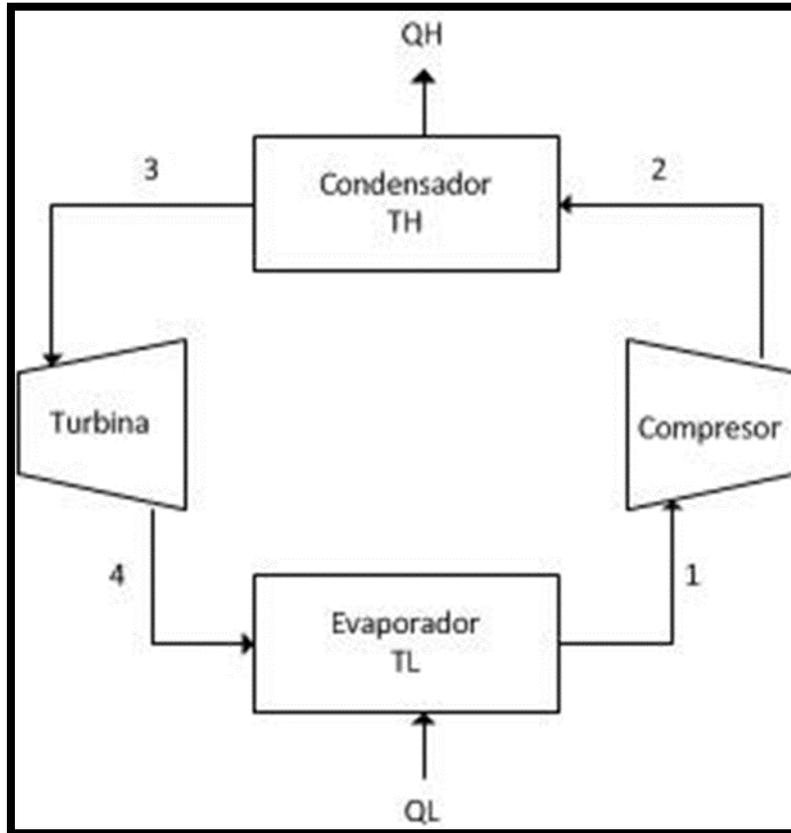
Tabla 3. Datos técnicos del refrigerante R410A. Tomado de (Aires Acondicionados, 2013)

TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-50	1.124	1.121	1339.59	4.54	136.46	406.37	0.8104	2.0201
-45	1.428	1.424	1323.93	5.67	143.01	409.29	0.8393	2.0066
-40	1.793	1.788	1308.01	7.02	149.62	412.14	0.8679	1.9941
-35	2.228	2.222	1291.79	8.62	156.31	414.92	0.8961	1.9823
-30	2.740	2.732	1275.24	10.48	163.07	417.62	0.9240	1.9712
-25	3.340	3.330	1258.34	12.65	169.91	420.23	0.9517	1.9607
-20	4.036	4.023	1241.03	15.15	176.83	422.74	0.9791	1.9508
-15	4.838	4.821	1223.28	18.04	183.83	425.13	1.0062	1.9413
-10	5.757	5.735	1205.04	21.35	190.92	427.40	1.0331	1.9321
-5	6.802	6.774	1186.27	25.13	198.11	429.52	1.0599	1.9233
0	7.984	7.950	1166.89	29.44	205.41	431.50	1.0864	1.9146
5	9.315	9.274	1146.86	34.34	212.81	433.31	1.1129	1.9061
10	10.805	10.756	1126.10	39.91	220.34	434.94	1.1392	1.8977
15	12.467	12.408	1104.53	46.22	228.00	436.38	1.1655	1.8892
20	14.312	14.241	1182.05	53.38	235.80	437.59	1.1918	1.8807
25	16.351	16.269	1158.55	61.50	243.77	438.56	1.2181	1.8720
30	18.598	18.502	1133.91	70.71	251.91	439.27	1.2445	1.8631
35	21.063	20.954	1107.95	81.18	260.26	439.68	1.2710	1.8538
40	23.760	23.636	980.48	93.12	268.84	439.76	1.2977	1.8442
45	26.701	26.563	951.26	106.79	277.69	439.46	1.3248	1.8339
50	29.899	29.745	919.95	122.55	286.87	438.72	1.3524	1.8229

## 2.10 Refrigeración por compresión de vapor

El sistema de refrigeración por compresión de vapor es el más usado debido a la baja complejidad y lo económico de los elementos involucrados. Además por la facilidad de los líquidos para absorber calor en la medida que se evapora, la facilidad de construcción y su costo. (Aiza & Florez, 2008)

La refrigeración por compresión de vapor opera en un ciclo conocido con el nombre de Carnot (ver Ilustración 4), en su forma más simple está compuesto por un compresor, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión. (Martinez & Zambrano, 2011)



*Ilustración 5. Ciclo de refrigeración de Carnot por compresión de vapor (realizado por los autores)*

Hay gran interés en comparar los procesos reales con procesos idealizados que involucran subprocessos reversibles de fácil análisis, para el caso se estudia el ciclo de Carnot.

## **2.11 Variables termodinámicas del proceso**

Las temperaturas a las cuales debe operar el sistema están en función de las presiones, por lo tanto debe tenerse claridad en la relación existente entre la temperatura y la presión que correlacionan la presión del vapor y el punto de ebullición del R410A. (B. Whitman, 2009)

En este capítulo se estudiarán a fondo las variables que intervienen en el comportamiento del sistema.

### **2.11.1 Temperatura**

La temperatura es definida como una indicación de la intensidad o grado de calor de una sustancia u objeto. (R, 2010)

El concepto de temperatura está asociado a la idea cualitativa de caliente o frío, pues un cuerpo caliente tiene una gran temperatura y un cuerpo frío tiene una baja o muy poca temperatura, en física la temperatura es considerada como una medida indirecta de la energía interna ya que un cuerpo caliente tiene una gran energía interna y por el contrario un cuerpo frío tiene muy poca energía interna. (Universidad Nacional Del Callao, 2011)

### 2.11.2 Presión

La presión es definida básicamente como una fuerza ejercida sobre un área determinada, la presión nos da una medida del efecto deformador de una fuerza. A mayor presión mayor efecto deformador. (Austrias, 2011)

Matemáticamente se expresa así:

$$p = \frac{F}{A}$$

Donde F: fuerza [N]  
A: área [m<sup>2</sup>]  
P: presión [N/m<sup>2</sup>]

En fluidos se habla de presión cuando se ejerce una fuerza sobre las paredes de la tubería, la fuerza no se ejerce sobre un punto concreto, si no que se reparte sobre toda la superficie. (Austrias, 2011)

En sistemas de aire acondicionado tipo Mini Split se trabajan dos presiones la línea de alta presión que va desde la descarga del compresor hasta la válvula de expansión y la línea de baja presión que va desde la salida de la válvula de expansión hasta la succión del compresor. En la mayoría de los casos se asume presión constante debido a que la línea o tubería por donde se transporta el refrigerante no tiene cambios de sección lo que hace que no hallan deltas de presiones.

### 2.12 CICLO DE CARNOT

El ciclo de Carnot inverso o ciclo de refrigeración de Carnot, es usado para calcular la máxima eficiencia térmica de un ciclo de refrigeración entre dos temperaturas. (Cengel & Boles, 2009)

El ciclo de Carnot está compuesto por cuatro procesos reversibles (ver Ilustración 4).

**Proceso de compresión adiabática reversible (1 - 2):** Se comprime el fluido de trabajo de manera reversible, aumentando la temperatura y aislando el sistema de compresión para evitar la transferencia de calor desde la zona de temperatura alta a la de baja temperatura. (Cengel & Boles, 2009)

**Proceso de compresión isotérmica reversible (2 - 3):** En éste se da un intercambio de calor entre la zona de alta temperatura y un depósito de calor, generalmente es el ambiente, mientras el fluido disminuye su volumen específico, el intercambio de calor evita el cambio de temperatura por el cambio de presión. (Cengel & Boles, 2009)

**Proceso de expansión adiabática reversible (3 - 4):** El fluido de trabajo que viene a alta presión comienza a expandirse sin intercambio de energía hasta alcanzar una temperatura baja usada en el evaporador para lograr el enfriamiento de los productos. (Cengel & Boles, 2009)

**Proceso de expansión isotérmica reversible (4 - 1):** Aquí se da un proceso de transferencia de calor entre el sumidero y el fluido de trabajo, el cambio en el calor permite conservar la temperatura baja. (Cengel & Boles, 2009)

Para entender más fácilmente los conceptos de refrigeración se debe tener claro el ciclo anteriormente mencionado, para así abordar el ciclo ideal, el cual nos brinda una idea de cómo se logra la adecuación de los ambientes.

### **2.13 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

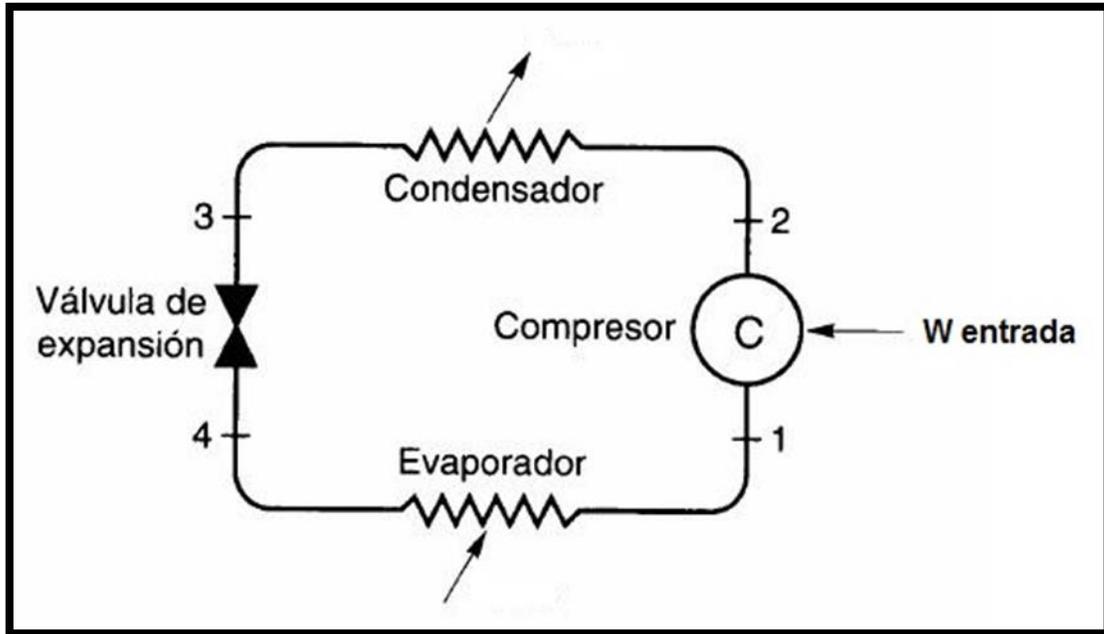
El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor resulta de cambiar la turbina del ciclo invertido de Carnot (ver ilustración 4) Por una válvula de expansión o un tubo capilar, este ciclo está representado por cuatro procesos (Cengel & Boles, 2009) como se ve en la Ilustración 5.

1-2 Compresión isoentrópica.

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.



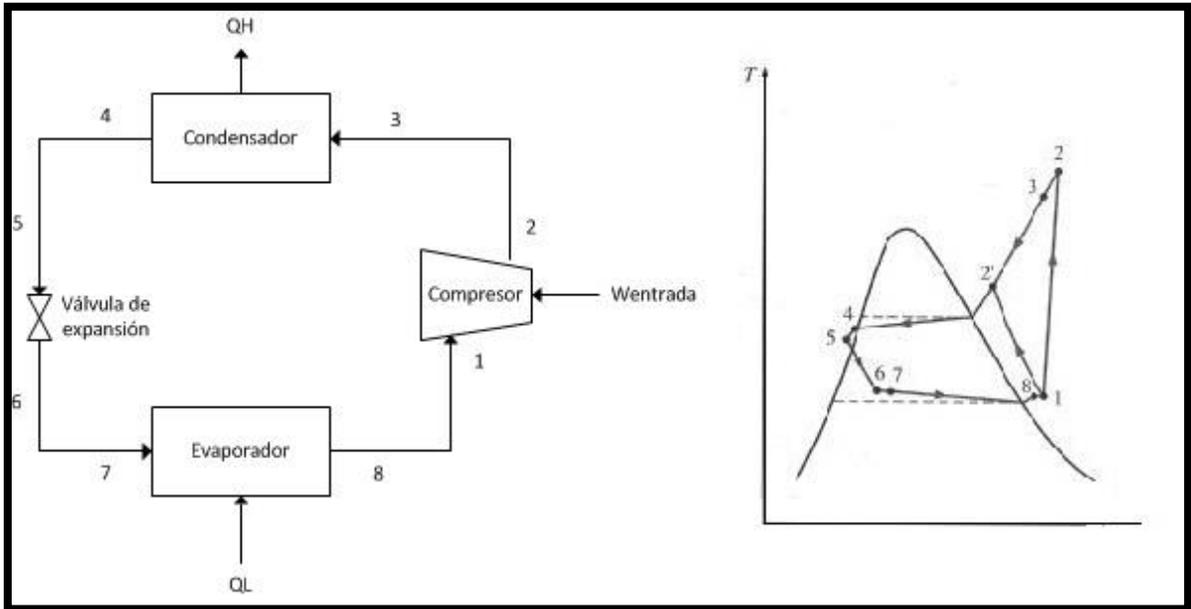
*Ilustración 6. Esquema del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (realizada por los autores)*

Teniendo en cuenta el ciclo ideal, se pasa a observar como verdaderamente operan los instrumentos de refrigeración presentes en el mundo que operan con el “ciclo real de refrigeración por compresión de vapor”.

## **2.14 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR**

La principal diferencia entre el ciclo ideal y el real de refrigeración por compresión de vapor es debido a las irreversibilidades en los componentes como la fricción del fluido y la transferencia de calor por las tuberías que conectan los elementos del ciclo. (Ciclo de refrigeración simplificado, 2013)

Por ejemplo, en las tuberías del sistema a la salida del compresor se genera transferencia de calor al ambiente esto debido a la fricción provocada por la alta compresión del fluido refrigerante esto lo podemos inferir de la ilustración 6.



*Ilustración 7. Esquema y diagrama T-s del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor (Realizado por los autores)*

Los elementos que involucran este ciclo se muestran a continuación.

## 2.15 COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Los elementos del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor son compresor, condensador, dispositivo de expansión y evaporador.

### 2.15.1 Compresor

El compresor tiene como función llevar el gas refrigerante del estado de baja presión al de alta presión usando energía eléctrica externa debido a las pérdidas y la eficiencia del motor, la energía que se transfiere al gas es menor a la entregada al compresor.

Los componentes se escogen teniendo en cuenta las presiones y caudales requeridos para el proceso de refrigeración, es común encontrar compresores herméticos de pistón, aunque en algunos casos, se encuentran otros tipos, como los de tornillo, turbocompresores radiales y tipo "scroll" estos también se pueden clasificar en herméticos y semiherméticos. (Segarra, Rigola, Sòria, & Oliva, 2005)

### **2.15.2 Condensador**

El condensador al igual que el evaporador es un intercambiador de calor, su función principal es expulsar el calor, que se transfiere de las cargas térmicas al evaporador, en un sumidero de calor (generalmente el medio ambiente o agua). Dentro del condensador el refrigerante cambia de un estado de alta presión y alta temperatura a un estado de baja temperatura y alta presión. En ciclos ideales líquido saturado, en condiciones reales es un líquido sub-enfriado.

Hay diferentes condensadores según su forma constructiva:

- Condensador de tubo liso.
- Condensador de tubo con aletas.

También se clasifican por el fluido de trabajo y su régimen en: flujo natural y flujo forzado.

### **2.15.3 Dispositivo de expansión**

Las funciones del dispositivo de expansión son dos principalmente: la primera es reducir la presión hasta que alcance el valor necesario para que el refrigerante evapore a bajas temperaturas y la segunda es controlar el flujo másico del sistema de refrigeración de acuerdo con los criterios para los que esté diseñado. De acuerdo con las cargas y las condiciones de funcionamiento de los sistemas de refrigeración, se encuentran numerosos dispositivos de expansión, los cinco más destacados son:

- Tubo capilar
- Válvula de expansión automática
- Válvula de expansión termostática
- Válvulas de expansión de flotación
- Válvulas de expansión electrónica

### **2.15.4 Evaporador**

Son equipos fabricados con materiales que poseen alta conductividad térmica y áreas superficiales extendidas para mejorar la transferencia de calor. El evaporador es el encargado de contener el refrigerante como líquido a baja presión y baja temperatura, las condiciones de alta temperatura del recinto y las propiedades del refrigerante generan una evaporación del fluido de trabajo a baja presión, este equipo es el encargado de la producción de frío dentro del sistema. (Pita E. G., 1997)

Los evaporadores se clasifican así:

- **Evaporadores de expansión seca o directa**

En estos el refrigerante circula por las tuberías y no se almacena refrigerante líquido en el vapor.

Los evaporadores de expansión seca pueden ser de dos tipos:

- ✓ **Serpentines de enfriamiento de expansión seca:** comúnmente utilizados para el enfriamiento del aire.
- ✓ **Enfriadoras de expansión seca:** comúnmente utilizados para enfriar agua u otros líquidos. (Pita E. G., 1997)

- **Evaporadores inundados**

Su construcción se basa en un depósito cilíndrico donde se mantiene un nivel de refrigerante determinado por una válvula de flotación. Al depósito se conectan los elementos de intercambio de calor, generalmente tubulares, por soldadura. El uso de estos evaporadores decreció hasta el punto de desaparecer, sin embargo, son de gran rendimiento ya que los tubos siempre están en contacto con el refrigerante en fase líquida y se obtiene una plena ebullición de la masa de refrigerante, el vapor llena la parte superior del cilindro.

## **2.16 AIRES ACONDICIONADOS TIPO MINI SPLIT**

Cuando se habla de un mini Split en realidad se está hablando de un sistema mini-dividido tal cual lo expresa su traducción, estableciendo que está compuesto de dos unidades principales evaporador y condensador.

Como se expresó anteriormente la unidad que va al interior del lugar que desea climatizarse es el evaporador y en el exterior se ubica el condensador para eliminar ese calor absorbido por el evaporador. De estos equipos existen diferentes unidades las cuales se explicaran más adelante.

### **2.16.1 Definición aire acondicionado tipo mini Split**

Los sistemas de aire acondicionado tipo mini Split son equipos utilizados para el acondicionamiento de aire principalmente en los hogares, bien sea para un generar un ambiente más caliente o más frío según el confort deseado por el usuario.

La unidad interior (evaporador) más utilizado en los hogares es el Mini Split High Wall (Pared Alta), como su nombre lo indica es a que se instala en la parte alta de una pared. Sin embargo también se pueden instalar evaporadores en el techo de la

habitación o en la pared pero en la parte baja recostado en el piso, estas unidades son conocidas como Mini Split Piso Techo ( o Minisplit Flexiline ). (quecalor, s.f.)

La unidad exterior (condensador) está diseñada para ubicar en exteriores bien sea azoteas o patios, para asegurar una mayor cantidad de aire fresco de entrada debido a que esta expulsa el aire caliente obtenido del lugar a climatizar, también se recomienda ubicarlos en lugares que no absorban tanto calor, es decir, que estén a la sombra debido a que esto refrescara el equipo ayudando a reducir su consumo energético. (quecalor, s.f.)

Estas dos unidades deben estar conectadas entre sí por medio de unas tuberías de cobre para garantizar la circulación y conservación de las propiedades térmicas del refrigerante, en cuanto a la parte eléctrica debe existir un cableado que permita el accionamiento del compresor para generar el encendido del mini Split.

En la siguiente figura se muestra el ensamble básico entre la parte eléctrica, tuberías y evaporador y condensador.

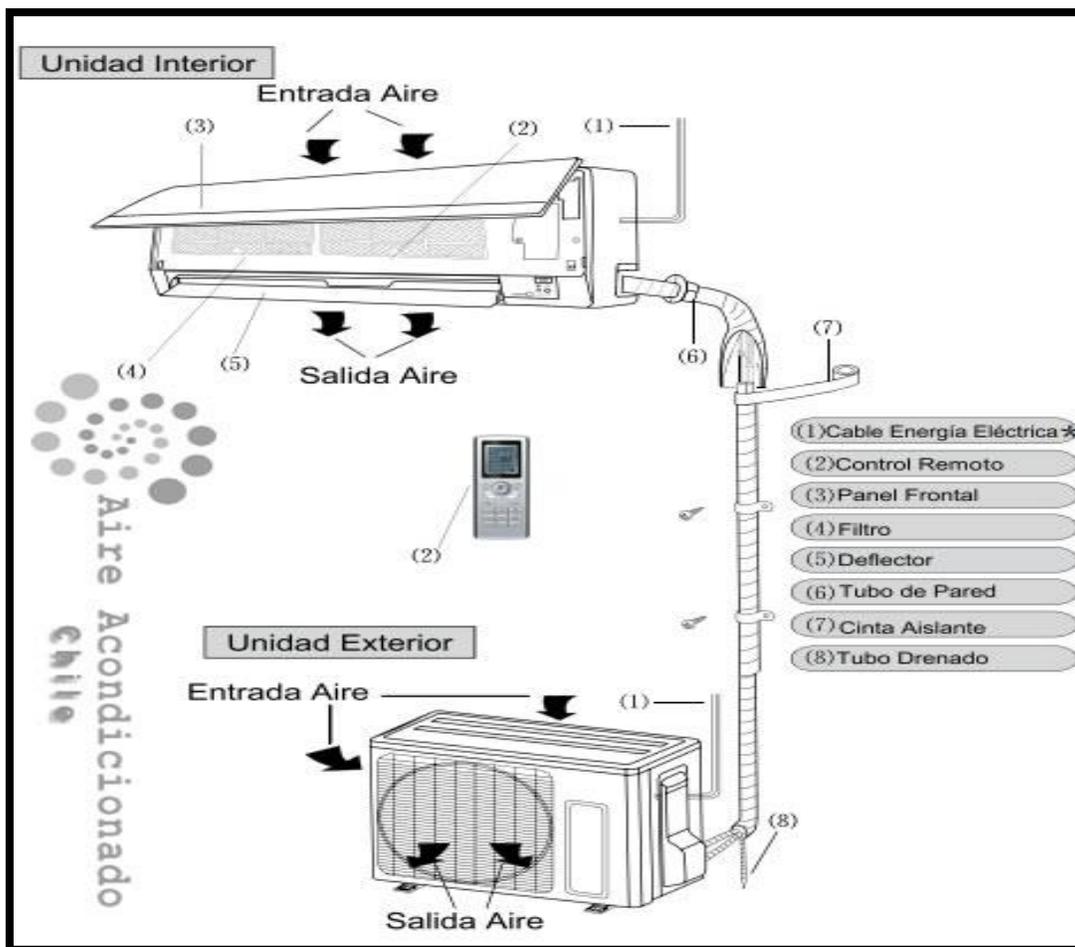


Ilustración 8 Ensamble básico para el funcionamiento del equipo. Tomado de (tecnoastur)

## 2.16.2 Ventajas y desventajas sistema de aire acondicionado tipo mini Split y el sistema de aire acondicionado de ventana

En los mini Split la unidad que contiene el compresor se encuentra en el exterior del edificio y se comunica con la unidad interior (evaporador - condensador) mediante unos tubos facilitando la instalación. En comparación con los de ventana el agujero que se hace en la pared para la instalación es relativamente pequeño. Estos equipos vienen con diferentes capacidades de refrigerar medias con una unidad de medida energética llamada BTU (Calor requerido para producir aumento en la temperatura de 1°F en 1 libra de agua. (frigus bohn S.A. de C.V, 2005)

Son los equipos que más se están instalando en la actualidad ya que presentan muchas ventajas frente a los sistemas de aire acondicionado de ventana y son relativamente económicos (ver Ilustración 7).

- **Ventajas:** Los niveles de ruido son bajos y son estéticos a la vista, sobre todo los de última generación los cuales ya vienen con diseños de última generación y con un mantenimiento mucho más sencillo. Por otro lado la unidad externa le brinda un poco más de eficiencia aislando el evaporador del condensador. (Descripción de los diferentes tipos de Aire Acondicionado, 2012)

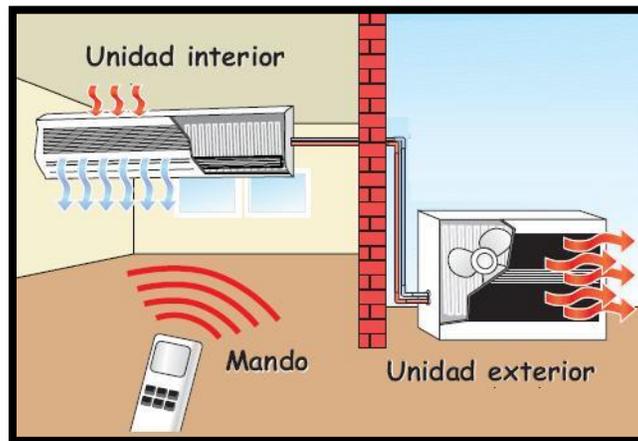


Ilustración 9. Esquema aire acondicionado tipo mini Split figura tomada de (Aire acondicionado tipo mini Split, 2014)

- **Desventajas:** Una desventaja que tiene este tipo de aires acondicionados es su costo ya que podría llegar a más del doble que un aire acondicionado de ventana. Otro aspecto no tan positivo es su costo de instalación ya que es más elevado debido al complicado manejo de los ductos del mismo y la ubicación del condensador en zonas externas y el evaporador es difícil de colocar en determinados sitios, como paredes pre-fabricadas, por ejemplo divisiones en Drywall, todo esto acarreado costos adicionales para la

instalación de la unidad tipo mini Split. (Hoyt, 2012). Por otro lado, es importante tener en cuenta que el condensador normalmente está ubicado en zonas de difícil acceso por lo tanto el mantenimiento, limpieza y desinfección pueden ser un proceso complejo.

### 3 METODOLOGÍA

A continuación se presentan los pasos a seguir para llevar a cabo los objetivos planteados para la realización del trabajo (ver Ilustración 9).

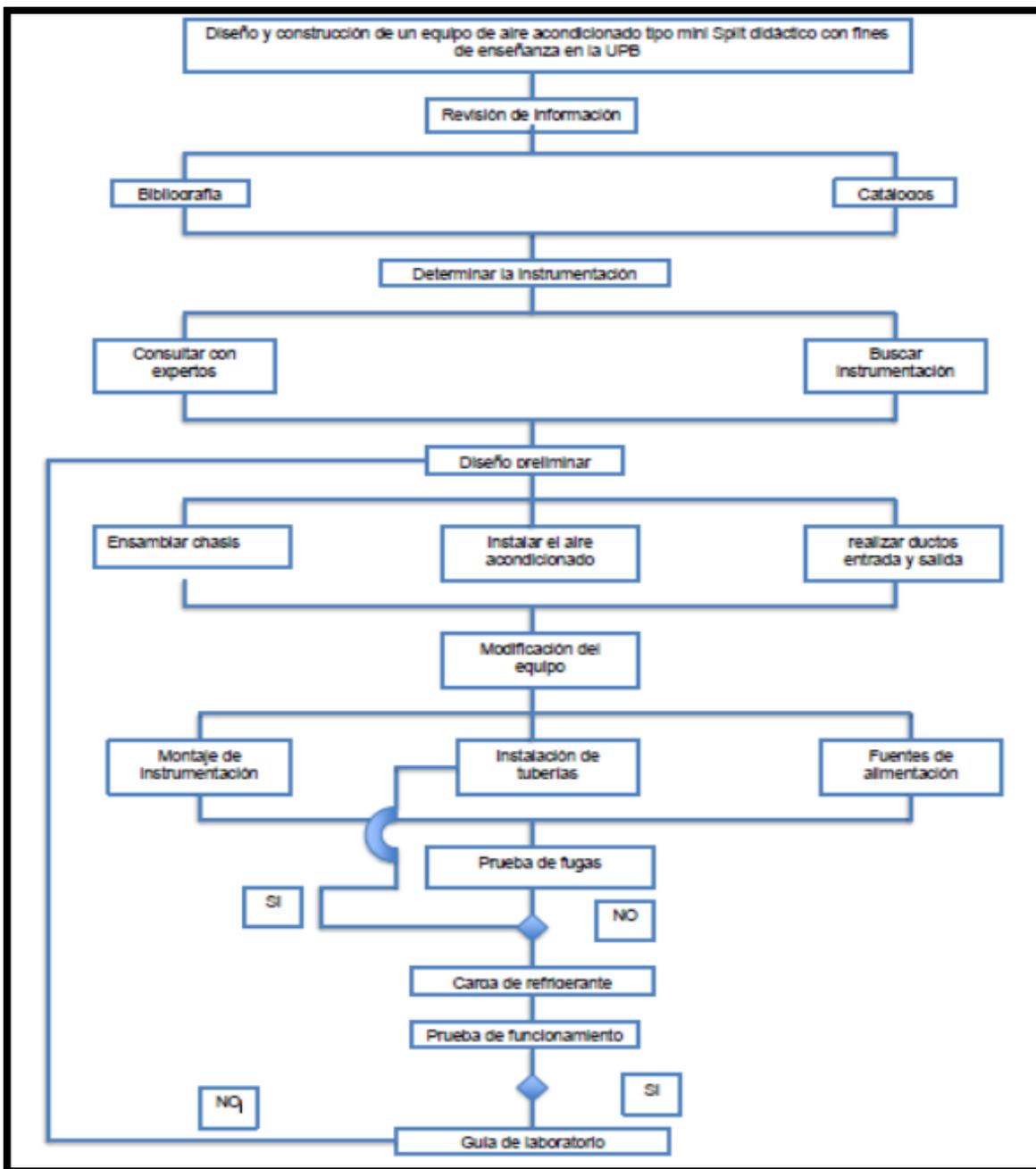


Ilustración 10. Diagrama de flujo metodología. (Realizado por los autores)

Se inicia este trabajo de grado con la investigación en fuentes bibliográficas (libros, bases de datos, revistas) proporcionadas por la Universidad Pontificia Bolivariana y realizando visitas al laboratorio para el reconocimiento del equipo que se pretende ensamblar, esto con el fin de saber cómo operan estos dispositivos y cuáles son sus características, esta actividad se realiza durante todo el desarrollo del trabajo de grado lo cual es aproximadamente año y medio.

Con la información recopilada, se indaga en el (CIRCLI) UPB sobre la instrumentación necesaria para hacer el monitoreo de las variables de interés con el fin de realizar los diagramas de proceso e instrumentación del equipo con ayuda de técnicos y el director del trabajo, este proceso dura aproximadamente dos meses.

Por medio de búsquedas en catálogos y asesores idóneos, contactados por el centro de investigación en aire acondicionado de la UPB en el tema de instrumentación y control, se determinan las partes necesarias para instrumentar (sensores de presión, Temperatura y consumo eléctrico) el equipo de acondicionamiento de aire didáctico, luego, se procede con el ensamble de la unidad y las diferentes adaptaciones sobre el bastidor, a esta etapa del trabajo se le invirtió la mayoría del tiempo él fue de aproximadamente diez meses.

Con la instrumentación instalada en el equipo, se procede con la realización de pruebas empleando el software de full gauge y la puesta a punto del equipo para garantizar el correcto funcionamiento, este paso tuvo un tiempo estimado de tres meses.

Por último, con el fin de realizar las prácticas de laboratorio para el equipo de aire acondicionado didáctico, se plantean el alcance, los modelos de cálculo, el marco teórico y los objetivos para una práctica, el desarrollo de esta actividad fue de aproximadamente 3 meses.

A continuación se describen brevemente cada uno de los pasos implementados en la metodología:

1. Revisión bibliográfica: En esta etapa se recopila mucha información de diferentes fuentes, por lo cual se convierte en una de las etapas con mayor influencia en el desarrollo del trabajo. Es necesario crear un filtro para canalizar únicamente la información de nuestro interés.
2. Determinación de la instrumentación: Para la selección de la instrumentación adecuada es necesario haber culminado la primera etapa de la metodología, para así tener mejor claridad en temas técnicos del funcionamiento del equipo y obtener los rangos a los cuales opera el mismo para seleccionar la instrumentación compatible.

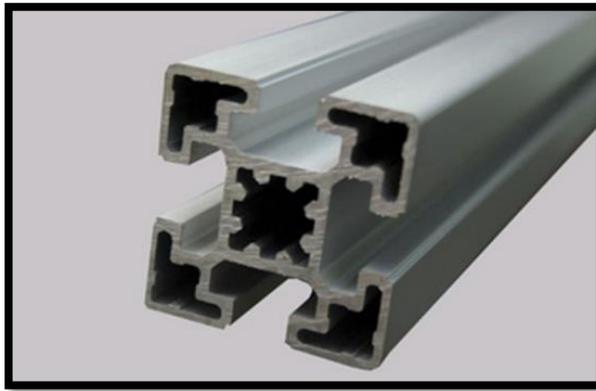
3. Diseño preliminar: El inicio de esta etapa parte del conocimiento de las dimensiones de los subsistemas del equipo de acondicionamiento de aire (condensador y evaporador) y en función de estos se fabrican los soportes y el chasis.
4. Modificación del equipo: En esta etapa se instala la tubería por la cual transita el refrigerante R410A, permitiendo así la conexión del sistema, luego de esto se instalan los sensores transductores de presión y temperatura realizando unas modificaciones en los tubos capilares de entrada y salida de cada elemento (compresor, válvula de expansión, condensador y evaporador). Además de esto se instala un medidor de consumo eléctrico para monitorear el comportamiento del equipo.
5. Prueba de fugas: Teniendo todo el sistema en conexión se hace pasar un gas por toda la tubería con el fin de detectar si existen posibles fugas. De no serlo así se carga el sistema con el refrigerante, pero en caso de haber fugas es necesario revisar las conexiones entre cada elemento.
6. Prueba de funcionamiento: Estando el sistema cargado se inicia con la primera prueba de funcionamiento que dura alrededor de 3 horas, se observa el comportamiento del sistema en conjunto y se monitorea el consumo energético para evitar consumos elevados que puedan generar sobrecargas en el sistema.
7. Guía de laboratorio: Por último se elabora la guía de laboratorio teniendo en cuenta cada uno de los pasos implementados en la elaboración de este trabajo. Con esta se busca generar un aprendizaje de las buenas prácticas de refrigeración.

## 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En el presente capitulo se muestra el desarrollo del diseño y la construcción del aire acondicionado tipo mini Split como herramienta didáctica para el CIRCLI de la Universidad Pontificia Bolivariana.

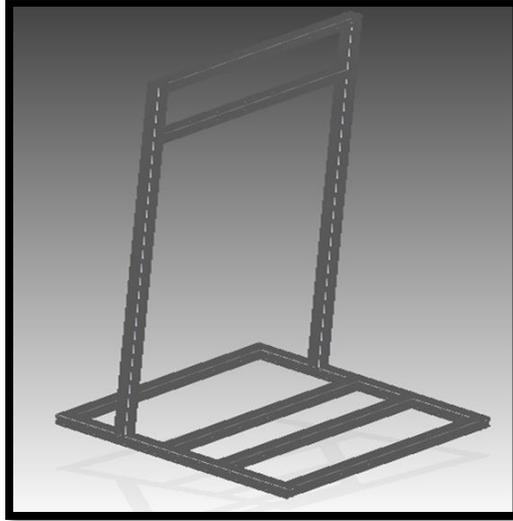
### 4.1 ELABORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS

Para la elaboración del chasis se parte de las medidas del evaporador y del condensador 170mm\*180mm\*240mm y 600mm\*232mm\*500mm respectivamente, luego se diseña una base cuadrada de 800mm y dos columnas de 1400mm estas medidas tienen en cuenta una estatura promedio de 1.6 m. Para ello se utilizan perfiles de aluminio de 45\*45 mm (ver ilustración 10) y se montan sobre 4 rodachinas que permiten el desplazamiento del equipo.



*Ilustración 11. Perfil de la estructura del chasis (Tomada por los autores)*

Las vigas superiores del chasis son de 800mm para el posicionamiento del evaporador y las 4 inferiores para estabilidad y montaje del condensador. (Ver ilustración 11)



*Ilustración 12. Chasis de soporte para el Mini Split (Tomado por los autores)*

#### **4.2 MONTAJE DEL MINI SPLIT**

El proceso de ensamble del Mini Split en el chasis se hace por medio de un sistema de conexión por roscada de  $5/16 * 1 \frac{1}{4}$ , se ubican 4 platinas de aluminio, 2 en el evaporador y 2 en el condensador para restringir el movimiento axial, luego estas se aseguran al chasis con la misma conexión.

Así, se da forma a toda la estructura del sistema para empezar con el proceso de instalación (ver ilustración 12)



*Ilustración 13. Montaje del Mini Split en el chasis (Tomado por los autores)*

### **4.3 PROCESO DE INSTALACIÓN DEL MINI SPLIT**

Para comenzar con el proceso de instalación se debe rectificar algunos parámetros que son importantes para garantizar la seguridad en la instalación y el funcionamiento del equipo.

Primeramente se debe hacer una inspección visual del estado de los subsistemas del mini Split (evaporador, condensador, compresor, ventilador, carcasas de los equipos, entre otros) con el fin de detectar existencia de daños que puedan generar despresurización del sistema y fugas de refrigerante innecesarias que contaminen el medio ambiente.

Verificar la flexibilidad de los ductos de salida del condensado, de la tubería encargada del transporte del refrigerante, de la parte eléctrica (para reducir vibraciones).

Las características del equipo, las partes y accesorios que vienen de fábrica son:

**Equipo: Mini Split** Lennox LXG AHTC012100P4

Refrigerante: R410a

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Capacidad de enfriamiento	12000	BTU/h
Tensión	208-230	Voltios
Frecuencia	60	Hz
Fases	1	Unidad
Consumo	1280	Vatios
Corriente	5,8	Amperios
Presión de alta	465	Psig
Presión de baja	252	Psig

**Compresor rotatorio: GMCC** MI fixe PA118MI.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Volumen desplazamiento	11,8	$cm^3/rev$
Velocidad de operación	3600	RPM
Corriente	5,64	Amperios
Voltaje	210-230	Voltios

Condensador.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Pasos	24	Unidad
Aletas	520	Unidad
Corriente ventilador	0,45	Amperios
Voltaje	12	Voltios
Dimensiones	65x45x2	Centímetros

Evaporador.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Pasos	12	Unidad
Aletas	400	Unidad
Corriente	0,26	Amperímetros
Voltaje	12	Voltios
Dimensiones	40x20x2	Centímetros

### 4.3.1 Proceso de recuperación del refrigerante

El sistema de aire acondicionado tipo Mini Split viene con una precarga de refrigerante, la cual debe ser liberada del sistema, es decir, se debe hacer una despresurización en el sistema para dejar el sistema sin carga.

La recuperación es remover el refrigerante de un sistema en cualquier condición que se encuentre, y almacenarlo en un recipiente externo, sin que sea necesario hacerle pruebas o procesarlo de cualquier manera. (mundo HVACR, 2013)

Es importante hacer el proceso de recuperación del refrigerante debido a que este no puede ser liberado a la atmosfera ya que ocasionaría daños a la capa de ozono. Este trabajo de grado se centra en el uso de las buenas prácticas de refrigeración, a continuación se explica por una serie de pasos el proceso de recuperación del refrigerante.

1. Se identifica la línea de succión y descarga del sistema, es decir, las líneas de alta y baja presión del sistema. (ilustración 13)



*Ilustración 14. Líneas de succión y descarga del compresor. (Tomado por los autores)*

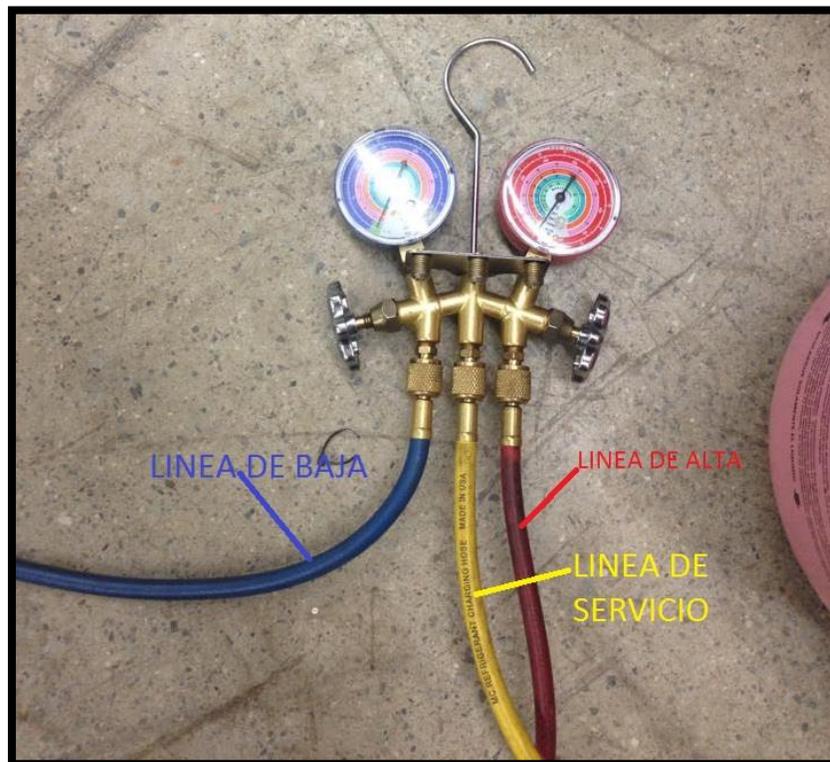
2. Se conectan el árbol de manómetros (medidores de presión) al sistema y al cilindro o trampa de almacenamiento del refrigerante.

Para realizar este paso se deben cerrar las válvulas del árbol de manómetros y la del cilindro o trampa.

La manguera azul debe ir conectada a la succión (entrada del compresor) y al manómetro azul del árbol de manómetros.

La manguera amarilla debe ir conectada a la línea de servicio del árbol de manómetros (en la mitad del árbol) y el otro extremo a la válvula del de entrada del cilindro de recuperación o trampa.

En la siguiente ilustración se muestra el árbol de manómetros y su denominación por colores. Línea de baja (azul), línea de alta (roja), y línea de servicio (amarilla).

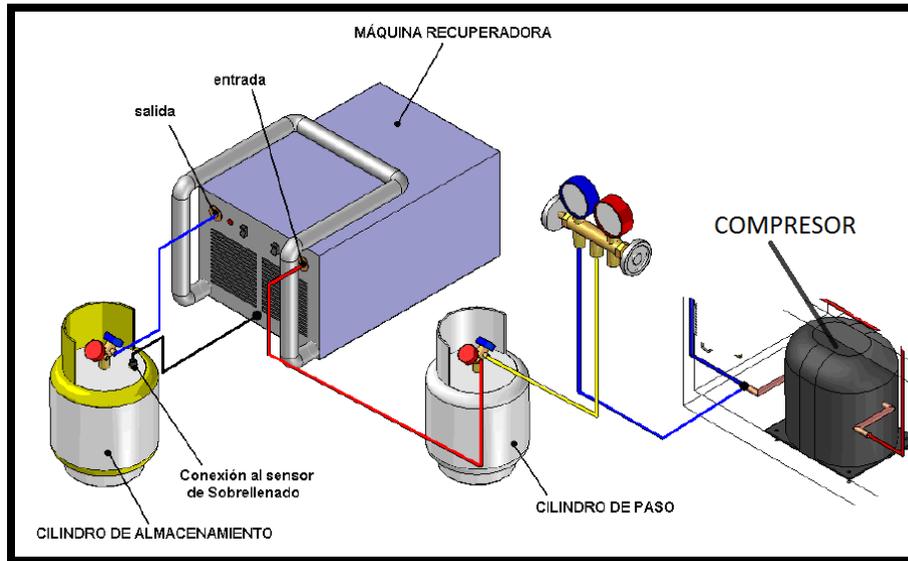


*Ilustración 15. Identificación de líneas en el árbol de manómetros. (Tomado por los autores)*

3. Se conecta la maquina recuperadora y el cilindro de almacenamiento del refrigerante.

Para esto las válvulas de admisión y escape del cilindro deben estar completamente cerradas, luego de esto se conecta por medio de una manguera la válvula de vapor del cilindro a la maquina recuperadora y la salida de la maquina recuperadora es conectada a la válvula de almacenamiento del refrigerante por medio de otra manguera.

Finalmente se conecta el sensor de sobrellenado de la maquina recuperadora al cilindro de almacenamiento para tener un control de llenado. (Ver ilustración 15)



*Ilustración 16. Conexión para la recuperación por vapor en un sistema de aire acondicionado tipo mini Split. Tomado de (Rodríguez, 2013)*

4. Luego de tener todo el sistema de recuperación conectado se abren las válvulas y se enciende la maquina recuperadora.

Las válvulas deben ser abiertas en orden, para garantizar la seguridad el proceso. Empezando desde el manómetro de baja presión del árbol, luego se pasa por las válvulas del cilindro o trampa, después por las de la maquina recuperadora y finalmente por las del cilindro de almacenamiento.

5. Conectar la máquina de recuperación a la fuente de energía y encenderla.

Para esto se debe abrir la perilla de entrada, girar la perilla de recuperación, oprimir el botón de encendido, pulsar el botón de arranque y finalmente abrir la perilla de salida. A si se garantiza la extracción total del refrigerante.

6. Desmontaje de los equipos.

Para iniciar este proceso se deben purgar (extraer residuos de refrigerante) las mangueras oprimiendo la perilla de recuperación y la perilla de entrada. Finalmente se retira la manguera que está conectada a la salida de la

máquina de recuperación. (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

#### 4.3.2 Chequeo fugas

El chequeo de fugas es un aspecto importante en cuanto a una buena práctica en el proceso de instalación ya que detectando fugas en el sistema se evita la contaminación del medio ambiente, el desecho innecesario del refrigerante, además de esto un equipo que presente fugas es un equipo que no está realizando su ciclo adecuadamente, lo que incrementa el consumo energético, mayores ciclos de trabajo para sus componentes, generando desgaste continuo y promoviendo el cambio de piezas en periodos cortos.

Este proceso se debe hacer antes y después de una intervención en el equipo, es decir, luego de recuperar el refrigerante se hace un chequeo de fugas para garantizar que el sistema está completamente despresurizado sin presencia alguna del refrigerante. De esta forma se busca la seguridad conservar el equipo en buenas condiciones para proceder con tranquilidad y seguridad en el proceso de soldadura.

Para el chequeo de fugas inicialmente se realiza con nitrógeno cargando el sistema y descargándolo posteriormente se quita la carcasa del condensador para tener mayor acceso al compresor y a la tubería que conduce el refrigerante con el equipo cargado de R410a (ver ilustración 16).



*Ilustración 17. Identificación de los elementos que componen el condensador.  
(Tomado por los autores)*

Después de tener identificados los elementos se utiliza el chequeador de fugas Formex LMS 3000 DB. (Ver ilustración 17)



*Ilustración 18. Chequeador de fugas CPS LMS 3000 DB. (Tomado por los autores)*

Es un equipo de alta tecnología, que detecta todos los gases con base CFC o HCF. Gracias a su sensibilidad este detector puede detectar todas las fugas de los sistemas refrigerantes aún en ambientes contaminados por otros gases. Este detector de fugas señala de forma óptica y acústica cuando detecta la presencia de una fuga, dándole la facilidad de medir en lugares de difícil acceso por medio del cuello de ganso. (Ver ilustración 18)

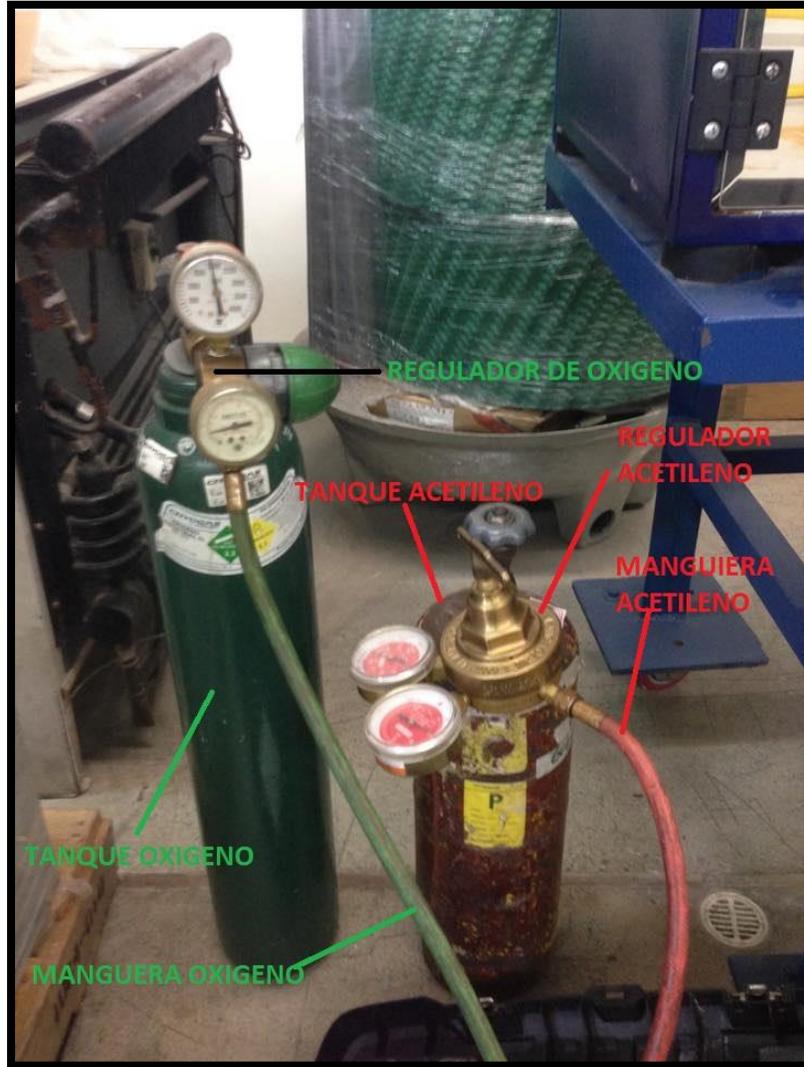


*Ilustración 19. Chequeo de fugas. (Tomado por los autores)*

### **4.3.3 Soldadura**

En este trabajo se realiza un proceso de soldadura oxiacetilénica, es un tipo de soldadura que utiliza el oxígeno como comburente y el acetileno como combustible, la unión de estos dos elementos genera una llama delgada la cual es adecuada para la instalación de los transductores de alta y de baja presión.

Para evitar accidentes y realizar una soldadura de buena calidad es importante conocer los elementos de componen el sistema de soldadura oxiacetilénica (ver ilustración 19).



*Ilustración 20. Equipo de soldadura oxiacetilénica. (Tomado por los autores)*

Regulador de oxígeno: permite regular el paso del oxígeno por medio de la presión para tener un buen control sobre la combustión y el control de la llama.

Regulador de acetileno: permite regular el paso del acetileno por medio de la presión para tener un buen control sobre la combustión y el control de la llama.

Es de rosca izquierda de tipo macho para prevenir accidentes en conexiones erróneas.

Tanque de oxígeno: es el recipiente que permite el almacenamiento del comburente.

Tanque de acetileno: es el recipiente que permite el almacenamiento del combustible.

Mangueras: son las encargadas de transportar cada uno de los gases al soplete.

Soplete con mezclador: es el elemento encargado de generar la mezcla de los gases por medio de unas válvulas, una para el oxígeno y otra para el acetileno. La mezcla puede ser de alta presión donde se mezclan en la misma presión y de baja presión donde el comburente (oxígeno) tiene una presión mayor que el combustible (acetileno).

Boquilla: es la encargada de la salida de la mezcla de gases.

Encendedor: es necesario un encendedor para activar la formación de la llama inicial (Ver Ilustración 20), se debe ejercer una presión sobre el encendedor como intentando cerrarlo para generar la chispa inicial.



*Ilustración 21. Encendedor para soldadura oxiacetilénica. Tomado de (jolmar).*

Estos equipos deben ser manipulados por personal capacitado para evitar accidentes. A continuación se da una breve explicación del manejo de estos equipos.

1. Cerrar el regulador de acetileno girando la perilla, luego abrir la válvula del tanque de acetileno girando la perilla una vez. Por seguridad es importante mantener la presión del acetileno por debajo de 15psi debido a que a mayores presiones se vuelve un gas inestable y puede ocasionar una explosión.
  - ✓ Abrir la válvula del regulador de acetileno girando la perilla a la derecha procurando hacerlo despacio para evitar aumento de la presión.
  - ✓ Abrir la válvula del acetileno en el soplete para ventilar los gases y observe el manómetro de baja presión para garantizar que la presión se mantenga estable durante el flujo de gas.
  - ✓ Cerrar la válvula de acetileno en el soplete.

2. Ajustar la presión con el regulador de oxígeno, para esto cierre la válvula de regulador con unas vueltas hasta regularlo al punto deseado.
  - ✓ Dejar escapar el oxígeno abriendo la válvula del tanque de oxígeno por completo.
  - ✓ Abrir lentamente la válvula del regulador hasta que el manómetro de baja presión marque 25 y 40psi.
  - ✓ Liberar el oxígeno a la atmosfera abriendo la válvula de oxígeno en el soplete, se debe tener en cuenta que existen dos válvulas de oxígeno en el soplete. La más cercana a la manguera controla el flujo de oxígeno en el mezclador para calentar el soplete y generar la llama, la otra válvula controla el paso del oxígeno. Solamente debe salir oxígeno cuando es activado por el soplete o se abra la válvula que lo controla. Primero se debe abrir la primera válvula para saber si hay oxígeno y luego se abre la segunda válvula alrededor de 3 segundos para purgar (eliminar aire del sistema) la manguera.
  - ✓ Cerrar la válvula frontal.
3. Encender el soplete abriendo la válvula del acetileno y mantener el encendedor al frente de soplete accionado para genera la chispa inicial e iniciar el proceso de soldadura.
4. Ajustar la válvula del acetileno y abrir la válvula frontal para permitir el paso del oxígeno y así generar una llama adecuada donde el interior parezca un cono y sea una llama estable. (Oscaravila2, 2012)

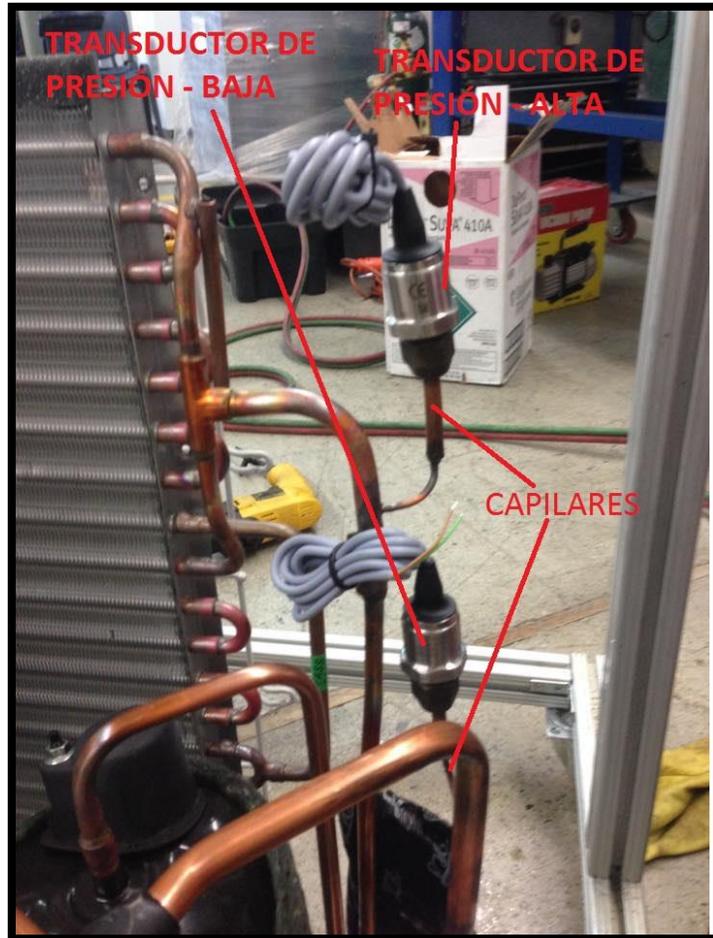
Después de hacer un riguroso chequeo de fugas y estar seguros de que no existe presencia de refrigerante en la tubería se procede al utilizar la soldadura por oxiacetilénica. Cabe resaltar que para el uso de este equipo es necesario utilizar implementos de seguridad como guantes, lentes de seguridad, carnaza entre otros.

Ya teniendo la tubería identificada se hace un corte en la tubería de alta presión y de baja presión para ubicar cada uno de los transductores necesarios para el monitoreo y control del sistema. No se puede dejar la llama mucho tiempo en la tubería ya se fundiría, además de esto se debe tener una llama fina para hacer el corte adecuado, debido a que una llama gruesa traspasa la tubería ocasionando un daño y posteriormente la instalación de un empate de tubería que no es lo más adecuado.(ver ilustración 21)



*Ilustración 22. Proceso de instalación de los transductores de presión.  
(Tomado por los autores)*

Después de hacer el corte se instalan tubos capilares a cada uno de los transductores para ponerlos en el agujero realizado y soldarlos de nuevo. Este proceso debe realizarse cuando la tubería este a temperatura ambiente para evitar incinerarse. (Ver ilustración 22)



*Ilustración 23. Instalación de capilares y transductores de presión alta y baja. (Tomado por los autores)*

Después de instalar los capilares y los transductores en la tubería se hace un nuevo chequeo de fugas para asegurar que no se esté despresurizando el sistema y que no hallan perdidas de refrigerante a la atmosfera.

#### **4.3.4 Vacío**

La prueba de vacío es un proceso que debe ser realizado con mucho cuidado y responsabilidad, debido a que una mala práctica de este proceso puede ocasionar reducción de la vida útil del equipo. Este proceso se hace después de haber rectificado que en el sistema no se presentan fugas, la evacuación del gas o vacío se hace por medio de una bomba de vacío que es conectada a las tuberías del sistema.

Para la selección de la bomba de vacío se debe tener conocimiento de la capacidad del sistema, para poder elegir la bomba de vacío adecuada debemos considerar

que por cada pie cúbico por minuto o por cada 28,56 litros por minuto que dispone la bomba de vacío (capacidad), podemos emplearla para evacuar o deshidratar equipos con capacidad hasta 6 TR (18.000 Kcal/h o 72000 BTU/h). (El aire acondicionado, 2014)

Al iniciar el proceso se debe rectificar la presión del sistema, si esta es superior a la presión atmosférica nunca se debe hacer funcionar la bomba. En las bombas cuando más se reduce la presión, la humedad que puede estar presente en el sistema puede llegar al punto de ebullición. Por esto se trabaja a presión muy baja lo cual es correcto porque los componentes del equipo están sometidos a temperatura ambiente, las micro gotas de agua que pueden estar en el circuito se transforman en vapor el cual es extraído por la bomba y expulsado al exterior. (El aire acondicionado, 2014). (Ver ilustración 23)

La bomba de vacío es conectada directamente al equipo por medio del árbol de manómetros y la línea de servicio, las conexiones deben ser rectificadas con el fin de no generar fugas entre las uniones, la distancia entre la bomba y todo el sistema debe ser lo más corta posible para evitar pérdidas. Además de esto de deben abrir todas las válvulas para estar seguros de que no existen restricciones en el flujo y la evacuación.



*Ilustración 24. Bomba de vacío. (Tomado por los autores)*

En general estas bombas tienen una válvula manual o una solenoide para asegurar la interrupción del vacío antes de proceder a detenerla para no perder el vacío

logrado hasta ese momento, evitando también que el aceite que tiene la bomba pueda ingresar al equipo por la baja presión en que esta se encuentra.

Este proceso se hace aproximadamente durante una hora y media para garantizar que el sistema esté completamente vacío y sin partículas de refrigerante ni agua en el mismo.

Al finalizar el proceso se deben cerrar las válvulas antes de apagar la bomba de vacío y observar el comportamiento del manómetro de la línea de servicio. Cuando el manómetro disminuye hasta mantenerse invariante en el tiempo fue porque se obtuvo un resultado de vacío satisfactorio, este fenómeno es generado porque el sistema busca un equilibrio interno.

Puede existir el caso en que no se logre un vacío exitoso por ejemplo cuando el manómetro muestra un crecimiento acelerado, lo que indica que existe una pérdida de presión que debe ser localizada. También puede ocurrir que el manómetro se detenga en un valor de vacío no deseado y va incrementando mínimamente, esto indica que aún existen micro gotas en el sistema que al evaporarse aumentan la presión interna del sistema, por lo cual es importante continuar haciendo vacío hasta eliminar estas gotas. (El aire acondicionado, 2014)

#### **4.3.5 Carga de refrigerante**

El proceso de carga de refrigerante debe hacerse inmediatamente después de haber generado el vacío y cerciorarse que el equipo este apagado para evitar daños del sistema, además de este deben tenerse muy claro las propiedades del refrigerante para saber si debe ser cargado en estado líquido o gaseoso.

Se conecta la manguera de baja (azul) del árbol de manómetros a la línea de servicio del condensador (ver ilustración 24) y la manguera de servicio (amarilla) a la pipeta del refrigerante, luego se abre la válvula de alta del juego de manómetros y un poco la válvula de la pipeta del refrigerante (abastecer en estado líquido) e inmediatamente se debe cerrar la válvula de alta del árbol de manómetros para hacer una purga en la manguera de servicio.



*Ilustración 25. Conexión de manguera de baja a línea de servicio del condensador (Tomado por los autores)*

Después se cierra la válvula de la pipeta del refrigerante y se abre la válvula de baja del árbol de manómetros, para inyectar el refrigerante se abre la válvula se abre la válvula de la pipeta del refrigerante y se inyecta la cantidad establecida por el fabricante (en estado líquido (ver ilustración 25)) 500 g, después de inyectar el refrigerante se cierra la válvula de la pipeta y la de baja del árbol de manómetros. Se puede desconectar la manguera de baja (azul).



*Ilustración 26. Abastecimiento del refrigerante R410A en estado líquido  
(Tomado por los autores)*

Finalmente se enciende el equipo y se rectifican presiones, temperaturas y amperajes del equipo con el fin de observar el comportamiento y el estado de estas variables con respecto a las que el fabricante propone. (Martinez I. A., 2014)

#### **4.3.6 Prueba de funcionamiento**

Luego de asegurarse que el equipo está instalado correctamente, que no existe la presencia de fugas, que el refrigerante está en el nivel adecuado para su funcionamiento y que sus componentes están en perfectas condiciones, se hace una prueba básica de funcionamiento que consiste en conectar el equipo a una fuente de energía y observar durante 30 minutos el comportamiento que tiene el condensador, el evaporador y el tipo de condensado entregado por el equipo y la calidad del aire refrigerado que está entregando el sistema.

Por otro lado se pone un amperímetro en las líneas de alimentación ( ver ilustración 26) para observar la cantidad de corriente que esta demandado el sistema, según lo establece el catálogo la corriente necesaria para el que el equipo funcione correctamente es de 5 amperios , no debe excederse debido a que el sistema estaría trabajando en sobrecarga y podría llegar a quemarse y tampoco puede ser muy baja ya que no estaría ingresando la corriente necesaria para que los componentes del sistema hagan su labor correctamente.



*Ilustración 27. Monitoreo de la corriente consumida por el Mini Split (Tomado por los autores)*

## 5 INSTRUMENTACIÓN

Conocer la temperatura máxima (salida compresor) y mínima (entrada evaporador) y presión de alta y baja del sistema de refrigeración es el pilar fundamental para seleccionar una adecuada instrumentación la cual permite monitorear las condiciones de trabajo del equipo en la siguiente ilustración se observan las especificaciones del equipo.

LENNOX	
A Brand Born in the USA.	
Mini Split Air Conditioner (LXG AHTC012100P4 Indoor Unit)	
Cooling Capacity	12000BTU/h
EER Btu/h w. WW	9.38; 2.75
Rated Voltage	208-230V~
Rated Frequency	60Hz
Phase	1
Refrigerant	R410A/1.43lb
Cooling Power Input	1280W
Cooling Current Input	5.8A
HP,PSIG	465
LP,PSIG	252
Electric Shock Protection Class	I

**Caution:**

1. Do not cover air discharge openings.
2. Risk of electric shock, disconnect unit before servicing.
3. Please wait three minutes before restarting when the power is broken.
4. Moving parts, do not operate with cover removed.
5. A damaged power supply cord must be replaced with a new power supply obtained from the product manufacturer and not repaired.
6. Use copper conductor only.

MADE IN CHINA

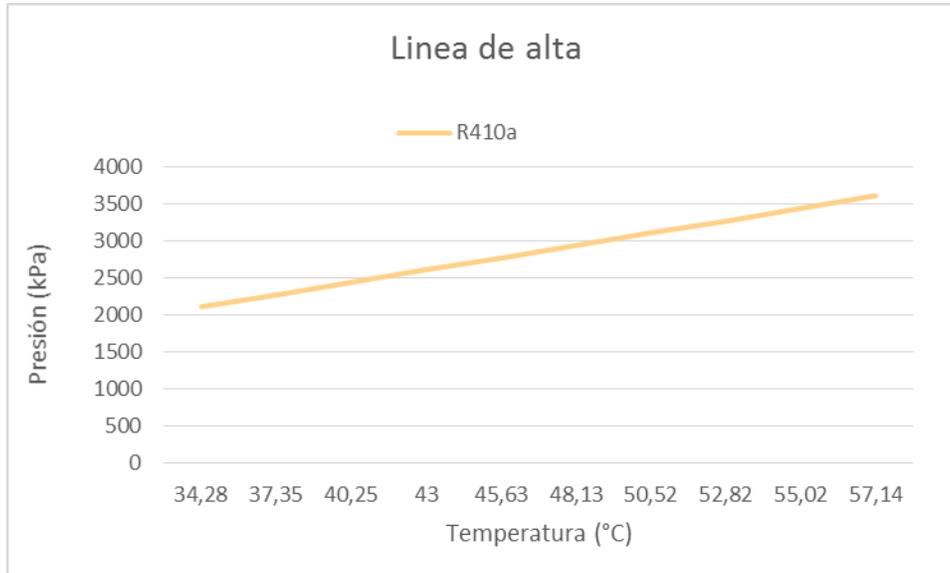
Ilustración 28. Especificaciones del equipo. (Tomado por los autores)

### 5.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

De acuerdo a los parámetros del fabricante las presiones máximas de trabajo son las siguientes:

- Para presión de alta 465 PSIG = 479.6 PSIA = 3307.4 kPA.
- Para presión de baja 252 PSIG = 266.7 PSIA = 1838.8 kPA.

Con el fin de conocer la máxima temperatura de operación del refrigerante, se emplea el software EES para tabular datos aleatorios de acuerdo a la presión máxima de operación, obteniendo lo siguiente.



*Ilustración 29. Presión de saturación a diferentes temperaturas de condensación, para refrigerante R410a (Tomado por los autores)*

### 5.1.1 Presiones de trabajo del mini Split

Con los parámetros anteriores se instalaron dos Transductores de presión uno de Alta y otro baja SB69-500A FG.

- Rango 0 - 3447.38 kPa (0 – 500 PSI).
- Conexión al proceso ¼” SAE, macho.
- Salida 4-20 mA, 0.5-4.5 VDC.
- Fuente 7-33 VDC.
- Temperatura de proceso -40°C – 100°C.
- Protección IP 69.

### 5.1.2 Temperaturas de trabajo del mini Split

Con los datos arrojados por el programa EES se selecciona el siguiente sensor de temperatura

Termistor NTC SB19 FG.

- Longitud del bulbo 5/4".
- Diámetro del bulbo 1/5", cable 2 m.
- Rango -50°C – 200°C.

### **5.1.3 Consumo energético del mini Split**

Energy LOG plus.

- Medición de corriente hasta 5 A
- Medición de tensión y corriente a través de True-RMS
- Comunicación directa al Sitrad.

### **5.1.4 Sistema de adquisición de datos**

Control FULL GAUGE TI-33Ri plus. Termómetro digital para tres sensores con comunicación serial. Tres unidades.

- Fuente 115-230 VAC, 50/60 Hz.
- 3 entradas analógicas de temperatura.
- Comunicación serial RS-485.
- Software Windows para la configuración, registro y exportación de datos mediante el SITRAD.
- Indicación local de tres temperaturas en pantalla digital.

Control FULLGAUGE PCT 410Ri plus. Controlador digital de presión con comunicación serial. Dos unidades.

- Fuente 12 VDC.
- Resolución 1 PSI/ 0.1 bar.
- Una entrada digital tipo contacto.
- Una entrada analógica de presión.
- Comunicación serial RS-485.
- Software Windows para la configuración, registro y exportación de datos mediante el SITRAD.
- Indicación local de presión en pantalla digital.

Interfaz serial CONV32 que permite que los controladores FULLGAUGE con comunicación serial sean conectados a un PC mediante un puerto de comunicación USB.

- Alimentación: a través del puerto USB.
- Temperatura de operación: 0 a 50 °C.

- Tres leds de indicación.
- Un conector USB-B hembra para conexión con la PC.
- Un puerto RS-485 para conexión de hasta 32 instrumentos, sin la necesidad de terminación.

Software SITRAD®: software de FULL GAUGE CONTROLS® para administración a distancia de las instalaciones de refrigeración, calentamiento, climatización y calentamiento solar. Permite el acceso tanto local como remoto a instalaciones de diversos segmentos, desde redes de supermercados, frigoríficos y restaurantes, hasta hoteles, hospitales, laboratorios, residencias, entre otros. (Full Gauge Controls, 2015). El software permite evaluar, configurar y almacenar, continuamente, datos de temperatura y presión.

## **5.2 INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN**

La instalación consiste principalmente en instalar el bastidor donde se montará la unidad interior para el caso la unidad exterior se encuentra en el mismo chasis, hacer la adecuación por donde pasarán los tubos de refrigerante, el drenaje de condensado y los cables eléctricos. Una vez hecho lo anterior, se conectan los cables eléctricos y los tubos suministrados en el kit de instalación del mismo equipo en ambas unidades. Por otro lado, se debe verificar que el tubo de drenaje del condensado conduzca el agua hacia un lugar adecuado.

### **5.2.1 Instalación de los sensores de temperaturas.**

Sensor NTC con cable de poliéster termoplástico y aislamiento individual. Funciona en temperaturas de -50 hasta +105°C.

Los sensores de temperatura se ubican de la siguiente manera.

- Entrada y salida del evaporador.
- Entrada y salida del condensador.
- Entrada y salida del compresor.
- Salida de aire de evaporador y condensador.
- Temperatura ambiente.

Para la instalación de los sensores del evaporador, condensador y compresor, se sobrepone el sensor en la tubería aislándolo con cinta metálica adhesiva para refrigeración, posteriormente se asegura con correas de sujeción.

En las salidas de aire del evaporador y del condensador, se instalan los sensores de temperatura en la rendijas de los mismos sujetándose con correas de sujeción.

Por otro lado se instala el sensor de temperatura ambiente en la parte superior del bastidor, con el fin de que sus mediciones no sean alteradas por los flujos de aire del evaporador y del compresor.

### 5.2.2 Instalación de transductores de presión.

Como se explicó anteriormente, teniendo previamente instalados los capilares en las tuberías de presión de alta y de baja se prosigue a la instalación de los sensores de presión por conexión roscada 1/4 NPT al sistema.

### 5.2.3 Instalación del medidor de consumo energético

Para la instalación del medidor de consumo eléctrico no se tiene en cuenta el ventilador del condensador y el del evaporador debido a que su consumo no es considerable respecto al del compresor como se observa en la siguiente tabla.

*Tabla 4 Consumo eléctrico del equipo. Realizada por los autores.*

<b>Instrumento</b>	<b>Corriente de operación</b>	<b>Unidad</b>
Ventilador del condensador	0.34	Amperios.
Ventilador y tarjeta del evaporador.	0.42	Amperios.
Compresor	5.64	Amperios.

El medidor de consumo se instala generando el puente desde la alimentación del compresor al Energylog por cable 2X16 y desde allí se conecta al COV32 para su integración al interfaz de FULL GAUGE.

### 5.2.4 Instalación de los indicadores.

Los indicadores se instalan partiendo de las salidas y entradas de algunos subsistemas (condensador, compresor, evaporador y válvula de expansión), adicionalmente se instala un indicador de consumo eléctrico para monitorear la cantidad de energía consumida por el equipo. (Ver ilustración 28).

La distribución se realizó de la siguiente manera:

- Tres indicadores de temperatura FULL GAUGE TI-33Ri plus
- Dos indicadores de presión FULLGAUGE PCT 410Ri .
- Un indicador de consumo eléctrico, FULLGAUGE Energy LOG plus.

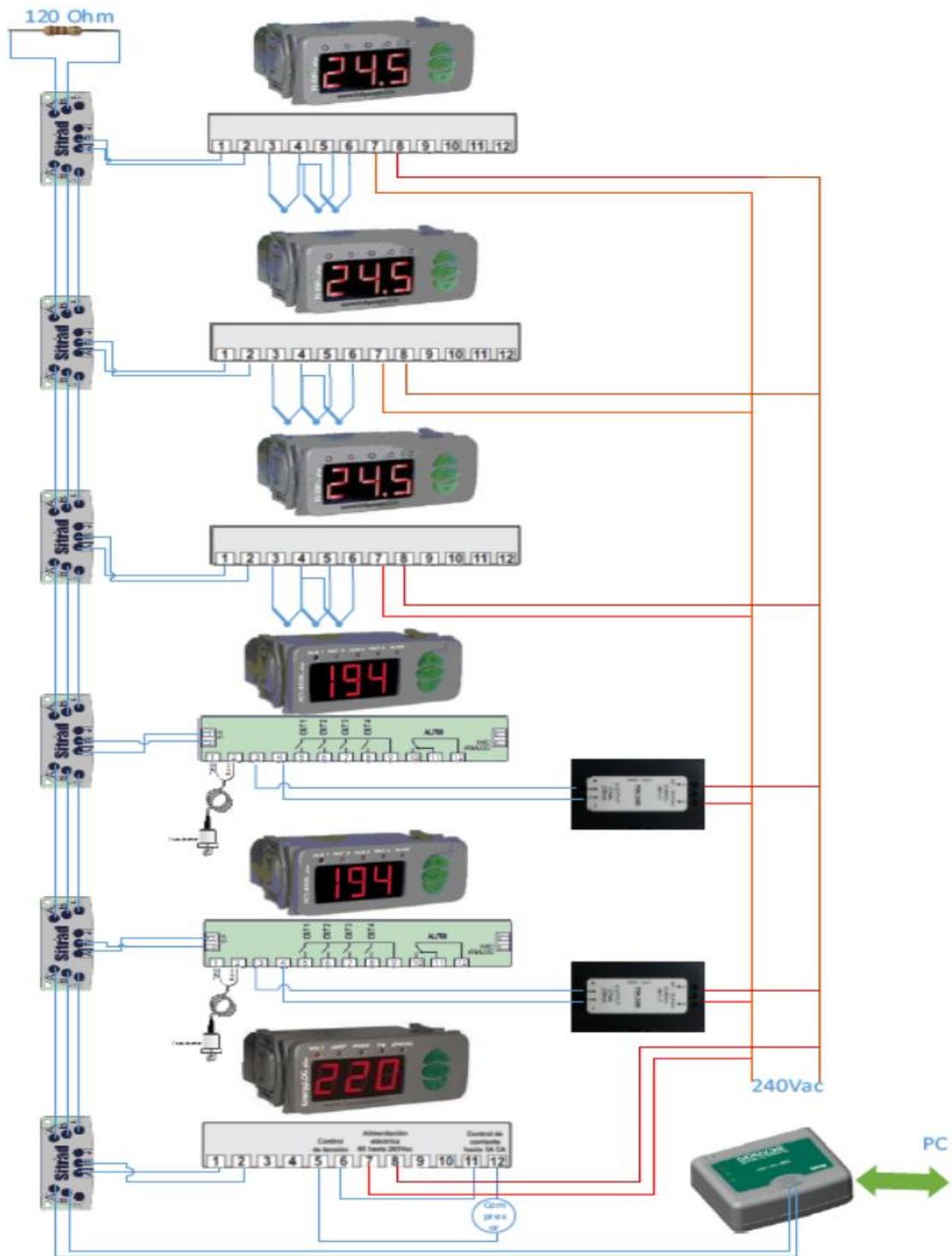


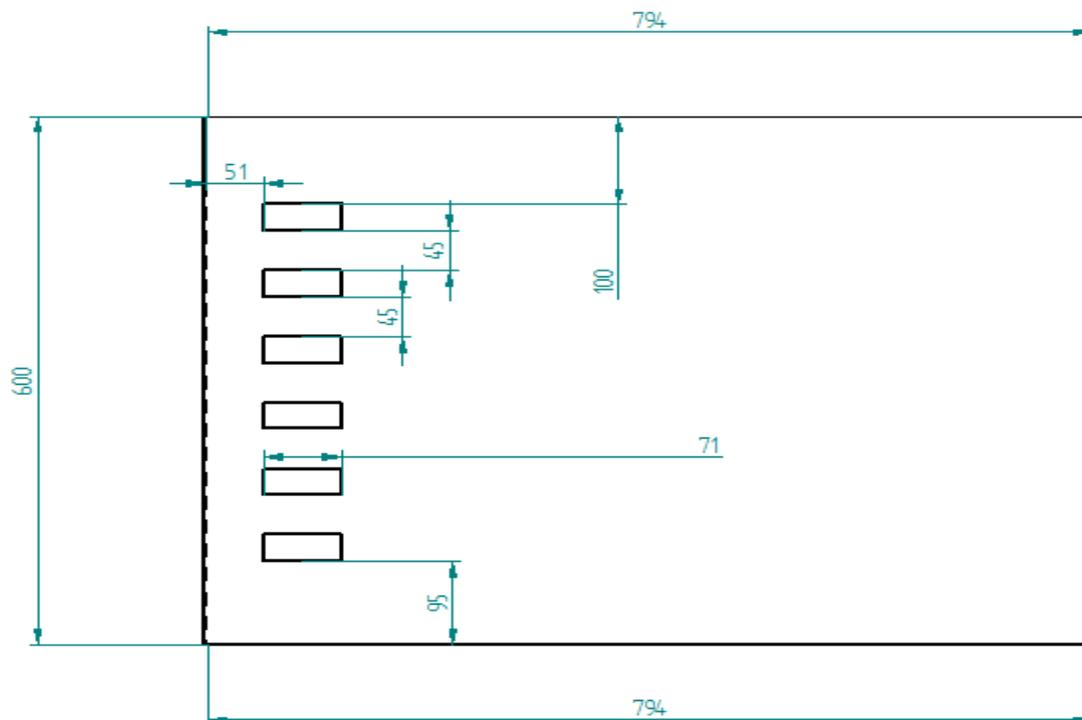
Ilustración 30. Plano instrumentación. (Tomado por los autores)

## 6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DIDÁCTICO

En este capítulo se desarrolla el diseño del panel didáctico donde se instala la instrumentación y se plasma el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

### 6.1 Dimensiones del tablero didáctico

Teniendo en cuenta la medida del bastidor se diseña el siguiente panel de control donde se instalan los elementos de adquisición de datos.



*Ilustración 31. Plano de taller panel de control. (Tomado por los autores)*

Con la intención de hacer más didáctico el equipo se diseña la siguiente ilustración para el panel de control. (Ver ilustración 29)

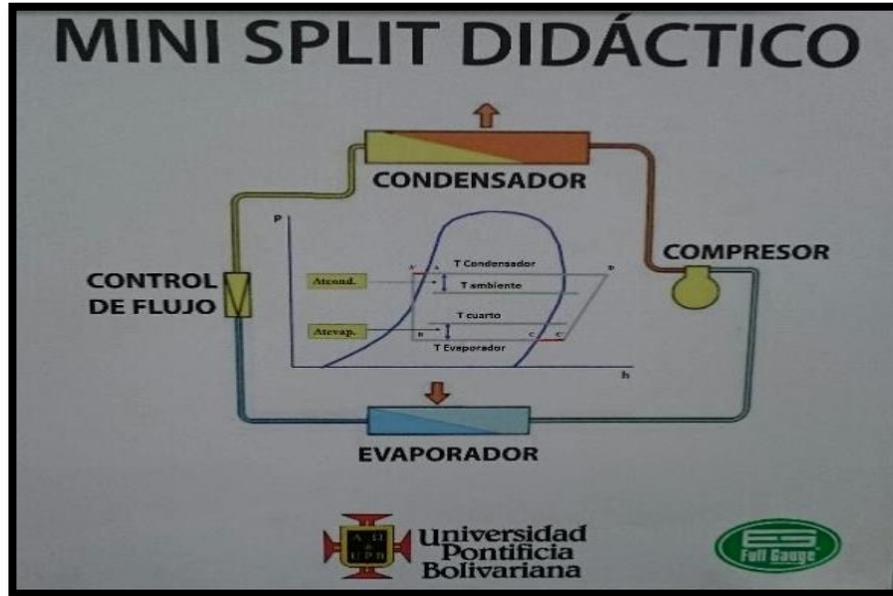


Ilustración 32. Diseño gráfico del panel de control (Tomado por los autores)

## 6.2 Adecuación del sistema.

La instrumentación instalada se muestra a continuación.



Ilustración 33. Panel con numeración de estaciones. (Tomado por los autores)

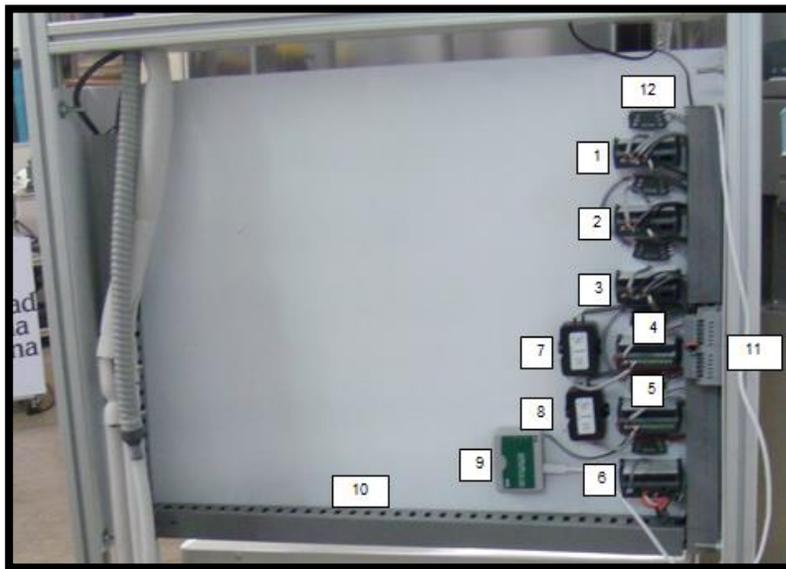


Ilustración 34. Panel de instrumentación. (Tomado por los autores)

Tabla 5. Identificación de instrumentación.

Número	Descripción
1	FULL GAUGE TI-33Ri, Termómetro digital
2	FULL GAUGE TI-33Ri, Termómetro digital
3	FULL GAUGE TI-33Ri, Termómetro digital
4	FULLGAUGE PCT 410Ri plus, controlador digital de presión
5	FULLGAUGE PCT 410Ri plus, controlador digital de presión
6	Indicador de consumo de energía eléctrica EnergyLOG
7	Fuentes de alimentación de los FULLGAUGE PCT 410Ri plus
8	Fuentes de alimentación de los FULLGAUGE PCT 410Ri plus
9	Interfaz serial CONV32
10	Canaleta dexon para cableado
11	Bornera para alimentación eléctrica
12	Bloque de conexión

## 7 MONITOREO FINAL DE LAS VARIABLES.

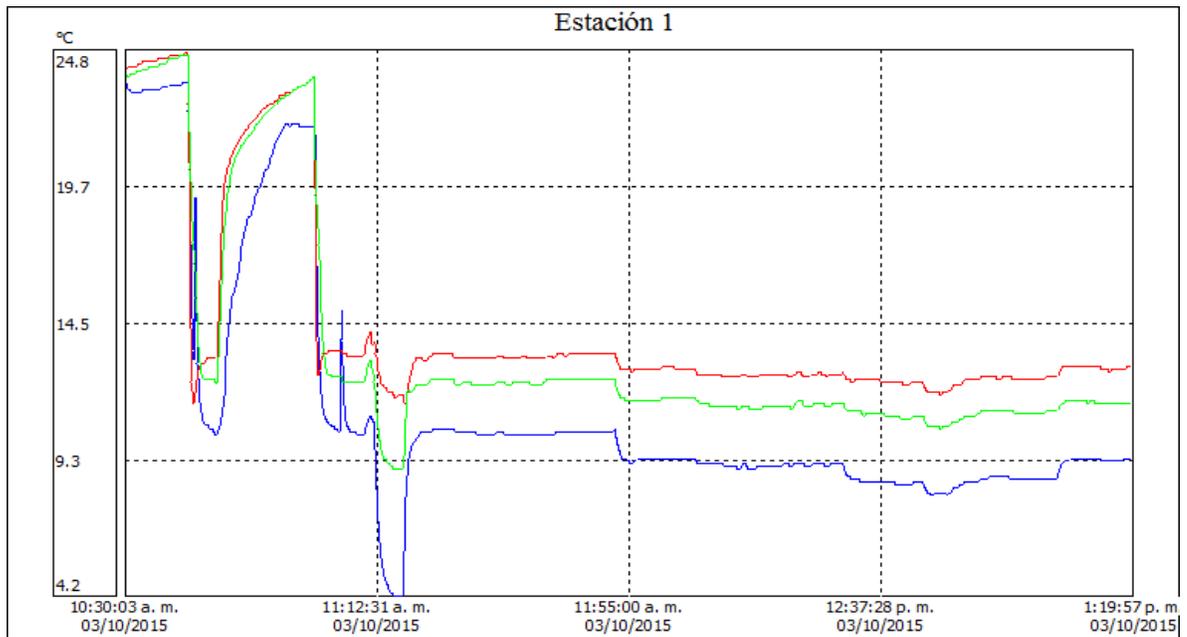
Las variables se definen en el sistema como se observa en la siguiente tabla.

*Tabla 6. Descripción de estaciones*

TABLA CORRESPONDENCIA DE TEMPERATURAS, PRESIONES Y CONSUMO ENERGETICO			
Estación	Temperatura en la estación	Nomenclatura del ciclo.	Ubicación del sensor
Estación 1	Temperatura 1	Tsae	Temperatura salida aire evaporador
	Temperatura 2	T6	Temperatura entrada evaporador
	Temperatura 3	T7	Temperatura Salida evaporador
Estación 2	Temperatura 1	T1	Temperatura Entrada Compresor
	Temperatura 2	T2	Temperatura Salida Compresor
	Temperatura 3	Tamb	Temperatura Ambiente
Estación 3	Temperatura 1	T3	Temperatura entrada condensador
	Temperatura 2	Tsac	Temperatura salida aire condensador
	Temperatura 3	T4	Temperatura salida condensador
Estación 4	Presión Alta	HP	Línea alta del equipo (compresor)
Estación 5	Presión Baja	LP	Línea baja del equipo (evaporador)
Estación 6	Potencia Activa	W	Alimentación Compresor

Para el monitoreo de las variables se enciende el equipo durante 170 minutos, en los cuales se inicia a la mínima temperatura del Mini Split en display que es 16°C, al cabo de 20 minutos se aumenta a 22°C durante 20 minutos, posteriormente se opera el equipo de nuevo a la mínima temperatura de operación.

- Monitoreo variables estación 1.

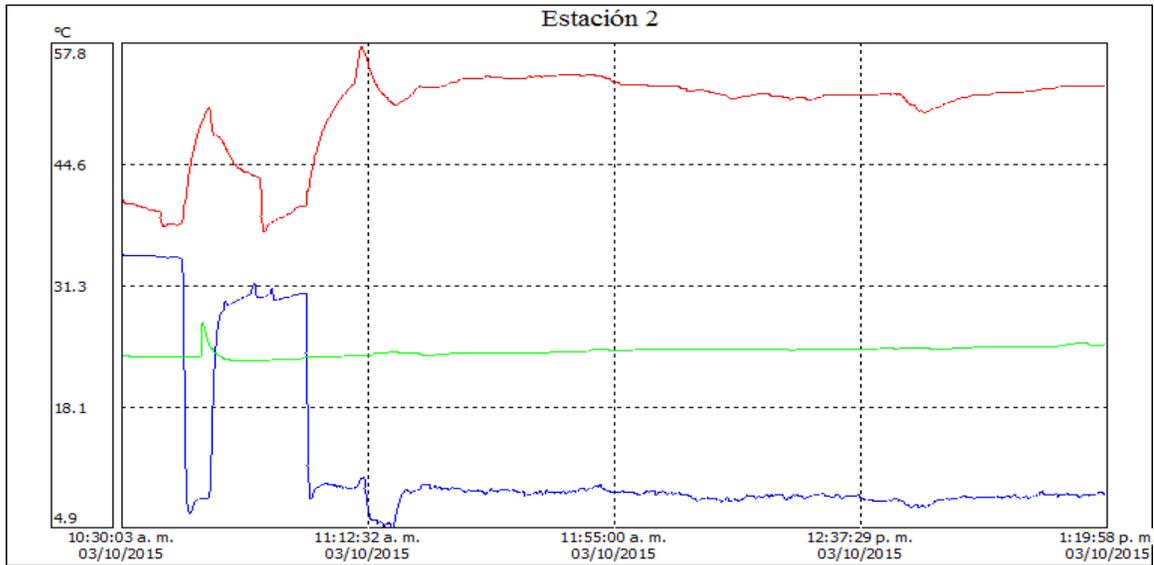


*Ilustración 35. Monitoreo variables estación 1. (Tomado por los autores)*

*Tabla 7. Leyenda estación 1.*

Estación	Abreviatura en el ciclo	Ubicación del sensor	Color
Estación 1	T1 = Tsae	Temperatura salida aire evaporador	Azul
	T2 = T6	Temperatura entrada evaporador	Rojo
	T3 = T7	Temperatura salida evaporador	verde

- Monitoreo variables estación 2.

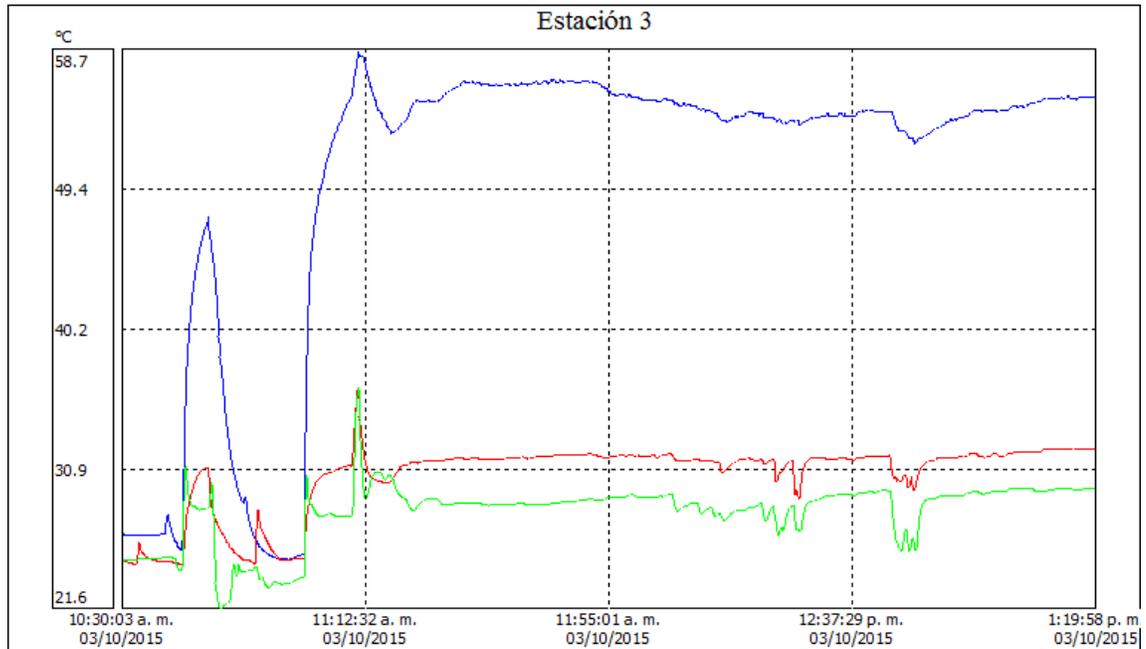


*Ilustración 36. Monitoreo variables estación 2 (Tomado por los autores)*

*Tabla 8. Leyenda estación 2*

Estación	Abreviatura en el ciclo	Ubicación del sensor	Color
Estación 2	T1 = T1	Temperatura entrada compresor.	Azul
	T2 = T2	Temperatura salida compresor.	Rojo
	T6 = Tamb	Temperatura ambiente.	verde

- Monitoreo variables estación 3.

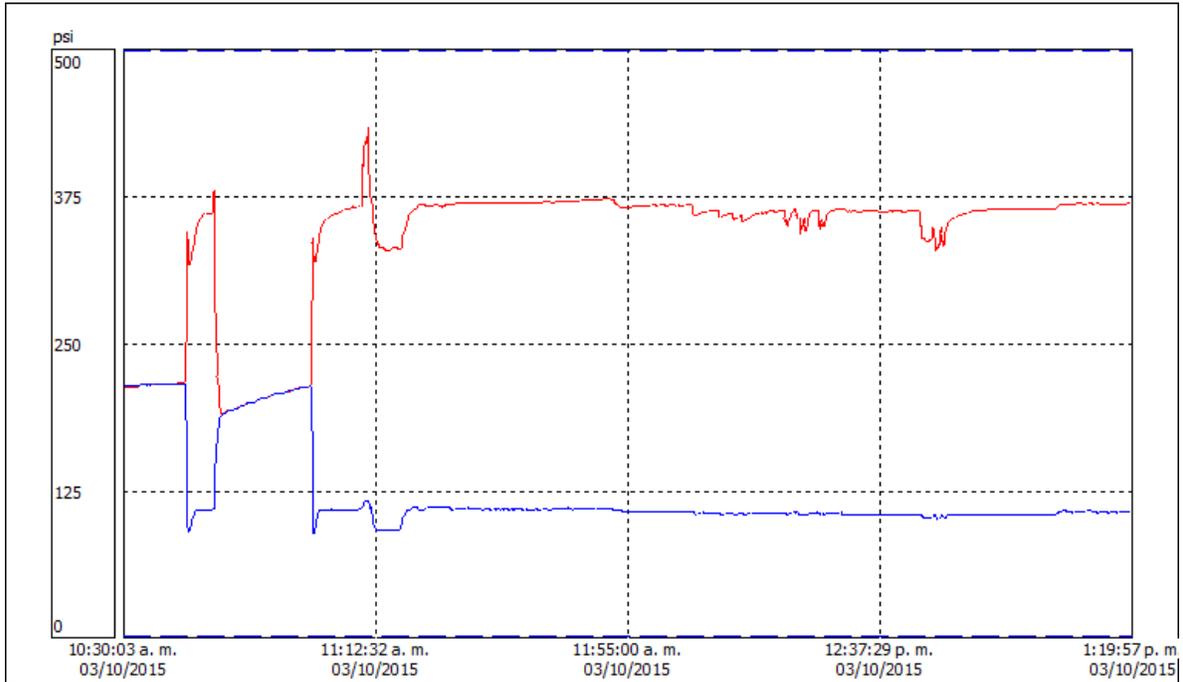


*Ilustración 37. Monitoreo variables estación 3 (Tomado por los autores)*

*Tabla 9. Leyenda estación 3.*

Estación	Abreviatura en el ciclo	Ubicación del sensor	Color
Estación 3	T1=T3	Temperatura entrada condensador	Azul
	T2 = Tsac	Temperatura salida aire condensador.	Rojo
	T3 = T4	Temperatura salida condensador.	verde

- Monitoreo variables estación 4-5.

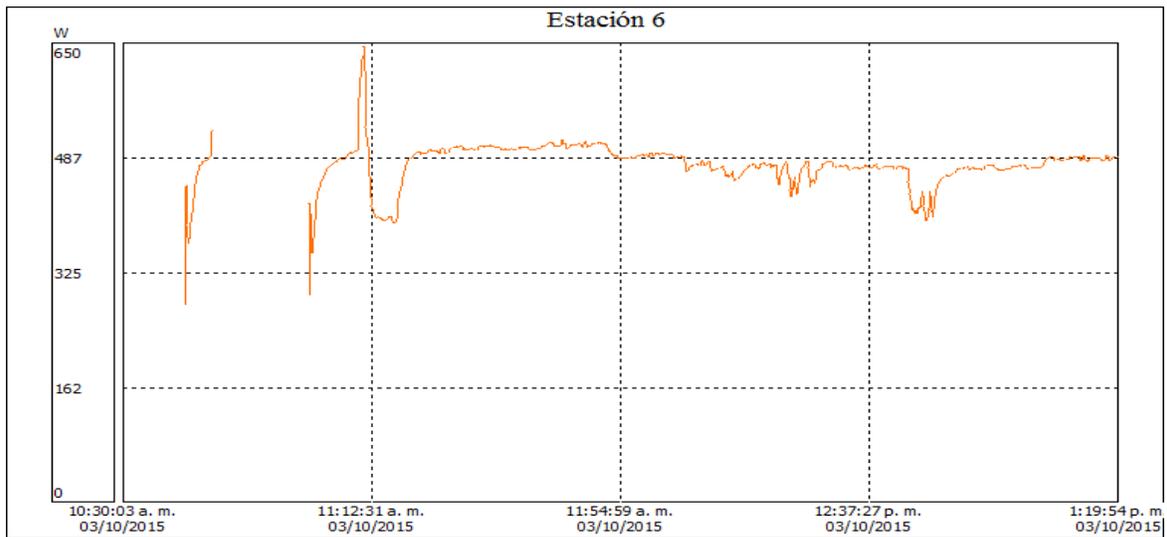


*Ilustración 38. Monitoreo variables estación 4-5. (Tomado por los autores)*

*Tabla 10. Leyenda estación 4-5.*

Estación	Abreviatura en el ciclo	Ubicación del sensor	Color
Estación 4-5	LP	Presión línea de baja	Azul
	HP	Presión línea de alta.	Rojo

- Monitoreo variables estación 6.



*Ilustración 39. Monitoreo variables estación 6. (Tomado por los autores)*

*Tabla 11. Leyenda estación 6.*

Estación	Abreviatura en el ciclo	Ubicación del sensor	Color
Estación 6	W	Alimentación de compresor.	Naranja

## 8 GUÍA PARA LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

### GUIA DE REFRIGERACIÓN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR PARA AIRE  
ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT CÁLCULO DEL COP

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

Conocer el funcionamiento de un equipo de acondicionamiento de aire tipo mini Split mediante un ensayo bajo condiciones de trabajo real en un banco de pruebas.

#### Objetivos específicos

- Exponer los principios del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.
- Identificar los componentes de un aire acondicionado tipo Mini Split y procesos termodinámicos que se presentan en cada uno de ellos.
- Calcular el coeficiente de operación COP del equipo de mediante los métodos nominal y experimental.

### MARCO TEORICO

#### Parámetros a controlar en el acondicionamiento del aire

El acondicionamiento de aire consiste en mantener las condiciones ambientales necesarias de temperatura, humedad relativa, movimiento y limpiar el aire que circula en un lugar para garantizar las condiciones de higiene y el confort requerido por los seres humanos (e-URE, 2005). Se controla:

- **Temperatura:** calentándolo o enfriándolo.

- **Humedad:** humidificación o desmitificación que son procesos de adición o eliminación de vapor de agua al aire respectivamente.
- **Limpieza del aire:** puede ser limpiado por filtración (separando partículas) o ventilación (diluye la concentración de contaminantes). (Pita E. G., 1997)
- **Movimiento:** se controla por medio del equipo de distribución o circulación que tenga el Mini Split.

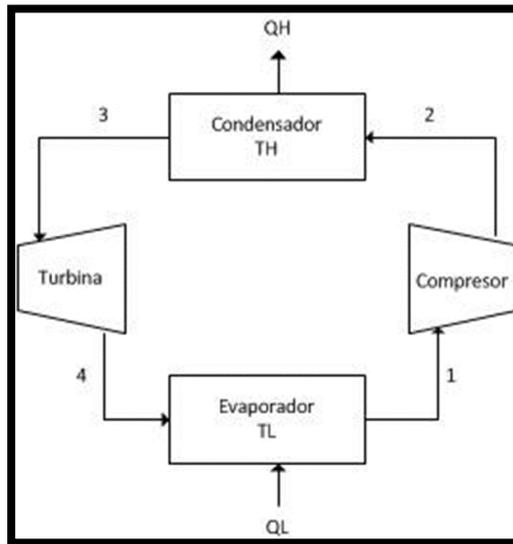
La solución para reducir la contaminación ambiental, es realizar prácticas adecuadas en cuanto al proceso de instalación, conocer el manual de funcionamiento, realizar inspecciones del comportamiento del sistema para detectar posibles fugas y verificar el estado de los componentes del equipo periódicamente. (Ocampo & Palacio, 2010) Para el correcto funcionamiento del Mini Split didáctico se seleccionó el refrigerante R410A debido a sus implicaciones ambientales, a los rangos de las propiedades físicas como temperaturas y presiones, a las propiedades termodinámicas y a los costos. El R410a es un gas HFC (Hidrofluorcarburo), una mezcla de dos refrigerantes semiazeotrópica (50% de R32 y 50% de R125) con puntos de ebullición diferente, por lo que debe cargarse en fase líquida. No es inflamable, explosivo ni tóxico, cuenta con la clasificación A1 bajo los estándares de ASHRAE 34. (Totaline, 2009) Las características técnicas del refrigerante utilizado se muestran en la siguiente tabla:

*Datos técnicos del refrigerante R410A. Tomado de (Aires Acondicionados, 2013)*

TEMP. (°C)	PRESTION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-50	1.124	1.121	1339.59	4.54	136.46	406.37	0.8104	2.0201
-45	1.428	1.424	1323.93	5.67	143.01	409.29	0.8393	2.0066
-40	1.793	1.788	1308.01	7.02	149.62	412.14	0.8679	1.9941
-35	2.228	2.222	1291.79	8.62	156.31	414.92	0.8961	1.9823
-30	2.740	2.732	1275.24	10.48	163.07	417.62	0.9240	1.9712
-25	3.340	3.330	1258.34	12.65	169.91	420.23	0.9517	1.9607
-20	4.036	4.023	1241.03	15.15	176.83	422.74	0.9791	1.9508
-15	4.838	4.821	1223.28	18.04	183.83	425.13	1.0062	1.9413
-10	5.757	5.735	1205.04	21.35	190.92	427.40	1.0331	1.9321
-5	6.802	6.774	1186.27	25.13	198.11	429.52	1.0599	1.9233
0	7.984	7.950	1166.89	29.44	205.41	431.50	1.0864	1.9146
5	9.315	9.274	1146.86	34.34	212.81	433.31	1.1129	1.9061
10	10.805	10.756	1126.10	39.91	220.34	434.94	1.1392	1.8977
15	12.467	12.408	1104.53	46.22	228.00	436.38	1.1655	1.8892
20	14.312	14.241	1182.05	53.38	235.80	437.59	1.1918	1.8807
25	16.351	16.269	1158.55	61.50	243.77	438.56	1.2181	1.8720
30	18.598	18.502	1133.91	70.71	251.91	439.27	1.2445	1.8631
35	21.063	20.954	1107.95	81.18	260.26	439.68	1.2710	1.8538
40	23.760	23.636	980.48	93.12	268.84	439.76	1.2977	1.8442
45	26.701	26.563	951.26	106.79	277.69	439.46	1.3248	1.8339
50	29.899	29.745	919.95	122.55	286.87	438.72	1.3524	1.8229

## Refrigeración por compresión de vapor

La refrigeración por compresión de vapor opera en un ciclo conocido con el nombre de Carnot (ver Ilustración 4), en su forma más simple está compuesto por un compresor, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión. (Martinez & Zambrano, 2011).



Ciclo de refrigeración de Carnot por compresión de vapor (Tomado por los autores)

## Variables termodinámicas del proceso

Las temperaturas a las cuales debe operar el sistema están en función de las presiones, por lo tanto debe tenerse claridad en la relación existente entre la temperatura y la presión que correlacionan la presión del vapor y el punto de ebullición del R410A. (B. Whitman, 2009)

- Temperatura: La temperatura es definida como una indicación de la intensidad o grado de calor de una sustancia u objeto. (R, 2010)
- Presión: En sistemas de aire acondicionado tipo Mini Split se trabajan dos presiones la línea de alta presión que va desde la descarga del compresor hasta la válvula de expansión y la línea de baja presión que va desde la salida de la válvula de expansión hasta la succión del compresor. En la mayoría de los casos se asume presión contante debido a que la línea o tubería por donde se transporta el refrigerante no tiene cambios de sección lo que hace que no hallan deltas de presiones.

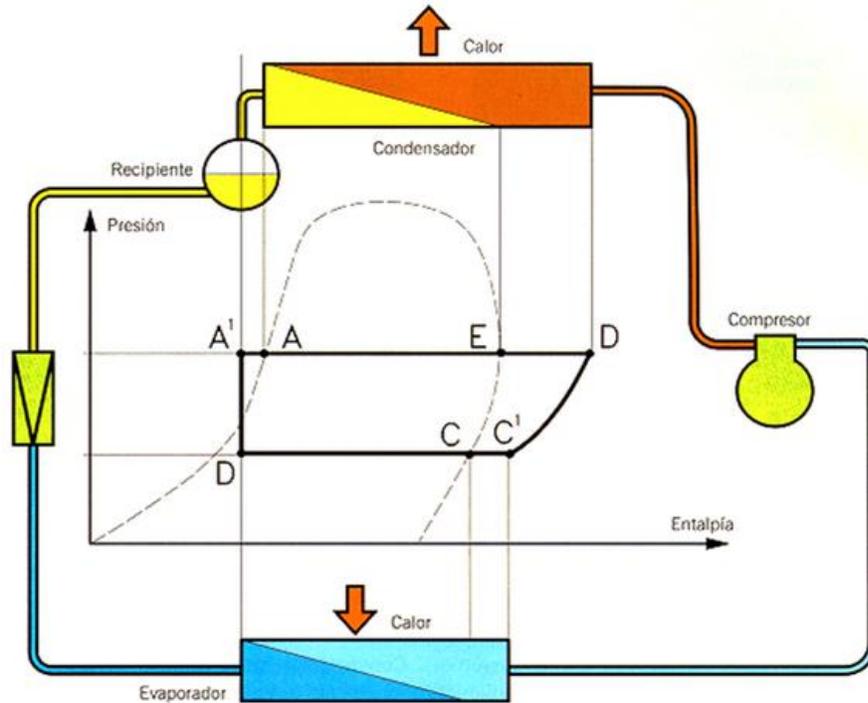
## Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

La principal diferencia entre el ciclo ideal y el real de refrigeración por compresión de vapor es debido a las irreversibilidades en los componentes como la fricción del fluido y la transferencia de calor por las tuberías que conectan los elementos del ciclo. (Ciclo de refrigeración simplificado, 2013).

- **Proceso de compresión adiabática reversible (1 - 2):** se comprime el fluido de trabajo de manera reversible, aumentando la temperatura y aislando el sistema de compresión para evitar la transferencia de calor desde la zona de temperatura alta a la de baja temperatura. (Cengel & Boles, 2009)
- **Proceso de compresión isotérmica reversible (2 – 3):** se da un intercambio de calor entre la zona de alta temperatura y un depósito de calor, generalmente es el ambiente, mientras el fluido disminuye su volumen específico, el intercambio de calor evita el cambio de temperatura por el cambio de presión.(Cengel & Boles, 2009)
- **Proceso de expansión adiabática reversible (3 – 4):** el fluido de trabajo que viene a alta presión comienza a expandirse sin intercambio de energía hasta alcanzar una temperatura baja usada en el evaporador para lograr el enfriamiento de los productos. (Cengel & Boles, 2009)
- **Proceso de expansión isotérmica reversible (4 – 1):** proceso de transferencia de calor entre el sumidero y el fluido de trabajo, el cambio en el calor permite conservar la temperatura baja. (Cengel & Boles, 2009)

**Eficiencias volumétricas:** es el volumen real del vapor succionado en un tiempo determinado el cual proviene de la tubería de succión siendo así el desplazamiento real del compresor. (Botero Gonima, 1990)

**Eficiencia isoentrópica:** es la relación entre el trabajo requerido para elevar la presión de un gas. (Botero Gonima, 1990)



*Ilustración 40. Diagrama esquemático y T-S para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.*

## Componentes del sistema de refrigeración por compresión de vapor

Los elementos del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor son:

**Compresor:** su función llevar el gas refrigerante del estado de baja presión al de alta presión usando energía eléctrica externa debido a las pérdidas y la eficiencia del motor, la energía que se transfiere al gas es menor a la entregada al compresor.

**Condensador:** es un intercambiador de calor, su función principal es expulsar el calor, que se transfiere de las cargas térmicas al evaporador, en un sumidero de calor (generalmente el medio ambiente o agua). Dentro del condensador el refrigerante cambia de un estado de alta presión y alta temperatura a un estado de baja temperatura y alta presión.

**Dispositivo de expansión:** las funciones del dispositivo de expansión son dos principalmente: la primera es reducir la presión hasta que alcance el valor necesario para que el refrigerante evapore a bajas temperaturas y la segunda es controlar el flujo másico del sistema de refrigeración de acuerdo con los criterios para los que esté diseñado.

**Evaporador:** encargado de contener el refrigerante como líquido a baja presión y baja temperatura, las condiciones de alta temperatura del recinto y las propiedades del refrigerante generan una evaporación del fluido de trabajo a baja presión, este equipo es el encargado de la producción de frío dentro del sistema. (Pita E. G., 1997)

### **Aires acondicionados tipo mini split**

Cuando se habla de un mini Split en realidad se está hablando de un sistema mini-dividido tal cual lo expresa su traducción, estableciendo que está compuesto de dos unidades principales evaporador y condensador.

La unidad interior (evaporador) más utilizado en los hogares es el Mini Split High Wall (Pared Alta), como su nombre lo indica es a que se instala en la parte alta de una pared. Sin embargo también se pueden instalar evaporadores en el techo de la habitación o en la pared pero en la parte baja recostada en el piso, estas unidades son conocidas como Mini Split Piso Techo (o Minisplit Flexiline).

La unidad exterior (condensador) está diseñada para ubicar en exteriores bien sea azoteas o patios, para asegurar una mayor cantidad de aire fresco de entrada debido a que esta expulsa el aire caliente obtenido del lugar a climatizar, también se recomienda ubicarlos en lugares que no absorban tanto calor, es decir, que estén a la sombra debido a que esto refrescara el equipo ayudando a reducir su consumo energético. (quecalor, s.f.).

A pesar de que su costo puede llegar a ser algo elevado, es un sistema eficiente, con bajos niveles de ruido y con diseños que aparte de ser agradables a la vista son de fácil mantenimiento.

En la siguiente figura se muestra el ensamble básico entre la parte eléctrica, tuberías y evaporador y condensador.

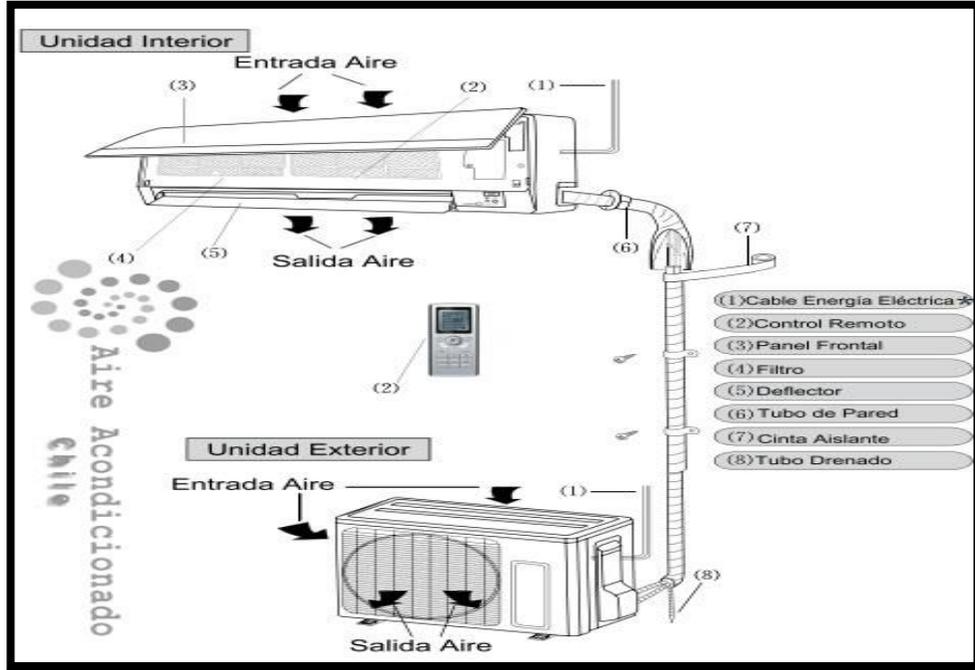


Ilustración 41. Ensamble básico para el funcionamiento del equipo. Tomado de (tecnoastur)

## MODELO DE CÁLCULO

Para el desarrollo de la práctica es importante conocer la nomenclatura del ciclo y datos de referencia los cuales se muestran a continuación ver ilustración tal y tabla tal.

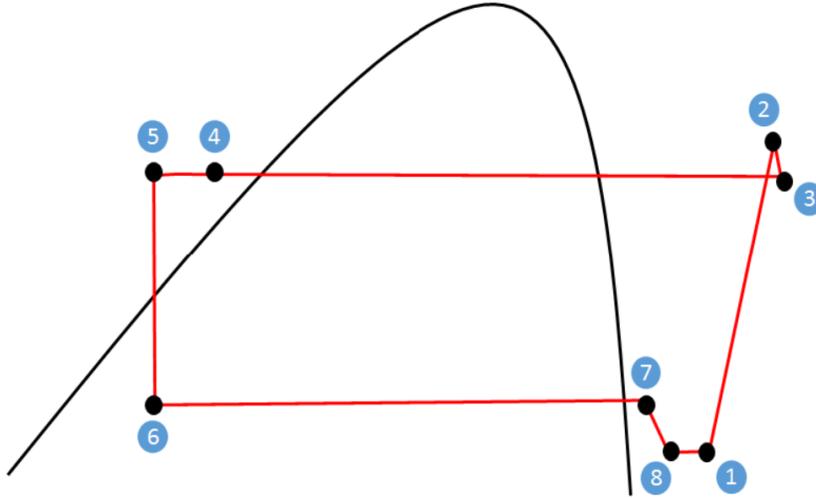


Ilustración 42. Diagrama de referencia del ciclo (*Realizada por los autores*)

Tabla 12 Datos Experimentales y nominales

CUADRO COMPARATIVO DATOS EXPERIMENTALES Vs TEÓRICOS			
Parámetro	EXPERIMENTAL	NOMINAL	Unidad
	valor	Valor	
COP	3,898	3,04	
Temperatura subenfriamiento	21,38	8,3	°C
Temperatura sobrecalentamiento	9,275	27,8	°C
Perdida de calor del compresor	74,84	67,8	kJ/kg
Perdida de presión del compresor	3,259	3,393	Kpa
Eficiencia isoentropica	0,682	0,6837	KJ/Kg
Eficiencia volumétrica	0,4712	0,8399	m <sup>3</sup> /KW-Kg
Entalpia entrada del compresor	431,6	453,33	KJ/Kg
Entalpia salida compresor	444,3	472	KJ/Kg
Entalpia salida del <u>condensador</u>	234,5	276,7	KJ/Kg
Entalpia salida del evaporador	431,6	453,3	KJ/Kg
Flujo másico del refrigerante	0,009714	0,01919	Kg/s
Presión atmosférica	85	85	kpa
Presión entrada condensador E4	2636	3386	Kpa
Presión salida del evaporador	808,9	997,8	Kpa
Perdidas de calor en compresor Q_cp	0,3674	0,756	KJ/Kg
Capacidad del evaporador	6531	11572	Btu/hora
Densidad calculada R410A	29,12	32,37	Kg/m <sup>3</sup>
Temperatura entrada del compresor E2	9,7	35	Centígrados
Temperatura salida del evaporador E1	10,5	7,2	Centígrados
Temperatura aire salida de condensador E3	35	NA	Centígrados
Temperatura salida del compresor E2	55,3	85	Centígrados
Temperatura entrada condensador E3	54	54,4	Centígrados
Temperatura salida condensador	43,46	46,1	Centígrados
Temperatura salida condensador E3	22,2	NA	Centígrados
Temperatura entrada evaporador E1	9,2	7,2	Centígrados
Temperatura salida evaporador E1	10,5	NA	Centígrados
Temperatura ambiente- aire in evaporador E2	23	35	Centígrados
Temperatura saturación condensador	43,58	54,4	Centígrados
Temperatura saturación evaporador	0,4249	0	Centígrados
Flujo volumétrico del compresor	0,0000118	0,0000118	m <sup>3</sup>
Flujo volumétrico del refrigerante	0,0003336	0,0005947	m <sup>3</sup> /s
consumo del compresor	0,491	1,115	KW

- Método 1: nominal.

$V_d = 11,8 \text{ m}^3/\text{rev}$  (Dato suministrado del fabricante bajo condiciones ASH).

RPM compresor: 3600

$Q_{\text{eva}} = 3.39 \text{ kW}$ . (Dato suministrado del fabricante bajo condiciones ASH).

$W_{\text{cp}} = 1,115 \text{ kW}$ . (Dato suministrado por el fabricante).

$$\dot{m}_{\text{refrigerante}} = \frac{Q_{\text{eva}}}{h_7 - h_5}$$

$$\dot{V}_{\text{refrigerante}} = \frac{\dot{m}_{\text{refrigerante}}}{\rho_{\text{refrigerante}}} * 3600 \text{ rev}$$

$$n_{\text{iso}} = \dot{m}_{\text{refrigerante}} \left[ \frac{h_{2\text{iso}} - h_1}{\dot{w}} \right]$$

$$COP_{\text{nominal}} = \dot{m}_{\text{refrigerante}} \left[ \frac{h_1 - h_5}{\dot{w}} \right]$$

$$COP_{\text{nominal}} = 3,04$$

- Método 2: experimental.

Con el monitoreo de las temperaturas y presiones del sistema se calcula. (Ver tabla 12).

El tubo capilar (dispositivo de expansión) es un dispositivo isoentálpico, por lo tanto la entalpia del refrigerante es igual a la entrada y a la salida, así:

$$h_{\text{Sal. Cond}} = h_{\text{Ent. tubo Cap}} = h_{\text{Sal. tubo Cap}} = h_{\text{Ent. Evap.}}$$

### Cálculo del flujo másico.

$\dot{m}$ : Con las características de referencia se calcula.

$$\dot{m}: 0,009714 \text{ kg/s}$$

### Trabajo del compresor.

$W_{cp} = 0,491 \text{ kW}$ . (Dato medido en el equipo).

$$n_{iso} = \dot{m} \text{ refrigerante} \left[ \frac{h_{2iso} - h_1}{\dot{w} \text{ medido}} \right]$$

$$Q_{\text{evaporador experimental}} = \dot{m} \text{ refrigerante} * [h_7 - h_5]$$

$$COP_{\text{experimental}} = \frac{Q_{\text{evaporador experimental}}}{W_{c1}}$$

Con todas las variables de la ecuación se calcula el COP.

$$COP_{\text{experimental}} = 3.898$$

## PROCEDIMIENTO

- Conectar el equipo al toma corriente de 220 V, seguidamente se conecta cable USB al computador, desde ese momento se debe iniciar la toma de datos y registrarlos en el computador mediante el software SITRAD. (Ver manual en [http://www.sitrad.com/es/user\\_guide/index.html](http://www.sitrad.com/es/user_guide/index.html)).
- Una vez terminada la toma de datos, analizar el comportamiento de las gráficas proporcionadas por el software SITRAD y calcular el COP1 y COP2 por los métodos descritos en el modelo de cálculo.

## DATOS Y RESULTADOS

- Presentar las gráficas de temperatura y presión en el tiempo tomadas con el software SITRAD® e identificar cada una de las variables medidas según la siguiente tabla.

*Tabla 13. Correspondencia de datos calculados.*

<b>TABLA CORRESPONDENCIA DE TEMPERATURAS, PRESIONES Y CONSUMO ENERGETICO</b>			
<b>Estación</b>	<b>Temperatura en la estación</b>	<b>Nomenclatura del ciclo.</b>	<b>Ubicación del sensor</b>
Estación 1	Temperatura 1	Tsae	Temperatura salida aire evaporador
	Temperatura 2	T6	Temperatura entrada evaporador
	Temperatura 3	T7	Temperatura Salida evaporador
Estación 2	Temperatura 1	T1	Temperatura Entrada Compresor
	Temperatura 2	T2	Temperatura Salida Compresor
	Temperatura 3	Ta	Temperatura Ambiente
Estación 3	Temperatura 1	T3	Temperatura entrada condensador
	Temperatura 2	Tsac	Temperatura salida aire condensador
	Temperatura 3	T4	Temperatura salida condensador
Estación 4	Presión Alta	HP	Línea alta del equipo (compresor)
Estación 5	Presión Baja	LP	Línea baja del equipo (evaporador)
Estación 6	Potencia Activa	W	Alimentación Compresor

- Tabular las siguientes propiedades termodinámicas tanto a la entrada como a la salida de los equipos que componen el ciclo de refrigeración (compresor,

condensador, tubo capilar y evaporador) en un instante donde el cambio de las variables en el tiempo sea mínimo: Presión, Temperatura y consumo eléctrico.

- Calcular el COP por los dos métodos mencionados en el capítulo anterior y concluir de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Graficar el diagrama T vs S y el diagrama P vs h en EES® con los datos obtenidos para el instante seleccionado ver anexo 3.
- Hacer el análisis de resultados y conclusiones de la práctica de laboratorio.

### **MATERIALES Y EQUIPO**

- Banco de pruebas para acondicionamiento de aire, presente el centro de refrigeración y aire acondicionado de UPB.
- Computador equipado con el software SITRAD ®.

## **9 CONCLUSIONES**

Se realiza la conversión de un aire acondicionado tipo Mini Split en uno didáctico; todo esto iniciando con la selección de las variables de proceso que se desean conocer y registrar del sistema de acondicionamiento de aire. Se aprovecharon las características estándar de fabricación para la instalación de la instrumentación sin modificaciones que altere sus condiciones de operación, teniendo en cuenta que los sensores de presión se instalaron en las líneas de alta y baja presión a partir de capilares.

En el conjunto se pueden evidenciar los elementos principales del aire acondicionado que no se demuestran en un equipo convencional, permitiendo al usuario una interpretación didáctica del funcionamiento del mismo.

El equipo se instala un sistema de adquisición de datos por medio del cual cuenta con una interfaz de conexión USB que permite transmitir variables censadas tales como, temperatura, presión y consumo eléctrico de manera paralela.

Se evidencia que el consumo del compresor experimentalmente es menor que el nominal lo cual se atribuye a una baja carga de líquido refrigerante.

Se cumple con la realización de una guía de laboratorio para el cálculo del coeficiente de operación en el banco de pruebas de acondicionamiento de aire.

## 10 RECOMENDACIONES

El equipo didáctico es basado en un aire acondicionado tipo mini Split el cual brinda la posibilidad de enseñar a los alumnos, técnicos e ingenieros los principios básicos de acondicionamiento de aire por compresión de vapor, también puede utilizar para otro tipo de prácticas en el CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y CALIDAD EN REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN como por ejemplo.

- El banco de pruebas se presta para realizar prácticas de carga y descarga de refrigerante R410a, debido a esto se propone que se elabore un guía de laboratorio para este proceso el cual es de suma importancia para el medio ambiente y la economía de su mantenimiento.
- Se sugiere que se desarrollen prácticas con el equipo en condiciones desfavorables como por ejemplo obstrucción del condensador y evaporador para generar comparaciones, análisis y conclusiones de estas malas prácticas, adicional a esto se puede cargar el equipo con refrigerante distinto al recomendado por el fabricante para observar el comportamiento de presiones y temperaturas.
- En el funcionamiento del equipo en la ciudad de Medellín se presenta una producción de condensados de 0,0006060 kg/s, (calculado con un beaker y cronometro), con esta producción se propone una adecuación del sistema para enfriamiento del condensador con un equipo de aspersion de agua de condesado.
- Por motivos de sensibilidad en la instrumentación se recomienda el mantenimiento del equipo cada 12 meses, debido al costo de la calibración se sugiere el cambio de los sensores en el momento de una falla.

## 11 REFERENCIAS

- AGA S.A. (2009). *Mezcla azeotrópica (Azeotro)*.
- Aire acondicionado tipo mini Split. (2014). Obtenido de <http://www.visitacasas.com/images/aire-acondicionado.jpg>
- Aires Acondicionados. (2013). *Refrigerante 410A*. Obtenido de <http://www.aire-acondicionados.info/2013/12/refrigerante-410a.html>
- Aiza, R., & Florez, N. (2008). Diseño y montaje de una máquina productora de hielo en bloque para demostración del ciclo de refrigeración aplicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado. *Universidad Industrial de Santander*.
- Alarcon Creus, J., & Boixareu Vilaplana, J. (2009). Refrigerantes. En *Manual de Aire Acondicionado* (pág. IV 3). Barcelona: Marcombo.
- Austrias, Á. (2011). *concepto de presión*. Obtenido de <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Apuntes/Apuntes4/Presion.pdf>
- B. Whitman, B. J. (2009). *Tecnología de refrigeración y aire acondicionado*. Cengage Learning Editores S.A.
- Baeza, J. J. (1996). *Esquemas de Complementos de Química General*.
- Botero Gonima, C. (1990). *Curso Aire Acondicionado*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- C., D. R. (1987). *CURSO INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE REFRIGERACION Y SU APLICACION A LA CONSERVACION DE ALIMENTOS Y DE FLORES*.
- Cambio Climático Global. (2014). *Halocarbonos (productos halocarbonados CFCs)*.
- Castro, E. A. (2014). *Recommendations when choosing a refrigerant*.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica* (Sexta ed.). Mc Graw Hill.

*Ciclo de refrigeración simplificado.* (Abril de 2013). Obtenido de  
[http://www.clublaguna2.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=5894  
&sid=55015856324ecdc01e810f3c2f164a9c](http://www.clublaguna2.com/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=5894&sid=55015856324ecdc01e810f3c2f164a9c)

*Descripción de los diferentes tipos de Aire Acondicionado.* (2012). Obtenido de  
[http://www.elaireacondicionado.com/tipos\\_aire\\_acondicionado/](http://www.elaireacondicionado.com/tipos_aire_acondicionado/)

*Desventajas del aire acondicionado.* (s.f.). Obtenido de  
[http://www.ehowenespanol.com/desventajas-aire-acondicionado-split-comparado-ventana-lista\\_177511/](http://www.ehowenespanol.com/desventajas-aire-acondicionado-split-comparado-ventana-lista_177511/)

El aire acondicionado. (2014). *la técnica del vacío en los sistemas de aire acondicionado.*  
Obtenido de  
[http://www.elaireacondicionado.com/articulos/vacio\\_aire\\_acondicionado.04.html](http://www.elaireacondicionado.com/articulos/vacio_aire_acondicionado.04.html)

Ennergy Efficiency & Renewable Energy. (2010). *Conceptos básicos sobre el propano.*

Escuder, J. V. (1994). *Instalaciones de acondicionamiento de aire.* Barcelona: Reverté S.A.

e-URE. (2005). *Sistemas de Refrigeración y Acondicionamiento de Aire.*

*filtración.* (2005). Obtenido de <http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/filtracio.html#>

frigus bohn S.A. de C.V. (2005). *Manual de ingeniería.* Obtenido de  
<http://www.bohn.com.mx/archivospdf/bct-025-h-eng-1apm-manual-ingenieria.pdf>

Full Gauge Controls. (Septiembre de 2015). *Sitrad.* Obtenido de Via Internet:  
<http://www.sitrad.com.br/>

Gases Puros. (2010). *Isobutano.*

*Gases Refrigerantes.* (2010). Obtenido de  
<http://app1.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/Gases%20Refrigerantes.pdf>

(2012). *Glosario Refrigeración y aire acondicionado.*

- González Báez, C. (2011). *Historia del aire acondicionado*. Recuperado el 2014, de [http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia\\_aire\\_acondicionado.html](http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia_aire_acondicionado.html)
- grundfos. (2013). *HCFC (hidroclorofluorocarbono)*.
- Guggenberger, I. O. (28 de 04 de 2014).
- Harper, E. (2000). *Manual de instalaciones electromecánicas en casas y edificios*. Mexico: Limusa.
- Harris, N. C. (1961). *Equipos de aire acondicionado*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A.
- Hernández Gorívar, E. (1973). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Mexico: Limusa.
- Hoyt, R. (2012). *Desventajas de un aire acondicionado Split comparado a uno de ventana*.
- Jennings, B., & Lewis, S. (1970). *Aire Acondicionado y Refrigeración*. CONTINENTAL S.A.
- jolmar. (s.f.). *Encendedor de cazuela (chispero)*. Obtenido de <http://www.jolmar.com.mx/encendedor-cazuela.html>
- Juan Carlos Fallas Sojo. (2006). *LA HUMEDAD DEL AIRE* . Institutro Meteorológico Nacional.
- Lopez, m. t. (2004). *METODOLOGIA DE SELECCION DE REFRIGERANTES PARA SISTEMAS DE REFRIGERACION Y BOMBAS DE CALOR*. MEDELLIN.
- Martinez, I. A. (2014). *Carga de refrigerante en aire tipo split primer metodo* . Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=OGTU9Sn\\_0HE](https://www.youtube.com/watch?v=OGTU9Sn_0HE)
- Martinez, J., & Zambrano, C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de refrigeración por compresión de vapor de 1HP de capacidad que usa

refrigerante R404A, con variación del medio de transferencia de calor en el evaporador y del control de flujo de refrigerante. *Escuela Politécnica del Ejército*.

minambiente. (27 de 01 de 2015). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>

Ministerio de Agricultura, A. y. (2014). *Gases fluorados*.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ambiente. (2012). *HCFC (HIDROCLOROFLUOROCARBURAS)*.

Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, programa de las naciones unidas para el desarrollo, unidad técnica de ozono. (s.f.). *Implementación del protocolo de Montreal en Colombia: proteger la capa de ozono es proteger la vida*.

Panamericana Formas e Impresos.

Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible. (2014). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN REFRIGERACIÓN*.

Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2006). *El Mantenimiento de Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado y La Certificación Por Competencias Laborales*.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011). *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*.

Ministerio Del Ambiente de Chile. (2011). Obtenido de Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización:  
<http://www.undp.org/content/dam/undp/documents/projects/CHL/00057092/Buenas%20Practicas.pdf>

mundo HVACR. (2013). *Procedimientos para Recuperar y Reciclar Refrigerantes*. Obtenido de <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2006/03/recuperacion-y-reciclado-de-refrigerantes/>

Ocampo, S. D., & Palacio, I. C. (2010). *CARACTERIZACION DE REFRIGERANTES, SISTEMAS DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO EN HOTELES Y ZONAS BLANCAS DE MEDELLIN*. Medellin.

Oscaravila2. (2012). *como usar un soplete*. Obtenido de <http://es.wikihow.com/usar-un-soplete>

Pita, E. G. (1997). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*. CONTINENTAL, S.A.

Pita, E. G. (1997). *ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*. CONTINENTAL, S.A.

Pita, E. (s.f.). *Principios y Sistemas de Refrigeración*. Limusa.

quecalor. (s.f.). *Guía de selección*. Obtenido de <http://www.quecalor.com/aire-acondicionado-minisplit.php>

R, I. G. (2010). Obtenido de <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/02/guia-tecnica-electiva1.pdf>

Rodríguez, C. U. (2013). *MANUAL BUENAS PRÁCTICAS DE REFRIGERACIÓN UTO - UNIDAD TÉCNICA OZONO, COLOMBIA*.

Ruiz, J. D. (2012). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CENTRO DE REFRIGERANTES DE LA UNIVERISIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA*. Medellin .

Segarra, C. P., Rigola, J., Sòria, M., & Oliva, A. (2005). Detailed thermodynamic characterization of hermetic reciprocating compressors. *International Journal of Refrigeration*, 579–593.

tecnoficio. (2010). *PERMISAS GENERALES SOBRE SOLDADURA*. Obtenido de [http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura\\_oxiacetilenica.php](http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura_oxiacetilenica.php)

*Tipos de aire acondicionado*. (s.f.). Obtenido de [http://www.elaireacondicionado.com/tipos\\_aire\\_acondicionado/](http://www.elaireacondicionado.com/tipos_aire_acondicionado/)

Totaline. (2009). *Capacitaciones Clientes Totaline*.

Universidad Nacional Del Callao. (2011). *Temperatura y Calor*. Obtenido de

[http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Invstigacion/Mayo\\_2011/IF\\_CABRERA\\_FIQ/CAP.%204.PDF](http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Invstigacion/Mayo_2011/IF_CABRERA_FIQ/CAP.%204.PDF)

Universidad Pontificia Bolivariana. (2014). *UPB y HACEB inaguran Centro de Climatización y Refrigeración*. Medellín.

Vera, D. A. (2009). *Sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. E-ure.

Yañez, I. G. (2014). *El Standard 34 de ASHRAE Nomenclatura de los Gases Refrigerantes*.

## 12 ANEXOS.

### 1. Modelo de desarrollo de la guía del laboratorio en software EES.

#### Modelo calculo experimental

"Condiciones Experimentales Mini Split"

"Marca: LENNOX"

"Modelo: LXG-AHTC012100P4"

Ref\$='R410A'

P\_atm=85 [kPa]

"Estación 1"

T\_10=10,5 [C] "Temperatura aire salida evaporador"

T\_6=9,2 [C] "Temperatura entrada evaporador"

T\_7=10,5 [C] "Temperatura salida evaporador"

"Estación 2"

T\_1=9,7 [C] "Temperatura entrada compresor"

T\_2=55,3 [C] "Temperatura salida compresor"

T\_9=23 [C] "Temperatura aire entrada evaporador - Temperatura ambiente"

"Estación 3"

T\_3=54 [C] "Temperatura entrada condensador"

T\_11=35 [C] "Temperatura aire salida condensador"

T\_5=22,2 [C] "Temperatura salida condensador"

"Estación 4"

P\_C=370\*convert(psi;kPa)+P\_atm "Presión entrada condensador"

{P\_C=pressure(Ref\$;T=T\_C;X=1) "Presión entrada condensador"}

"Estación 5"

P\_E=105\*convert(psi;kPa)+P\_atm "Presión salida evaporador"

{P\_E=pressure(Ref\$;T=T\_E;X=1) "Presión salida evaporador"}

"Estación 6"

W\_dot\_CP=491/1000 [kW] "Consumo compresor"

T\_C=Temperature(Ref\$;p=P\_C;X=1) "Temperatura saturación condensador"

T\_E=Temperature(Ref\$;p=P\_E;X=1) "Temperatura saturación evaporador"

DELTAT\_SH=T\_1-T\_E "Temperatura sobrecalentamiento"

DELTAT\_SC=T\_C-T\_5 "Temperatura de subenfriamiento"

f\_P=P\_C/P\_E

T\_1=T\_E+DELTAT\_SH\_TOT

DELTAT\_SH\_TOT=DELTAT\_SH\_SL+DELTAT\_SH

h\_1=enthalpy(Ref\$;T=T\_1;p=P\_E) "Entalpía entrada compresor"

rho\_1=density(Ref\$;T=T\_1;p=P\_E) "Densidad entrada compresor"

s\_1=entropy(Ref\$;T=T\_1;p=P\_E) "Entropía entrada compresor"

s\_2=s\_1 "Proceso isoentrópico"

h\_2\_IS=enthalpy(Ref\$;s=s\_2;p=P\_C) "Entalpía salida compresor isoentropica"

h\_2=enthalpy(Ref\$;p=P\_C;T=T\_2)

T\_4=Temperature(Ref\$;p=P\_C;X=0) "Temperatura liquido saturado sale condensador"  
h\_5=enthalpy(Ref\$;T=T\_4-DELTAT\_SC-0,01;p=P\_C) "Entalpía salida condensador"  
h\_7=enthalpy(Ref\$;T=T\_E+DELTAT\_SH+0,001;p=P\_E) "Entalpía salida evaporador"

eta\_IS=m\_dot\_REF\*(h\_2\_IS-h\_1)/W\_dot\_CP "Flujo másico de refrigerante kg/s"  
eta\_IS=0,682 "Dato del cálculo de eficiencia isoentrópica"

Q\_dot\_CP=W\_dot\_CP-m\_dot\_REF\*(h\_2-h\_1) "Pérdidas calor compresor"  
f\_Q/100=Q\_dot\_CP/W\_dot\_CP "Factor de perdidas de calor compresor"

Q\_dot\_E=m\_dot\_REF\*(h\_7-h\_5) "Capacidad evaporador"  
Q\_dot\_E\_BTU=Q\_dot\_E\*convert(kW;BTU/h) "Capacidad evaporador en BTU/h"

COP=Q\_dot\_E/W\_dot\_CP "COP"  
COP\_X=m\_dot\_REF\*(h\_1-h\_5)/W\_dot\_CP

m\_dot\_REF\_H=m\_dot\_REF\*3600 "Flujo másico de refrigerante kg/h"  
V\_dot\_REF=m\_dot\_REF/rho\_1 "Flujo volumétrico de refrigerante m^3/s"  
V\_dot\_REF\_H=V\_dot\_REF\*3600 "Flujo volumétrico de refrigerante m^3/h"

V\_d=11,8\*convert(cm^3;m^3) "Flujo volumétrico compresor cm^3/rev"  
rpm=3600  
V\_dot\_D\_CP\_IN\_H=V\_d\*rpm\*60 [m^3/h] "Flujo volumétrico compresor m^3/h"  
V\_dot\_D\_CP\_IN\_H\_CYC=V\_dot\_D\_CP\_IN\_H\*CYC/100

{Q\_dot\_E=3390/1000 [kW] "Capacidad Evaporador"}

CYC=100 "Porcentaje de capacidad"

## Modelo calculo nominal.

"Condiciones Nominales del Compresor"

"Modelo: PA118M1C-4FZ2"

Ref\$='R410A'

V\_d=11,8\*convert(cm^3;m^3) "Flujo volumétrico compresor cm^3/rev"

rpm=3600

V\_dot\_D\_CP\_IN\_H=V\_d\*rpm\*60 [m^3/h] "Flujo volumétrico compresor m^3/h"

Q\_dot\_E=3390/1000 [kW] "Capacidad Evaporador"

W\_dot\_CP=1115/1000 [kW] "Consumo compresor"

"Condiciones de prueba ASH"

T\_C=54,4 [C] "Temperatura saturación condensador"

T\_5=46,1 [C] "Temperatura de salida del condensador"

T\_E=7,2 [C] "Temperatura saturación evaporador"

T\_1=35 [C] "Temperatura entrada al compresor"

T\_amb=35 [C] "Temperatura ambiente"

T\_2=85 [C] "Temperatura salida del compresor"

DELTAT\_SH=T\_1-T\_E "Temperatura sobrecalentamiento"

DELTAT\_SC=T\_C-T\_5 "Temperatura de subenfriamiento"

{T\_E=7,2 "Temperatura saturación evaporador"}

P\_E=pressure(Ref\$;T=T\_E;X=1) "Presión salida evaporador"

{T\_C=54,4 "Temperatura saturación condensador"}

P\_C=pressure(Ref\$;T=T\_C;X=1) "Presión entrada condensador"

```

{DELTA_T_SH=27,8 "Temperatura sobrecalentamiento"}
{T_1=35 "Temperatura entrada compresor"}
{DELTA_T_SC=8,3 "Temperatura de subenfriamiento"}
{Q_dot_E=3,390 "Capacidad Evaporador"}
{W_dot_CP=1,115 "Consumo compresor"}
CYC=100 "Porcentaje de capacidad"
{V_dot_D_CP_IN_H=2,55 "Flujo volumétrico compresor m^3/h"}
{T_2=85 "Temperatura salida compresor"}

```

```

h_1=enthalpy(Ref$;T=T_1;p=P_E) "Entalpía entrada compresor"
rho_1=density(Ref$;T=T_1;p=P_E) "Densidad entrada compresor"
s_1=entropy(Ref$;T=T_1;p=P_E) "Entropía entrada compresor"

```

```

s_2=s_1 "Proceso isoentrópico"
h_2_IS=enthalpy(Ref$;s=s_2;p=P_C) "Entalpía salida compresor isoentropica"
T_4=Temperature(Ref$;p=P_C;X=0) "Temperatura liquido saturado sale condensador"
h_5=enthalpy(Ref$;T=T_4-DELTA_T_SC-0,01;p=P_C) "Entalpía salida condensador"
h_7=enthalpy(Ref$;T=T_E+DELTA_T_SH+0,001;p=P_E) "Entalpía salida evaporador"
m_dot_REF=Q_dot_E/(h_7-h_5) "Flujo másico de refrigerante kg/s"
m_dot_REF_H=m_dot_REF*3600 "Flujo másico de refrigerante kg/h"
V_dot_REF=m_dot_REF/rho_1 "Flujo volumétrico de refrigerante m^3/s"
V_dot_REF_H=V_dot_REF*3600 "Flujo volumétrico de refrigerante m^3/h"
V_dot_D_CP_IN_H_CYC=V_dot_D_CP_IN_H*CYC/100
eta_IS=m_dot_REF*(h_2_IS-h_1)/W_dot_CP "Eficiencia Isoentrópica compresor"
COP=Q_dot_E/W_dot_CP "COP"
COP_X=m_dot_REF*(h_1-h_5)/W_dot_CP

```

```

T_1=T_E+DELTA_T_SH_TOT
f_P=P_C/P_E
h_2=enthalpy(Ref$;p=P_C;T=T_2)
Q_dot_T_1P=W_dot_CP-m_dot_REF*(h_2-h_1)
f_Q/100=Q_dot_T_1P/W_dot_CP
V_dot_D_CP_IN_H_CYC=V_dot_D_CP_IN_H*3600
eta_VOL=V_dot_REF/V_dot_D_CP_IN
DELTA_T_SH_TOT=DELTA_T_SH_SL+DELTA_T_SH

```

## 2. Catálogo del fabricante del compresor GMCC MI PA118-mi

### R410A

1 φ -60Hz-208/230V

测试条件 Test Condition: ASH

SN	ASN68N1UDZ	6,8	2100	7165	677	3,10	25/370	251	8,1	9,8	—
	ASN89N1UDZ	8,9	2715	9264	895	3,03	25/370	251	8,1	9,8	—
M1	PA108M1C-3FZDU	10,8	3150	10748	1030	3,06	35/370	279	8,1	12,9	—
	PA118M1C-3FZU	11,8	3390	11567	1115	3,04	35/370	279	8,1	12,9	—
SM	ASM130N1UDZ	13,0	2620	8939	845	3,10	35/370	292	8,1	9,8	▲
M2	PA160M2A-3ETU	16,0	4785	16325	1570	3,05	40/370	303	9,8	12,9	—
	PA170M2A-3ETU1	17,1	5155	17589	1162	3,10	40/370	303	9,8	12,9	—
	PA200M2CS-3MUU1	19,8	5800	19790	1940	2,99	50/370	344	9,8	16,2	—
	PA210M2C-3ETU2	20,8	6160	21018	2035	3,03	50/370	322	9,8	12,9	—
	PA225M2A-3MTU1	22,5	6650	22690	2180	3,05	55/370	322	9,8	16,2	—
	PA240M2A-3MTU2	24,0	7160	24430	2365	3,03	55/370	322	9,8	16,2	—
	PA250M2CS-3MUU1	25,0	7475	25505	2495	3,00	60/370	344	9,8	16,2	—
X3	PA270X3CS-3MUU	26,9	8160	27842	2700	3,02	55/400	382	9,8	16,2	—
	PA291X3CS-3MTU	28,8	8650	29514	2805	3,08	55/400	382	9,8	16,2	—

## REFRIGERATING CAPACITY TEST CONDITION

机种系列 Compressor Series	定速机种 Fixed-Frequency				直流变频 DC Inverter
测定电源 Test Power Source					专用变频器,60rps时 Inverter Driving at 60rps
测试条件 Test Condition	GX	ASH	ASH★	HPWH	SEER60
冷凝温度 Condensing Temp.℃	46.0	54.4	54.4	60.0	42.3
过冷液温度 Liquid Temp.℃	41.0	46.1	32.2	50.0	34.3
蒸发温度 Evaporating Temp.℃	10.0	7.2	-23.3	10.0	2.7
吸气温度 Suction Temp.℃	18.0	35.0	32.2	20.0	12.8
环境温度 Ambient Temp.℃	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
排气温度 Discharge Temp.℃		85.0			
备注 Remarks	●	**		★	输入功率包含 变频器功率 Includ. Inverter Power
	强制空冷 Forced Air Cooling ** 喷液机种: 喷液冷却 Cooling by liquid Injection for Injection Models ● 对应1、2级高效产品 For higher efficiency products ★ 热泵热水专用机种测试工况 Testing conditions for special heat-pump water heater compressor ASH ★ ASH冷冻冷藏专用测试工况 ASH refrigeration test condition				

### 3. Cálculos:

A continuación se muestran las bases para los cálculos de la tabla 12.

- Ecuaciones y datos del modelo de cálculo nominal.

Datos:

$$T_C = 54,4 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura saturación condensador}$$

$$T_5 = 46,1 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura de salida del condensador}$$

$$T_E = 7,2 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura saturación evaporador}$$

$$T_1 = 35 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura entrada al compresor}$$

$$T_{amb} = 35 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura ambiente}$$

$$T_2 = 85 \text{ [C]} \quad \text{Temperatura salida del compresor}$$

$$\Delta T_{SH} = T_1 - T_E \quad \text{Temperatura sobrecalentamiento}$$

$$\Delta T_{SC} = T_C - T_5 \quad \text{Temperatura de subenfriamiento}$$

$$P_E = P (\text{Ref\$} ; T = T_E ; x = 1) \quad \text{Presión salida evaporador}$$

$$P_C = P (\text{Ref\$} ; T = T_C ; x = 1) \quad \text{Presión entrada condensador}$$

$$CYC = 100 \quad \text{Porcentaje de capacidad}$$

$$h_1 = h (\text{Ref\$} ; T = T_1 ; P = P_E) \quad \text{Entalpía entrada compresor}$$

$$\rho_1 = \rho (\text{Ref\$} ; T = T_1 ; P = P_E) \quad \text{Densidad entrada compresor}$$

$$s_1 = s (\text{Ref\$} ; T = T_1 ; P = P_E) \quad \text{Entropía entrada compresor}$$

$$s_2 = s_1 \quad \text{Proceso isoentrópico}$$

$$h_{2;1s} = h (\text{Ref\$} ; s = s_2 ; P = P_C) \quad \text{Entalpía salida compresor isoentropica}$$

$$T_4 = T (\text{Ref\$} ; P = P_C ; x = 0) \quad \text{Temperatura liquido saturado sale condensador}$$

$$h_5 = h (\text{Ref\$} ; T = T_4 - \Delta T_{SC} - 0,01 ; P = P_C) \quad \text{Entalpía salida condensador}$$

$$h_7 = h (\text{Ref\$} ; T = T_E + \Delta T_{SH} + 0,001 ; P = P_E) \quad \text{Entalpía salida evaporador}$$

Ecuaciones:

$$V_d = 11,8 \cdot \left| 0,000001 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{cm}^3} \right| \quad \text{Flujo volumétrico compresor cm}^3/\text{rev}$$

$$\text{rpm} = 3600$$

$$\dot{V}_{D;CP;IN;H} = V_d \cdot \text{rpm} \cdot 60 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{Flujo volumétrico compresor m}^3/\text{h}$$

$$\dot{Q}_E = \frac{3390}{1000} \quad [\text{kW}] \quad \text{Capacidad Evaporador}$$

$$\dot{W}_{CP} = \frac{1115}{1000} \quad [\text{kW}] \quad \text{Consumo compresor}$$

$$\dot{m}_{REF} = \frac{\dot{Q}_E}{h_7 - h_5} \quad \text{Flujo másico de refrigerante kg/s}$$

$$\dot{m}_{REF;H} = \dot{m}_{REF} \cdot 3600 \quad \text{Flujo másico de refrigerante kg/h}$$

$$\dot{V}_{REF} = \frac{\dot{m}_{REF}}{\rho_1} \quad \text{Flujo volumétrico de refrigerante m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{REF;H} = \dot{V}_{REF} \cdot 3600 \quad \text{Flujo volumétrico de refrigerante m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{D;CP;IN;H;CYC} = \dot{V}_{D;CP;IN;H} \cdot \frac{\text{CYC}}{100}$$

$$\eta_{IS} = \dot{m}_{REF} \cdot \left[ \frac{h_{2;IS} - h_1}{W_{CP}} \right] \quad \text{Eficiencia Isoentrópica compresor}$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_E}{W_{CP}} \quad \text{COP}$$

$$\text{COP}_X = \dot{m}_{REF} \cdot \left[ \frac{h_1 - h_5}{W_{CP}} \right]$$

- Ecuaciones y datos del modelo de cálculo experimental:

Condiciones Experimentales Mini Split

Marca: LENNOX

Modelo: LXG-AHTC012100P4

Ref\$ = 'R410A'

$P_{atm} = 85$  [kPa]

Estación 1

$T_{10} = 10,5$  [C] Temperatura aire salida evaporador

$T_8 = 9,2$  [C] Temperatura entrada evaporador

$T_7 = 10,5$  [C] Temperatura salida evaporador

Estación 2

$T_1 = 9,7$  [C] Temperatura entrada compresor

$T_2 = 55,3$  [C] Temperatura salida compresor

$T_9 = 23$  [C] Temperatura aire entrada evaporador - Temperatura ambiente

Estación 3

$T_3 = 54$  [C] Temperatura entrada condensador

$T_{11} = 35$  [C] Temperatura aire salida condensador

$T_5 = 22,2$  [C] Temperatura salida condensador

Estación 4

$$P_C = 370 \cdot \left| 6,895 \cdot \frac{\text{kPa}}{\text{psi}} \right| + P_{atm} \quad \text{Presión entrada condensador}$$

Estación 5

$$P_E = 105 \cdot \left| 6,895 \cdot \frac{\text{kPa}}{\text{psi}} \right| + P_{atm} \quad \text{Presión salida evaporador}$$

## Estación 6

$$W_{CP} = \frac{AQ1}{1000} \text{ [kW]} \quad \text{Consumo compresor}$$

$$T_C = T(\text{Ref\$}; P = P_C; x = 1) \quad \text{Temperatura saturación condensador}$$

$$T_E = T(\text{Ref\$}; P = P_E; x = 1) \quad \text{Temperatura saturación evaporador}$$

$$\Delta T_{SH} = T_1 - T_E \quad \text{Temperatura sobrecalentamiento}$$

$$\Delta T_{SC} = T_C - T_5 \quad \text{Temperatura de subenfriamiento}$$

$$f_P = \frac{P_C}{P_E}$$

$$T_1 = T_E + \Delta T_{SH;TOT}$$

$$\Delta T_{SH;TOT} = \Delta T_{SH;SL} + \Delta T_{SH}$$

$$h_1 = h(\text{Ref\$}; T = T_1; P = P_E) \quad \text{Entalpía entrada compresor}$$

$$\rho_1 = \rho(\text{Ref\$}; T = T_1; P = P_E) \quad \text{Densidad entrada compresor}$$

$$s_1 = s(\text{Ref\$}; T = T_1; P = P_E) \quad \text{Entropía entrada compresor}$$

$$s_2 = s_1 \quad \text{Proceso isoentrópico}$$

$$h_{2;is} = h(\text{Ref\$}; s = s_2; P = P_C) \quad \text{Entalpía salida compresor isoentropica}$$

$$h_2 = h(\text{Ref\$}; P = P_C; T = T_2)$$

$$T_4 = T(\text{Ref\$}; P = P_C; x = 0) \quad \text{Temperatura liquido saturado sale condensador}$$

$$h_5 = h(\text{Ref\$}; T = T_4 - \Delta T_{SC} - 0,01; P = P_C) \quad \text{Entalpía salida condensador}$$

$$h_7 = h(\text{Ref\$}; T = T_E + \Delta T_{SH} + 0,001; P = P_E) \quad \text{Entalpía salida evaporador}$$

$$\eta_{IS} = \dot{m}_{REF} \cdot \left[ \frac{h_{2:IS} - h_1}{W_{CP}} \right] \text{ Flujo másico de refrigerante kg/s}$$

$$\eta_{IS} = 0,682 \text{ Dato del cálculo de eficiencia isoentrópica}$$

$$\dot{Q}_{CP} = \dot{W}_{CP} - \dot{m}_{REF} \cdot (h_2 - h_1) \text{ Pérdidas calor compresor}$$

$$\frac{f_Q}{100} = \frac{\dot{Q}_{CP}}{W_{CP}} \text{ Factor de perdidas de calor compresor}$$

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_{REF} \cdot (h_7 - h_5) \text{ Capacidad evaporador}$$

$$\dot{Q}_{E:BTU} = \dot{Q}_E \cdot \left| 3412 \cdot \frac{BTU/h}{kW} \right| \text{ Capacidad evaporador en BTU/h}$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{W_{CP}} \text{ COP}$$

$$COP_X = \dot{m}_{REF} \cdot \left[ \frac{h_1 - h_5}{W_{CP}} \right]$$

$$\dot{m}_{REF;H} = \dot{m}_{REF} \cdot 3600 \text{ Flujo másico de refrigerante kg/h}$$

$$\dot{V}_{REF} = \frac{\dot{m}_{REF}}{\rho_1} \text{ Flujo volumétrico de refrigerante m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{REF;H} = \dot{V}_{REF} \cdot 3600 \text{ Flujo volumétrico de refrigerante m}^3/\text{h}$$

$$V_d = 11,8 \cdot \left| 0,000001 \cdot \frac{m^3}{cm^3} \right| \text{ Flujo volumétrico compresor cm}^3/\text{rev}$$

$$rpm = 3600$$

$$\dot{V}_{D;CP;IN;H} = V_d \cdot rpm \cdot 60 \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ Flujo volumétrico compresor m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{D;CP;IN;H;CYC} = \dot{V}_{D;CP;IN;H} \cdot \frac{CYC}{100}$$

$$CYC = 100 \text{ Porcentaje de capacidad}$$

$$\dot{V}_{D;CP;IN;H;CYC} = \dot{V}_{D;CP;IN} \cdot 3600$$

$$\eta_{VOL} = \frac{\dot{V}_{REF}}{\dot{V}_{D;CP;IN}}$$

## 13 GLOSARIO

- Aire acondicionado: El acondicionamiento de aire es el proceso por el cual al aire de un ambiente determinado se le modifican ciertas características tales como la humedad y la temperatura de igual manera permite controlar su calidad y flujo.
- Refrigerante: Refrigerante es teóricamente cualquier fluido o sustancia que pueda absorber calor a una baja presión y a una baja temperatura, y que lo pueda liberar a una presión mayor y a una temperatura mayor. (Gases Refrigerantes, 2010)
- “Mini – Split”: Los sistemas de aire acondicionado tipo mini Split son equipos utilizados para el acondicionamiento de aire principalmente en los hogares, bien sea para un generar un ambiente más caliente o más frío según el confort deseado por el usuario.
- Flamabilidad: Porcentaje que se le asigna a un material, respecto a la característica que tiene de quemarse o prenderse mientras está expuesto a llamas.