



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO
CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES
DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE**

Allan Ramsses Raxón Herrera

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO
CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES
DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALLAN RAMSSES RAXÓN HERRERA
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MUÑOZ PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de abril de 2015.

Allan Ramsses Raxón Herrera

Guatemala, 20 de enero de 2016

Ingeniero

Roberto Guzmán Ortiz

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

De manera atenta me dirijo a usted para comunicarle que se ha finalizado la etapa de revisión del trabajo de graduación presentado por el estudiante Allan Ramsses Raxón Herrera, carné 20016 14782, titulado: **"MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE"**, en la que se han realizado las correcciones pertinentes y considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Dado lo anterior me permito extender la aprobación para continuar con el proceso correspondiente.

Atentamente,



Jorge Mario Muñoz Paz
Ing. Mecánico Industrial
Col. 5396

Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Colegiado No. 5396



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.099.2016

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE**, desarrollado por el estudiante **Allan Ramsses Raxón Herrera, carné 2001-614782** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2701

Guatemala, marzo 2016



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

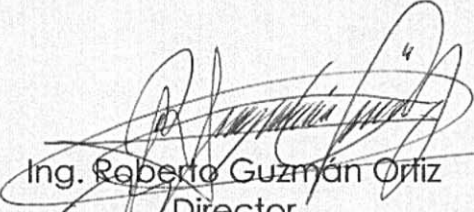
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.136.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN, PARA APLICACIONES DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE**, del estudiante **Allan Ramsses Raxón Herrera**, carné No. **2006-14782** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



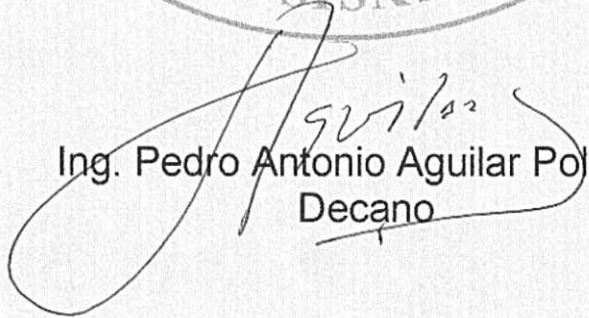
Guatemala, abril de 2016

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO TIPO CHILLER DE 3 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN PARA APLICACIONES DOMÉSTICO-COMERCIALES EN LA CLIMATIZACIÓN DE AIRE**, Presentado por el estudiante universitario: **Allan Ramsses Raxón Herrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2016



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su bendición, amor y misericordia en todo momento de mi vida
Mis padres	José Luis y María Antonia, por su amor incondicional y su apoyo a lo largo de este maravilloso camino llamado vida.
Mis hermanos	Paola, José Luis, Alejandro y Mario, por ser fuente de inspiración y apoyo en todo momento.
Liliana	Por todo su apoyo para culminar esta meta tan importante en mi vida.
Mis sobrinos	María Emilia y José Luis, por su amor puro y sincero, que esta meta les sirva como ejemplo para tener éxito en sus estudios a lo largo de su propio caminar.
Mi cuñada	María (q. e. p. d.), estamos seguros que desde el cielo al lado de nuestro Señor, está compartiendo con nosotros este triunfo.
Amigos	Por compartir conmigo esta etapa de desarrollo como profesional durante mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme brindado la oportunidad de culminar mis estudios a nivel superior.
Facultad de Ingeniería	Por enseñarme y brindarme todo el conocimiento requerido en el campo de la ingeniería.
Mis catedráticos	Por su conocimiento brindado en los salones de clases.
Mi asesor	Ingeniero Mario Muñoz Paz, por su tiempo y su conocimiento compartido en la elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.1. Ubicación.....	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión.....	3
1.4. Política de calidad	3
1.4.1. Confianza.....	3
1.4.2. Responsabilidad	4
1.4.3. Integridad.....	4
1.4.4. Honestidad.....	4
1.4.5. Servicio	4
1.4.6. Creatividad.....	5
1.4.7. Autodisciplina.....	5
1.4.8. Plena confianza en Dios	5
1.5. Organigrama de la empresa	5
2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	7
2.1. Circuito de refrigeración.....	7
2.1.1. Partes de un circuito de refrigeración	8

2.2.	Sistemas de refrigeración por expansión directa	10
2.3.	Sistemas de refrigeración por expansión indirecta.....	12
2.4.	Ciclos de refrigeración.....	14
2.4.1.	Ciclo de Carnot.....	14
2.4.2.	Ciclo de un vapor refrigerante	16
2.4.3.	Ciclo mecánico de compresión.....	17
2.4.4.	Refrigeración por absorción	20
2.4.4.1.	Sistema de amoníaco y solución agua-amoníaco	22
2.4.4.2.	Sistema bromo-litio.....	25
3.	COMPONENTES PARA EL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO <i>CHILLER</i>	29
3.1.	Compresor	29
3.1.1.	Compresión	29
3.1.2.	Tipos de compresor.....	30
3.1.2.1.	Compresor reciprocante	30
3.1.2.2.	Compresor de paletas rotatorias	32
3.1.2.3.	Compresor rotatorio de un solo tornillo.....	34
3.1.2.4.	Compresor <i>scroll</i>	38
3.1.2.4.1.	Funcionamiento de los compresores <i>scroll</i> ..	42
3.1.2.4.2.	Ventajas del compresor <i>scroll</i>	43
3.1.2.4.3.	Lubricación.....	44
3.1.2.4.4.	Características técnicas exigidas para aceites lubricantes	44

3.2.	Intercambiador de carcasa y tubo	45
3.2.1.	Tipos de arreglos en intercambiadores de carcasa y tubo	48
3.2.1.1.	Ajuste cuadrado	48
3.2.1.2.	Ajuste cuadrado girado	49
3.2.1.3.	Ajuste triangular	50
3.3.	Circuito eléctrico	51
3.3.1.	Contactador	51
3.3.2.	Retardador de tiempo	51
3.3.3.	Relé	52
3.3.4.	Bornera	52
3.3.5.	Transformador	53
3.3.6.	Controles	53
3.3.7.	<i>Switch</i> de flujo	53
3.3.7.1.	<i>Switch</i> de flujo tipo paleta (compuerta)	53
3.3.7.2.	<i>Switch</i> de flujo tipo elevación (tapón) ..	54
3.3.8.	Presostato	54
3.3.8.1.	Presostato de alta presión	54
3.3.8.2.	Presostato de baja presión	55
3.4.	Serpentín	55
3.4.1.	Serpentín en forma de “A”	55
3.4.2.	Serpentín inclinado	57
3.4.3.	El serpentín en forma de “H”	58
3.4.4.	Circuitos de serpentín	58
3.4.5.	Selección del serpentín	59
4.	NOMENCLATURA A UTILIZAR PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	61

4.1.	Refrigerante	61
4.1.1.	Efecto refrigerante.....	61
4.1.2.	Punto de ebullición	62
4.1.2.1.	Dióxido de carbono (CO ₂)	62
4.1.2.2.	Diclorometano (CH ₂ Cl ₂).....	63
4.1.2.3.	Amoníaco (NH ₃)	64
4.1.3.	Relación refrigerante-aceite	65
4.1.4.	Tipos de refrigerante	66
4.1.4.1.	Amoníaco (NH ₃)	68
4.1.4.2.	Dióxido de carbono (CO ₂)	68
4.1.4.3.	Anhídrido sulfuroso (SO ₂).....	69
4.1.4.4.	Grupo de hidrocarburos.....	69
4.1.4.5.	Grupo halogenado.....	71
	4.1.4.5.1. Familia de los hidrocarburos clorados.....	71
	4.1.4.5.2. Familia de los hidrocarburos fluorados	72
	4.1.4.5.3. Bromos.....	74
4.1.4.6.	Familia de los azeotropos.....	74
4.1.4.7.	Refrigerantes misceláneos	75
	4.1.4.7.1. Vapor de agua.....	75
	4.1.4.7.2. Aire.....	75
4.1.4.8.	Refrigeración verde	76
4.1.5.	Refrigerantes secundarios.....	77
4.1.5.1.	Agua	77
4.1.5.2.	Salmuera	78

	4.1.5.2.1.	Cloruro de calcio (CaCl ₂).....	78
	4.1.5.2.2.	Cloruro de sodio (NaCl ₂).....	79
	4.1.6.	Nomenclatura para el refrigerante a utilizar	80
4.2.		Toneladas de refrigeración del equipo	81
	4.2.1.	Nomenclatura para la capacidad en toneladas de refrigeración a utilizar	82
4.3.		Selección de intercambiador	82
	4.3.1.	Pasos del funcionamiento del intercambiador de calor.....	86
	4.3.2.	Nomenclatura para la capacidad del intercambiador a utilizar.....	88
4.4.		Selección de compresor	89
	4.4.1.	Funcionamiento de los compresores Copeland <i>scroll</i>	90
	4.4.2.	Beneficios de los compresores Copeland <i>scroll</i>	90
5.		MANUAL DE FABRICACIÓN DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO CHILLER DE UNA CAPACIDAD DE 3 TONELADAS	93
	5.1.	Planos de construcción del equipo	93
		5.1.1. Estructura metálica y soportería	93
		5.1.2. Ventilación de la unidad tipo <i>chiller</i>	98
		5.1.3. Ventilador y serpentín de condensador	101
		5.1.4. Circuito de refrigeración.....	105
		5.1.5. Conexiones circuito secundario	108
	5.2.	Partes que conforman el equipo de refrigeración tipo <i>chiller</i> .	110
	5.3.	Nomenclatura del equipo.....	111

5.4.	Materiales utilizados en la fabricación y ensamblaje de la unidad	112
5.5.	Presentación final del equipo	113
CONCLUSIONES.....		117
RECOMENDACIONES		119
BIBLIOGRAFÍA.....		121
APÉNDICES.....		123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación SEIMAR.....	2
2.	Organigrama SEIMAR.....	6
3.	Ganancias y disipación de calor en un sistema de refrigeración.....	8
4.	Ciclo de Carnot	15
5.	Ciclo de refrigerante en el diagrama T. S.....	16
6.	Diagrama presión-entalpía de un refrigerante	17
7.	Diagrama de un circuito de refrigeración mecánica de una etapa	18
8.	Diagrama Ph de sistema frigorífico de compresión mecánica y expansión directa de una etapa	20
9.	Circuito típico de refrigeración por absorción	21
10.	Refrigeración por absorción, sistema amoníaco-agua-amoníaco	23
11.	Refrigeración por absorción, sistema bromo-litio	26
12.	Equipo de refrigeración por absorción Carrier Corp.....	27
13.	Compresión del refrigerante.....	30
14.	Compresor reciprocante de doble acción y una etapa	31
15.	Sección a través de un compresor típico de paletas con Nv paletas ...	33
16.	Principio de operación y configuración de un compresor de un solo tornillo.....	35
17.	Volumen en las roscas vs. rotación del rotor principal para compresores de tornillo sencillo o de tornillo doble	36
18.	EL efecto de la relación integrada de volumen en el trabajo teórico de compresión en un compresor que opera fuera del punto de diseño	37
19.	Aspiración de gas refrigerante en un compresor <i>scroll</i>	40

20.	Compresión de refrigerante la entrada del paso de gas se sella por la espiral.....	41
21.	Descarga de gas refrigerante en un compresor <i>scroll</i>	41
22.	Condensador de carcasa y tubo	47
23.	Enfriador de tubos.....	48
24.	Representación gráfica de un arreglo cuadrado en un intercambiador de coraza y tubos.....	49
25.	Representación gráfica de un arreglo cuadrado girado en un intercambiador de coraza y tubos	49
26.	Representación gráfica de un arreglo triangular en un intercambiador de coraza y tubos.....	50
27.	Serpentín en forma de “A”	56
28.	Serpentín inclinado, con ángulo de 60°	57
29.	Serpentín para agua helada en forma de “H”	58
30.	Ciclo de refrigerante cuando se usa dióxido de carbono como refrigerante	62
31.	Ciclo de refrigeración cuando se usa diclorometano (CH ₂ Cl ₂) como refrigerante	63
32.	Ciclo de refrigeración cuando se usa amoníaco como refrigerante	64
33.	Intercambiador de Aqua Systems Inc. En 3D	84
34.	Intercambio de calor entre agua-refrigerante en el intercambiador Aqua Systems Inc.	86
35.	Vista en elevación frontal, estructura para el <i>chiller</i> de 3 toneladas de refrigeración.....	94
36.	Vista en elevación lateral, estructura para el <i>chiller</i> de 3 toneladas de refrigeración.....	95
37.	Vista en planta, estructura para el <i>chiller</i> de 3 toneladas de refrigeración.....	96
38.	Isométrico, estructura para el <i>chiller</i> de 3 toneladas de refrigeración ...	97

39.	Vista en elevación frontal, ventilación mediante rejillas tipo <i>louvers</i>	98
40.	Vista en elevación lateral, ventilación mediante rejillas tipo <i>louvers</i>	99
41.	Vista en planta, ventilación mediante rejillas tipo <i>louvers</i>	99
42.	Isométrico, ventilación mediante rejillas tipo <i>louvers</i>	100
43.	Vista en planta, ventilador de 17” de diámetro	101
44.	Vista en elevación, ventilador de 17” de diámetro.....	101
45.	Isométrico, ventilador de 17” de diámetro con su guarda para protección de niños, animales y cualquier objeto que dañe el ventilador	102
46.	Vista en planta, serpentín del condensador	103
47.	Vista en elevación, serpentín del condensador	103
48.	Isométrico, serpentín del condensador con el motor ventilador	104
49.	Vista en planta, circuito de refrigeración	105
50.	Vista en elevación frontal, circuito de refrigeración	106
51.	Vista en elevación lateral, circuito de refrigeración	106
52.	Isométrico, circuito de refrigeración.....	107
53.	Vista en planta de circuitos primario y secundario	108
54.	Isométrico, circuito primario y secundario	109
55.	Principales partes del equipo de refrigeración tipo <i>chiller</i> de 3 toneladas de refrigeración	110
56.	Nomenclatura para los equipos a fabricar	111
57.	Vista de planta, <i>chiller</i> terminado	113
58.	Vista elevación frontal, <i>chiller</i> terminado	114
59.	Vista en elevación lateral, <i>chiller</i> terminado	115
60.	Isométrico, <i>chiller</i> terminado	116

TABLAS

I.	Clasificación de los refrigerantes	67
II.	Clasificación de los compuestos del gas natural.....	70
III.	Características de los hidrocarburos.....	70
IV.	Características de los hidrocarburos clorados	71
V.	Características de los hidrocarburos fluorados	72
VI.	Clasificación de acuerdo a su punto de ebullición a una atmósfera.....	74
VII.	Temperatura de cristalización de la mezcla agua-cloruro de calcio.....	79
VIII.	Temperatura de cristalización de la mezcla agua-cloruro de sodio	80
IX.	Nomenclatura para el refrigerante a utilizar	81
X.	Nomenclatura para la capacidad de refrigeración a utilizar	82
XI.	Nomenclatura para la capacidad del intercambiador a utilizar	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bar	Bar
Hp	Caballo de fuerza
COP	Coeficiente de rendimiento, ciclo de refrigeración
kPa	Kilopascal
kW	Kilowatt
Psi	Libra/pulgada cuadrada
Man	Manométrico
CFM	Pies cúbicos por minuto
TR	Tonelada de refrigeración
TXV	Válvula de expansión

GLOSARIO

Bomba de agua	Equipo que convierte energía mecánica en hidráulica, aumentando la presión y la velocidad en el fluido.
Bulbo húmedo	Valor que se emplea para medir la temperatura húmeda del aire.
Bulbo seco	Valor que se emplea para medir la temperatura del aire.
<i>CFM</i>	<i>Cubic feet per minute</i> (pies cúbicos por minuto) siglas utilizadas para un caudal de aire donde relaciona un área determinada dentro de un espacio de tiempo.
<i>Chiller</i>	Equipos de refrigeración cuya función principal es enfriar agua, ya sea para procesos o para climatización en equipos centrales.
Compresor	Equipo mecánico diseñado y construido específicamente para aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles, como son los gases y vapores.
Concéntrico	Que posee el mismo centro que otra pieza.

Condensador	Parte de un circuito de refrigeración el cual funciona como un intercambiador de calor, que disipa el calor desde un lugar que no se requiere, cediéndolo a uno donde no importa cederlo.
COP	<i>Coefficient of performance</i> , (coeficiente de rendimiento del ciclo de refrigeración).
Entalpia	Variable que expresa una medida en la cantidad de energía absorbida o cedida en un sistema termodinámico.
Entropía	Variable que expresa la parte de la energía que no puede ser utilizada para producir un trabajo en un sistema termodinámico.
Evaporador	Parte de un circuito de refrigeración que funciona como un intercambiador de calor, donde se produce la transferencia de energía térmica, desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo.
Excéntrica	Pieza de una máquina en la cual el eje de rotación no ocupa el centro geométrico y que está destinada a transformar un movimiento de rotación en uno de otra clase, especialmente rectilíneo.

Fan Coil	Equipo de aire acondicionado que puede ser utilizado con expansión directa o indirecta, consta de un serpentín y dos ventiladores centrífugos.
GPM	Unidad de flujo volumétrico que relaciona un determinado caudal en un espacio de tiempo.
Material fenólico	Material con alta dureza, rigidez y resistencia, combinadas con buenas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico, y resistencia química.
HVAC	<i>Heating, ventilating and air conditioning</i> (ventilación, calefacción y aire acondicionado).
Pistón	La función principal es la de transmitir la energía de los gases de combustión a una biela.
Refrigerante	Producto químico en estado líquido o gaseoso, el cual se utiliza como transmisor de calor en un equipo térmico.
TR	Tonelada de refrigeración: es la cantidad de calor latente absorbido por la fusión de una tonelada de hielo en un lapso de 24 horas.

TXV

Thermal expansion valve (válvula de expansión térmica), es un elemento de los equipos de refrigeración encargada de expandir el gas refrigerante que pasa dentro de ella mediante un orificio.

RESUMEN

El aire acondicionado es el proceso que se considera más completo de tratamiento de aire ambiente de locales habitados; el cual consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura, ya sea calefacción o refrigeración, humedad, limpieza con aire de renovación, aire filtrado y el movimiento del aire dentro de los locales.

Entre los sistemas de acondicionamiento se cuentan los autónomos y los centralizados. Los primeros producen el calor o el frío y tratan el aire. Los segundos tienen uno o unos acondicionadores que solamente tratan el aire y obtienen la energía térmica de un sistema centralizado. En este último caso, la producción de calor suele confiarse a calderas que funcionan con combustibles. La de frío a máquinas frigoríficas, que funcionan por compresión o por absorción y llevan el frío producido mediante sistemas de refrigeración.

Parte de los sistemas centrales son los que utilizan como refrigerante secundario el agua fría o climatizada, en los cuales se obtienen cargas parciales para la climatización y así poder aumentar la capacidad de los equipos en producir agua fría, en dicho trabajo de graduación se tiene como finalidad elaborar un manual de fabricación en el cual se detalle los principios básicos de cómo funciona todo sistema de refrigeración, así como las principales partes que conforman el equipo tipo *chiller*.

OBJETIVOS

General

Crear un manual de fabricación de un equipo de refrigeración tipo *chiller* para la centralización y conversión de equipos de aire acondicionado de expansión directa a expansión indirecta en diversas aplicaciones.

Específicos

1. Conocer el uso y aplicaciones del manual de fabricación de equipos de enfriamiento tipo *chiller*.
2. Describir las principales partes que conforman el equipo de refrigeración tipo *chiller*, su nomenclatura de fabricación, así como las diferentes configuraciones de tamaños.
3. Especificar los principios y ciclos de refrigeración para equipos de expansión directa.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación surgió como parte de la búsqueda de un ahorro energético en las aplicaciones de climatización de aire en espacios domésticos o comerciales.

Parte de los sistemas de ahorro energético que se conocen actualmente son los sistemas de expansión indirecta, en los cuales se utiliza un refrigerante secundario, en este caso agua, para lograr absorber el calor en un espacio a climatizar. Para lo cual se propone un equipo de refrigeración tipo *chiller* para cumplir dicha función. Este no es más que una máquina frigorífica que utiliza un sistema principal de refrigeración y uno para la circulación de agua fría en las tuberías de los equipos que cumplirán la función de climatizar.

El manual de fabricación cuenta con la descripción de las partes más importantes y esenciales, así como los planos constructivos de un equipo de refrigeración tipo *chiller* de 3 toneladas de refrigeración.

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

SEIMAR es una empresa en constante evolución, con propuestas y soluciones específicas a las necesidades de cada uno de sus clientes en el área termo-mecánica, brindando servicios innovadores y aplicaciones totalmente personalizadas en la climatización de espacios, con control de temperatura y humedad en distintas aplicaciones; comprendiendo que cada cliente tiene necesidades técnicas particulares que caracterizan cada uno de sus productos o personalidad comercial.

Posee un alto grado de responsabilidad ambiental, por lo que busca siempre implementar, en los distintos proyectos, tecnologías verdes y amigables al ambiente, teniendo como enfoque principal el ahorro y eficiencia energética, y la utilización de productos ecológicos.

Nace con la necesidad de brindar a sus clientes soluciones basadas en la ingeniería, dando así la confianza y seguridad en cada uno de sus proyectos, con más de 19 años de experiencia en el país, como también en El Salvador y Honduras desde hace 3 años.

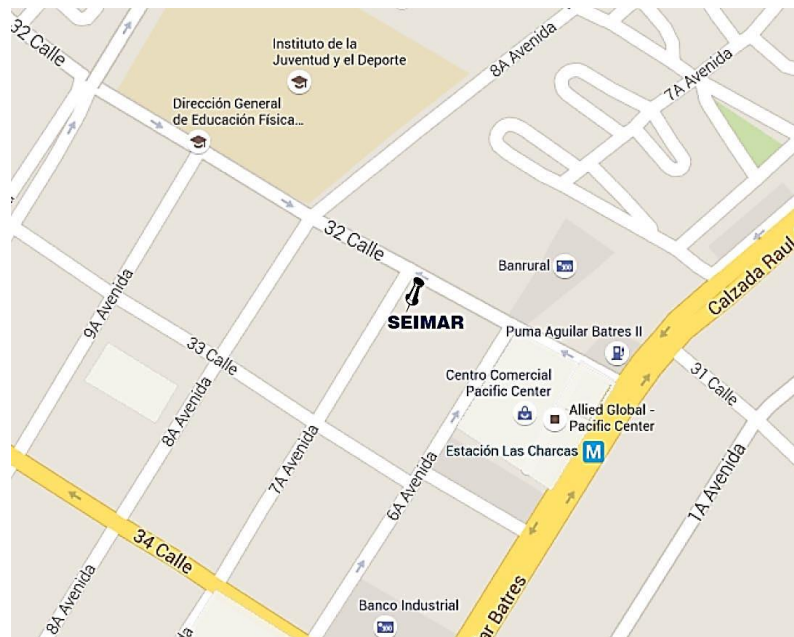
1.1. Ubicación

SEIMAR está ubicada en la ciudad de Guatemala, específicamente en la 7ª avenida 32-09, zona 11, colonia Las Charcas.

Su ubicación y accesibilidad permiten que muchas empresas e industrias soliciten los servicios de cálculo, diseño, instalación, mantenimiento y ejecución de proyectos.

A continuación, en la figura 1 se presenta la ubicación de la empresa dentro de la ciudad de Guatemala:

Figura 1. **Ubicación SEIMAR**



Fuente: Google Maps. Consulta: 24 de octubre de 2015.

1.2. Misión

Ser la empresa líder en el desarrollo, diseño, fabricación e instalación de sistemas termo mecánicos capaces de generar y mantener la temperatura que requiera en el lugar que lo requieran, ser altamente eficientes en la atención y servicio para todo aquel que confía el funcionamiento y la vida útil de sus

sistemas de aire acondicionado, refrigeración y ventilación, buscando exceder sus expectativas.

Fundamenta el éxito en un equipo de colaboradores de confianza, responsables y capacitados, que se esfuerzan día a día para satisfacer las necesidades de los clientes, lo cual permite garantizar la estabilidad, crecimiento y rentabilidad de la organización.

1.3. Visión

Ser una compañía transnacional, autosostenible, desarrolladores, diseñadores, fabricantes y distribuidores de tecnología, maquinaria, equipo, soluciones intelectuales y técnicas para todo aquel que requiera de nuestros servicios. Ser una organización innovadora, ágil y eficaz, en busca continua de la excelencia. Con un recurso humano calificado y eficiente que proporcione la satisfacción de nuestros clientes. Teniendo la base de nuestros principios y valores para buscar permanentemente el equilibrio de una visión a largo plazo, entre los intereses de nuestros clientes, empleados y accionistas.

1.4. Política de calidad

SEIMAR basa su política de calidad y servicio al cliente en principios y valores los cuales han llevado a posicionarse en 3 países centroamericanos.

1.4.1. Confianza

Trabajar en familia, la familia SEIMAR comparte una misma visión. Hablando con la verdad y con honestidad.

1.4.2. Responsabilidad

Responder por las consecuencias de las acciones y decisiones, en el trabajo y con los clientes.

Asimismo, comprender que cada derecho implica una responsabilidad.

1.4.3. Integridad

Ser honestos, actuar con rectitud, ser congruentes entre lo que se piensa, se dice y lo que se hace.

1.4.4. Honestidad

Actuar con cortesía, decencia y moderación.

Ser razonables y justos con los demás, hablando siempre con la verdad.

1.4.5. Servicio

Atender las necesidades de los clientes.

Disfrutando la experiencia de solucionar los problemas a cada uno de ellos y ayudar siempre a los compañeros de trabajo.

1.4.6. Creatividad

La constante búsqueda de soluciones y satisfacciones para sus clientes, ha llevado a desarrollar la capacidad de crear aplicaciones nuevas y hacerlas funcionar, lo que ha permitido que sus clientes confíen en su trabajo.

1.4.7. Autodisciplina

Fijar metas y cumplirlas en el tiempo establecido, esforzándose con el propósito que sus clientes queden satisfechos con el trabajo realizado.

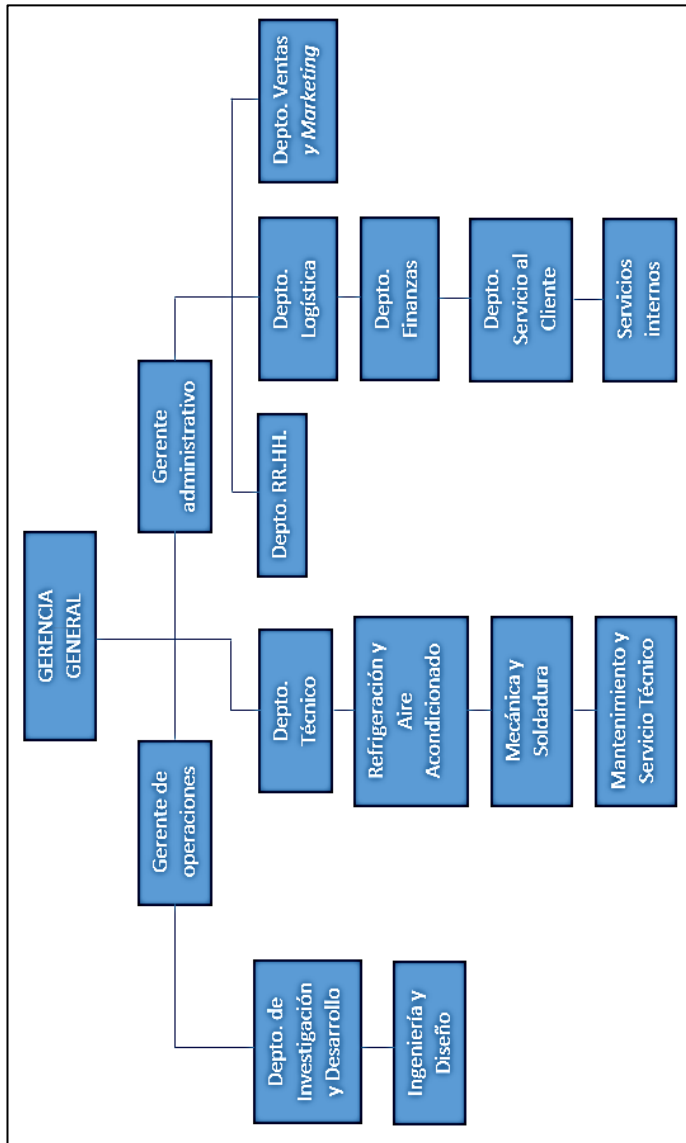
1.4.8. Plena confianza en Dios

“Si el Señor no edifica la casa, en vano trabajan los edificadores” (Salmo 127:1). “Pon tus planes en las manos del Señor y estos se realizarán” (Proverbios 16:3).

1.5. Organigrama de la empresa

SEIMAR está organizado como se describe en la figura 2.

Figura 2. Organigrama SEIMAR



Fuente: elaboración propia, SEIMAR, junio 2015.

2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

2.1. Circuito de refrigeración

Es un arreglo de tipo mecánico basado en los principios y leyes de la termodinámica, como también en la mecánica de fluidos, la función principal para lo cual ha sido diseñado es para transferir energía térmica entre dos focos, desplazando la energía térmica contenida en uno de esos focos, a fin de obtener una menor temperatura en este mismo. Estos focos suelen ser sistemas termodinámicamente cerrados.

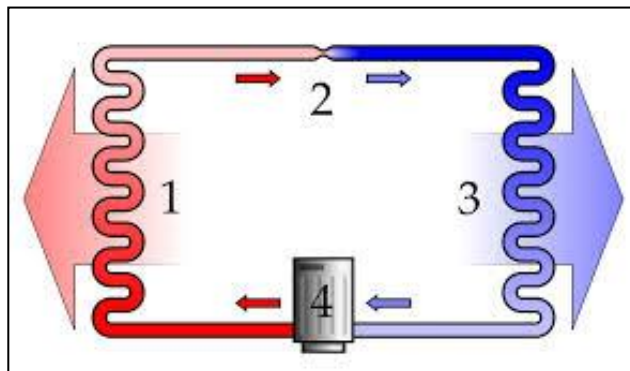
Esta transferencia entre focos, o sistemas, se lleva a cabo forzando la circulación de un fluido refrigerante por el interior de un circuito cerrado de tuberías e intercambiadores de calor. La circulación de este fluido refrigerante se realizará a través de máquinas de fluido como compresores o bombas, conforme la naturaleza y el estado del refrigerante.

La configuración de un circuito de refrigeración no obedece un estándar establecido, sin embargo, el principio de funcionalidad y operación es el mismo, las variaciones pueden darse conforme la aplicación y fluido utilizado en el circuito. Los cuales varían desde aplicaciones como el clásico enfriamiento por agua en motores de combustión interna por medio de radiadores, pasando por sistemas de refrigeración industrial, hasta aplicaciones complejas como el control de temperatura de condensadores en centrales nucleares por medio de torres de refrigeración, entre muchas otras.

El término de circuito de refrigeración, también es conocido como sistema frigorífico.

En muchos casos, para que el desplazamiento de energía se lleve a cabo de una manera eficiente, es importante que uno de los focos esté relativamente aislado del exterior para someterlo a estudio como un sistema termodinámico cerrado como se observa en la figura 3.

Figura 3. **Ganancias y disipación de calor en un sistema de refrigeración**



Fuente: *Climas refrigeración, refrigeración básica.*

<http://climasarefrigeracion.com/es/refrigeracion-basica-parte-3/>. Consulta agosto de 2015.

2.1.1. Partes de un circuito de refrigeración

- Evaporador

“Provee la superficie de calefacción necesaria para pasar al refrigerante el calor del espacio por refrigerar”¹.

¹ GORIBAR. *Calefacción aire acondicionado y refrigeración*. p. 233

- Línea de succión

“Transporta el vapor de baja presión del evaporador al compresor”².

- Compresor

“Posee las funciones de remover el vapor del evaporador, baja la presión del evaporador, sube la presión y la temperatura del vapor”³.

- Línea de descarga

“Transporta, del compresor al condensador, el vapor de alta presión”⁴.

- Condensador

“Provee la superficie de calefacción necesaria para que el calor fluya del refrigerante al medio del condensador”⁵.

- Tanque recibidor

“Almacena refrigerante, a fin de que exista un continuo suministro cuando se requiera”⁶.

- Línea líquida

² GORIBAR. *Calefacción aire acondicionado y refrigeración*. p. 233.

³ *Ibíd.*

⁴ *Ibíd.*

⁵ *Op. cit.* p. 234.

⁶ *Ibíd.*

“Transporta refrigerante líquido, del tanque receptor a la válvula de control de flujo”⁷.

- Válvula de control de flujo

“Controla la cantidad necesaria de refrigerante al evaporador y reduce la presión del líquido que entra al evaporador, de modo que el líquido se evapore en el evaporador a la presión y temperatura deseadas”⁸.

2.2. Sistemas de refrigeración por expansión directa

La expansión directa es también conocida como expansión seca, siendo este uno de los métodos por el cual el flujo de refrigerante que es suministrado al evaporador, está limitado a la cantidad que pueda ser vaporizado por completo en su trayectoria, desde el inicio hasta la parte final del evaporador, esto sucede con el fin de que solo sea suministrado vapor a la línea de succión del compresor. Estos evaporadores son muy comunes en aplicaciones de sistemas de refrigeración y pueden ser utilizados en aire acondicionado comercial como industrial, en media y baja temperatura.

Para lograr la expansión se utiliza un dispositivo el cual permite el control del flujo de refrigerante, comúnmente identificado por sus siglas en inglés como TXV (*thermal expansion valve*) o válvula de expansión térmica. La cual cumple la función de garantizar una completa vaporización del refrigerante en el interior del evaporador, y así poder prevenir la conducción del refrigerante, en un estado líquido, a través de la tubería de succión, ya que el refrigerante en estado líquido puede ocasionar el fenómeno denominado como “golpe líquido”.

⁷ GORIBAR. *Calefacción aire acondicionado y refrigeración*. p. 234.

⁸ *Ibíd.*

El cual se presenta en casos extremos y se producen en condiciones de arranques inundados o de retorno de líquido. Cuando grandes cantidades de refrigerante líquido entran en el compresor, se mezclan con aceite lubricante en el cárter del compresor. La mezcla líquido/aceite se diluye, generando grandes cantidades de gotas de líquido y aceite que dan lugar a una mezcla espumosa.

Esta mezcla “húmeda” lavará y desplazará el lubricante del cilindro, y también puede hacer que las láminas de la válvula se rompan. Dado que esta mezcla de líquido y aceite transporta partículas no compresibles, esto puede hacer que el disco de la válvula se deforme hasta llegar a romperse. En el disco de la válvula de aspiración se podrán observar pequeñas muescas o incluso agujeros pasantes. A continuación, el disco de la válvula caerá en el cilindro y a continuación sobre la cabeza del pistón. A medida que el pistón se desplaza hacia la parte superior del cilindro, durante el ciclo de compresión, el disco de la válvula de aspiración se aplastará contra el disco de la válvula de descarga. Esto puede provocar tanto que se perfora un orificio en la cabeza del pistón como daños en el conjunto de ensamblaje de la válvula de descarga, ya que apenas existirá holgura entre el perfil especial, que es lo que proporciona al compresor su elevado valor de eficiencia, en la parte superior de la cabeza del pistón y dicha válvula. En algunos casos, el conjunto de la válvula de descarga podría llegar a romperse en pedazos.⁹

En los sistemas de expansión directa, gran parte del flujo másico que corresponde al gas refrigerante proveniente de la válvula de expansión, el cual ingresará al evaporador, lo hará en estado líquido, y una pequeña parte en estado de vapor, dicho proceso se le denomina “expansión directa”.

La relación entre flujos másicos líquido/vapor estará definida en función del subenfriamiento del líquido, así como de la caída de presión del sistema de refrigeración y del tipo de refrigerante a utilizar en dicho sistema.

⁹ ROJAS, Fernando. bejiberica.es. http://www.bejiberica.es/st/3_3.pdf. Consulta: julio de 2015.

En definitiva, lo que ingresa al evaporador es una mezcla entre líquido y vapor de baja calidad.

En los evaporadores de expansión directa esta mezcla procede a vaporizarse progresivamente, a medida que el refrigerante avanza por el evaporador y absorbe el calor latente de vaporización del medio proveniente de la carga térmica.

En un correcto diseño de un evaporador de expansión directa, la superficie del serpentín debe ser siempre menor en las porciones iniciales y mayor en las finales de este, a pesar que, debido a la caída de presión sufrida por el refrigerante al circular por su interior, implica que saldrá a una menor temperatura de saturación.

2.3. Sistemas de refrigeración por expansión indirecta

El ciclo básico de compresión de vapor, cuando se aplica directamente a la obra de la construcción de sistemas de refrigeración es conocido como un enfriamiento de expansión directa. Esta referencia proviene del hecho de que el aire del interior del edificio que se va a enfriar pasa “directamente” a través del evaporador sin un refrigerante secundario a utilizar.

Si bien estos sistemas de refrigeración son ampliamente utilizados en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, tienen limitaciones de uso debido a su capacidad y rendimiento en proyectos de HVAC más grandes y más complejas.¹⁰

¹⁰ HERBERT, Hvac. *Water chillers and cooling towers, fundamentals, applications and operation*, p. 306.

Para estas aplicaciones se establece el uso de sistemas de agua enfriada como refrigerante secundario. Las aplicaciones típicas de los sistemas de agua refrigerada incluyen grandes edificios, oficinas, laboratorios, o los residenciales donde es deseable proporcionar refrigeración a partir de una instalación central.¹¹

Un equipo de refrigeración tipo *chiller* o *Water chiller* es una máquina frigorífica cuyo cometido principal es enfriar un medio líquido, generalmente agua. El evaporador tiene un tamaño menor que el de los enfriadores de aire, y la circulación del agua se realiza por medio de un sistema de bombeo mecánico.

Son sistemas usualmente utilizados para todas aquellas aplicaciones que necesitan una climatización simultánea, así como también para refrigerar maquinaria industrial, plantas de procesos químicos y de alimentos, centros de cómputo, entre otros.

El agua fría es conducida por tuberías hacia una unidad manejadora de aire o hacia unidades terminales denominadas *fan coils* (ventilo conventores).

La máquina enfriadora de agua necesita de elementos adicionales que le permitan funcionar:

- Redes de tubería y colectores los cuales distribuyen el agua enfriada hacia donde se necesita.
- Bombas de circulación: generalmente se instalan dos en paralelo para asegurar que al menos una funcione, así como facilitar operaciones de mantenimiento de la otra.

¹¹ HERBERT, Hvac. *Water chillers and cooling towers, fundamentals, applications and operation*. p. 306.

- Tanque de expansión: compensa la dilatación del líquido de la red de tuberías.
- Elementos de control, presostatos y sensores de temperatura.
- Válvula de llenado y válvula de vaciado.
- Torre de enfriamiento: en aplicaciones industriales o intercambiador exterior, en aplicaciones doméstico-comerciales, en los que se disipa en el ambiente el calor extraído.

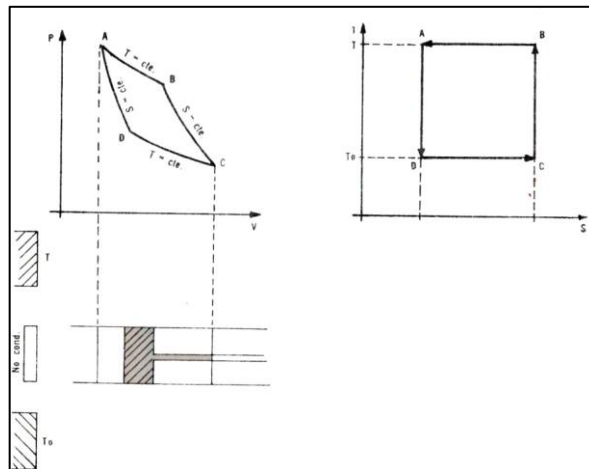
2.4. Ciclos de refrigeración

Se le conoce como ciclo de refrigeración a la serie de pasos que ocurren dentro de un sistema cerrado con el objetivo de ceder o absorber calor, utilizando un gas refrigerante para realizar dicha función.

2.4.1. Ciclo de Carnot

El ciclo reversible de Carnot es la teoría básica para cualquier sistema práctico de refrigeración.

Figura 4. **Ciclo de Carnot**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 334.

La máxima cantidad de trabajo se puede obtener dejando pasar una cantidad de calor de un cuerpo, que sea una fuente de calor a otro que sea un receptor, a través de una máquina que trabaje de una manera reversible. Reversible no solo de su acción interna, sino también de la transferencia de calor de la fuente de calor a la máquina y de la máquina al receptor de calor.

El ciclo de Carnot para un gas perfecto, consiste de cuatro operaciones sucesivas según la figura 2.

- AB) Expansión isotérmica: el calor se toma a una temperatura T del depósito caliente C.
- BC) Expansión adiabática: la temperatura del fluido baja de T a T₀.
- CD) Compresión isotérmica: el calor es cedido al cuerpo frío R, a una temperatura T₀.
- DA) Compresión adiabática: la temperatura del gas se incrementa de T₀ a T.¹²

¹² GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 335.

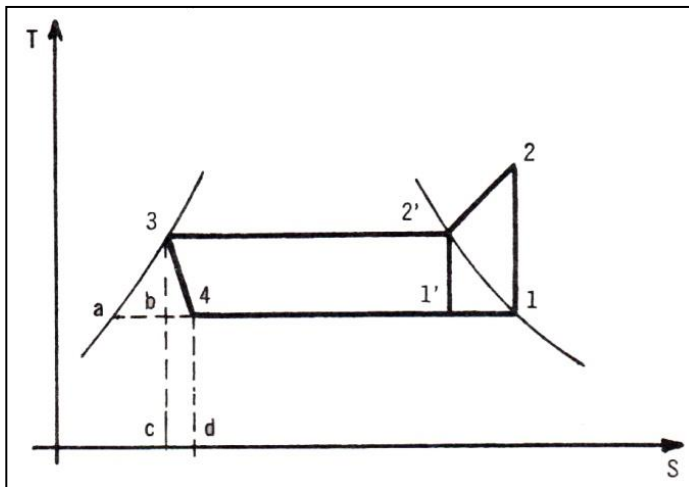
2.4.2. Ciclo de un vapor refrigerante

El ciclo de un vapor refrigerante puede considerarse como una modificación o desviación del ciclo de Carnot.¹³

En resumen, el ciclo teórico de un refrigerante se define en cuatro procesos:

- Compresión adiabática reversible (1, 2)
- Suministro de calor a presión constante reversible (2, 3)
- Expansión irreversible (3, 4)
- Absorción de calor a presión constante reversible (4,1)

Figura 5. Ciclo de refrigerante en el diagrama T. S.

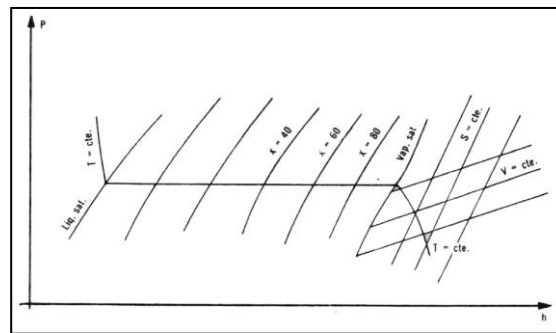


Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 339.

¹³ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 339.

El análisis de las energías para cada uno de los procesos mostraría que las cantidades solo están representadas por el uso de la entalpía. Es por esto que el diagrama P-h es de gran utilidad para los problemas prácticos. La figura 4 presenta un diagrama típico P-h de un refrigerante.¹⁴

Figura 6. **Diagrama presión-entalpía de un refrigerante**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 339.

Cada refrigerante tiene sus curvas típicas P-h, o bien, T-S.

En el diagrama teórico de refrigeración se considera que el vapor sale del evaporador y entra al compresor saturado; y que el líquido sale del condensador y entra como líquido saturado a la válvula de control.

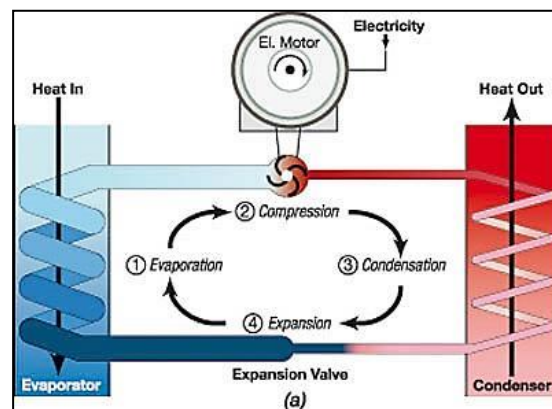
2.4.3. Ciclo mecánico de compresión

La refrigeración por medio de la compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en el evaporador y lo ceda en el condensador.

¹⁴ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 339.

Una máquina frigorífica por compresión tiene por cometido desplazar energía térmica en forma de calor entre dos puntos. La más sencilla de ellas es la refrigeración por compresión mecánica de una etapa.

Figura 7. **Diagrama de un circuito de refrigeración mecánica de una etapa**



Fuente: *REVISTA, Mundo HVACR*. www.mundohvacr.com.mx/refrigeracion. Consulta: octubre de 2015.

La refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de una válvula de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización.

Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica.

Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del refrigerante proveniente del evaporador, para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo.

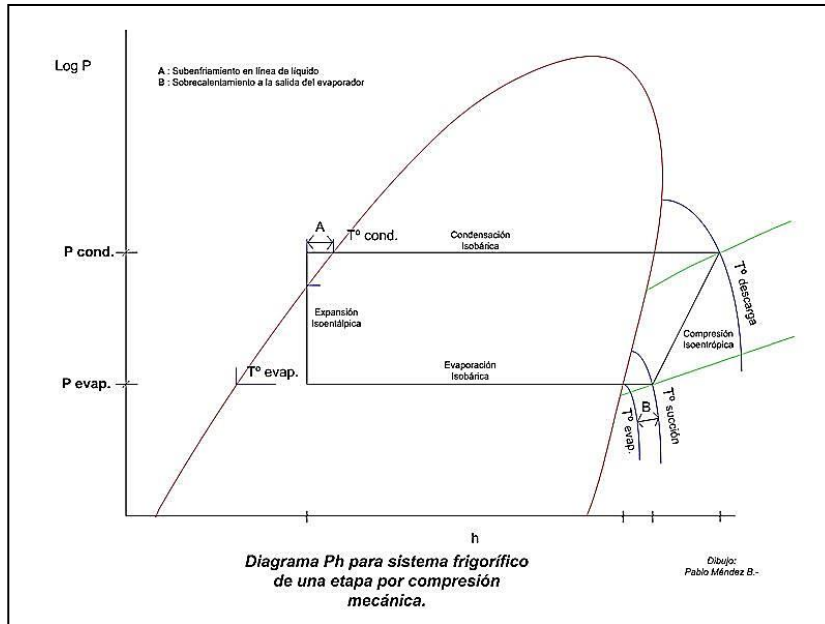
En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica.

Ya que el gas refrigerante aumentó de presión, también produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir el subenfriamiento, es necesario enfriarlo en el interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire o agua conforme el tipo de condensador que se posea. De esta manera, el refrigerante en estado líquido puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

Teóricamente en un ciclo de refrigeración de tipo ideal, al realizar un balance de energía del equipo, se desprecian toda pérdida o ganancia de calor en el trayecto de las tuberías de succión como de descarga, considerando que los intercambios de calor se producen únicamente en el sistema, ocurriendo dichos intercambios de calor en el evaporador y en el condensador.

Así como también la presión del sistema, al analizar las pérdidas por fricción son despreciables, debido a que las presiones entre los recorridos de las tuberías no varían significativamente. En el arreglo se denota la existencia de dos zonas de presión, la primera se encuentra entre el compresor y la entrada de la válvula de expansión, siendo esta la zona de alta presión, y la otra de baja presión ubicada entre la salida de la válvula de expansión y la entrada del compresor.

Figura 8. **Diagrama Ph de sistema frigorífico de compresión mecánica y expansión directa de una etapa**



Fuente: MÉNDEZ B., Pablo. https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_Ph. Consulta: octubre de 2015.

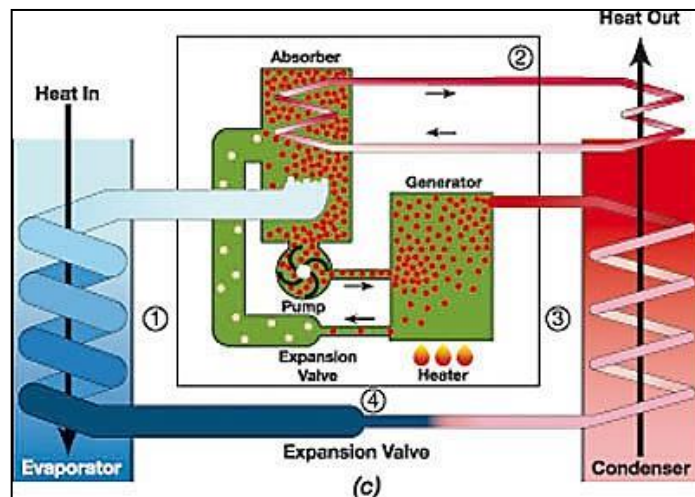
2.4.4. Refrigeración por absorción

Los sistemas de absorción, que en ciertos casos particularmente son muy ventajosos, no son tan populares como el sistema convencional de compresión. Sin embargo, en la actualidad se fabrican aparatos de absorción de grandes capacidades, que se usan generalmente en aire acondicionado. Asimismo, con el sistema de absorción se fabrican pequeños refrigeradores domésticos que trabajan con una simple flama como fuente calorífica.

El principio de la refrigeración por absorción consiste, por lo general, en aprovechar la propiedad que puede tener una substancia para absorber otra; por ejemplo, el agua tiene gran afinidad con el amoníaco y al absorberlo lo evapora y ese calor latente necesario para la evaporación lo toma del calor sensible del

espacio por refrigerar, con el consiguiente abatimiento de temperatura; de la misma manera, el bromuro de litio al absorber el agua produce el mismo efecto y reduce la temperatura.¹⁵

Figura 9. **Circuito típico de refrigeración por absorción**



Fuente: IRICAM. <http://refrigeracionconamoniac.com/refrigeracion-con-amoniaco/>. Consulta: noviembre de 2015.

La refrigeración por absorción nació en 1859, cuando Ferdinand Carré consiguió fabricar hielo con la primera máquina de absorción de ciclo amoníaco-agua.

Los sistemas de absorción comúnmente utilizados suelen ser los siguientes:

- De amoníaco y solución agua-amoníaco
- Bromo-litio

¹⁵ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 329.

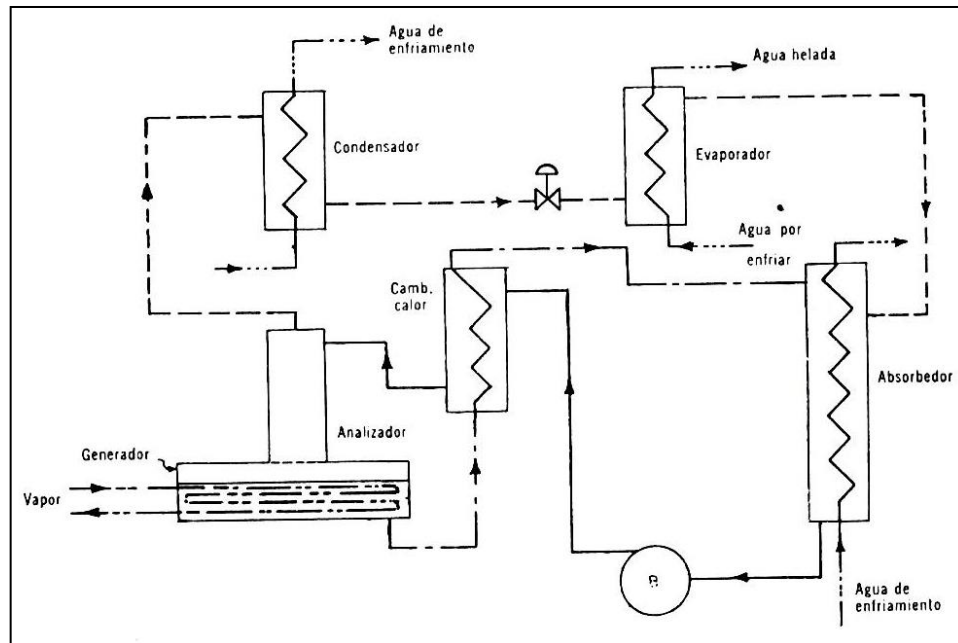
2.4.4.1. Sistema de amoníaco y solución agua-amoníaco

El amoníaco fue el primer refrigerante utilizado en plantas de refrigeración por medio de compresión mecánica en 1876, por Carl Von Linde. Desde entonces se ha venido utilizando en grandes plantas de refrigeración como lecherías, cervecerías, rastros y otros lugares con grandes demandas de enfriamiento.

Actualmente, el amoníaco permanece como el refrigerante más utilizado en sistemas de refrigeración industrial para procesar y conservar la mayoría de los alimentos y bebidas. Asimismo, ha estado en el liderazgo de los avances de la tecnología en refrigeración, siendo parte esencial del procesamiento, almacenamiento y logística de distribución de los alimentos.

Clasificado por ASHRAE con R-717, dentro del grupo de refrigerantes naturales, no destruye la capa de ozono y no contribuye al efecto invernadero asociado al calentamiento global.

Figura 10. **Refrigeración por absorción, sistema amoníaco-agua-amoníaco**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 329.

La figura 10 muestra un equipo de refrigeración por absorción, el cual usa amoníaco y solución agua-amoníaco. En el absorbedor se suministra una solución de amoníaco no saturada, que absorbe el amoníaco del evaporador hasta que la solución se satura. Este proceso se lleva a cabo a la presión del evaporador. Durante la absorción se genera calor, que a su vez se disipa en el agua de enfriamiento.

El agua saturada se bombea a través de un intercambiador de calor al generador, que opera a la presión del condensador. Se suministra calor al generador y el amoníaco se evapora y se separa de la mezcla, hasta que el agua queda a la presión y temperatura de saturación.

El vapor de amoníaco pasa del generador al condensador donde se condensa, y ya en forma líquida pasa al evaporador a través de la válvula de expansión. El agua del generador (agua caliente) pasa al cambiador de calor, donde se enfría, y al absorbedor para absorber de nuevo amoníaco del evaporador.¹⁶

La energía suministrada consiste en la energía cedida por la pequeña bomba de solución pesada y en la energía calorífica necesaria para hacer hervir y evaporarse al amoníaco en el generador.

La refrigeración por absorción posee los siguientes sistemas:

- Amoníaco del generador hasta el absorbedor.
- Solución saturada de agua-amoníaco del absorbedor al generador.
- Solución ligera (agua) del generador al absorbedor.
- Vapor y condensado.
- Agua de enfriamiento.

El vapor que se desprende del generador (vapor amoníaco) va acompañado, por lo general, de vapor de agua, que al enfriarse un poco se condensa y se separa. El analizador tiene esta función, haciendo que el vapor esté en contacto con el agua fría y se condense. Para evitar en lo posible el vapor de agua, se instalan dispositivos especiales como rectificadores. En algunos lugares en donde se cuenta con energía calorífica, por ejemplo donde se tiene generadores de vapor, este sistema por absorción puede tener grandes ventajas económicas, ya que aprovecharía la energía calorífica de dicho vapor.¹⁷

¹⁶ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 330.

¹⁷ *Ibíd.*

2.4.4.2. Sistema bromo-litio

Este sistema es similar al de refrigeración por compresión. Los dos enfrían por evaporación del líquido refrigerante, solo que en el sistema bromo-litio se usa agua como refrigerante; por lo cual solo se utiliza cuando no se requieren temperaturas menores a 32 °F.

Como absorbedor se usa el bromuro de litio. La presión de evaporación de una solución acuosa de bromuro de litio es muy baja y si el agua y dicha solución se colocan juntas en un sistema cerrado, lógicamente el agua se evapora.¹⁸

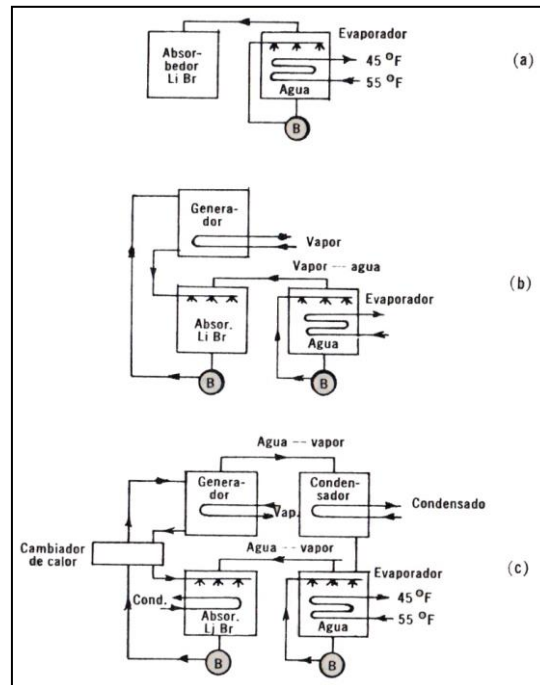
En la figura 11 se muestran los elementos de un sistema por absorción de bromuro de litio, desarrollado por CARRIER CORP.

- Considérese dos recipientes cerrados, en uno hay un absorbente, como bromuro de litio, y en el otro, agua. Así como la sal absorbe la humedad del ambiente, el bromuro de litio tiene gran afinidad con el agua y la absorbe del evaporador, el calor latente de evaporación lo toma del calor sensible del agua, que queda en el recipiente y la enfría, produciéndose un efecto de refrigeración. Para utilizar este efecto, se usa un serpentín, con lo que se enfría el líquido que finalmente se requiere enfriar.¹⁹

¹⁸ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 330.

¹⁹ Op. cit. p. 332.

Figura 11. Refrigeración por absorción, sistema bromo-litio



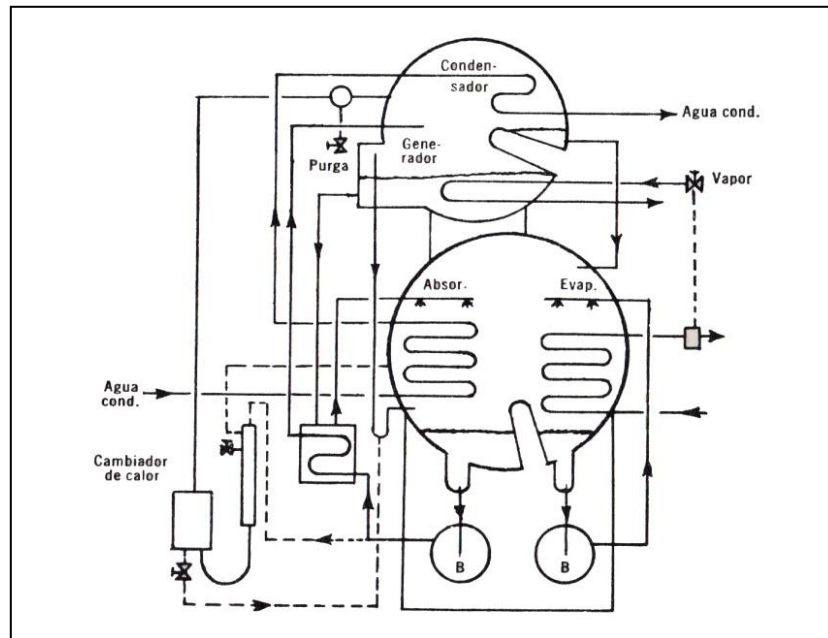
Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 331.

- En un ciclo real, la sustancia absorbente va perdiendo su capacidad para absorber, conforme la solución se va debilitando. Para mantener la concentración de la solución en un punto adecuado, se bombea a un generador en donde se evapora el exceso de humedad, y la solución absorbidora se retorna al propio absorbedor.
- El vapor, una vez separado de la solución, se condensa y se regresa al evaporador.²⁰

Se usa un intercambiador de calor para precalentar la solución que sale del absorbedor. El sistema de agua de enfriamiento es para condensar el vapor de agua y la solución de bromuro de litio en el absorbedor.

²⁰ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 333.

Figura 12. **Equipo de refrigeración por absorción Carrier Corp**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*, p. 332.

En la figura 12 se puede apreciar un equipo de refrigeración por absorción de la marca CARRIER CORP. Estas unidades, aunque parezcan muy complejas son sencillas y fáciles de operar; su uso se ha extendido sobre todo en lugares donde se tiene disponible el vapor de agua, como en el caso de hoteles, hospitales, entre otras.²¹

²¹ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 333.

3. COMPONENTES PARA EL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO *CHILLER*

3.1. Compresor

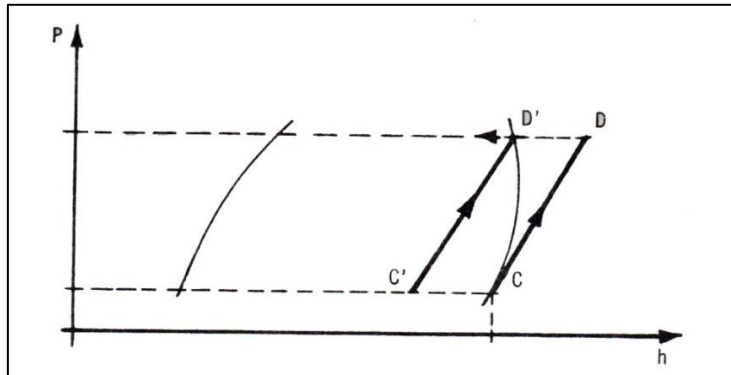
Es una maquina térmica, se le denomina así, ya que el fluido con el cual efectúa su trabajo es compresible y sufre un cambio de su densidad así como de temperatura.

Está diseñado y construido, específicamente para aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles, como los gases y vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él, convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

3.1.1. Compresión

La compresión en un ciclo teórico se supone que es un proceso adiabático.

Figura 13. **Compresión del refrigerante**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-35

“Se le llama compresión seca cuando se lleva a cabo desde la línea de saturación a la región de sobrecalentamiento (CD), y compresión húmeda si empieza en la región de saturación y termina en las proximidades de la línea de saturación (C'D’)”²², según figura 13.

3.1.2. Tipos de compresor

Existen varios tipos de compresores clasificados según su aplicación, se hará mención de los más importantes en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado.

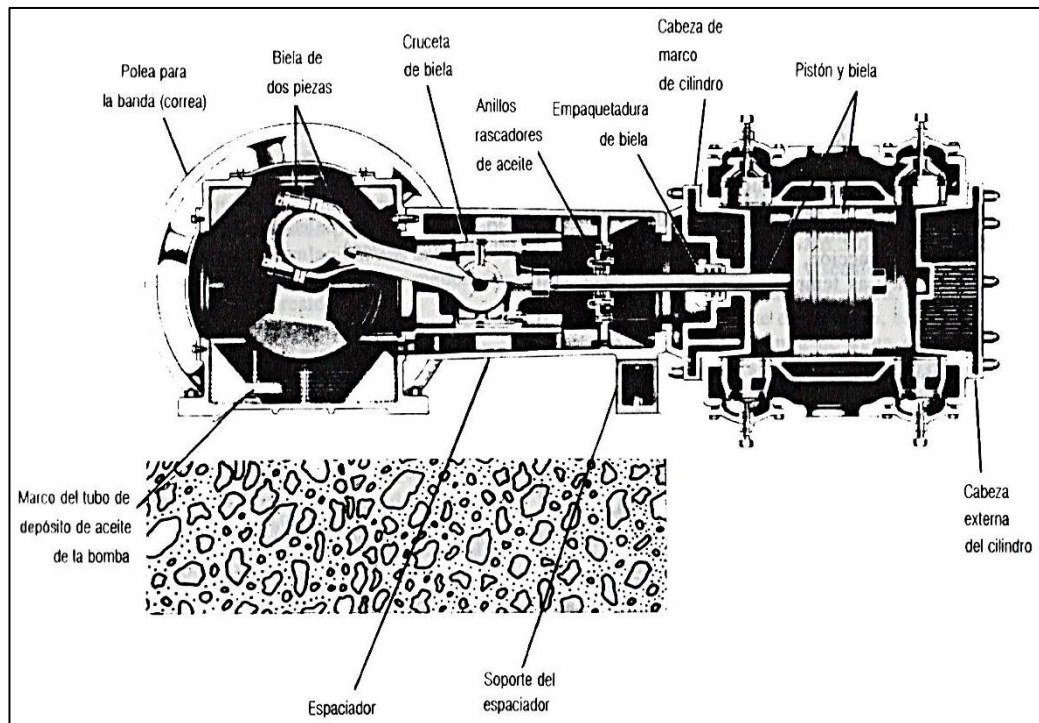
3.1.2.1. Compresor recíprocante

También llamados de desplazamiento positivo son aquellos en los cuales la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose en forma lineal y secuencialmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro; reduciendo de esta forma, el volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el gas; este

²² GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 250.

efecto, origina el incremento en la presión hasta alcanzar la presión de descarga, desplazando el fluido a través de la válvula de salida del cilindro. El cilindro está provisto de válvulas que operan automáticamente por diferenciales de presión, como válvulas de retención para admitir y descargar gas. La válvula de admisión abre cuando el movimiento del pistón ha reducido la presión por debajo de la presión de entrada en la línea. La válvula de descarga se cierra cuando la presión en el cilindro no excede la presión de la línea de descarga, previniendo de esta manera el flujo reverso.²³

Figura 14. **Compresor recíprocante de doble acción y una etapa**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-39.

Los compresores recíprocantes tienen un tamaño que varía desde fracciones de pie³/min (CFM) hasta 15 000 CFM (25 485 m³/h) con presiones de descarga hasta de 60 000 psi man. (413 790 kPa.) La mayoría de las aplicaciones

²³ AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-38.

están en un rango de presión de 10 a 300 psi man. (690 a 2 069 kPa.) y capacidades menores de 2 500 pie³/min (4 250 m³/h).²⁴

Los compresores de acción sencilla, los cuales comprimen el gas en un solo lado del pistón, tienen su mayor aplicación en tipos de menos de 50 Hp (37 kW). Los compresores más grandes suelen ser de doble acción, esto quiere decir, que se emplean ambos lados del pistón para comprimir un gas. La mayor parte de los sistemas de aire operan de 90 a 110 psi man. Los compresores reciprocantes y los rotatorios de tornillo inundados con aceite comparten el mercado por igual. Para más de 200 psi man (1 380 kPa) dominan los compresores reciprocantes.²⁵

Alguna vez fueron de empleo común los compresores de una etapa de 100 hp (75 kW) que operan a 125 psi man. En la actualidad se acostumbra emplear etapas múltiples con interenfriamiento para presiones superiores a 80 psi man (552 kPa) y tamaños de solo 10 hp (7,5 kW.). El interenfriamiento ahorra energía y las temperaturas más bajas en la descarga dan mayor seguridad y más duración del compresor.²⁶

3.1.2.2. Compresor de paletas rotatorias

Para este tipo de compresor el eje motor es excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor. El rotor gira deslizando sobre el estator, con cinemática plana (radial), en forma excéntrica respecto a la superficie cilíndrica interior del estator, estableciéndose un contacto que en el estator tiene lugar sobre una única generatriz, mientras que en el rotor tiene lugar a lo largo de todas sus generatrices.

El rotor es un cilindro hueco con estrías radiales en las que las palas están sometidas a un movimiento de vaivén, (desplazadores). Al producirse una fuerza centrífuga, las palas (1 o más) comprimen y ajustan sus extremos libres

²⁴ AVALLONE, Eugene A. Manual del ingeniero mecánico. p. 14-38.

²⁵ *Ibíd.*

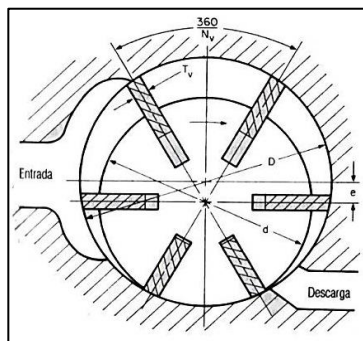
²⁶ *Ibíd.*

deslizantes a la superficie interior del estator, al tiempo que los extremos interiores de dichas palas se desplazan respecto al eje de giro.

Los compresores de paletas rotatorias tienen una relación inherente de volumen V_i , esto significa que comprimirán el gas dentro de la cámara de compresión a $P_1(V_1)^n$ antes de que se abra la cámara de compresión hacia el orificio de descarga. P_1 es la presión de admisión y V_1 es la relación del volumen de la cámara de compresión en el punto de corte de admisión al volumen en el punto justo antes de la apertura del orificio de descarga. Si la relación de operación-presión no concuerda con la relación integrada, ocurrirán exceso o deficiencia de compresión.²⁷

Los compresores de paletas rotatorias pueden ser secos, lubricados o inundados en aceite. Antes de 1960, se utilizaban como compresores portátiles los de dos etapas, de paletas, inundados en aceite, hasta 900 pies³/min (1 530 m³/h), que comprimían hasta 150 psi man (10,3 bar) (1 034 kPa). Ahora, solo se emplean los de menos de 100 pie³/min (170 m³/h) para compresores de aire y para compresores y reforzadores pequeños para refrigeración.²⁸

Figura 15. **Sección a través de un compresor típico de paletas con N_v paletas**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. Manual del ingeniero mecánico. p. 14-43.

²⁷ AVALLONE, Eugene A. *Manual del Ingeniero Mecánico*. p. 14-43.

²⁸ *Ibíd.*

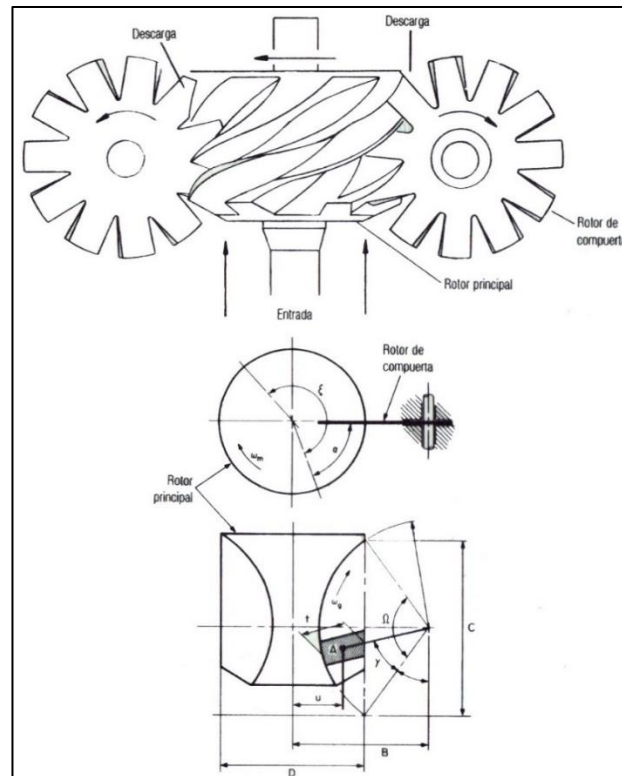
Los materiales de las paletas pueden ser fenólicos (micarta, poliamido-imidas, polimidas, Ryton) o metálicos (aleación de aluminio y silicio). Las principales limitaciones de los compresores de paletas las impone la fricción en la punta de las paletas, los esfuerzos de flexión y los límites en la longitud de ellas. Las velocidades máximas en la punta de las paletas son alrededor de 65 pie/seg (20 m/seg). Por lo general se emplean de 6 a 8 paletas, aunque se han llegado a utilizar 20. La decisión a tomar está entre una diferencial de presión reducida por celda o un aumento en la fricción. La relación normal de excentricidad es de $e=0.07D$ para presiones más altas (50 psig) (345 kPa). Para servicio a más de 50 psig los compresores suelen ser de etapas múltiples.²⁹

3.1.2.3. Compresor rotatorio de un solo tornillo

El compresor helicoidal de rotor único está constituido por un rotor conductor con seis cámaras de trabajo helicoidales de perfil globoidal, que acciona dos ruedas dentadas satélite que tienen once dientes cada una, de perfil idéntico al de las cámaras de trabajo, y situadas a ambos flancos del rotor conductor, la velocidad de las ruedas dentadas es (6/11) de la del rotor principal.

²⁹ AVALLONE, Eugene A. *Manual del Ingeniero Mecánico*. p. 14-38.

Figura 16. **Principio de operación y configuración de un compresor de un solo tornillo**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-45.

La potencia de compresión se transfiere directamente desde el rotor principal al vapor; las ruedas dentadas no disponen de ningún tipo de energía, salvo rozamiento.

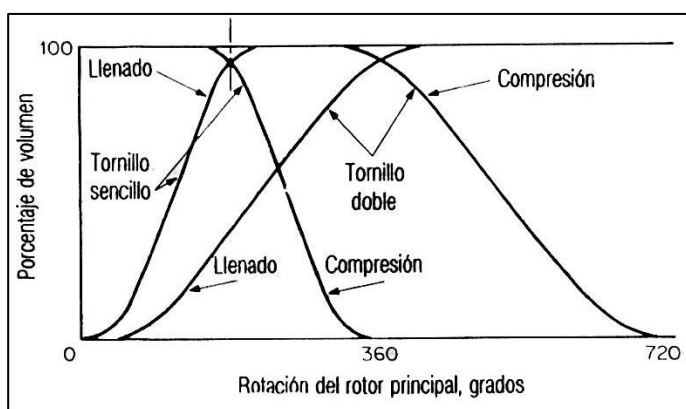
Es necesario que las holguras entre los perfiles en movimiento sean pequeñas, (las óptimas para cada tipo de máquina), con el fin de evitar fugas o filtraciones de vapor desde la cavidad de escape hacia regiones donde las presiones sean más bajas.

El compresor rotatorio de un solo tornillo es del tipo de lubricación en una relación de volumen integrada. El proceso de llenado y de compresión como función de rotación del rotor principal se muestra en la figura 15.

El ciclo completo de llenado y compresión cubre 360 grados de rotación del rotor principal. Hay 6 compresiones por cada revolución del rotor principal para cada rueda de estrella. Las compresiones para cada rueda de estrella están casi en fase, por lo cual el efecto bruto hasta llegar a la tubería de descarga, es de 6 descargas por revolución del rotor principal.³⁰

El compresor de un solo tornillo se emplea en la industria de la refrigeración, en donde una carga baja en los cojinetes del rotor principal es una ventaja. También se utiliza como compresor de aire en los tamaños más pequeños.³¹

Figura 17. **Volumen en las roscas vs. rotación del rotor principal para compresores de tornillo sencillo o de tornillo doble**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-48.

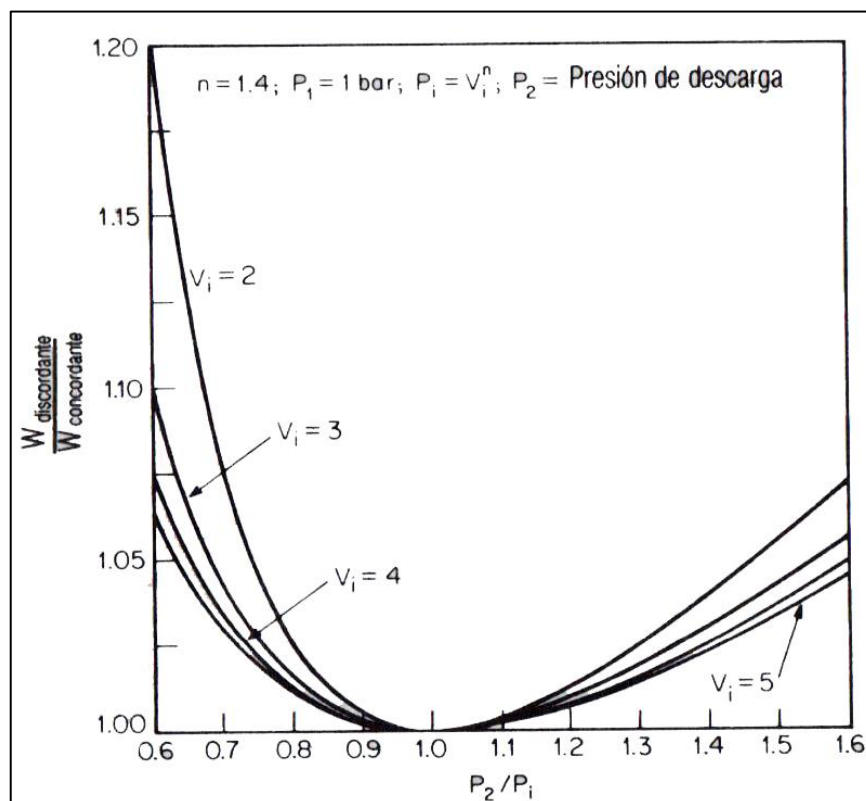
³⁰ AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-45.

³¹ *Ibíd.*

La eficiencia adiabática del compresor de un solo tornillo es de 2 a 5 % más baja que la de uno de doble tornillo de tamaño comparable. El efecto de la operación fuera de las condiciones de diseño se puede ver en la figura 18.

“El control de la capacidad es idéntico que en el compresor de doble tornillo³²”.

Figura 18. **EL efecto de la relación integrada de volumen en el trabajo teórico de compresión en un compresor que opera fuera del punto de diseño**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-48.

³² AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 14-46.

3.1.2.4. Compresor *scroll*

Este tipo de compresor actualmente es el más utilizado en aplicaciones de HVAC, se debe a su mayor capacidad de desplazamiento volumétrico, y a su marcada diferencia en el consumo de energía, lo que representa bajos costos de operación durante el proceso de arranques y puestas en marcha.

El diseño de los compresores tipo *scroll* posee un mayor perfeccionamiento técnico sobre los compresores convencionales (reciprocantes o de pistón), ya que estos operarán con niveles muy bajos de ruido y vibración debido a que se conforman de un menor número de partes móviles, lo que los hace más compactos y ligeros en su peso, con una proporción de hasta de un 25 % menos en comparación con los compresores reciprocantes, lo que representa una mejor aceptación en los sistemas de aire acondicionado, se pueden encontrar en capacidades de 3 hasta 30 toneladas en sistemas simples, logrando capacidades superiores con más de 2 compresores en paralelo.

El compresor tipo *Scroll* o también llamado de espiral fue descrito por primera vez en 1905, por el francés León Creux, solo las recientes técnicas de mecanización por control numérico han hecho posible la fiabilidad de fabricación imprescindible para este tipo de compresores, cuyo diseño se basa principalmente, en la consecución de tolerancias muy estrechas en piezas de forma geométrica complicada, como el caso de los perfiles en espiral.³³

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión, en primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada.³⁴

³³ DANFOSS, Industries. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 48.

³⁴ DANFOSS, Industries. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 50.

En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la del medio de enfriamiento disponible para la condensación del vapor refrigerante.³⁵

El compresor *scroll* se puede considerar como la última generación de los compresores rotativos de paletas, en los cuales estas últimas han sido sustituidas por un rotor en forma de espiral, excéntrico respecto al cigüeñal, que rueda sobre la superficie del estator, que, en lugar de ser circular, tiene forma de espiral, concéntrica con el cigüeñal del motor.

El contacto entre ambas superficies espirales se establece en el estator y el rotor, en todas sus generatrices.

Como se puede comprobar, hay otra diferencia fundamental respecto a los compresores rotativos de paletas, esta es que la espiral móvil del rotor no gira solidariamente con este último, sino que sólo se traslada con él paralelamente a sí misma.

En los compresores *scroll*, el hecho de que los perfiles de las dos espirales sean envolventes permite a la espiral móvil rodar sin deslizamiento sobre la espiral fija, cumpliéndose en todo momento la alineación de los centros de las dos espirales y el punto de contacto entre ambas.

Este compresor está hecho por dos espirales (*scroll*) una fija y la otra móvil: compresión y descarga, son ciclos suaves y continuos durante la rotación en que ocurre el ciclo.

³⁵ DANFOSS, Industries. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 50.

- Aspiración: en la primera órbita, 360°, en la parte exterior de las espirales se forman y llenan totalmente de vapor, en la figura 19 se ejemplifica la entrada de refrigerante, iniciando por la interacción de una espiral móvil y un espiral fijo, en donde entra el gas por la parte externa a medida que el espiral gira.

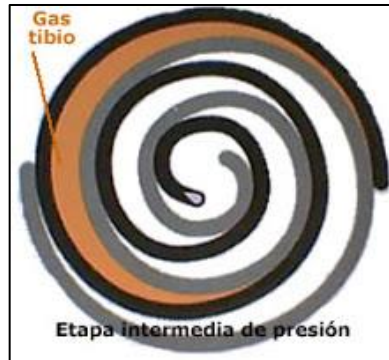
Figura 19. **Aspiración de gas refrigerante en un compresor scroll**



Fuente: ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 485.

- Compresión: en la segunda órbita, 360° tiene lugar la compresión a medida que dichas celdas disminuyen el volumen del gas refrigerante, acercándolo hacia el centro de la espiral fija, alcanzándose al final de la segunda órbita.

Figura 20. **Compresión de refrigerante la entrada del paso de gas se sella por la espiral**



Fuente: ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 485.

- Descarga: en la tercera y última órbita, puestas ambas celdas en comunicación con la lumbrera de escape, tiene lugar la descarga (escape) a través de ella, cómo la espiral continúa girando, el gas es comprimido poco a poco al tiempo que el gas llega al punto central, una vez alcanzada la presión de descarga.

Figura 21. **Descarga de gas refrigerante en un compresor *scroll***



Fuente: ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 485.

Cada uno de los tres pares de celdas estarán en cada instante en alguna de las fases descritas, lo que origina un proceso en el que la aspiración, compresión y descarga tienen lugar simultáneamente y en secuencia continua, eliminándose por esta razón las pulsaciones casi por completo.³⁶

3.1.2.4.1. Funcionamiento de los compresores scroll

En este tipo de compresores, las cámaras de compresión de geometría variable y en forma de hoz, están generadas por dos caracoles o espirales totalmente idénticos, la superior, la cual se encuentra fija se le llama estator, en la cual el centro está situada la lumbrera de escape, y la otra orbitante llamada rotor, estando montadas ambas frente a frente, en contacto directo una contra la otra, la espiral fija y la móvil cuyas geometrías se mantienen en todo instante desfasadas un ángulo de 180° , entre un dispositivo anti rotación, están encajadas una dentro de la otra de modo que entre sus ejes hay una excentricidad en orden a conseguir un movimiento orbital de radio del eje de la espiral móvil, alrededor de la espiral fija.

Fijándose exclusivamente en el conjunto (árbol-motor-rotor), con cada giro de 360° el árbol motor se adhiere a la espiral inscrita en el plato rotor excéntrico, generando los siguientes movimientos:

- Uno de rotación de 360° alrededor de su eje, (que tendría lugar igualmente si el valor de él, fuera nulo).
- Otro simultáneo de traslación paralela a sí misma alrededor del eje del cigüeñal (que no se produciría si el valor fuese nulo).

³⁶ DANFOSS, Industries. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 50.

Si se desea que la espiral describa únicamente este último movimiento de traslación orbital, sin la rotación producida por el hecho de estar solidariamente sujeta al plato, es necesario eliminar mediante un dispositivo antirotación esta última unión rígida, lo que se consigue montando la espiral móvil sobre un simple cojinete vertical de apoyo, concéntrico con ella.

De esta manera, el giro del árbol motor o cigüeñal arrastra al conjunto del caracol móvil, haciéndole describir alrededor del árbol motor, y por lo tanto alrededor del centro del caracol fijo, punto donde está situada la lumbrera de escape, una órbita de radio sin rotación simultánea.

3.1.2.4.2. Ventajas del compresor *scroll*

Los compresores tipo *Scroll* se caracterizan por su diseño compacto y por su menor número de partes móviles, lo cual lo hacen ser más confiable que los reciprocantes, debido a que las oportunidades de falla que puedan darse, por ajustes o torques incorrectos, son menores.

Los circuitos frigoríficos y de bomba de calor que utilizan compresor *Scroll* alcanzan valores del COP inusualmente altos, posibles únicamente debido al elevado rendimiento volumétrico que tiene este compresor para todas las condiciones de funcionamiento que pueden presentarse.

Las causas de este buen rendimiento volumétrico son:

- Inexistencia de espacio muerto perjudicial.
- Ausencia de válvulas de admisión y escape, así como de segmentos que eliminan posibles retrasos en su apertura.

- El contacto en las espirales como en sus bases y bordes superiores es perfecto y constante (adaptabilidad axial y radial muy buena).
- Mínimo efecto de separación física de las zonas de aspiración (exterior espirales) y descarga (interior espirales).

Otra consecuencia beneficiosa del elevado rendimiento volumétrico que posee este tipo de compresores es su menor tamaño, comparado con el necesario para un alternativo de la misma potencia frigorífica.

3.1.2.4.3. Lubricación

La lubricación de los dos cojinetes del cigüeñal y el de apoyo de la espiral móvil se realiza con aceite impulsado a través del interior del cigüeñal mediante una bomba centrífuga sumergida en el cárter y movida por el mismo cigüeñal. Este circuito de aceite está totalmente separado de las superficies de contacto de ambas espirales, cuya lubricación está asegurada por la pequeña cantidad de aceite arrastrado por el vapor de aspiración.

3.1.2.4.4. Características técnicas exigidas para aceites lubricantes

Las características de lubricación se mantendrán satisfactorias durante un periodo largo si se consideran las temperaturas de operación, presión y ausencia de contaminantes. Las principales variables que se deben considerar son:

- Viscosidad

- Compatibilidad con el gas refrigerante: se puede presentar como consecuencia la sedimentación del aceite (ceras), obstrucción del capilar o la válvula de expansión
- Efecto de carbonización: la formación de carbonos afecta principalmente las válvulas de succión y descarga
- Estabilidad química
- Rigidez dieléctrica
- Humedad
- Miscibilidad

Los tipos de aceites refrigerantes aprobados para este tipo de compresor son: mineral (nafténico), sintéticos (alquilbenceno), blanco (nafténico/parafínico), parafínico, polioléster.

En las aplicaciones de aire acondicionado para sistemas que utilizan R-22 usan aceites minerales, sintéticos y blancos.

En algunas aplicaciones tendrán que considerarse, aceites polioléster cuando se trabaje con refrigerantes ecológicos 404A, 507, 407,410.

3.2. Intercambiador de carcasa y tubo

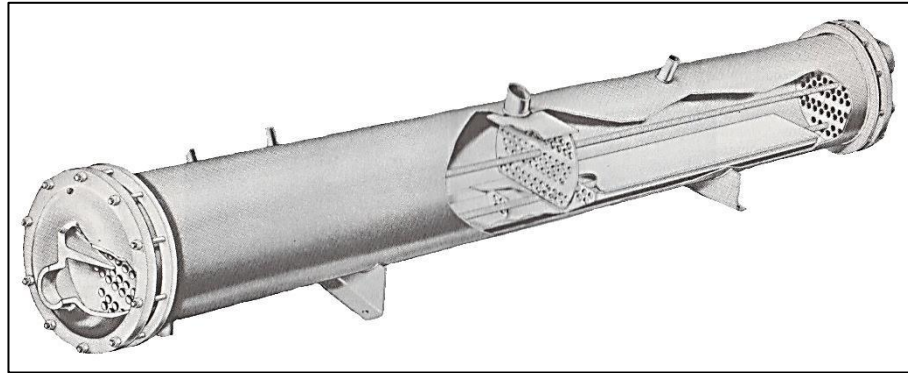
Es un depósito a presión sin combustión, que consiste en dos cámaras de presión independiente (lado carcasa y lado tubos). Por las dos cámaras fluyen dos medios, de tal forma que cuando existe una diferencia de temperatura entre ellos, el calor se intercambia sin que los medios se mezclen. Como se muestra en la figura 22. Uno de los medios fluye por el lado de la carcasa, mientras que en el otro, por el interior de los tubos. En la carcasa se encuentran los bafles cuya función es forzar a que la dirección del flujo sea lo más perpendicular

posible a los tubos. La forma y la distancia entre los baffles varían en función del uso al que estén destinados.

Un intercambio de calor efectivo se puede producir cuando existe una diferencia de calor suficiente. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor será la superficie de transferencia de calor necesaria. La capacidad de transferencia de calor de un intercambiador es el resultado del logaritmo de la diferencia media de temperatura, la superficie de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente de transferencia de calor viene determinado en buena medida por la trayectoria de los fluidos, es decir, por el diseño geométrico del intercambiador.

En un intercambiador de este tipo, el agua fluye a través de los tubos y el refrigerante gaseoso que es condensado en el fondo de la carcasa es subenfriado de 10° a 15°F, para aumentar la capacidad. En el circuito de agua, el agua de condensación más fría entra por la parte baja de la carcasa y circula a través de los tubos. El agua hará dos o tres pasadas a lo largo de la carcasa antes de salir. Esto es posible gracias al diseño especial de los cabezotes en los extremos del condensador.

Figura 22. **Condensador de carcasa y tubo**



Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 486.

Mientras más pasadas haya en el recorrido, mayor será la caída de presión y mayor será la presión requerida para producir el volumen de flujo necesario. Hay también tabiques dentro de la carcasa que sirven para sostener los tubos juntos y para distribuir mejor el refrigerante gaseoso a lo largo de la carcasa.

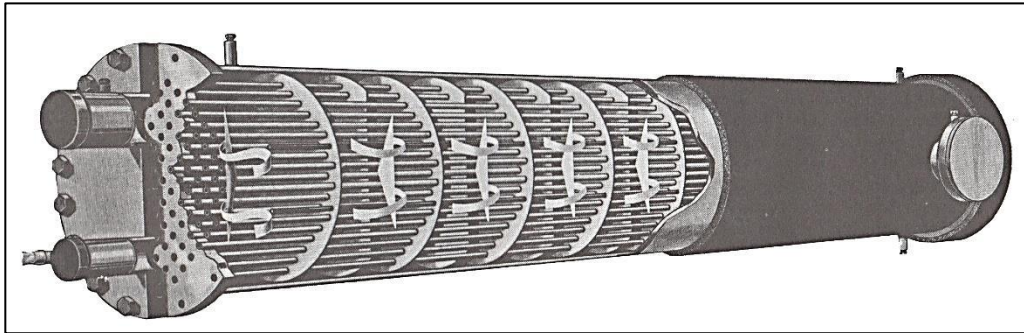
La carcasa del intercambiador, así como la línea de succión debe ser aislada para prevenir la condensación; lo cual se puede lograr con espuma expandida o aislante térmico.

La carcasa del intercambiador debe cumplir con el código ANS B9.1 y los códigos de seguridad aplicables a tanques presurizados de ASME.

La capacidad de un intercambiador está basado en el estándar 590 del ARI: 44 °F, temperatura del agua fría a la salida, con 105 y 120 °F como temperatura de condensación; también 95 °F del agua de condensación en la salida, con una ganancia de 10 °F dentro del condensador. Una temperatura de

95 °F en la salida del agua del condensador producirá una condensación cercana a los 105 °F.

Figura 23. **Enfriador de tubos**



Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 486.

3.2.1. Tipos de arreglos en intercambiadores de carcasa y tubo

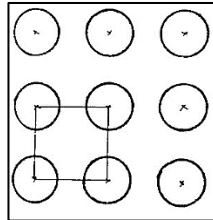
Las placas deflectoras están puestas para generar un flujo cruzado e inducir una mezcla turbulenta en el fluido que va por la coraza, la cual mejora el intercambio de calor por convección.

Los tubos presentan diferentes distribuciones, como los ajustes cuadrados, cuadrado girado y triangular.

3.2.1.1. Ajuste cuadrado

Esta configuración permite una mejor limpieza de los tubos. También hace que haya una menor caída de presión en el lado de la coraza.

Figura 24. **Representación gráfica de un arreglo cuadrado en un intercambiador de coraza y tubos**



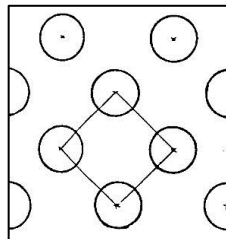
Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 488.

- Se utiliza cuando el factor de ensuciamiento en la carcasa es $>0,002 \text{ pie}^2$ °F/BTU.
- Cuando la limpieza mecánica es crítica.
- Con flujo turbulento en casos limitados por caída de presión.

3.2.1.2. Ajuste cuadrado girado

Las ventajas de esta distribución es la misma que del ajuste cuadrado.

Figura 25. **Representación gráfica de un arreglo cuadrado girado en un intercambiador de coraza y tubos**



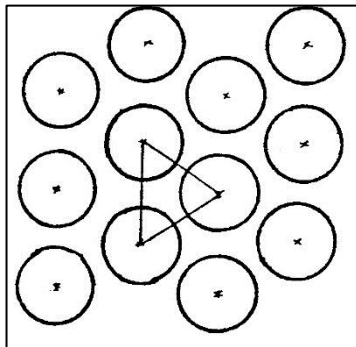
Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 488.

- Se utiliza cuando el factor de ensuciamiento en la carcasa es $>0,002 \text{ pie}^2$ °F/BTU.
- Cuando la limpieza mecánica es crítica.
- Cuando el flujo es laminar $Re < 2000$.

3.2.1.3. Ajuste triangular

Se consigue una mayor superficie de transferencia de calor, que con el ajuste cuadrado no se consigue. Si la distancia de centro a centro de los tubos es muy pequeña, no se puede limpiar.

Figura 26. **Representación gráfica de un arreglo triangular en un intercambiador de coraza y tubos**



Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 488.

- Poco usado por las altas caídas de presión que origina.
- Arreglo preferido para factores de ensuciamiento menores de $0,002 \text{ pie}^2$ °F/BTU.
- Se utiliza en cualquier régimen de flujo.
- Son más económicos que los arreglos cuadrados. Preferido para servicios limpios.

3.3. Circuito eléctrico

Es un arreglo o interconexión de dos o más componentes que permite el flujo completo de corriente eléctrica bajo la influencia de un voltaje.

Típicamente está compuesto por elementos conductores y cables conectados a ciertos elementos de circuito que aprovechan el flujo eléctrico, así como también resistencias que lo regularán.

Para que pueda existir un circuito eléctrico, la fuente de la electricidad debe tener dos terminales, una con carga positiva y otra con carga negativa.

Dentro de los elementos principales que componen un circuito eléctrico típico de todo sistema de refrigeración cabe mencionar los siguientes:

3.3.1. Contactor

Es un componente electromecánico el cual tiene por objetivo permitir o interrumpir el paso de la corriente eléctrica, dicho componente se puede utilizar en circuitos de potencia o también en circuitos de mando. Funciona en dos posiciones, una de ellas es en estado de reposo, la cual es cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando; y la otra es la inestable, cuando sí recibe acción por parte del circuito de mando.

3.3.2. Retardador de tiempo

Se ajusta de 6 a 8 segundos y trabaja con circuitos de control VAC de 24, 120 o 240 V. Soporta hasta 1,5 amperios. Un circuito cubierto lo protege contra la humedad y contra impactos. Trabaja con termostatos de tipo anticipado.

Un retardador de tiempo funciona inmediatamente después de energizar el sistema, el retardador comienza con la operación del circuito. Cuando la energía es interrumpida, el circuito se abre para el tiempo fijado. Después de que el periodo de tiempo pasa, el circuito se cierra, permitiendo al motor protegido o compresor iniciar. Se utiliza para aplicaciones típicas en refrigeración y aire acondicionado, la operación del "timer" es transparente y seguirá sin que lo note.

3.3.3. Relé

Es un interruptor automático controlado por la electricidad, el cual permite abrir o cerrar circuitos eléctricos sin la intervención humana, es accionado mediante un electroimán, el cual está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán, que será más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán.

3.3.4. Bornera

Es una barra de metal o de un material conductor de la electricidad, el cual tiene como función principal distribuir la corriente a distintos puntos o distintos componentes a energizar, consta de terminales ajustables para la sujeción de los cables encargados de la distribución de la corriente.

3.3.5. Transformador

Es un dispositivo eléctrico utilizado para aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico al mismo tiempo, manteniendo la potencia de la misma, Transforma la energía de 120 voltios a 24 voltios o viceversa, esto con el fin de energizar los componentes que accionan el circuito de refrigeración, dependerá del tipo de corriente a utilizar, así se selecciona el tipo de transformador.

3.3.6. Controles

El desarrollo de controles y de sistemas de control ha ido mano a mano con el desarrollo de todo el equipo de refrigeración y aire acondicionado, los cuales han servido para satisfacer las necesidades de mejorar la operación, la seguridad, la conveniencia personal y la economía, o una combinación de varios factores.

3.3.7. *Switch* de flujo

Es un dispositivo utilizado para controlar el paso de aire, vapor o líquido en determinado punto, con el fin de enviar una señal de activación a una bomba como este caso, y así indicarle el encendido o apagado.

Uno de los usos generales de un *switch* de flujo es el de proteger las bombas, protección a circuitos de refrigeración y alarmas para velocidades de flujo demasiado altas o bajas.

3.3.7.1. *Switch* de flujo tipo paleta (compuerta)

Este modelo es recomendado para medir grandes caudales de más de 20 LPM. Su mecanismo consiste en una paleta que se ubica transversalmente al

flujo que se pretende detectar. El flujo empuja la paleta que está unida a un eje que atraviesa herméticamente la pared del sensor de flujo y apaga o enciende un interruptor en el exterior del sensor. Para ajustar la sensibilidad del sensor se recorta el largo de la paleta.

3.3.7.2. *Switch* de flujo tipo elevación (tapón)

Este modelo es de uso general. Es muy confiable y se puede ajustar para casi cualquier caudal. Su mecanismo consiste en un tapón que corta el flujo. Del centro del tapón surge un eje que atraviesa herméticamente la pared del sensor. Ese eje empuja un interruptor ubicado en el exterior del sensor. Para ajustar la sensibilidad del sensor se perforan orificios en el tapón.

3.3.8. Presostato

Comúnmente llamado como interruptor de presión, tiene como función principal el cerrar o abrir un circuito eléctrico dependiendo del nivel de presión de un fluido mediante uno o varios contactos normalmente abiertos o cerrados, en pocas palabras son interruptores eléctricos que funcionan por presión.

3.3.8.1. Presostato de alta presión

Se conectan a la descarga del compresor y su función es impedir que en la zona de alta presión se alcancen valores que afecten al rendimiento de la instalación o por la propia seguridad de las personas. Se regulan a una determinada presión, y cuando la instalación alcanza ese valor, entonces el presostato detiene el compresor.

3.3.8.2. Presostato de baja presión

Se conectan a la aspiración del compresor y su función es evitar que la presión, en la zona de baja, pueda caer por debajo de la presión atmosférica y evitar también, que la presión descienda por debajo de lo normal de su funcionamiento, ya que afectaría el rendimiento. Cuando la presión descienda bajo la correspondiente al valor de regulación el presostato detiene el compresor.

3.4. Serpentín

Es un tubo de forma regularmente espiral o en forma de U se utiliza comúnmente para enfriar vapores provenientes de un proceso térmico y así condensarlos. La mayoría de las veces suelen ser elaborados de cobre, ya que este conduce el calor de una manera eficiente.

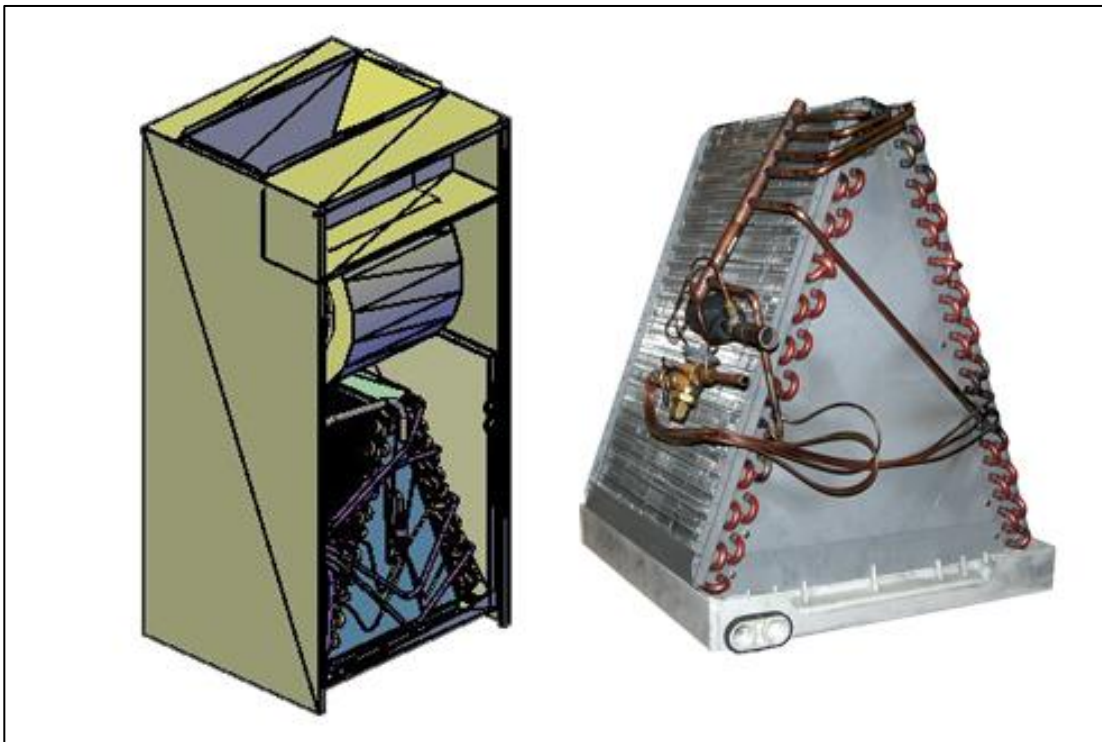
El serpentín es uno de los componentes que conforman un arreglo de equipo de aire acondicionado o equipo de refrigeración; el cual tiene como función principal intercambiar el calor obtenido por medio del gas refrigerante a baja temperatura que circula a través de él y cederlo para enfriar el aire. Esto con el fin de mantener el aire de un ambiente bajo condiciones de confort para sus ocupantes.

3.4.1. Serpentín en forma de “A”

Se emplea para aplicaciones de todos los tipos de flujo (superior, inferior y lateral). Consiste en dos serpentines cuyos circuitos están trazados a cada lado del dispositivo y que, estando juntos en la parte superior, se separan hacia la parte inferior, describiendo la forma de la letra A, como se aprecia en la figura 27. Cuando se utiliza uno de estos serpentines para aplicaciones de flujo superior o

inferior, la bandeja de recolecta del condensado se sitúa en la parte inferior de la "A". Al usarlo en una aplicación de flujo horizontal, hay que colocar el serpentín de forma que descansa sobre su costado y colocar la bandera debajo del serpentín. El flujo de aire atraviesa el serpentín en "A" por su centro. No puede atravesarlo del lado a lado con los dos serpentines conectados en serie. El serpentín en "A" no es el mejor sistema para aplicaciones de flujo horizontal, para las que pueden ser más deseables las versiones inclinadas y en H.³⁷

Figura 27. **Serpentín en forma de "A"**



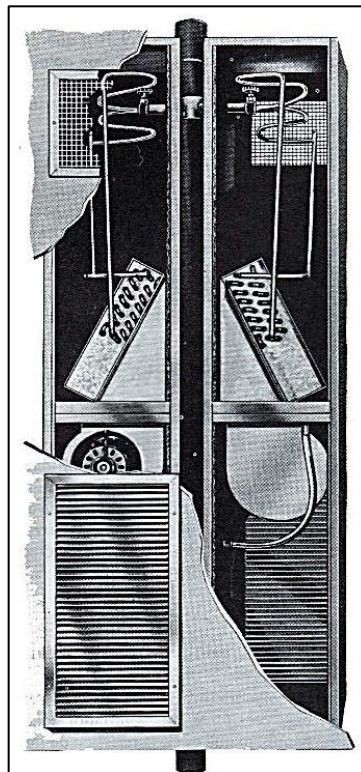
Fuente: JOHNSON, William C. WHITMAN, William M. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. p. 196.

³⁷ JOHNSON, William C. WHITMAN, William M. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. p. 196.

3.4.2. Serpentín inclinado

Es un arreglo de una sola pieza montado en el conducto con un cierto ángulo de inclinación, regularmente suele estar instalado a 60° para proporcionarle una mayor superficie de intercambio de calor entre los tubos y el aire. La inclinación del serpentín tiene como consecuencia el drenaje del agua condensada hacia la bandeja de condensado colocada en la parte inferior del serpentín, se emplea este tipo de serpentín para aplicaciones de flujo superior, inferior y horizontal; el diseño de la forma final ha de contemplar el tipo de aplicación para el que se vaya a utilizar.³⁸

Figura 28. Serpentín inclinado, con ángulo de 60°



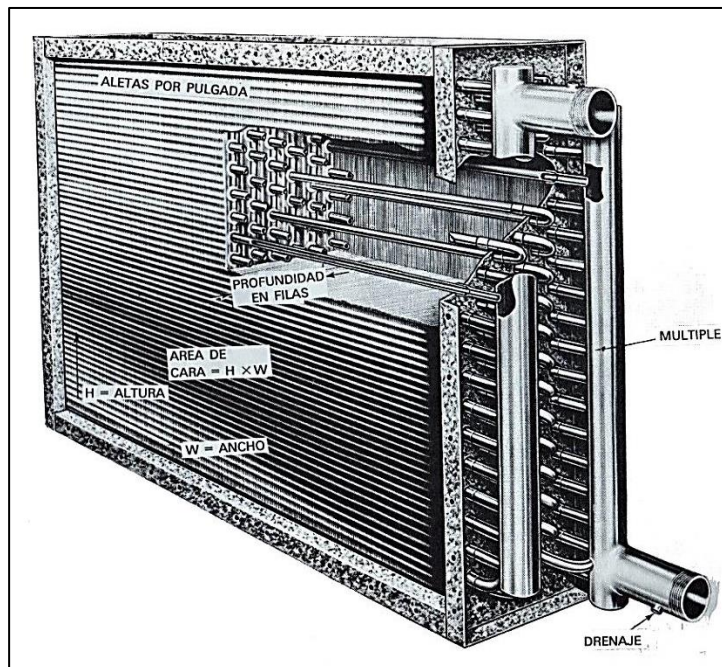
Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 492.

³⁸ JOHNSON, William C. WHITMAN, William M. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. p. 196.

3.4.3. El serpentín en forma de “H”

Se emplea en aplicaciones de flujo horizontal de aire, aunque es posible adaptarlo para aplicaciones verticales empleando configuraciones especiales de bandeja de drenaje. El drenaje suele estar situado en la parte inferior de la H.

Figura 29. Serpentín para agua helada en forma de “H”



Fuente: GONZÁLEZ POZO, Virgilio. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. p. 494.

3.4.4. Circuitos de serpentín

Todos los serpentines anteriormente descritos son susceptibles de tener más de un circuito, por lo que ha de diferir en el uso del refrigerante. Cuando un serpentín se hace demasiado largo y se obtiene una caída de presión excesiva a través de sus tuberías, resulta aconsejable disponer de varios serpentines más cortos en paralelo. “El serpentín puede tener tantos circuitos como se estime

preciso para conseguir la refrigeración deseada. Sin embargo, cuando se emplea más de un circuito, se debe prever la inclusión de un distribuidor, necesario para repartir la cantidad correcta de refrigerante a cada uno de los circuitos individuales.³⁹

3.4.5. Selección del serpentín

La selección del serpentín encargado del enfriamiento del aire en una manejadora de expansión directa o indirecta, estará relacionado con los siguientes factores:

- La cantidad total de calor sensible como de calor latente a transmitir mediante el paso del aire a través del serpentín.
- Las propiedades del aire como: temperatura de ingreso al serpentín, como de salida del mismo, las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, así también, la humedad relativa.
- La configuración y construcción del serpentín, dando así el número y tamaño de las aletas, así como el espacio entre cada uno de sus tubos y el número de capas.
- La velocidad superficial en la cual el aire atravesará el serpentín para lograr el intercambio de calor, la cual está dada por el flujo volumétrico del aire entre el área superficial proyectada del serpentín.

³⁹ JOHNSON, William C. WHITMAN, William M. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. p. 196.

- Los serpentines con tubos aleteados para agua son seleccionados con base en los pies cuadrados de cara que se necesitan, las filas, y las distancias ente aletas y la profundidad en las filas.

4. NOMENCLATURA A UTILIZAR PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

4.1. Refrigerante

Es cualquier sustancia capaz de absorber calor de otra, como el hielo, el agua, el aire, la salmuera, entre otros.

Como la refrigeración mecánica se basa en la evaporación y la subsecuente condensación del fluido para absorber y disipar el calor, el refrigerante debe poseer tales características físicas, para que se pueda repetir en ella la transformación de líquido en gas y de gas en líquido.

Se requiere también, que la transformación se realice a la temperatura adecuada para los diferentes servicios, y a la presión conveniente y apropiada a la economía, diseño, construcción y operación de los equipos.

Además de las características físicas, tomar en cuenta otros factores como las propiedades: termodinámicas químicas, de seguridad, económicas entre otras.

4.1.1. Efecto refrigerante

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. “Por lo tanto, los líquidos que poseen un alto calor latente de evaporación poseen un buen efecto de refrigeración”⁴⁰.

“El efecto de refrigeración es la diferencia entre el calor que contiene un líquido y el calor contenido en el vapor después de pasar por el evaporador”⁴¹.

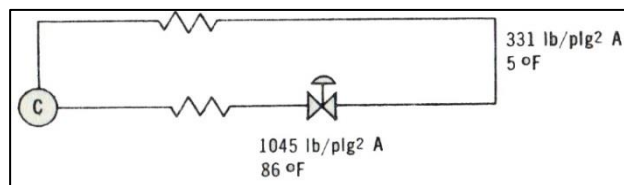
4.1.2. Punto de ebullición

“El punto de ebullición de un refrigerante a la presión atmosférica es básico al escoger el equipo requerido y el tipo de servicio para el que se va a usar”⁴².

4.1.2.1. Dióxido de carbono (CO₂)

“El CO₂ tiene un punto de ebullición de -109,4 °F, a la presión atmosférica, si se le quisiera condensar a 86 °F y evaporar a 5 °F, se necesitaría 1 045,7 lb/plg² para licuarlo y 331 lb/plg² para evaporarlo”⁴³.

Figura 30. **Ciclo de refrigerante cuando se usa dióxido de carbono como refrigerante**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 339.

⁴⁰ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 337.

⁴¹ Op. cit. p. 237.

⁴² AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 19-2.

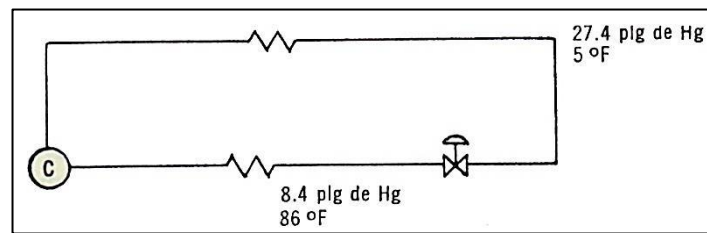
⁴³ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 239.

En otras palabras, para que el punto de ebullición suba a 5 °F necesitaría aproximadamente una presión de 331 lb/plg². En este caso hay la gran desventaja del peso del equipo que se requiere para utilizar el dióxido de carbono como refrigerante.

4.1.2.2. Diclorometano (CH₂Cl₂)

En el otro extremo está el CH₂Cl₂ que tiene un punto de ebullición de 103,6 °F a la presión atmosférica. Si se desea condensar a 86 °F se necesitaría un vacío de 8,4 pulgadas de Hg, y si se quisiera evaporar a 5 °F se necesitaría 27,4 pulgadas de Hg.⁴⁴

Figura 31. **Ciclo de refrigeración cuando se usa diclorometano (CH₂Cl₂) como refrigerante**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 340.

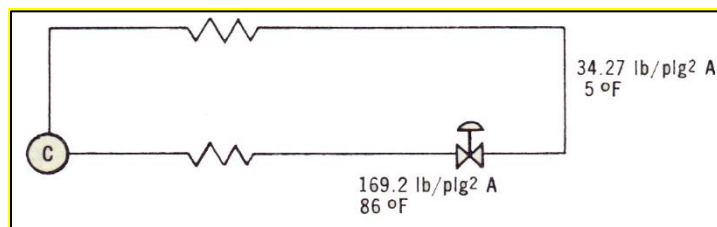
En este caso, existe la desventaja de que el sistema opera por debajo de la presión atmosférica y el sello es difícil.

⁴⁴ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 240.

4.1.2.3. Amoníaco (NH₃)

Como refrigerante intermedio entre los dos anteriores, está el amoníaco que tiene un punto de ebullición de -28 °F a la presión atmosférica. Si se requiere que la ebullición sea a 5 °F, la presión necesaria será de 34,27 lb/plg².⁴⁵

Figura 32. **Ciclo de refrigeración cuando se usa amoníaco como refrigerante**



Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 340.

Se suele dividir a los refrigerantes, según su punto de ebullición, en cuatro amplias categorías.

- Temperaturas ultra bajas a las que corresponde un rango de -65 °F o más bajas.
- Temperaturas bajas a las que corresponde un rango de -65 °F a -20 °F.
- Temperaturas intermedias que les corresponden un rango de -20 °F a +20 °F.
- Temperaturas altas en un rango de +20 °F o más.

⁴⁵ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 240.

Lo ideal de un refrigerante sería que la presión de evaporación fuera ligeramente mayor que la presión atmosférica, para que nunca existiera vacío en el sistema.

4.1.3. Relación refrigerante-aceite

La presencia de aceite lubricante en un sistema es obvia, por lo que el refrigerante y el aceite deben ser compatibles química y físicamente. “El refrigerante ideal es el que permanece químicamente estable en presencia de aceite lubricante y, a su vez, no influye en las características químicas del lubricante.”⁴⁶

Hay refrigerantes que tienen la capacidad de mezclarse con el aceite (miscibilidad) en cualquier proporción, algunos se mezclan poco y otros nada. Esto hace que el diseño de un sistema de refrigeración tenga variaciones de un refrigerante a otro.

Entre los refrigerantes poco miscibles se mencionan los siguientes:

- Amoniaco
- Dióxido de carbono
- Dióxido de azufre

Entre los refrigerantes miscibles se encuentran los siguientes:

- Freón
- Clorohidrocarburos
- Hidrocarburos

⁴⁶ AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 19-33.

El efecto de la miscibilidad es reducir la viscosidad del aceite y disminuir la temperatura a la que se congela un lubricante; por ello, representa una ventaja y una desventaja.

El efecto que produce un lubricante en el sistema de refrigeración es bajar la eficiencia, ya que se forma una capa en los tubos del evaporador y baja la transmisión de calor; esto sucede con refrigerantes poco miscibles.

Por otro lado, baja la eficiencia debido a que la presencia de vapores de lubricantes desplaza los vapores del refrigerante y entran en el compresor cuando el refrigerante es miscible.

Cuando el refrigerante viene mezclado con lubricantes, este lubrica bien las válvulas y alarga su vida. Existen separadores de aceite tipo mecánico por fuerza centrífuga, gravedad, congelación, etcétera. Pero cuando el refrigerante es miscible, no hay posibilidad de tener depósito de aceite en el evaporador, ya que el aceite no viene solo sino mezclado.

4.1.4. Tipos de refrigerante

Los refrigerantes más usados se pueden dividir según se describe en la tabla I clasificada según sus compuestos químicos:

Tabla I. Clasificación de los refrigerantes

Refrigerantes		Fórmula química
I.	Amoniaco	NH_3
II.	Dióxido de carbono	CO_2
III.	Dióxido de azufre	SO_2
IV.	Grupo de los hidrocarburos	
	Etano	$\text{CH}_3 \text{ CH}_3$
	Eteno	$\text{CH}_2 \text{ CH}_2$
	Propano	$\text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ CH}_3$
	Isobutano	$\text{CH} (\text{CH}_3)_3$
	Butano	$\text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_3$
V.	Grupo de los halógenos	
a)	Familia de los hidrocarburos clorados	
	Cloro metano	$\text{CH}_3 \text{ Cl}$
	Cloro etano	$\text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ Cl}$
	Dicloro metano	$\text{CH}_2 \text{ Cl}_2$
	Dicloro eteno	$\text{CHCl} \text{ CHCl}$
	Tricloro eteno	$\text{CHCl} \text{ CCl}_2$
b)	Familia de los hidrocarburos fluorados (serie de metanos)	
	Freón 11 tricloromonofluoro metano	$\text{CCl}_3 \text{ F}$
	Freón 12 diclorodifluorometano	$\text{CCl}_2 \text{ F}_2$
	Freón 13 monocloro trifluoro metano	CCl F_3
	Freón 14 tetra fluorometano	C F_4
	Freón 21 diclo mono fluorometano	$\text{CH Cl}_2 \text{ F}$
	Freón 22 mono cloro difluorometano	CH Cl F_2
c)	Familia de los hidrocarburos fluorados (serie de etanos)	
	Freón 113 triclorotrifluoro etano	$\text{CCl}_2 \text{ F CCl F}_2$
	Freón 114 diclotetrafluoro etano	$\text{CCl F}_2 \text{ CCl F}_2$
d)	Familia de los hidrocarburos fluorados (bromuros)	
	Kulene 131 bromotrifluorometano	CBr F_3
VI.	Azeótropos Carrene 7	
VII.	Varios	
	Vapor de agua	
	Aire	
	Oxido nitroso	$\text{N}_2 \text{ O}$
	Formato de metilo	HCCOCH_3
	Etilamina	$\text{C}_2 \text{ H}_5 \text{ NH}_2$
	Metilamina	$\text{CH}_3 \text{ N H}_2$

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p.

4.1.4.1. Amoníaco (NH₃)

El amoníaco posee muchas de las ventajas de un magnifico refrigerante, por eso muchos operadores y fabricantes lo prefieren. Es el refrigerante más antiguo y de más uso. Por sus características térmicas y físicas es muy eficiente, económico y no requiere un equipo muy pesado. Es químicamente estable, no afecta al lubricante y pesa la mitad del aire. Prácticamente no se mezcla con el aceite, ni reduce su viscosidad. Cuando hay humedad, el aceite y el amoníaco forman una emulsión que causa dificultades.

El amoníaco tiene alto calor específico del líquido, pero también es alto el calor específico del vapor. Tiene muy alto efecto de refrigeración. Es volátil, no se quema a temperaturas ordinarias, solo cuando se expone a una llama abierta. “Cuando se combina con ciertas proporciones de aire y se comprime, forman mezcla explosiva y es más grave si en la mezcla también existe vapor de lubricante. Es muy irritante a las membranas mucosas y a los ojos, y nunca se usa para aire acondicionado en hospitales, instalaciones marinas, entre otros. Se le puede detectar fácilmente por el olor y con velas de sulfuro causa humos que, al combinarse con el amoníaco producen nubes blancas. En presencia del agua ataca metales no ferrosos; por eso nunca se usan con bronce o cobre.”⁴⁷

4.1.4.2. Dióxido de carbono (CO₂)

El uso de dióxido de carbono requiere equipo sumamente pesado, en virtud de la excesiva presión y requiere un costo inicial muy elevado.

Su temperatura crítica es de 87,8 °F, por lo que requiere temperaturas muy bajas para los agentes enfriadores en el condensador. Es excelente para muy bajas temperaturas, pues se obtienen -110 °F a la presión atmosférica. “No permanece líquido cuando la presión esta abajo del triple punto de 75,1 lb/plg²;

⁴⁷ AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. p. 19-33.

esto se debe a que la evaporación ocurre tan rápidamente que la temperatura del líquido baja del punto de congelamiento formando nieve o CO₂ sólido (hielo seco).⁴⁸

Bajo la presión atmosférica el hielo seco se sublima. La temperatura de hielo seco es de -110 °F a -114 °F a 1 atmósfera. Pesa 1,53 más que el aire. No huele, es incoloro, es difícil detectar sus fugas, no es tóxico, en grandes concentraciones causa la muerte por sofocación y no es inflamable. Es químicamente estable, es inmiscible con aceite y no varía su viscosidad. No afecta ningún metal. “Su efecto de refrigeración y su volumen específico es bajo, por lo que no requiere altas capacidades embolares”⁴⁹.

4.1.4.3. Anhídrido sulfuroso (SO₂)

Incoloro, pesa el doble que el aire aproximadamente. No es inflamable y no se quema a temperaturas ordinarias. Sus fugas no perjudican los alimentos, por el contrario los conserva. No afecta la viscosidad del aceite. Combinado con aceites, produce un lodo que obstruye los conductos. Tiene bajo efecto de refrigeración y alto volumen específico, lo cual requiere grandes desplazamientos volumétricos. Es muy tóxico, irrita las membranas mucosas y los ojos. No se usa en trabajos domésticos, es químicamente estable y tiene baja presión de condensación. “Las fugas se detectan con facilidad, pues se identifican con un estropajo saturado en amoníaco acuoso, hasta que aparece una nube blanca. Con la humedad forma ácidos muy corrosivos.”⁵⁰

4.1.4.4. Grupo de hidrocarburos

Son incoloros y derivados del petróleo y del gas natural. Son muy poco usados y mezclados con el aire son inflamables y explosivos. No son

⁴⁸ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 349.

⁴⁹ Op. cit. p. 350.

⁵⁰ *Ibíd.*

venenosos, pero si anestésicos. No atacan los metales; son miscibles con el aceite y se descubren con burbujas de agua jabonosa. Atacan el hule.

Tabla II. Clasificación de los compuestos del gas natural

Gas	%
Metano	79 %
Etano	13 %
Propano	5 %
Butano	2 %

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 350.

Tabla III. Características de los hidrocarburos

Refrigerante		Fórmula química	Constituyentes moleculares	Peso molecular	Gravedad específica del vapor (agua =1)	Punto de evaporación (°F) a 1 atm
Serie parafínica	Serie olefínica					
Metano		CH ₄	1 átomo de C 4 átomos de H	16.03	0.544	— 259
	Eteno	C ₂ H ₄	2 átomos de C 4 átomos de H	28.03	0.9749	— 155
Etano		C ₂ H ₆	2 átomos de C 6 átomos de H	30.04	1.05	— 128
	Propeno	C ₃ H ₆	3 átomos de C 6 átomos de H			— 54
Propano		C ₃ H ₈	3 átomos de C 8 átomos de H	44.06	1.562	— 44
Isobutano		C ₄ H ₁₀ (CH ₃) ₃ CH	4 átomos de C 10 átomos de H	58.12	2.067	—10.3
	Buteno	C ₄ H ₈	4 átomos de C 8 átomos de H			20
Butano		C ₄ H ₁₀	4 átomos de C 10 átomos de H	58.12	2.085	31.3

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 351.

4.1.4.5. Grupo halogenado

En este grupo clasificaremos los gases refrigerantes con compuestos como el fluor, cloro, bromo, yodo, entre otros, con la característica que todos los elementos tienen como valencia -1.

4.1.4.5.1. Familia de los hidrocarburos clorados

En esta clasificación utilizaremos como compuestos para el gas refrigerante elementos como el carbón, hidrogeno y cloro como se describe en la tabla IV.

Tabla IV. **Características de los hidrocarburos clorados**

<i>Refrigerantes</i>	<i>Punto de evaporación (°F)</i>	<i>Presión de condensación a 86°F (lb/plg²)</i>	<i>Presión de evaporación a 5°F (lb/plg²)</i>
Clorometano	— 11.3	95.5	21.0
Cloroetano	53.9	27.1	4.76
Diclorometano	104.6	10.05	1.18
Dicloroetano	122.4	6.97	0.827
Tricloroetano	187.0	1.82	0.156

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 351.

De los cinco existentes solo dos son muy usados, el clorometano y el diclorometano, los demás son poco importantes.

El clorometano es un refrigerante incoloro, anestésico, ligeramente oloroso, irritante, inflamable y explosivo a cierta concentración con el aire. “No ataca a los

metales cuando están libres de agua, pero al formar ácidos los ataca, sean ferrosos o no. Es miscible con el aceite y disminuye la viscosidad, causa obstrucciones en válvulas y orificios y tienen un buen efecto de refrigeración.⁵¹

El diclorometano no es inflamable ni tóxico, por lo que es muy usado en instalaciones de aire acondicionado, en teatros, auditorios, entre otros. No ataca los metales, ni al hule. Se usa mucho en compresores centrífugos, ya que no es venenoso ni tóxico. “No importa que sea miscible con el aceite, puesto que en este tipo de compresores, los sistemas de lubricación son independientes.”⁵²

4.1.4.5.2. Familia de los hidrocarburos fluorados

A continuación, se presentan las características de los hidrocarburos fluorados.

Tabla V. Características de los hidrocarburos fluorados

	FREÓN	Fórmula química	Punto de evaporación (°F)
Sin H	10	C Cl ₄	170
	F-11	C Cl ₃ F	74.7
	F-12	C Cl ₂ F ₂	— 21.6
	F-13	C Cl F ₃	—114.5
	F-14	C F ₄	—198.2
1 átomo H	20	CH Cl ₃	142
	F-21	CH Cl ₂ F	48.0
	F-22	CH Cl F ₂	— 41.4
	F-23	CH F ₃	—119.0
2 átomos H	30	CH ₂ Cl ₂	104
	F-31	CH ₂ Cl F	16
	F-32	CH ₂ F ₂	— 61
3 átomos H	40	CH ₃ Cl	— 11
	F-41	CH ₃ F	—109
Metano	50	CH ₄	—260

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 352.

⁵¹ ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 643.

⁵² *Ibíd.*

Estos compuestos halogenados son el resultado de un esfuerzo para llegar a tener buenos refrigerantes y cubren un rango desde temperaturas ultra bajas hasta las altas.

No son tóxicos, ni irritantes o inflamables y, en condiciones normales, tampoco son corrosivos.

Son incoloros, inodoros y químicamente estables. Su detección es difícil. No afectan a los lubricantes ni son afectados por ellos, aunque sean más o menos miscibles.

Mientras mayor sea el número de hidrógenos que tengan, más inflamables serán. Tienen buenas cualidades térmicas.

- Serie de los etanos

La segunda serie de freón son compuestos halogenados que tienen un etano como base.

Los compuestos más comunes entre los metanos y los etanos son:

Tabla VI. **Clasificación de acuerdo a su punto de ebullición a una atmósfera**

Freón	Temperatura de ebullición
F 14	-198,2 °F
F 13	-114,5 °F
F 22	-44,11 °F
F 12	-21,60 °F
F 114	+38,40 °F
F 21	+48,00 °F
F 11	+74,70 °F
F 113	+117,6 °F

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 353.

4.1.4.5.3. Bromos

Otro grupo de refrigerantes halogenados son los bromos, de los cuales el kulen 131 es el más usado.

Su olor se parece al éter, no es tóxico ni inflamable o corrosivo. Es ligeramente soluble en aceite y se usa en cualquier metal, incluyendo el cobre. “Tiene un punto de ebullición bajo y su coeficiente de comportamiento y su efecto de refrigeración son bajos”⁵³.

4.1.4.6. Familia de los azeotropos

Un fluido azeotrópico consiste de una mezcla de dos o más líquidos que, combinados actúan como un compuesto.

⁵³ ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 644.

El carrene 7, por ejemplo, está compuesto del 74,2 % de freón 12, el 25,8 % de difluoroetano (genetrón 100), alcanzando así un punto de ebullición de -28 °F y una eficiencia bastante mayor (18 %) que la del freón 12. “En otras palabras, con carrene 7 se obtiene 18 % más capacidad de refrigeración que con el freón 12, usando exactamente el mismo equipo”⁵⁴.

“El carrene 7 no es combustible ni tóxico y sus propiedad de evaporación a 5 °F es de 31.02 lb/plg². Y la de condensación a 86 °F es de 128,12 lb/plg²”⁵⁵.

4.1.4.7. Refrigerantes misceláneos

Dentro de esta clasificación cabe mencionar los más importantes, como el agua y el aire, además de ser los más baratos y abundantes en la naturaleza.

4.1.4.7.1. Vapor de agua

Dentro de sus límites de temperatura (32 °F), el vapor de agua es un excelente refrigerante, no es tóxico ni inflamable, por esto es el fluido más seguro para aire acondicionado. “Tiene un alto efecto de refrigeración y un coeficiente de comportamiento de 4,2. Su gran desventaja es el gran volumen que se requiere manejar (476,6 pies³/min/ton, aproximadamente 4,7 veces más que el freón 113), por este motivo, se emplea con compresores centrífugos”⁵⁶.

4.1.4.7.2. Aire

“Como refrigerante, el aire tiene un coeficiente de comportamiento muy bajo (1,67). “Se ha usado mucho en la industria de la aviación para eliminar el

⁵⁴ ARI. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p 645.

⁵⁵ *Ibíd.*

⁵⁶ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 2.

calor generado por la fricción del aire debido a altas velocidades, sus ventajas son su seguridad, la disponibilidad y el costo nulo”⁵⁷.

4.1.4.8. Refrigeración verde

El refrigerante ecológico más usado es el amoníaco (R-717). No degrada la capa de ozono ni contribuye al efecto invernadero. Frederick, al respecto dice “Tiene alta performance como refrigerante: alta conductividad térmica, que facilita la transferencia de calor. Por su alto calor latente de evaporación (10 veces superior al R-22, por ejemplo), la cantidad de refrigerante necesario en una situación dada es menor, lo que favorece su uso en aplicaciones de gran escala. Sin embargo, esto hace difícil regular la entrega de amoníaco a evaporadores pequeños, lo que obliga al uso extendido de otros refrigerantes”.

Cabe indicar que la mayor eficiencia también es un rasgo característico de los refrigerantes ecológicos, lo que aumenta el costo de los equipos que los utilizan.

Del mismo modo, el compuesto R-410 A aparece entre las sustancias de mayor presencia en el mercado, sobre todo en el área de aire acondicionado en reemplazo del R-22. Para sustituir este compuesto, en una época se utilizó bastante el R-407, pero su inestabilidad generó problemas en la aplicación, actualmente se usa muy poco.

Otro ejemplo es el refrigerante Ecofreeze 12 que se promueve como sustituto directo de los convencionales R-12 y R-134 A, con aplicaciones en refrigeración doméstica, comercial y aire acondicionado de automóviles.

⁵⁷ GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 2.

El R-600 A (isobutano) es otro producto que tiene ventajas ecológicas considerables y actualmente se usa en equipos de refrigeración doméstica producidos por firmas europeas.

4.1.5. Refrigerantes secundarios

Algunos de los refrigerantes secundarios más usados son:

- Agua
- Cloruro de calcio
- Cloruro de sodio
- Eteno
- Glicol etilénico
- Metano
- Glicerina

4.1.5.1. Agua

En la mayoría de los casos, cuando la temperatura no baja de 32 °F, el agua se usa siempre como segundo refrigerante, ya que tiene magníficas propiedades, tales como: fluidez, alto calor específico, alto coeficiente de película, muy bajo costo y casi no es corrosivo.

En el aire acondicionado, el agua helada circula a través de serpentines o de atomizadores, logrando al mismo tiempo, la humidificación del aire.

4.1.5.2. Salmuera

El agua obviamente no puede emplearse como refrigerante secundario, cuando se requieren temperaturas por debajo del punto de congelación, en cuyo caso se usa la salmuera. La cual es una solución de sales y agua. Si la sal se disuelve en agua, la temperatura de congelamiento de la solución será menor que la del agua pura.

Hasta cierto punto, mientras más sal tenga la solución, menor es el punto de congelación. Sin embargo, si la concentración se aumenta más allá de cierto grado, el punto de congelación aumentará en vez de bajar. En otras palabras, una solución de sal y agua tiene una concentración a la cual es mínimo el punto de congelación. Este punto es llamado solución eutéctica.

Las salmueras comerciales son de dos clases: cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de sodio NaCl (sal común).

4.1.5.2.1. Cloruro de calcio (CaCl_2)

Se usa en la industria donde se requieren temperaturas menores de 0°F ; la temperatura eutéctica aproximadamente es de -67°F , que se produce con una concentración de 30 % por peso.

Tabla VII. **Temperatura de cristalización de la mezcla agua-cloruro de calcio**

<i>% CaCl₂ por peso</i>	<i>Principia la cristalización</i>
5	27.7°F
8	24.6
10	22.3
12	19.3
15	13.5
18	5.9
20	- 0.4
22	- 7.8
25	-21.0
28	-37.8
29.87	-67
30	-50.8
32	-19.5
34	+ 4.3

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 357.

Quando el cloruro de calcio se usa para alimentos se diseña de modo que nunca entre en contacto con ellos, debido a su sabor amargo y efecto deshidratante.

4.1.5.2.2. **Cloruro de sodio (NaCl₂)**

Se emplea sobre todo donde, por razones de contaminación, no se usa el cloruro de calcio. Se usa para congelar carne, pescado, etc.

La mínima temperatura que se obtiene es -6 °F a una concentración del 23 %.

Tabla VIII. **Temperatura de cristalización de la mezcla agua-cloruro de sodio**

<i>% NaCl₂ por peso</i>	<i>Principia la cristalización</i>
5	27.0°F
10	20.4
15	15
20	+ 1.8
21	− 0.8
22	− 3.0
23	− 6.8
24	+ 3.8
25	+16.1
25.2	+32.

Fuente: GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. p. 357.

Con las salmueras se debe tener en cuenta que, mientras más concentración haya, mas disminuirán la fluidez, el calor especifico y la conductibilidad térmica. Por esto, a mayores concentraciones se requiere más cantidad de salmuera.

4.1.6. **Nomenclatura para el refrigerante a utilizar**

En la fabricación de los equipos de refrigeración tipo *chiller*, se usarán nada más los siguientes refrigerantes con su respectiva nomenclatura para su identificación según tabla número IX.

Tabla IX. **Nomenclatura para el refrigerante a utilizar**

NOMENCLATURA ASHRAE	NOMENCLATURA DE FABRICACIÓN
Refrigerante R 410 A	A
Refrigerante R 407 C	B
Refrigerante R 22	C

Fuente: elaboración propia.

4.2. Toneladas de refrigeración del equipo

La tonelada de refrigeración es una medida en el efecto frigorífico de la fusión del hielo, la cual es utilizada para referirse a la capacidad de extracción de carga térmica de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado.

Puede definirse como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 horas.

Puesto que el calor latente de fusión de 1 libra de hielo es de 144 BTU/h, el calor latente de una tonelada (2 000 libras) de hielo sería expresado de la siguiente manera: $144 \text{ BTU/h} \times 2\,000 \text{ libras} = 288\,000 \text{ BTU/Día}$

Si dividimos los 288 000 BTU/Día dentro de las 24 horas en un día, nos da como resultado de 12 000 BTU/h.

Por lo que se puede llegar a la igualdad de:

$$1 \text{ tonelada de refrigeración} = 12\,000 \text{ BTU/h.}$$

4.2.1. Nomenclatura para la capacidad en toneladas de refrigeración a utilizar

Para la fabricación de los equipos tipo *chiller* se utilizará las capacidades según la tabla X.

Tabla X. Nomenclatura para la capacidad de refrigeración a utilizar

NOMENCLATURA ASHRAE	NOMENCLATURA DE FABRICACIÓN
1 tonelada de refrigeración	01
2 tonelada de refrigeración	02
3 tonelada de refrigeración	03
4 tonelada de refrigeración	04
5 tonelada de refrigeración	05
10 tonelada de refrigeración	10
15 tonelada de refrigeración	15
20 tonelada de refrigeración	20
30 tonelada de refrigeración	30

Fuente: elaboración propia.

4.3. Selección de intercambiador

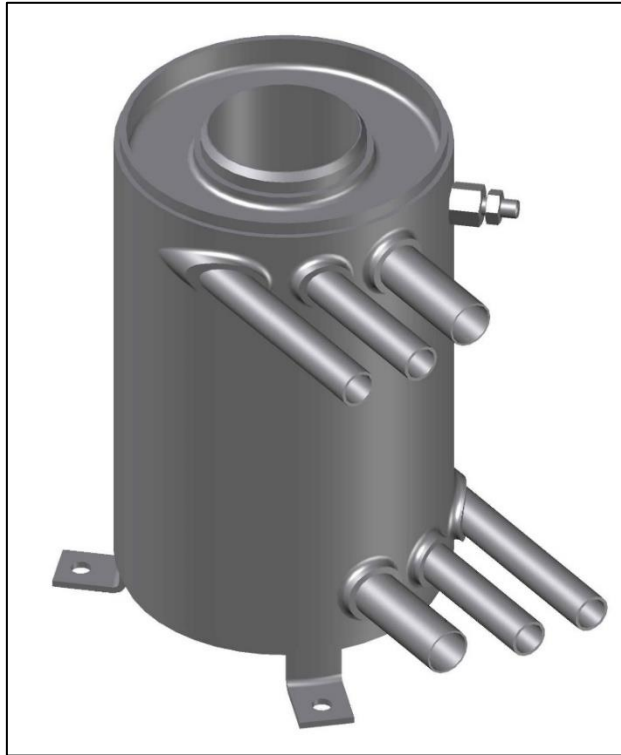
Aqua Systems Inc. es un fabricante de Estados Unidos dedicado a los intercambiadores de calor más eficientes entre un refrigerante y un líquido.

Los intercambiadores incorporan lo último en tecnología de intercambiadores de calor, los cuales están diseñados y fabricados en tamaños compactos y con alto nivel de eficiencia de intercambio de calor, el cual se consigue mediante la geometría del tubo de intercambio de calor único de Aqua Systems Inc.

La superficie mejorada del cobre o tubo de cuproníquel ofrece una extensión superficial de 3,7 veces la del tubo liso. El diseño cónico, coaxial de los serpentines de agua y el estriado interno asegura que la turbulencia del agua se mantiene incluso a velocidades de flujo de agua bajos.

En el lado de refrigerante, las estrechas tolerancias entre los serpentines de agua y la cáscara del condensador, dan lugar a la extraordinaria actuación de intercambio de calor durante el servicio del condensador en el ciclo de refrigeración. Como están diseñados para adaptarse a las aplicaciones también reversibles, el diseño único proporciona un alto nivel de rendimiento cuando el intercambiador de calor se utiliza como un enfriador de líquido.

Figura 33. **Intercambiador de Aqua Systems Inc. En 3D**



Fuente: Fabricante Aqua Systems Inc., www.aquasystemsinc.com. Consulta: diciembre de 2015.

Características que hacen que Aqua Systems Inc. sea uno de los mejores fabricantes de intercambiadores de calor:

- Cerrar el *approach* o temperatura de acercamiento entre la temperatura de condensación del refrigerante y la temperatura de salida del agua reduce el volumen de agua del condensador que se distribuirá. Así como también reduce el tamaño de las tuberías de agua del condensador y bombas de circulación.

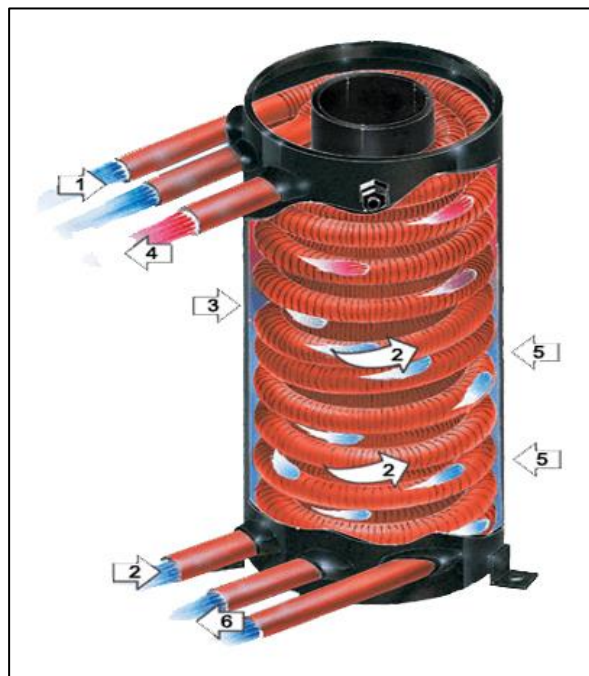
- El líquido refrigerante es más eficiente debido a la subrefrigeración, como el líquido que sale es subenfriado por el agua que entra debido a la eficiencia del sistema de diseño mejorado de contra flujo.
- Tubos de agua drenables debido al espiral de diseño interno que permite un fácil drenaje para la limpieza de congelación.
- Limpieza de congelación de los tubos de agua después de drenar, permite la limpieza del condensador de manera rápida con tiempo de inactividad mínimo y sin ensuciar, el cual elimina el uso de productos químicos.
- No habrá residuos de aceite atrapado, como resultado de las estrechas tolerancias en el camino de refrigerante.
- Mejora el rendimiento de la bomba de calor con alta salida de BTU a bajas temperaturas de agua.
- Las bajas caídas de presión del agua reduce el tamaño de la bomba y los costos de operación.
- Serpentes de agua continuos sin juntas internas los cuales brindan una menor posibilidad de fuga.
- Tamaño compacto y de forma cilíndrica, conveniente para su fácil aislamiento.
- Funcionamiento fiable, ya que todos los intercambiadores de calor Aqua Systems Inc. se prueban a 660 psi después de la fabricación.

- Certificado UL® así como también cumple con los estándares australianos 2971-1987 para recipientes a presión producidos en serie.
- Todos los modelos disponibles en *stock* para abastecer cualquier tipo de proyecto.

4.3.1. Pasos del funcionamiento del intercambiador de calor

A continuación, se describe la serie de pasos para comprender el funcionamiento de los intercambiadores a utilizar en estos equipos.

Figura 34. **Intercambio de calor entre agua-refrigerante en el intercambiador Aqua Systems Inc.**



Fuente: Fabricante Aqua Systems Inc. www.aquasystemsinc.com. Consulta: diciembre de 2015.

Según la figura 34 se pueden describir los siguientes pasos:

- El agua entra en los dos tubos superiores a medida que pasa a través de los mismos, se mantiene la turbulencia del agua, lo cual se realiza a un bajo caudal, debido a la forma del estriado interno de la tubería.
- El líquido refrigerante entrar a través del tubo inferior y se ve obligado a seguir una trayectoria de flujo en espiral larga. Esta trayectoria de flujo se crea por la estrecha tolerancia entre el tubo de cobre y las paredes laterales de acero.
- La superficie mejorada de la tubería de cobre es 3,7 veces más de la de la tubería lisa, libera calor desde el lado del agua del flujo en espiral y el refrigerante axial provoca una rápida evaporación del refrigerante, dando como resultado una caída de presión muy baja en el lado de refrigerante y no genera residuos de aceite.
- A medida que el refrigerante líquido absorbe el calor del agua, empieza a hervir por medio del calor que sale del intercambiador en forma de gas.
- Los tubos de agua se cruzan en el punto medio del intercambiador de calor. El tubo exterior se vuelve el interior y el interior se convierte en el tubo exterior. Esto se traduce en dos tubos exactamente de la misma longitud, con una caída de presión igual y de intercambio de calor igual.
- El agua enfriada sale en las partes de los dos tubos de agua más bajas.

4.3.2. Nomenclatura para la capacidad del intercambiador a utilizar

Cada equipo utilizará un intercambiador dependiendo de la capacidad del mismo, por lo tanto se describen los diferentes modelos de intercambiador a utilizar en la tabla XI.

Tabla XI. Nomenclatura para la capacidad del intercambiador a utilizar

NOMENCLATURA AQUA SYSTEM	TONELADAS NOMINALES	CONEXIÓN DE AGUA	CONEXIÓN DE REFRIGERANTE	PESO LBS.	NOMENCLATURA DE FABRICACIÓN
S-2/CN2	2	¾ OD	7/8 OD	15	2S/2C
S-3/CN3	3	¾ OD	7/8 OD	19	3S/3C
S-4/CN4	4	¾ OD	7/8 OD	23	4S/4C
S-5/CN5	5	¾ OD	7/8 OD	26	5S/5C
S5TV/CN5TV	10	¾ OD	7/8 OD	52	10ST/10CT
S5TVR/CN5TVR	10	¾ OD	7/8 OD	54	10STR/10CTR

Fuente: Fabricante Aqua Systems Inc., www.aquasystemsinc.com. Consulta: diciembre de 2015

Según la nomenclatura del fabricante se obtiene la siguiente información:

- S = tubería de cobre
- CN = tubería 90/10 cuproníquel
- R = indica receptor bidireccional
- TV = indica entradas verticales gemelas

4.4. Selección de compresor

Los compresores Copeland scroll han cambiado la industria para siempre, a partir del momento en el que se convirtió en un pionero en el uso de la tecnología scroll para compresores. “Desde entonces, la tecnología Copeland scroll™ continúa a la vanguardia de las aplicaciones de refrigeración y de aire acondicionado, asombrando a contratistas y fabricantes de equipos originales con su eficiencia superior, probada confiabilidad y facilidad de instalación”⁵⁸.

Los compresores Copeland scroll caracterizan por tres aspectos importantes:

- Eficiencia
- Innovación
- Confiabilidad

Los compresores Copeland scroll van desde 1 a 60 HP, conformando la más amplia gama de productos disponible en la industria. Se encuentran en más de 80 millones de instalaciones en todo el mundo. A su vez, se ha convertido en el compresor elegido, líder en la industria y requisito indispensable, tanto para alcanzar regulaciones de eficiencia mínima como 13 SEER, como para programas de eliminación de refrigerantes HCFC. Los compresores Copeland scroll pueden aplicarse en configuraciones individuales o múltiples. Además, incluyen distintas variantes de modulación, que permiten obtener una mayor eficiencia, confiabilidad y confort para el usuario.⁵⁹

⁵⁸ EMERSON. Compresores Copeland Scroll™. www.emersonclimate.com/. Consulta: septiembre de 2015.

⁵⁹ *Ibíd.*

4.4.1. Funcionamiento de los compresores Copeland *scroll*

El compresor Copeland Scroll tiene un scroll o espiral orbitante en un trayecto definido por un *scroll* fijo coincidente. El scroll fijo está unido al cuerpo del compresor.

El *scroll* orbitante está acoplado al cigüeñal y gira en órbita en lugar de rotar. El movimiento orbitante crea una serie de bolsillos de gas que se desplazan entre ambos scrolls. En la porción externa de los scrolls, los bolsillos aspiran gas y lo trasladan al centro del *scroll*, donde lo descargan. A medida que el gas se mueve por los bolsillos internos, que son cada vez más pequeños, la temperatura y la presión aumentan a la presión de descarga deseada.

4.4.2. Beneficios de los compresores Copeland *scroll*

- Mejor manejo de líquidos: la conformación axial y radial permite que las partes del *scroll* se separen en presencia de líquido refrigerante, ofreciendo de este modo protección ante daños por líquidos.
- Mayor eficiencia a lo largo de su rango operativo total.
- Sonido mejorado: opera a niveles de sonido y vibración inferiores que los compresores tradicionales.
- Confiabilidad inigualable.
- Setenta por ciento menos partes móviles.

- Capacidad de arranque bajo cualquier carga del sistema, sin arranque de los componentes.
- De fácil servicio y mantenimiento debido a su tamaño compacto y su diseño liviano y simple.
- Fabricado para alcanzar un rendimiento óptimo con los refrigerantes actuales sin cloro.
- Sin complejas válvulas internas de succión y de descarga para una operación más silenciosa y mayor confiabilidad.

5. MANUAL DE FABRICACIÓN DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO *CHILLER* DE UNA CAPACIDAD DE 3 TONELADAS

5.1. Planos de construcción del equipo

En la elaboración de los planos del equipo de refrigeración tipo *chiller* se trabajó mediante 5 fases constructivas en el programa de AutoCAD, las cuales van a depender de las toneladas del equipo, en este caso en específico se detalla la elaboración para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración.

5.1.1. Estructura metálica y soportería

En la parte de estructura se dimensionará dependiendo del tamaño del serpentín de condensación que se utilizará, para lo cual se ha seleccionado un serpentín tipo H con descarga horizontal para un equipo convencional de refrigeración tipo mini split de 3 toneladas de refrigeración marca Lennox, Air One, Innovair, Confort Star o similares que se encuentren en el mercado local.

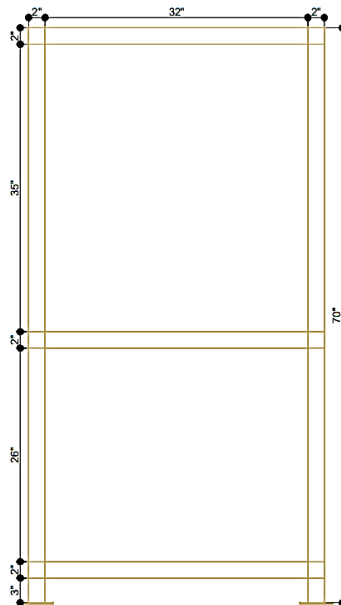
Para lo cual se obtendrá una base de dimensiones de (ancho X alto X profundidad) de 48" X 70" X 36", elaborada en tubo cuadrado de 2" X 2", chapa 20 de HN, acoplado mediante soldadura eléctrica, utilizando electrodo AWS 6010 de 3/32" el cual se caracteriza por ser un electrodo celulósico de buena penetración en toda posición con un muy buen desempeño en soldaduras verticales y sobre cabeza.

La terminación y acabado de soldadura utilizando un AWS 6013 3/32", el cual es un electrodo rutílico para uso general en aceros comunes con buen encendido, un arco suave, muy buen desprendimiento de escoria y terminación.

La estructura metálica irá apoyada por 4 tensores en la parte inferior para mejorar la firmeza y estabilidad de la base, con ello poder soportar el peso de todos los componentes a utilizar.

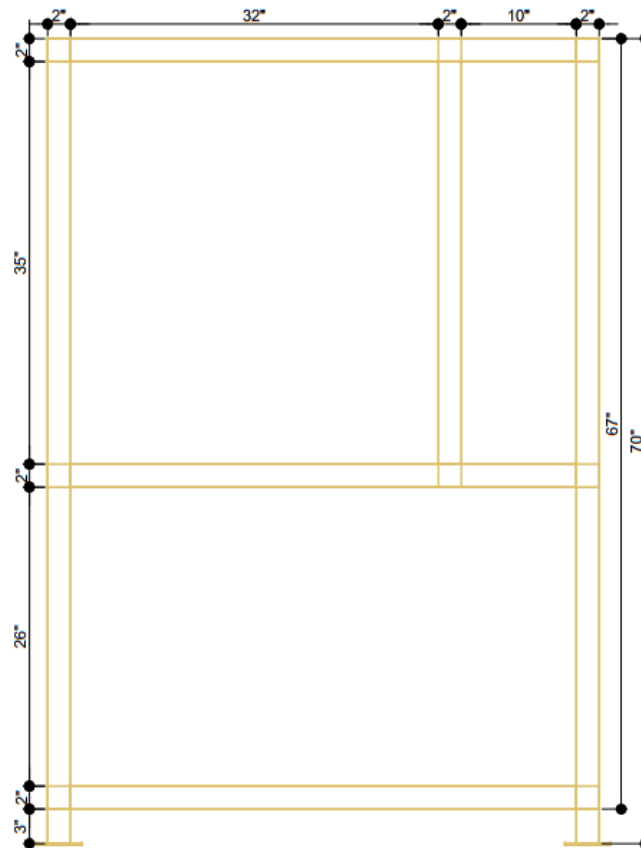
El acabado en la parte inferior irá mediante platinas de 4" X 4" de HN soldadas a cada uno de los extremos de los soportes para brindarle la estabilidad necesaria y lograr así una fácil instalación en el lugar designado para el equipo tipo *chiller*.

Figura 35. **Vista en elevación frontal, estructura para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

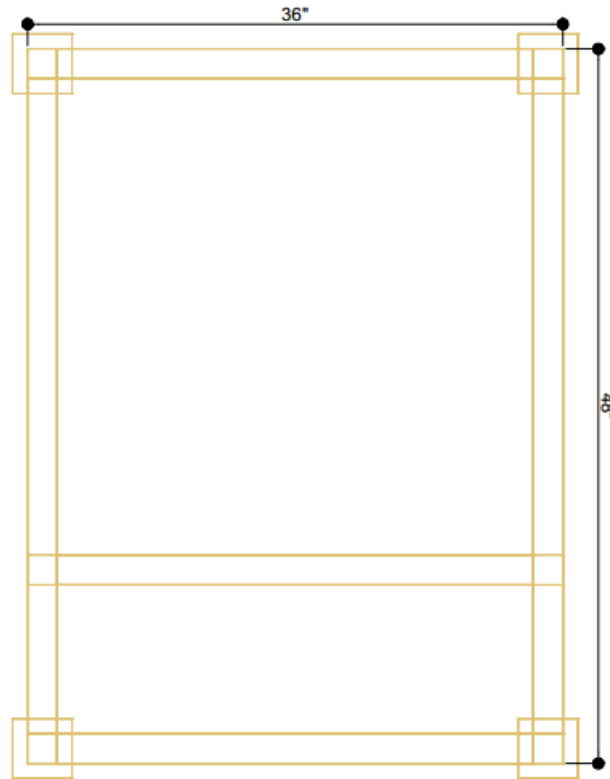
Figura 36. Vista en elevación lateral, estructura para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En esta parte de la vista de la estructura se puede observar claramente un compartimiento de 10" en donde irá el sistema eléctrico del equipo.

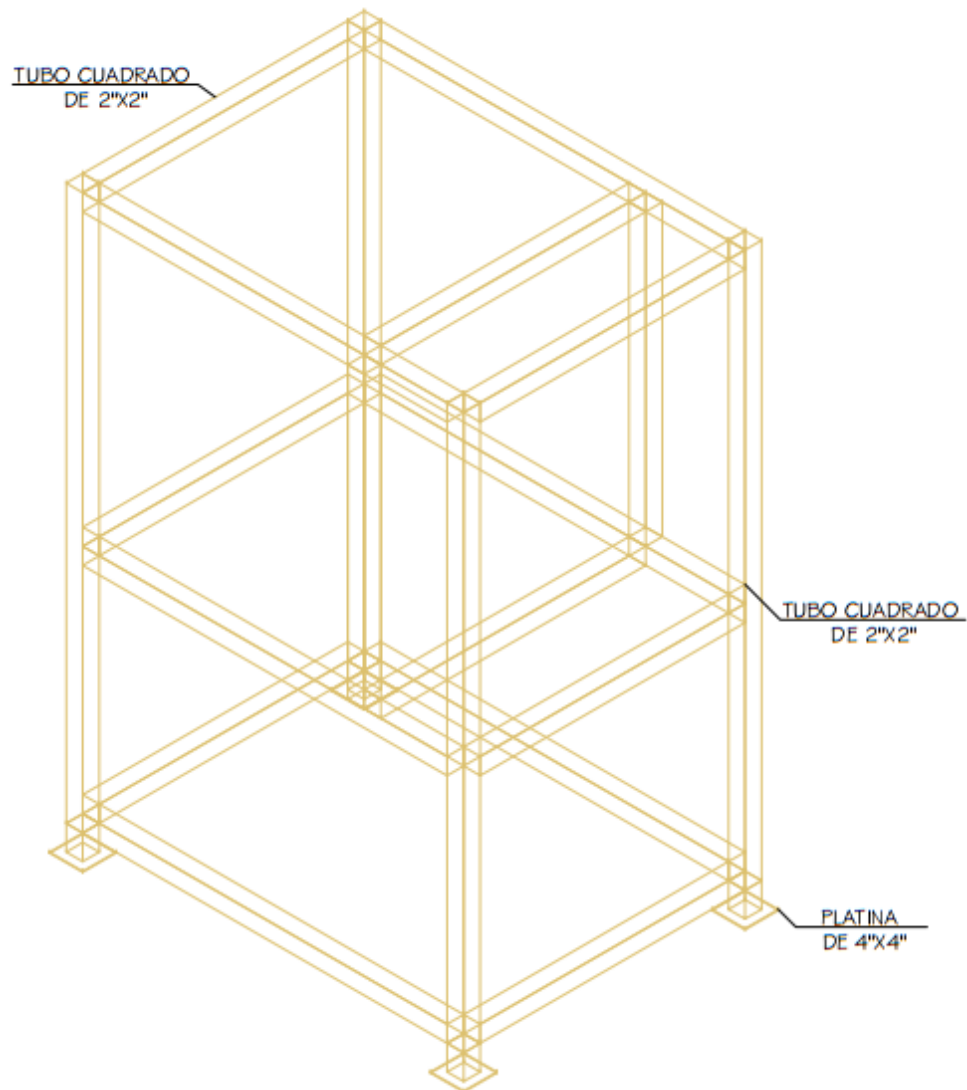
Figura 37. **Vista en planta, estructura para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El acabado de la estructura metálica de tubo cuadrado de 2" X 2" debe de realizarse mediante la aplicación de pintura anticorrosiva, que resista los diferentes cambios climáticos y así mantenerse sin óxido o deterioro para mayor durabilidad.

Figura 38. **Isométrico, estructura para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración**



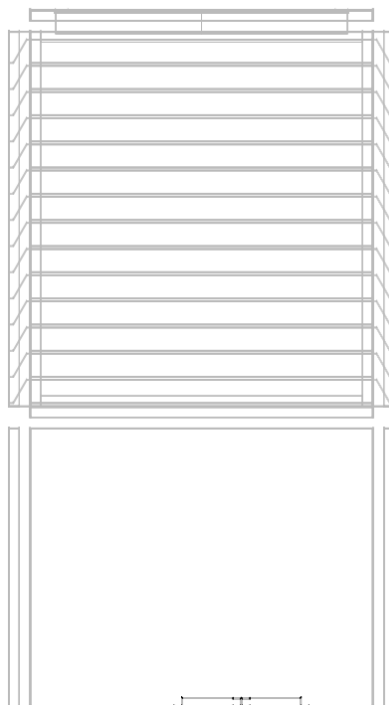
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

5.1.2. Ventilación de la unidad tipo *chiller*

El sistema de ventilación consta de rejillas tipo *louvers* para aire en la parte exterior con cuchillas modelo “J”, cuya principal función es permitir el ingreso del aire exterior al serpentín de condensación, de esta manera ceder el calor obtenido por el ciclo de refrigeración y transferirlo al medio ambiente.

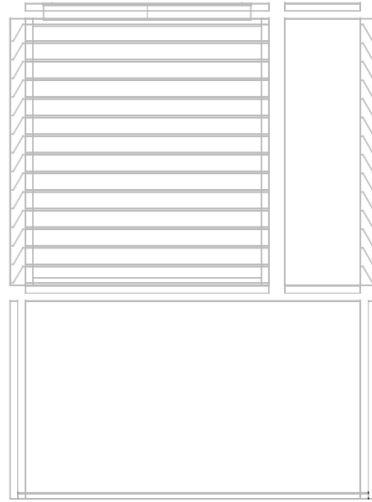
El equipo contará con 4 rejillas tipo *louver* ubicadas en cada uno de los costados del serpentín y del compartimento del circuito eléctrico.

Figura 39. **Vista en elevación frontal, ventilación mediante rejillas tipo *louvers***



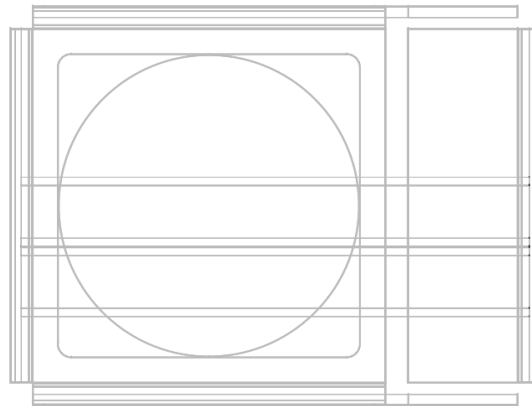
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 40. **Vista en elevación lateral, ventilación mediante rejillas tipo *louvers***



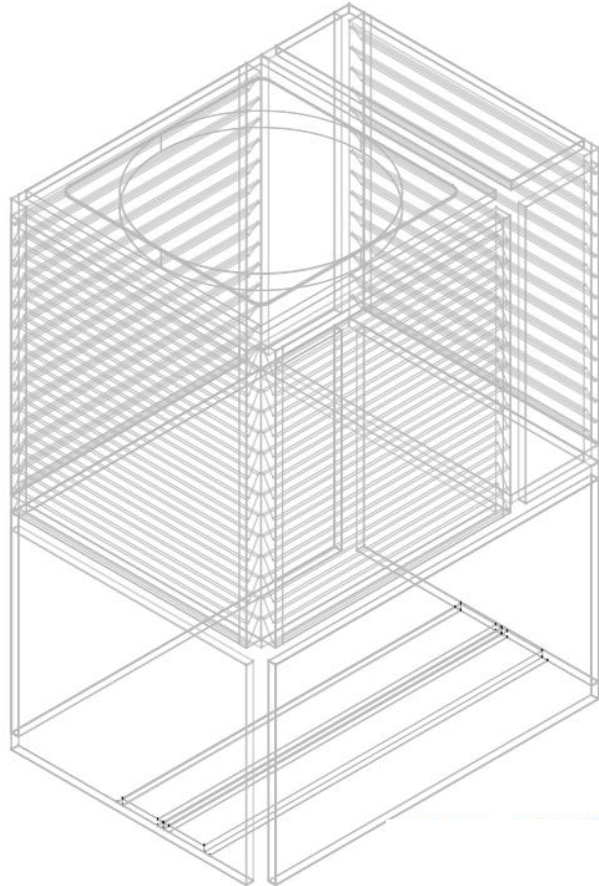
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 41. **Vista en planta, ventilación mediante rejillas tipo *louvers***



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 42. **Isométrico, ventilación mediante rejillas tipo *louvers***



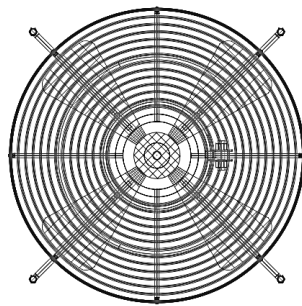
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La elaboración de las rejillas tipo *louver* se fabrican con lámina tipo aluzinc calibre 24, con refuerzos y perfilera de lámina galvanizada calibre 22 para la soportería y marcos, obteniendo así una estructura rígida y fácil de acoplar mediante remaches de $\frac{3}{4}$ " entre láminas y los marcos mediante tornillos busca rosca de $\frac{1}{2}$ " a la estructura metálica de HN.

5.1.3. Ventilador y serpentín de condensador

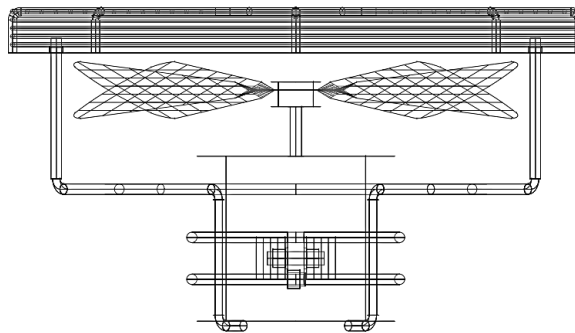
El sistema del motor ventilador y serpentín de condensador es el que convencionalmente se utiliza en una condensadora de descarga vertical de un equipo mini split de 3 toneladas de refrigeración R-410, el motor del ventilador es de 3 Hp. 220 voltios/1 fase/60Hertz., y el diámetro de las aspas de la hélice es de 17", CW (*Counter clock*).

Figura 43. **Vista en planta, ventilador de 17" de diámetro**



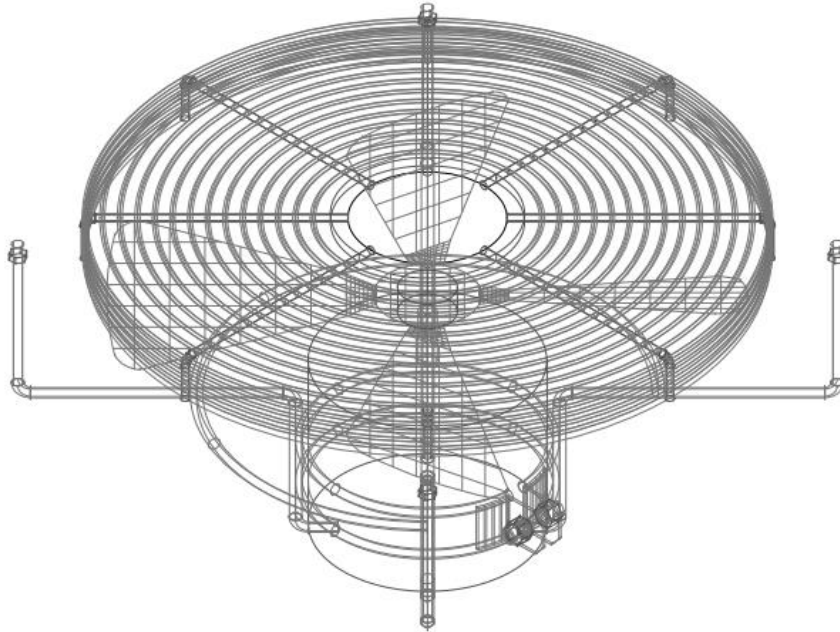
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 44. **Vista en elevación, ventilador de 17" de diámetro**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 45. **Isométrico, ventilador de 17” de diámetro con su guarda para protección de niños, animales y cualquier objeto que dañe el ventilador**

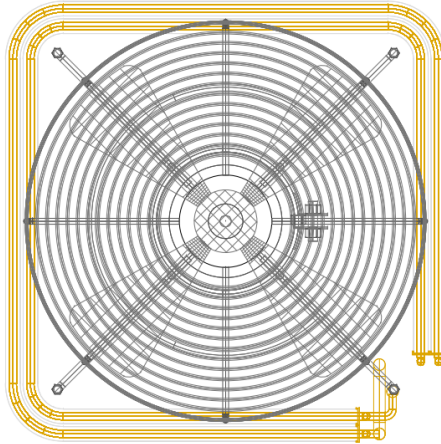


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La guarda de ventilador y los soportes de motor son fundamentales, por lo que se utilizan los que posee el equipo de fábrica, ya que fueron hechos a la medida y para soportar los pesos ideales para estos componentes, además de que localmente se pueden reemplazar cualquiera de sus componentes con facilidad.

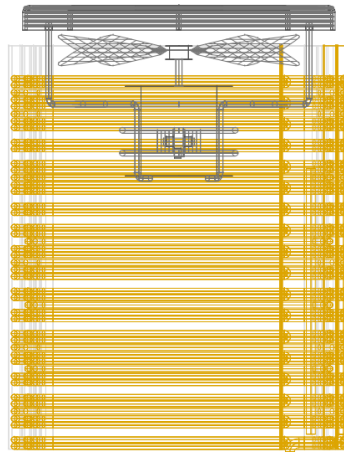
Dato muy importante a la hora de reemplazar las aspas, en dado caso presenten algún daño o desperfecto, es tener en cuenta la dirección de las mismas, si son a favor del sentido de las agujas del reloj CW (*Clock wise*) o si son en sentido contrario a las agujas del reloj CCW (*Counter clock wise*).

Figura 46. **Vista en planta, serpentín del condensador**



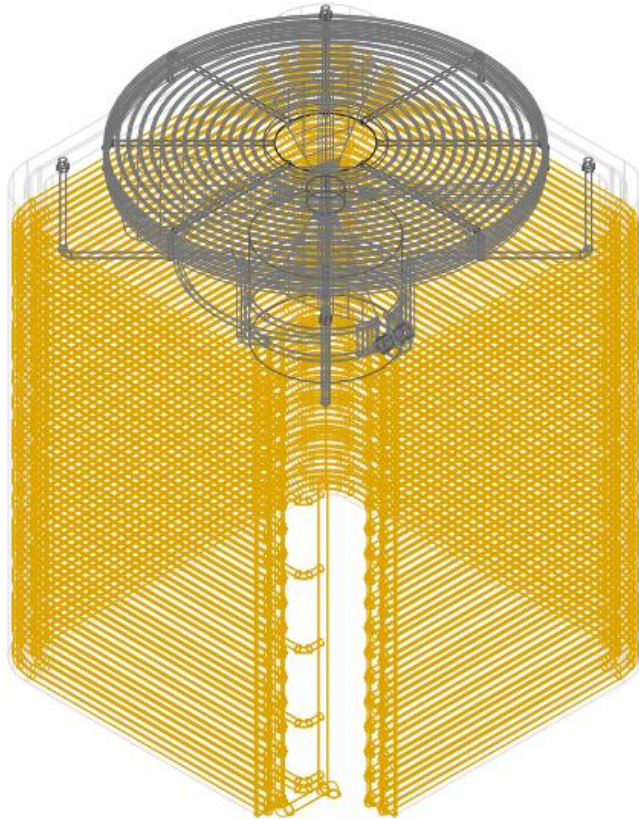
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 47. **Vista en elevación, serpentín del condensador**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 48. **Isométrico, serpentín del condensador con el motor ventilador**



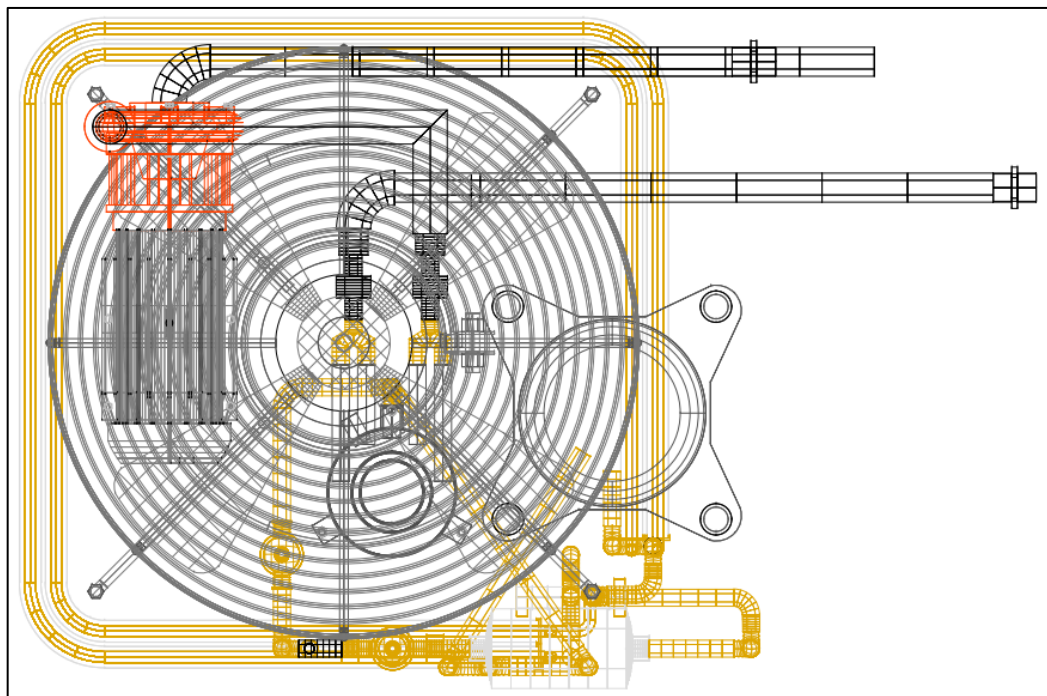
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El serpentín de condensador será acoplado a la base del equipo tipo chiller mediante 2 angulares de HN de 1 ¼" para poder ser asentado y asegurado.

5.1.4. Circuito de refrigeración

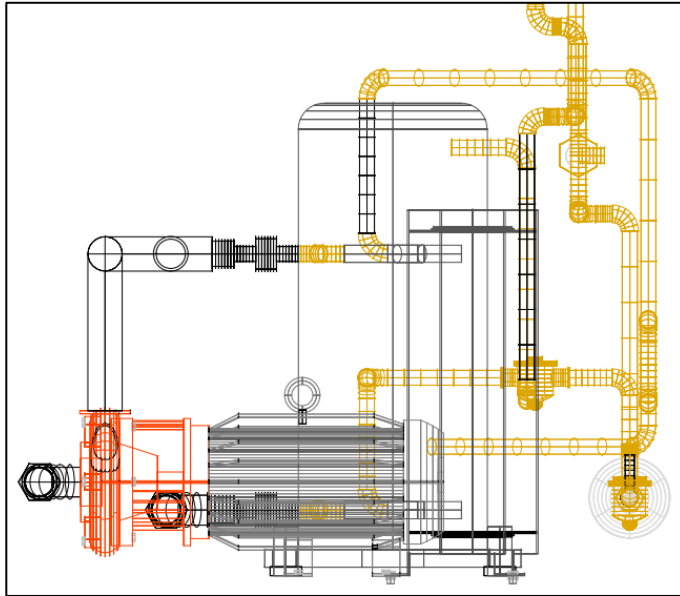
Para el circuito de refrigeración se propone cualquier compresor de 3 toneladas, ya sea Copeland, Sanyo, Emerson, o la marca que se puede obtener en el medio, ya que la función principal es aumentar la presión y la temperatura del refrigerante y puede ser cumplida por cualquiera de los antes mencionados, el modo de conexión es simple y básico de un circuito de refrigeración, la línea de descarga va hacia el condensador para pasar por una válvula de expansión y así evaporar el refrigerante en el intercambiador y lograr enfriar el agua, y la línea de succión que va del intercambiador hacia el compresor nuevamente.

Figura 49. **Vista en planta, circuito de refrigeración**



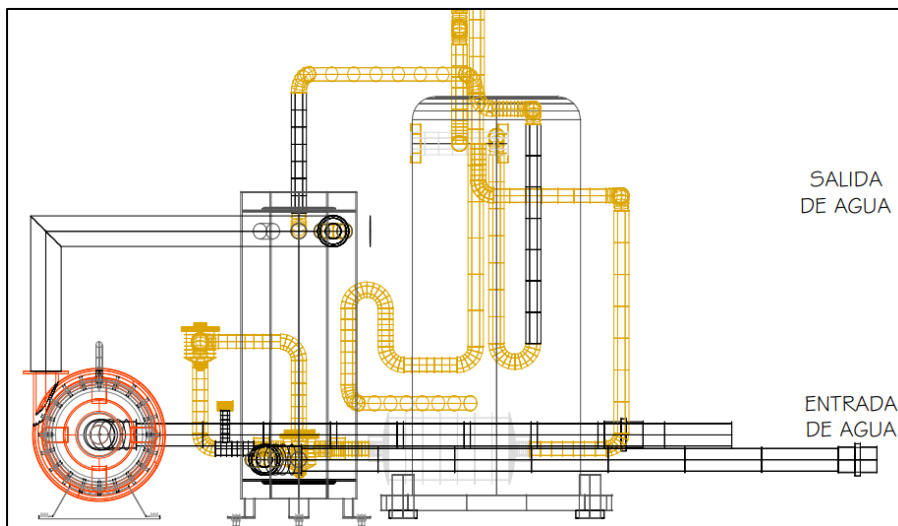
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 50. **Vista en elevación frontal, circuito de refrigeración**



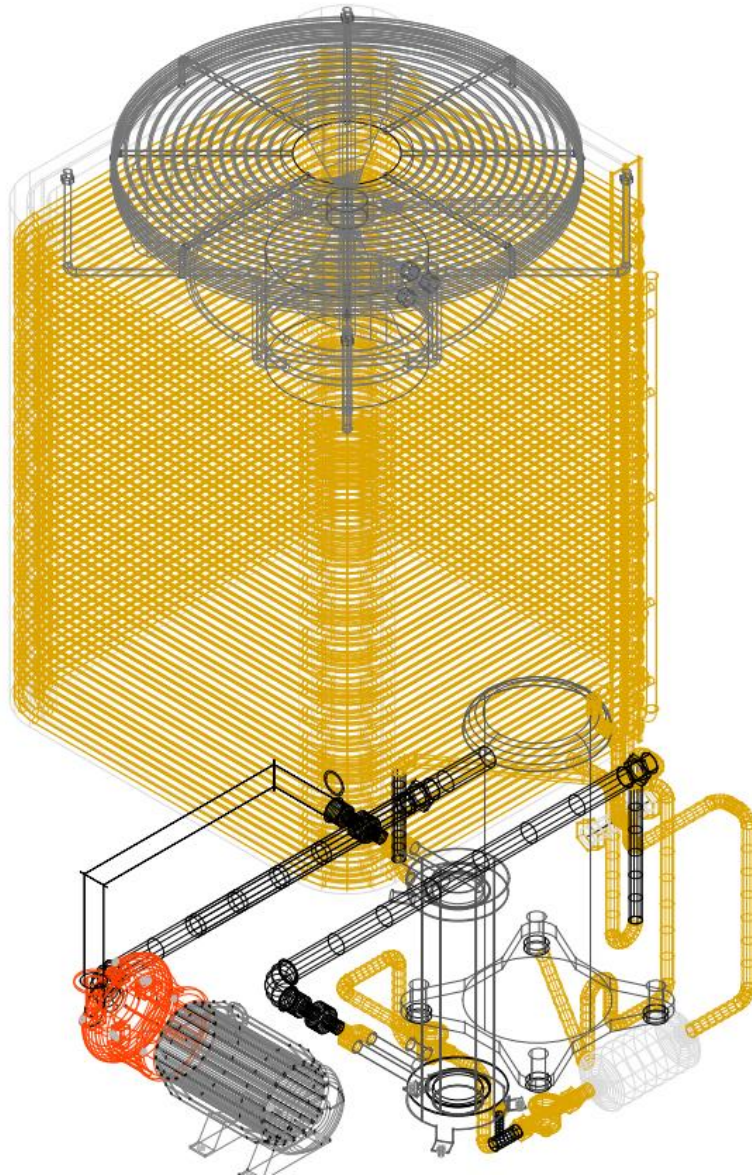
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 51. **Vista en elevación lateral, circuito de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 52. **Isométrico, circuito de refrigeración**



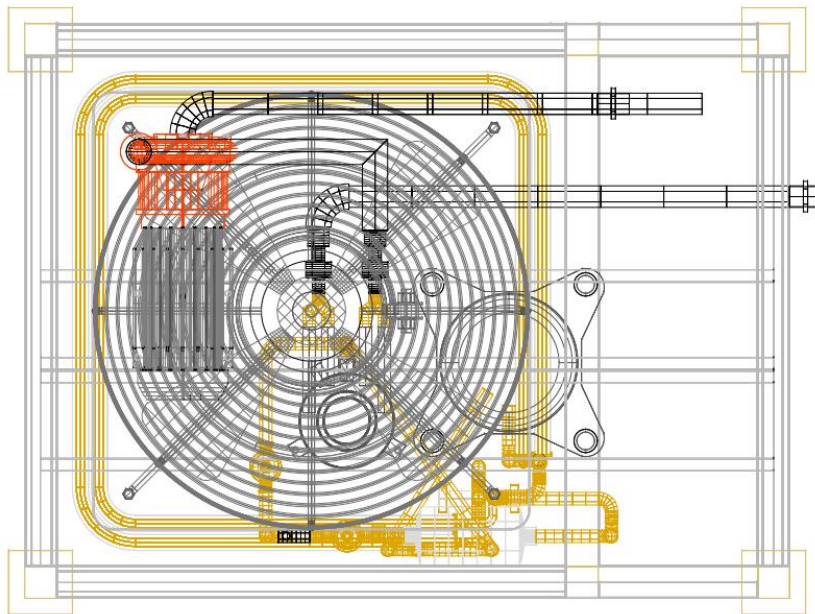
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

5.1.5. Conexiones circuito secundario

Las conexiones del circuito primario se completaron con la instalación del compresor al circuito de refrigeración, y como refrigerante del circuito secundario se utilizará agua, que entra y sale del intercambiador de concha y tubo, para lo cual se realizan las conexiones del intercambiador hacia la bomba y de la bomba al sistema, esto se realiza mediante conexiones de tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ " para 125 psi aislada, con mangas de armaflex de medida $\frac{7}{8}$ pared de $\frac{1}{2}$.

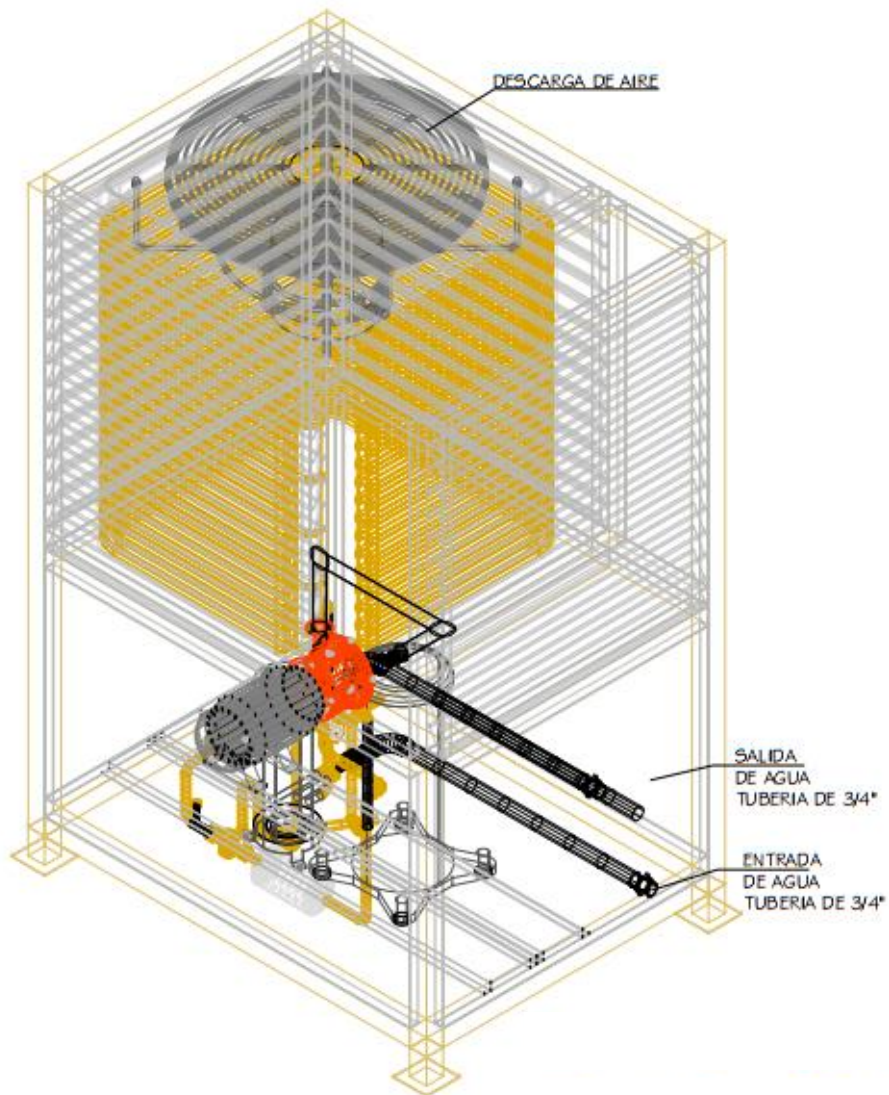
La bomba de agua se seleccionará dependiendo de la capacidad de la demanda a requerirse en GPM del sistema de climatización, en este caso se utilizará una bomba de $\frac{3}{4}$ Hp.

Figura 53. Vista en planta de circuitos primario y secundario



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 54. **Isométrico, circuito primario y secundario**



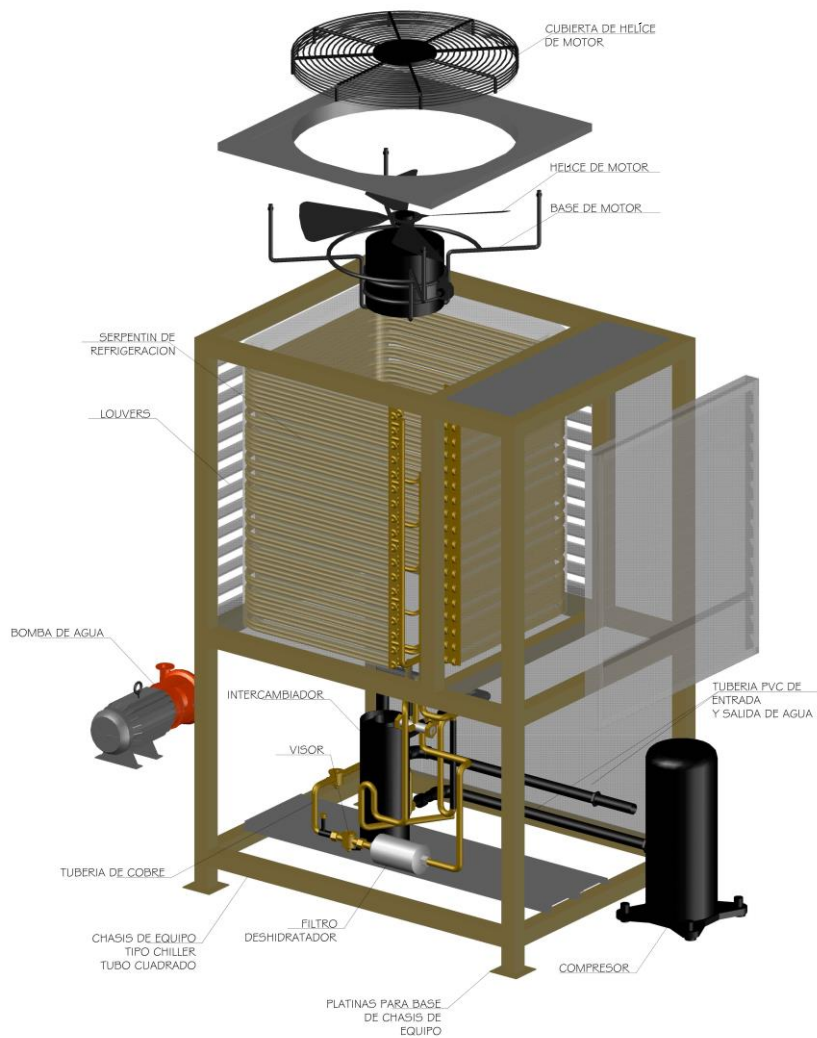
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La importancia del aislamiento de las tuberías de agua fría como del intercambiador de calor es evitar la condensación y las pérdidas de calor del agua a través de su recorrido por todas las tuberías.

5.2. Partes que conforman el equipo de refrigeración tipo *chiller*

Las principales partes del equipo fabricado se detallan en la figura 55, en donde se aprecia un acabado final para las unidades.

Figura 55. Principales partes del equipo de refrigeración tipo *chiller* de 3 toneladas de refrigeración



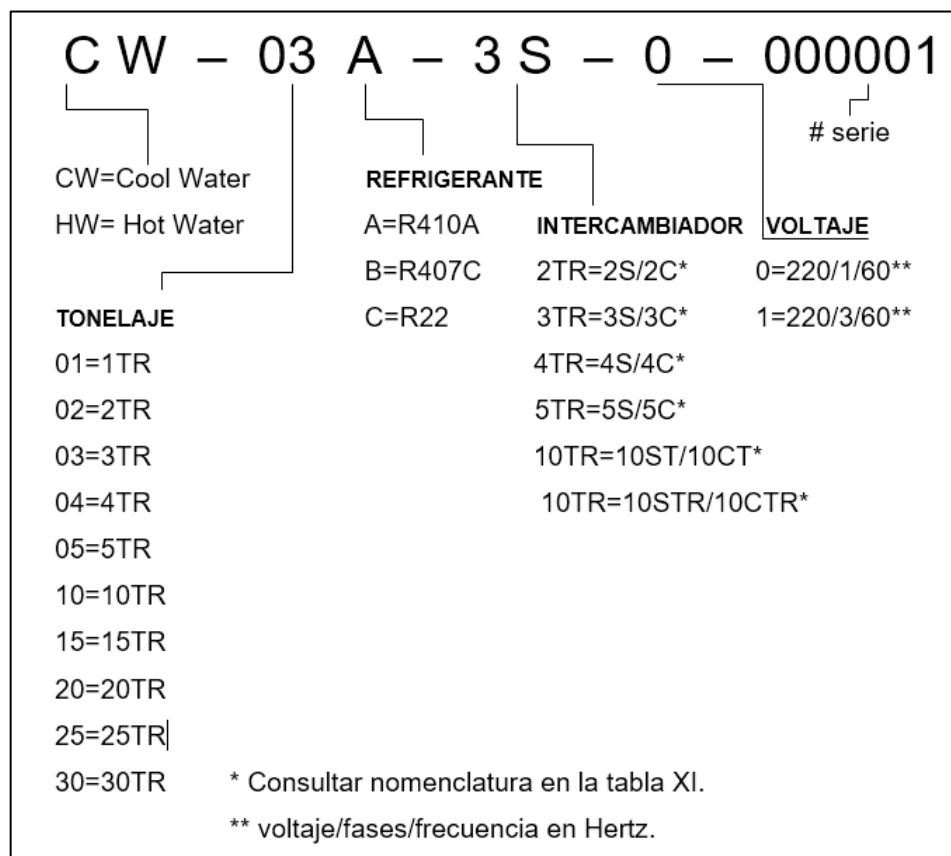
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

5.3. Nomenclatura del equipo

Todos los fabricantes utilizan diferentes nomenclaturas para determinar los modelos y configuraciones diferentes que se realizan en la fabricación de sus equipos, dependiendo de las necesidades de cada uno de los mercados.

A continuación se muestra el que se utiliza para el equipo de refrigeración tipo *chiller* de 3 toneladas de refrigeración.

Figura 56. Nomenclatura para los equipos a fabricar



Fuente: elaboración propia.

Para los intercambiadores de calor tomar en cuenta las siguientes aclaraciones:

S = tubería de cobre

C = tubería 90/10 cuproníquel

ST = tubería de cobre con entradas verticales gemelas

CT = tubería de 90/10 cuproníquel con entradas verticales gemelas

STR = igual que ST con receptor bidireccional

CTR = igual que CT con receptor bidireccional

5.4. Materiales utilizados en la fabricación y ensamblaje de la unidad

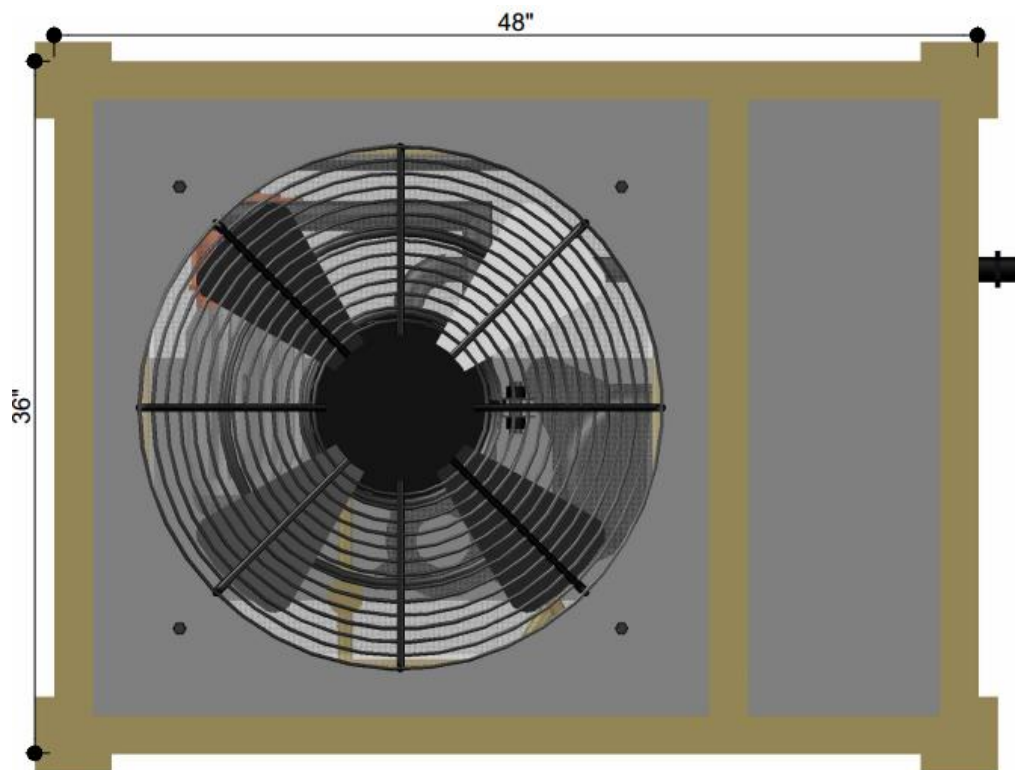
A continuación se hará un breve resumen de los materiales que se han utilizado para la fabricación y ensamblaje del equipo de refrigeración tipo *chiller*.

- Tubo cuadrado de 2" chapa 20 HN
- Platina de 4" HN, ¼ de grosor
- Electrodo 6010, 3/32"
- Electrodo 6013, 3/32"
- Lámina aluzinc calibre 24
- Lámina galvanizada calibre 22
- Remaches de ¾"
- Tornillos busca rosca de ½ y ¾
- Tubería y accesorios de cobre de ¾" y ¼"
- Varilla de plata
- Tubería y accesorios de PVC de ¾"
- Tangit
- Armaflex de 7/8 pared de ¼
- Pintura anticorrosiva

5.5. Presentación final del equipo

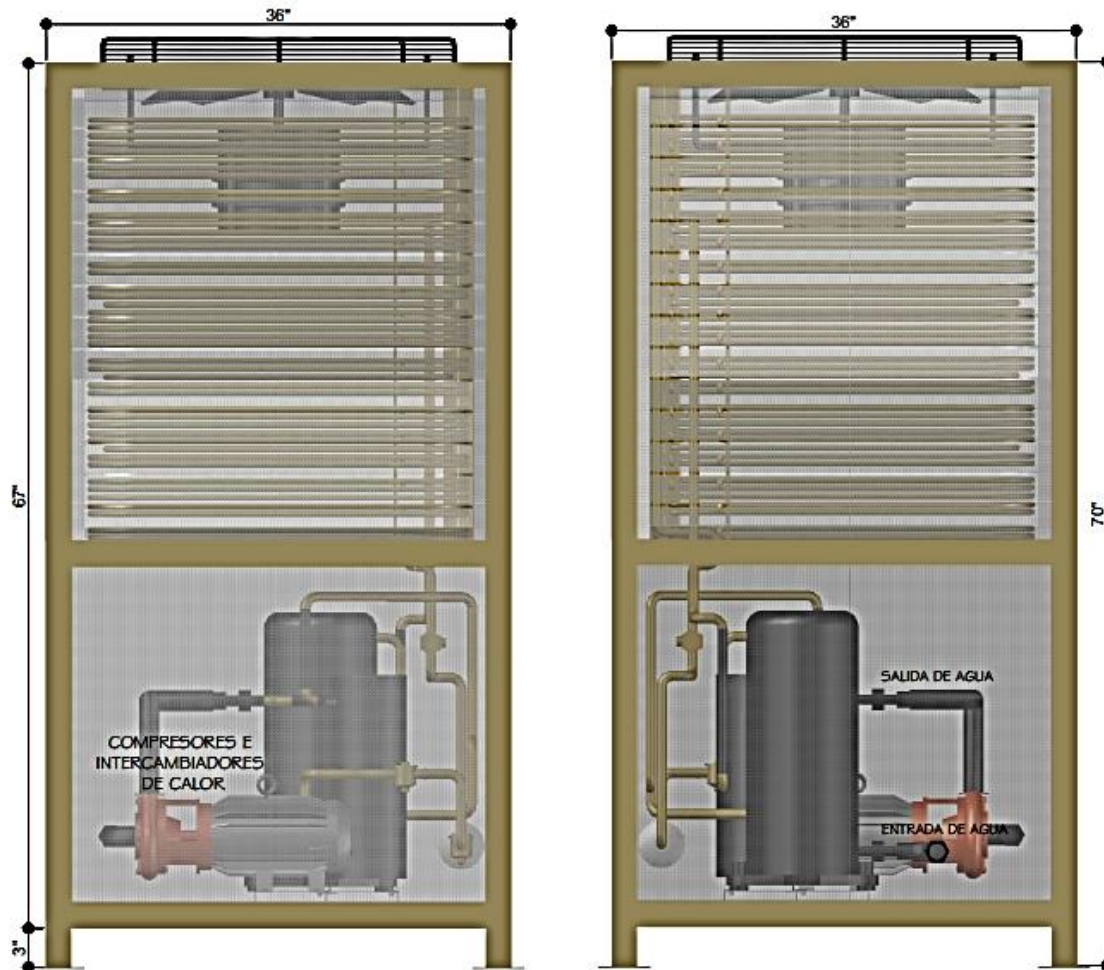
En la figura 57 se detalla los acabados y presentación final del *chiller* propuesto para su fabricación.

Figura 57. Vista de planta, *chiller* terminado



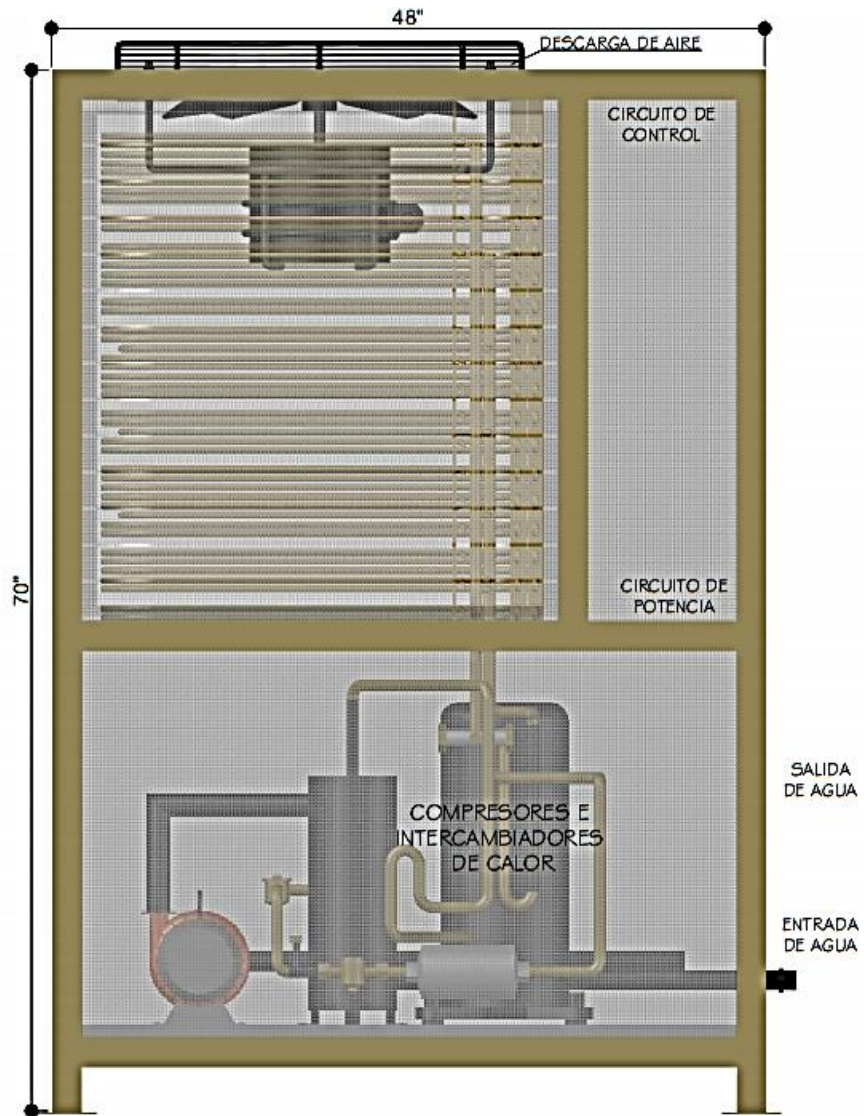
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 58. Vista elevación frontal, *chiller* terminado



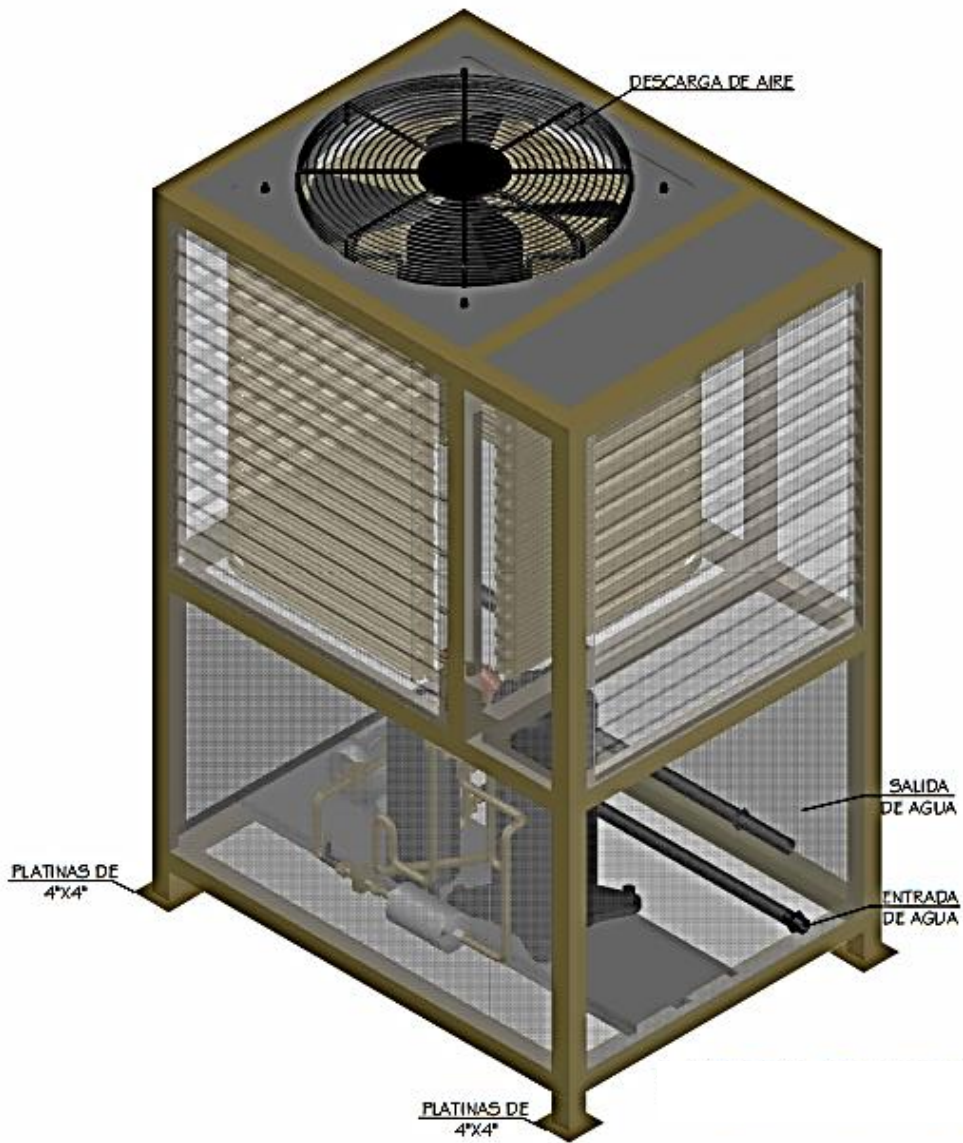
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 59. Vista en elevación lateral, *chiller* terminado



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 60. Isométrico, *chiller* terminado



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

CONCLUSIONES

1. Se creó un manual de fabricación con las especificaciones básicas y de mayor relevancia, junto con sus planos acotados para que pueda ser replicado de una manera más sencilla y práctica para brindar soluciones en ahorro energético al convertir sistemas de expansión directa a indirecta.
2. El principal uso del manual de fabricación es poder estandarizar los modelos que puedan ser fabricados y con ello poder comercializar un producto que brinda soluciones a las necesidades actuales en la climatización y el ahorro energético.
3. Con la elaboración del manual se especifican cada una de las funciones de las principales partes que conforman el equipo tipo *chiller*, con esto se propone un modelo estándar de fabricación y poder el equipo a distintas aplicaciones.
4. Con el manual de fabricación elaborado en el presente trabajo de graduación se puede tener en cuenta cómo funciona un equipo de expansión directa y uno de expansión indirecta, ya que ambos van relacionados en este tipo de aplicaciones.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un manual de procedimientos para la producción a mayor escala de los equipos tipo *chiller* a comercializar, con el propósito de tener un mismo estándar de calidad y a futuro buscar certificaciones de los equipos y darle un valor agregado al producto final.
2. Buscar siempre la mejora continua en acabados y calidad de los equipos, para establecer los modelos definitivos y así crear un catálogo de productos a comercializar.
3. Realizar estudios de mercado para obtener un parámetro de modelos más utilizados o comercializados y así con esto poseer equipos en *stock*.
4. Realizar estudios de costo-beneficio, ya que el valor adquisitivo de los equipos es relativamente alto a obtener equipos convencionales, pero a largo plazo el ahorro energético y el costo operativo son mejores que los equipos convencionales.

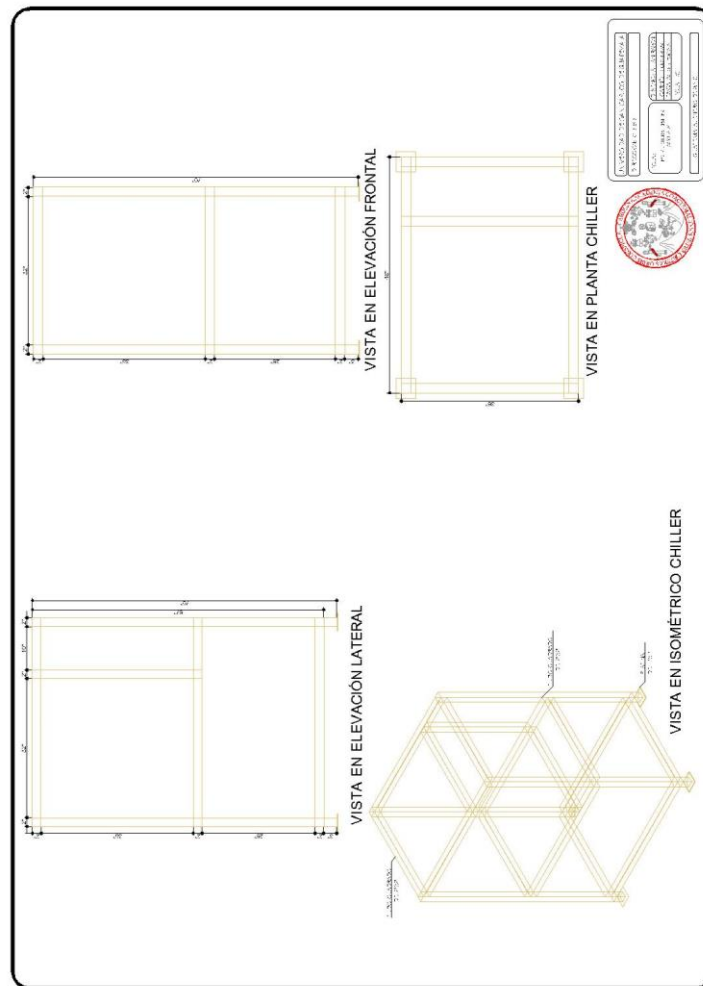
BIBLIOGRAFÍA

1. Air Conditioning & Refrigeration Institute ARI. *Manual de aire acondicionado y refrigeración*. Tom 2, 3 y 4, 2a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1994, Vol. 2 – 4.
2. AVALLONE, Eugene A.; THEODORE Baumeister III. *Manual del ingeniero mecánico*. Tom 1 y 2. 9a ed. México: McGraw-Hill, 1995. Vol. 1, 2.
3. Carrier Air Conditioning Co. *Handbook of air conditioning*. España: McGraw-Hill, 1987. 1500 p.
4. CENGEL, Yunus A.; BOLES Michael A. *Termodinámica*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 866 p.
5. GORIBAR HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción, aire acondicionado y refrigeración*. Tom 1, 2 y 3, México: Limusa, 1993, Vol. 1 - 3.
6. STANFORD III, Herbert W: *HVAC water chillers and cooling towers, fundamentals, application and peration*. United States of America, 2003. 294 p.

APÉNDICES

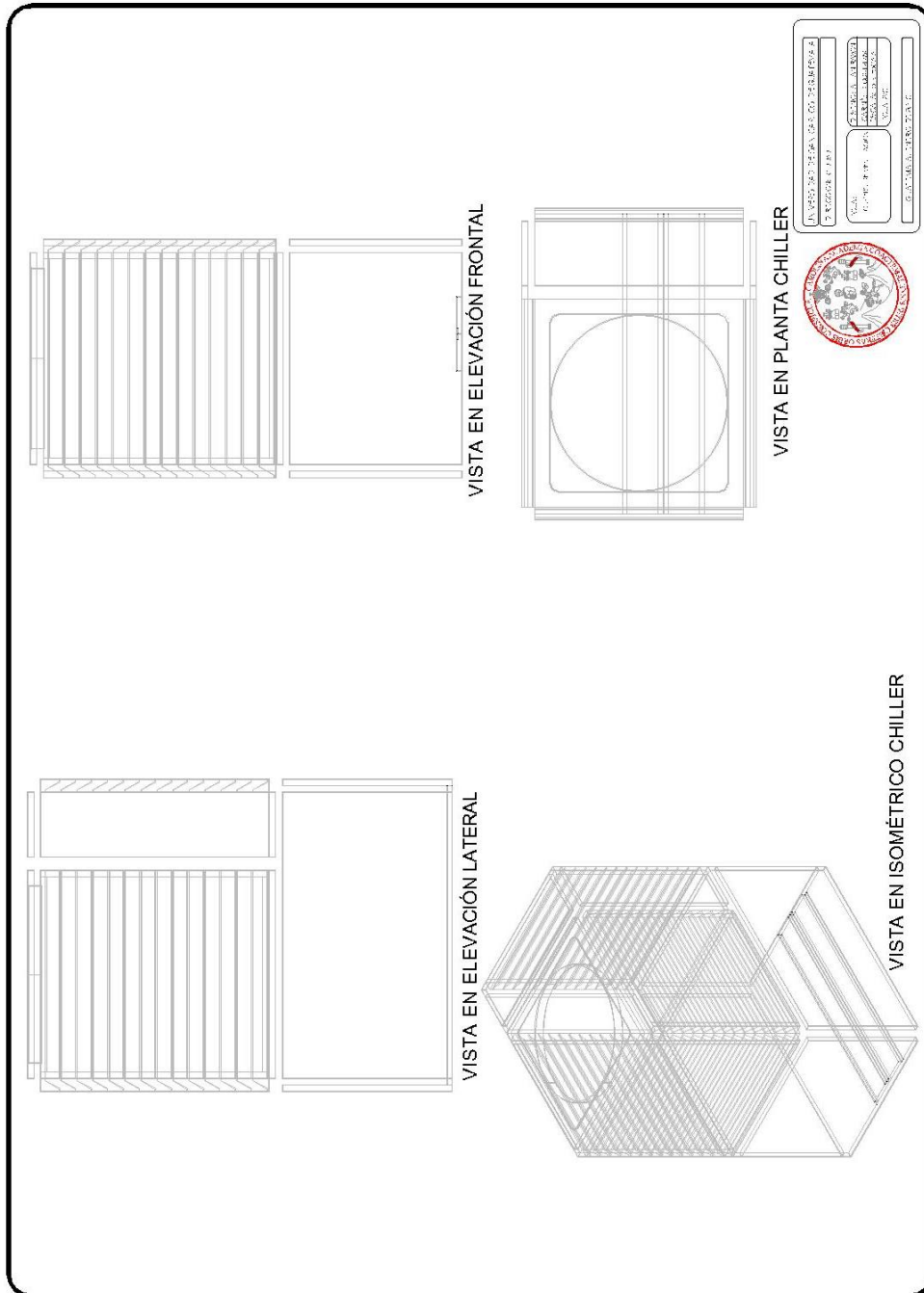
Planos de construcción del equipo tipo *chiller* de 3 toneladas de refrigeración.

Apéndice 1. **Plano de estructura para el *chiller* de 3 toneladas de refrigeración**

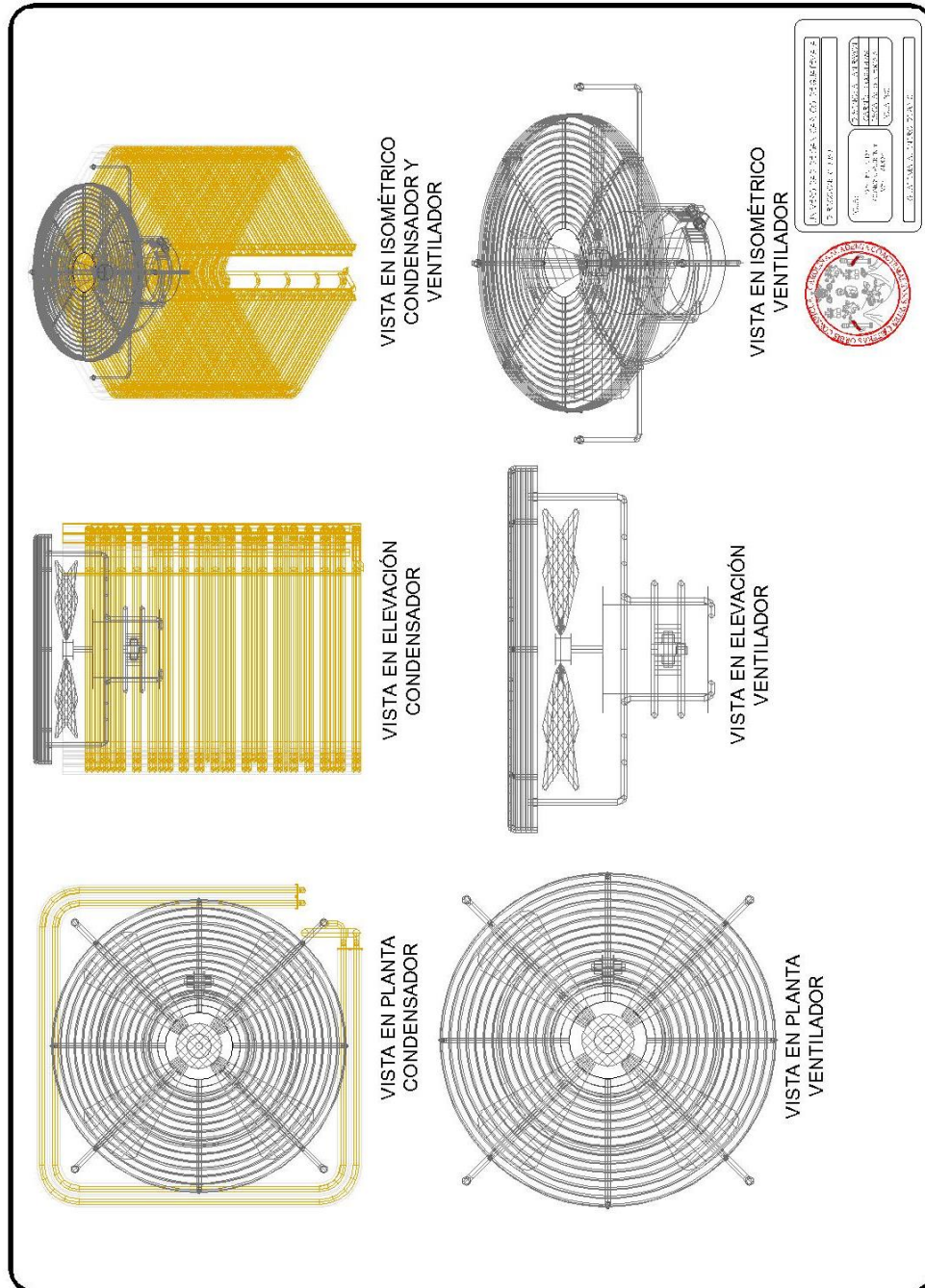


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 2. **Plano de ventilación mediante rejillas tipo *louvers***

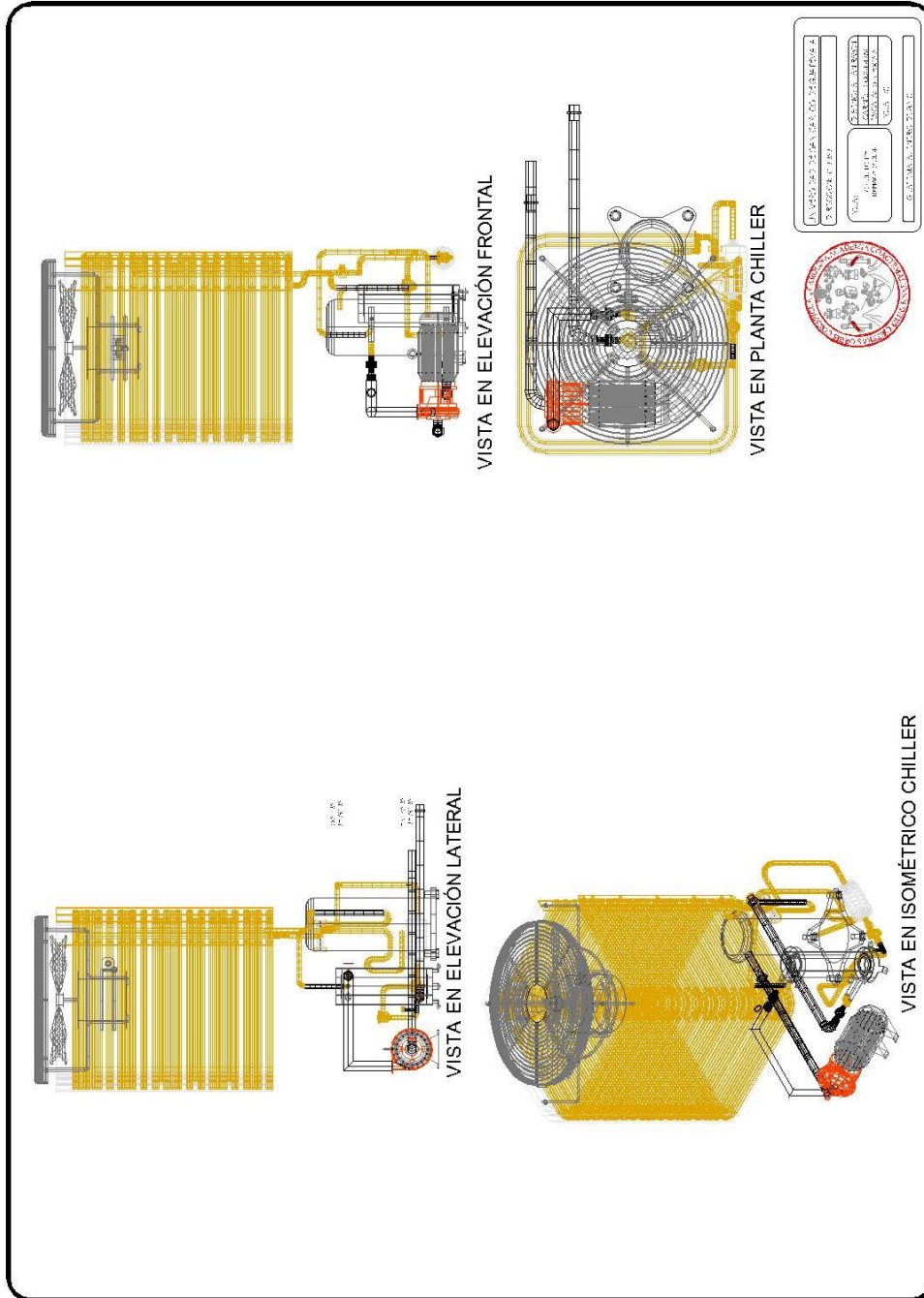


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 4. **Plano de circuito de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

