



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

**MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE
REFRIGERACION EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO**

Mario Alfredo Cubur Burrión

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE
REFRIGERACION EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ALFREDO CUBUR BURRIÓN

ASESORADO POR EL ING. EDWIN E. SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Cristian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACION EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, el 31 de noviembre de 2011


Mario Alfredo Cubur Burrión



Guatemala, 03 de septiembre de 2019
REF.EPS.DOC.568.09.19.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mario Alfredo Cubur Burrión** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 8613571, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EDSZ/ra





Guatemala, 03 de septiembre de 2019
REF.EPS.D.283.09.19

Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Guzmán Ortiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Mario Alfredo Cubur Burrión** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

OAH/ra





USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.225.2019

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor de EPS y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO** desarrollado por el estudiante **Mario Alfredo Cubur Burrión**, CUI 2455224090101 y Rég. Académico No. **8613571** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 2019



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.294.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Asesor y del Coordinador del Área Térmica, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO** desarrollado por el estudiante **Mario Alfredo Cubur Burrión**, CUI **2455224090101** y Reg. Académico No. **8613571** 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, noviembre de 2019

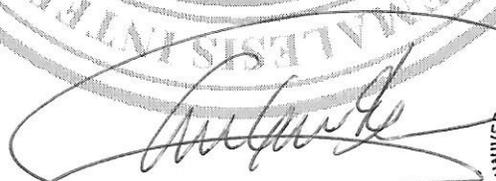
/aej



DTG. 586.2019

La Decana 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 ESPECIFICACIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS CARRILLO**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Alfredo Cubur Burrión**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Fuente de todo conocimiento quien me ha guiado para alcanzar mis metas personales y profesionales. Proverbios 2:6
- Mis padres** Jose Florencio Cubur Asturias (q.e.p.d.)
Martina Burrión Rabay (q.e.p.d.), por sus sabios consejos que siempre me han acompañado para continuar hasta alcanzar la meta.
- Mi esposa** Karla Patricia de León de Cubur por su apoyo incondicional, su motivación constante y su amor que han sido factores importantes para mi vida y mi carrera.
- Mis hijos** Gabriel Alfredo, Karla Saraí, Josue Antonio y Mario David Cubur de León, fuente de inspiración y amor motores para mi vida personal y profesional.
- Mis hermanos** Haydeé, Efrain, Lic. Edgar Humberto, Ing. Rafael y René Cubur Burrion por su apoyo y motivación para continuar hasta llegar a la meta.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Centro de enseñanza que abrió sus puertas para mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por ser la facultad que me ha permitido la formación profesional y lugar de experiencias de vida.

Empresa

Multiservicios Carrillo por abrirme las puertas para la realización del trabajo de graduación y brindarme el apoyo necesario para dar un paso más en la culminación de mi carrera profesional.

Mis amigos

Ing. Estuardo Carrillo, Ing. Edwin Estuardo Sarceño. Quienes me han apoyado, motivado y asesorado en el desarrollo del ejercicio de prácticas supervisadas.

Mis familiares

Sobrinos, primos, cuñados por las palabras de aliento y acompañamiento.

1.1.3.	Ciclo de refrigeración	10
1.1.3.1.	Ciclo de refrigeración	10
1.1.3.2.	Calor de compresión	11
1.1.3.3.	Eficiencia volumétrica del compresor ...	12
1.1.3.4.	Diagrama del ciclo de refrigeración	13
1.1.4.	Refrigerantes.....	13
1.1.4.1.	Clases de refrigerantes	14
1.1.4.1.1.	Refrigerantes convencionales (CFC y HCFC)	16
1.1.4.1.2.	Refrigerantes ecológicos (HCF)	18
1.1.4.1.3.	Factor de daño de capa de ozono (ODP) ...	19
1.1.4.1.4.	Factor de calentamiento global (GWP)	21
1.1.4.2.	Temperatura de saturación de refrigerantes	22
1.1.4.3.	Evaporación de refrigerantes	23
1.1.4.4.	Condensación de refrigerantes	24
2.	BUENAS PRÁCTICAS EN LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN (FASE DE INVESTIGACIÓN).....	25
2.1.	Requerimientos y Normas de buenas prácticas en instalaciones de sistemas de refrigeración.....	25
2.1.1.	Protocolos sobre uso de refrigerantes.....	25
2.1.1.1.	Protocolo de Montreal	25

	2.1.1.2.	Normas aplicadas a los diferentes refrigerantes.....	27
	2.1.2.	Manipulación y control de fluidos refrigerantes.....	27
	2.1.3.	Refrigerantes ecológicos	29
	2.1.4.	Refrigerantes naturales	30
2.2.		Principios elementales para buenas prácticas del tendido de tuberías.....	31
	2.2.1.	Tubería de cobre para refrigeración	31
		2.2.1.1.	Conexiones para tubería de cobre..... 33
		2.2.1.2.	Longitud equivalente para tubería de cobre..... 34
	2.2.2.	Cálculo de tuberías.....	34
		2.2.2.1.	Cálculo de tuberías de líquido
			2.2.2.1.1.
			Presión a través de elemento de expansión y distribuidor.....
			36
		2.2.2.2.	Cálculo de tuberías de succión.....
		2.2.2.3.	Elevadores dobles
		2.2.2.4.	Vibración y ruido en tuberías
		38	
	2.2.3.	Aislamiento de tuberías	39
		2.2.3.1.	Importancia de aislamiento.....
		2.2.3.2.	Tipos de aislamiento.....
			2.2.3.2.1.
			Aislamiento térmico en las líneas de refrigerante
			41
			2.2.3.2.2.
			Aislamiento térmico de los conductos.....
			42
2.3.		Buenas prácticas para la conservación de la energía	42

2.3.1.	Sistema eléctrico y de control.....	42
2.3.1.1.	Circuitos de control.....	43
2.3.1.2.	Circuitos de control para protección del sistema	45
2.3.1.3.	Sistema de administración de energía	46
2.3.1.3.1.	Control de parámetros ..	46
2.3.1.3.2.	Control de capacidad	47
2.3.1.3.3.	Estrategias para el ahorro de energía.....	48
3.	FORMATOS Y ESPECIFICACIONES PARA AREA DE INSTALACIONES DE MULTISERVICIOS CARRILLO (FASE TÉCNICO-PROFESIONAL)	53
3.1.	Procedimientos recomendados en la instalación	53
3.1.1.	Recomendaciones para casa de máquinas.....	53
3.1.1.1.	Condiciones óptimas para la casa de máquinas.....	54
3.1.1.2.	Verificación de generación de ruido	58
3.1.2.	Recepción de equipos.....	61
3.1.2.1.	Recepción y control de calidad de equipos.....	61
3.1.3.	Tuberías para instalación	63
3.1.3.1.	Control de calidad de tubería especificada	63
3.1.3.2.	Cuidados para evitar contaminación de tuberías	65
3.1.3.3.	Especificaciones para soportes de tuberías	66

3.1.3.4.	Control de calidad de aislantes de tuberías.....	67
3.1.3.5.	Instalacion correcta de aislamiento.....	68
3.1.3.6.	Verificación de presurización de sistema	69
3.1.4.	Arranque y balanceo de carga.....	70
3.1.4.1.	Verificación de evacuación (vacío)	70
3.1.4.2.	Programación de parámetros de operación.....	72
3.1.4.3.	Estrategias para ahorro de energía	73
CONCLUSIONES		77
RECOMENDACIONES.....		79
BIBLIOGRAFÍA.....		81
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo de Carnot invertido para refrigeración	4
2.	Diagrama del ciclo de refrigeración	13
3.	Gráfica P- T para refrigerantes.....	23
4.	Construcción de elevador doble de succión.....	38
5.	Vibración y ruidos en tuberías	39
6.	Aislamiento en líneas de refrigerante	42
7.	Circuito de control	44
8.	Formato de verificación de condiciones óptimas para la casa de máquinas.....	55
9.	Formato de verificación de generación de ruido	58
10.	Formato de recepción y control de calidad de los equipos.....	61
11.	Formato de control calidad de tubería especificada	63
12.	Formato de cuidados para evitar contaminación de tuberías.....	65
13.	Formato de soportes de tuberías	66
14.	Formato de control de calidad de aislantes de tuberías	67
15.	Formato de instalación correcta de aislamiento	68
16.	Formato de verificación de presurización de sistema	69
17.	Formato para verificación de evacuación (vacío)	71
18.	Formato para programación parámetros de operación	72
19.	Formato para estrategias de ahorro de energía	73

TABLAS

I.	Clases de refrigerantes	15
II.	Propiedades químicas y físicas de refrigerantes	19
III.	Regulación de las SAOs	26
IV.	Código de colores ARI para gases refrigerantes	28
V.	Metros equivalentes a tuberías debido a la fricción de válvulas y accesorios.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bar	105Kg/m s ²
Cm	Centímetro
dB	Decibeles
°C	Grado centígrado (Celsius)
°F	Grado Fahrenheit
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Kwh	Kilowatt hora
Psi	Libras fuerza por pulgada cuadrada
mmHg	Unidad de presión milímetros de mercurio

GLOSARIO

Aislamiento de tubería	Protección de las tuberías de refrigerante con la finalidad de evitar la posibilidad de condensaciones superficiales. el fabricante es quien imponga los espesores mínimos a instalar.
ARI (American Refrigeration Institute)	Instituto que otorga una certificación a quienes fabrican productos utilizados en la refrigeración y el aire acondicionado, que les permite vender en los Estados Unidos de norteamérica.
Flasheo	Las líneas de líquido deben de ser dimensionadas para una caída de presión mínima para prevenir la caída de presión adicional y la expansión en la operación de la válvula.
Presurización	Procedimiento empleado para verificar que no existan fugas en el sistema, también llamada prueba de estanqueidad. El sistema se carga con un gas inerte, que permita alcanzar un valor de presión estipulado por norma, por el fabricante o diseñador

Recuperación del refrigerante

Permite reincorporar al ciclo productivo aquellos refrigerantes que, por razones de mantenimiento, deben ser retirados de un sistema de refrigeración o aire acondicionado, garantizando sus propiedades y características técnicas de operación.

Refrigerante

Producto químico líquido o gaseoso, fácilmente licuable, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica. Los principales usos son los refrigeradores y los acondicionadores de aire.

Ruido

Es la sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable. En el medio ambiente de maquinaria, se define como una afección para el oído.

Vacío

El vacío es una operación que se realiza para extraer los gases no condensables y la humedad adsorbida por el sistema al momento de estar abierto.

RESUMEN

La investigación, busca determinar la realización de un manual con especificaciones necesarias y de importancia en el sistema de refrigeración para la empresa Multiservicios Carrillo, con el propósito de orientar y apoyar la gestión eficiente de la empresa, en el área de instalaciones.

Las buenas prácticas del sistema de refrigeración inician con la elección del refrigerante adecuado y con menor grado de contaminación, por medio del cual se reducirá el uso de dichas sustancias que tanto daño causan a la frágil capa de ozono que protege de los letales rayos ultravioleta del sol.

Se identificaron las principales clases de refrigerantes y el impacto en la empresa Carrillo:

Refrigerantes convencionales (CFC y HCFC); están compuestos por clorofluorocarbonos y por hidroc fluorocarbonos.

Refrigerantes ecológicos (HCF); tienen características especiales que cumplen la misión de enfriar y protejan el medio ambiente y al ser humano de los efectos nocivos.

En la fase técnico-profesional de esta investigación se logró definir cada uno de los formatos con los que la empresa Multiservicios Carrillo dará seguimiento, para el mejor control de sus procesos y manejo de los gases refrigerantes.

Entre los formatos con mayor relevancia y de impacto en la empresa se tienen: formato de generación y exposición de trabajadores al ruido; enlista todos los requisitos indispensables para condiciones óptimas de trabajo para los técnicos en general.

Formato de recepción adecuada de los equipos; análisis en tiempo de cada uno de los equipos y la entrega de los técnicos, para el uso de los mismos sin inconvenientes, y el formato de aislamiento de tuberías; determina las fugas y otros afectantes en las tuberías.

OBJETIVOS

General

Proveer a la empresa Multiservicios Carrillo de un manual de instalaciones para sistemas de refrigeración.

Específicos

1. Poner en práctica los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en el desarrollo de la carrera aplicándolos a proyectos reales para instalaciones de sistemas de refrigeración.
2. Aplicar métodos de supervisión y diseño por medio del ejercicio profesional supervisado específico en instalaciones de refrigeración verificando la aplicación de buenas prácticas en las instalaciones.
3. Ampliar conocimiento para la realización de un manual de diseño de instalaciones de refrigeración y aire acondicionado por medio de manuales, catálogos y software.
4. Supervisar los procesos de desarrollo de proyectos por medio de la participación de reuniones de grupos de trabajo durante la elaboración del manual.

5. Aprovechar al máximo la oportunidad que brinda la empresa para la realización del ejercicio profesional supervisado, con el fin de satisfacer las expectativas de la empresa y las expectativas propias.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día no solamente se hace uso de la refrigeración para preservación de los alimentos en las casas, sino para la preservación comercial de alimentos, es una de las más importantes y corrientes aplicaciones de la refrigeración, más de tres cuartas partes de la comida que aparece sobre las mesas se produce, empaca, embarca, almacena y preserva por medio de la refrigeración. Su aplicación es vital en muchas industrias como plantas textiles, plantas de productos plásticos y la industria de procesamiento de datos, porque sin su aplicación no se podrían realizar los procesos de producción en dichas plantas.

El uso y el impulso de los sistemas de refrigeración es inmenso, sin embargo, factores como el agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global, han atraído la atención hacia las buenas prácticas en el proceso de instalación de sistemas de refrigeración con el fin de evitar las descargas hacia la atmosfera de los fluidos refrigerantes, impulsando la eliminación de algunos estos fluidos como los conocidos freones debido a su alto factor de eliminación de la capa de ozono.

Otro factor que impulsa la implementación de buenas prácticas en el proceso de instalación de sistemas de refrigeración es el incremento en costo de energía eléctrica y el alto grado de contaminación que provocan plantas de generación, en especial las térmicas.

Lo anteriormente expuesto, se enfoca en la importancia de generar instalaciones de calidad por medio de la implementación de un manual de

especificaciones, para instalaciones de sistemas de refrigeración aplicables en la empresa “Multiservicios Carrillo”, con la visión de crear una cultura de buenas prácticas en la instalación de sistemas de refrigeración para una producción más limpia, y generando una conciencia de preservación del medio ambiente.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Principios de refrigeración

Los principios de refrigeración son regidos por las propiedades y leyes de la termodinámica que son objeto de estudio en este capítulo.

1.1.1. Termodinámica

La termodinámica es la parte de la física que trata de los fenómenos relacionados con la energía térmica y de las leyes que rigen su transformación en otro tipo de energía. La variación de energía térmica acumulada en un medio en un proceso de calentamiento o de enfriamiento se obtiene como el producto de la masa del medio, por su calor específico y por el salto térmico. Pero no toda la energía térmica almacenada en un medio es utilizable.

El desarrollo tecnológico ha sido el elemento básico que ha permitido al hombre utilizar nuevas fuentes de energía de manera cada vez más eficiente. Pero este progreso también tiene sus límites. Debido a esto, todos los procesos de aprovechamiento energético recurren en un momento al intercambio de energía térmica. Se puede tomar de ejemplo. La energía nuclear que genera una energía cinética que se transforma en energía térmica.

Entre los principios de refrigeración, se encuentran las propiedades termodinámicas; son aquellas que tienen relación con el movimiento del calor:

- Propiedades de saturación de líquido y vapor: estas se dan a intervalos de temperatura determinados.

- Propiedades del vapor sobrecalentado: se dan tanto a intervalos de presión, como de temperatura.

A continuación, se listan las propiedades termodinámicas para los refrigerantes:

- Presión: debe operar con presiones positivas
- Temperatura: debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación. Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador. Debe tener una temperatura de ebullición baja.
- Volumen: debe tener un valor bajo de volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
- Entalpia: debe tener un valor alto de calor latente de vaporización.
- Densidad.
- Entropía.

1.1.1.1. Primera ley de termodinámica

La primera ley de la termodinámica es una generalización de la ley de conservación de la energía que incluye los posibles cambios en la energía interna. Es una ley válida y se puede aplicar a todos los tipos de procesos. La energía se puede intercambiar entre un sistema y sus alrededores de dos formas. Una es realizando trabajo por o sobre el sistema, considerando la medición de las variables macroscópicas tales como presión, volumen y temperatura.

El calor constituye una forma de energía y puede ser transferido, este se encuentra presente en todas las sustancias, sobre una temperatura del cero absoluto. Este principio es común en el campo de la calefacción, ventilación y aire acondicionado, especialmente cuando se refiere a él como un equilibrio de la energía. El cambio en la energía total de un sistema es igual a la energía agregada al sistema menos la energía eliminada del mismo.

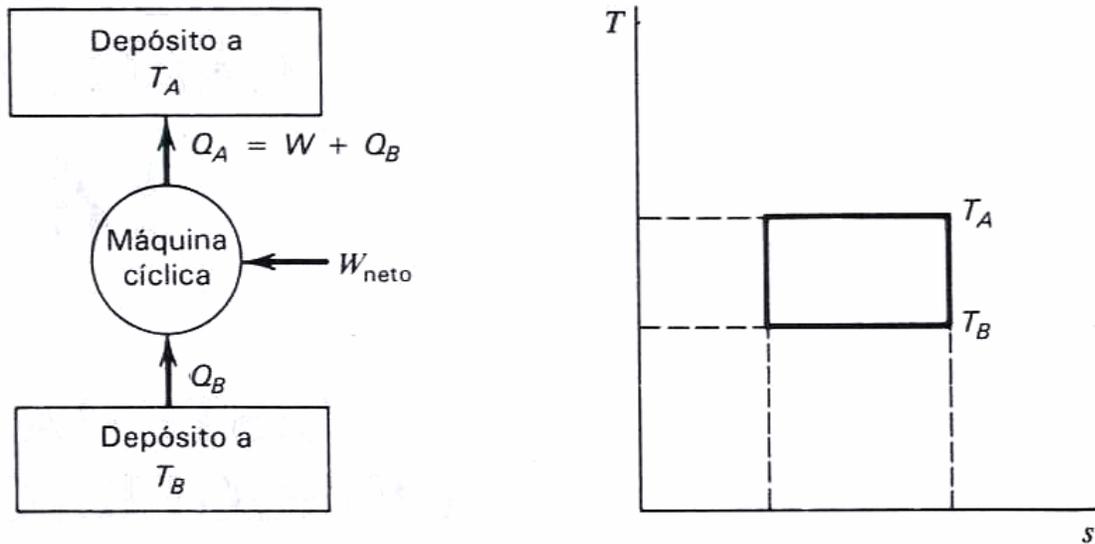
1.1.1.2. Segunda ley de termodinámica

La segunda ley de la termodinámica, que se puede enunciar de diferentes formas equivalentes, tiene muchas aplicaciones prácticas. Desde el punto de vista de la ingeniería, tal vez la más importante es en relación con la eficiencia limitada de las máquinas térmicas. Expresada en forma simple, la segunda ley afirma que no es posible construir una máquina capaz de convertir por completo, de manera continua, la energía térmica en otras formas de energía. Es esta ley la que permite analizar dificultades en el uso eficiente de la energía. Esta ley implica que cuando la energía calorífica se emplea para efectuar trabajo, nunca está completamente disponible para fines útiles. Algo de esta energía se pierde y deja de ser disponible para determinado trabajo.

1.1.1.3. Ciclo de Carnot invertido

El ciclo de Carnot es totalmente reversible, permitiendo que los cuatro procesos que comprenden el ciclo puedan invertirse. Un refrigerador o bomba de calor que opera en este ciclo recibe el nombre de refrigerador o bomba de calor de Carnot. Aunque en la práctica no es utilizado por razones que más adelante se expondrán, sirve de referencia para evaluar el desempeño de un dispositivo real que trabaje bajo las mismas condiciones de temperatura.

Figura 1. **Ciclo de Carnot invertido para refrigeración**



Fuente: WARK, Kenneth. *Termodinámica*. p.872.

Entre las características principales del ciclo de Carnot están:

- Se transfiere (absorción) calor reversiblemente desde la región fría, de forma isoterma donde el refrigerante experimenta cambios de fase.
- Se comprime el refrigerante isoentrópicamente, hasta que alcanza la temperatura máxima.
- Se transfiere calor reversiblemente a la región caliente a, de forma isoterma, donde el refrigerante experimenta cambios de fase (vapor a líquido).

1.1.1.4. Aplicación de las leyes en la refrigeración y su incidencia para realizar buenas prácticas para una producción más limpia

Las leyes de la termodinámica influyen grandemente en la refrigeración, factores como el potencial de agotamiento a la capa de ozono y el potencial de calentamiento global pueden influir en forma determinante en si una instalación de refrigeración está operando en forma regular y que no va a tener problemas en el futuro para seguir operando.

Es necesario tener presente las buenas prácticas y sus implicaciones en el medio ambiente, a continuación, se enumeran diferentes puntos importantes a tomar en cuenta para una producción más limpia:

- Para el medio ambiente, para preservar la capa de ozono hay que disminuir a cero el uso de compuestos químicos como los clorofluorocarbonos, CFC; (refrigerantes industriales), y fungicidas de suelo que destruyen la capa de ozono a un ritmo 50 veces superior a los CFC. La fabricación y empleo de CFC fueron prohibidos por el protocolo de Montreal, debido a que los CFC destruyen la capa de ozono.
- La nueva tecnología y algunos fabricantes han desarrollado mezclas a base de hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales no dañan la capa de ozono. Estas mezclas surgieron como alternativas para los HCFC's, como el R-22, el R-502 y el R-12 y algunos se van a quedar en forma permanente.
- Aprovechar diferencias de temperaturas entre el medio receptor y emisor, transfiriendo el calor por convección, conducción o radiación.

- Usar un proceso que requiera una aportación externa de energía en forma de trabajo, como el ciclo de Carnot.
- Limpiar el refrigerante para volverlo a utilizar, para lo cual hay que separarle el aceite y pasarlo una o varias veces a través de dispositivos, tales como filtros deshidratadores de tipo recargable de bloques desecantes, lo cual reduce la humedad, la acidez y las impurezas.
- Remover el refrigerante de un sistema en cualquier condición que se encuentre, y almacenarlo en un recipiente externo, sin que sea necesario hacerle pruebas o procesarlo de cualquier manera.
- Reprocesar el refrigerante hasta las especificaciones de un producto nuevo por medios que pueden incluir la destilación. Esto requerirá análisis químicos del refrigerante, para determinar que se cumplan con las especificaciones apropiadas del producto. Los equipos de recuperación pueden clasificarse en función de los modos de transvase, líquido o gaseoso. La mayoría de las unidades de recuperación están diseñadas para el vapor porque el líquido podría dañar la unidad, sin embargo, existen máquinas para recuperar por fase líquida.

1.1.1.4.1. Limpieza interior de circuitos refrigerantes

Los contaminantes que pueden malograr el funcionamiento de una instalación refrigerada pueden ser básicamente los siguientes: lodos, cascarillas y soldadura, agua, ácido, aceite para una conversión del sistema a otro refrigerante con otro aceite.

- Lodos, cascarilla, soldadura: se recomienda soldar en atmósfera inerte para no producirlos, es decir soldar las tuberías con un ambiente de nitrógeno circulando por el interior de forma que desplace el oxígeno.
- Agua: facilitar la baja tensión de vapor del agua en estado líquido, haciendo vacío del circuito o sea el punto de ebullición que a 1 bar (14,5 psi) (presión atmosférica) es de 100 °C (212 °F), se baje conforme se baja la presión interna del circuito.
- Ácido y aceite: utilizar el mismo refrigerante existente en la instalación de refrigeración agregando adicionalmente las cantidades convenientes mediante un circuito cerrado y usando para ello una máquina que permita semidestilar el refrigerante y volverlo a licuar, produciendo ciclos de inyección/aspiración y recuperando por un lado el 100 % del refrigerante y separando el aceite para enviar a residuos.

1.1.2. Calor

. “termodinámicamente se define calor como “energía en tránsito de un cuerpo a otro como resultado de una diferencia de temperatura entre los dos cuerpos”.¹

1.1.2.1. Calor específico

“Es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa”.²

$$Q = Cm\Delta T$$

¹ DOSSAT Roy. J. *Principios de refrigeración*. p.27.

² TIPPENS, Paul E. *Física conceptos y aplicaciones*. p.354.

El calor específico medio (\hat{c}) correspondiente a un cierto intervalo de temperaturas ΔT se define en la forma:

$$\hat{c} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

1.1.2.2. Calor latente

“El calor de cambio de estado es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización)”.³

Los cambios de estado se caracterizan por lo siguiente:

- No cambian la naturaleza de la sustancia.
- Se producen a temperatura constante para cada presión.
- La sustancia absorbe o cede calor. El calor invertido en el proceso para la unidad de masa recibe el nombre de calor latente de cambio de estado.
- El valor de la temperatura a la que se producen y el valor del calor latente correspondiente son característicos de cada cambio de estado y de la naturaleza de la sustancia.

1.1.2.3. Calor sensible

“Es la energía térmica que causa o produce un cambio de temperatura de la sustancia”.⁴

³ TIPPENS, Paul E. *Física conceptos y aplicaciones*. p.359.

⁴ DOSSAT, Roy J. *Principios de refrigeración*. p.34.

Para aumentar la temperatura de un cuerpo hace falta aplicarle una cierta cantidad de calor (energía). La cantidad de calor aplicada en relación con la diferencia de temperatura que se logre depende del calor específico del cuerpo, que es distinto para cada sustancia.

El calor sensible se puede calcular en algunos casos simples:

- Si el proceso se efectúa a presión constante:

$$Q_s = \Delta H = mC_p(t_2 - t_1)$$

En donde:

H: es la entalpía del sistema

M: es la masa del cuerpo,

C_{pes} : el calor específico a presión constante

t_2 es la temperatura final y t_1 es la temperatura inicial del cuerpo

- Si el proceso se efectúa a volumen constante:

$$Q_s = \Delta U = nC_v(t_2 - t_1)$$

1.1.2.4. Calor latente de fusión

“Es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de una fase sólida a la líquida a su temperatura de fusión”.⁵

⁵ TIPPENS, Paul E. *Calor latente de fusión*. p.359.

1.1.2.5. Calor latente de evaporación

Para pasar de la fase líquida a la fase de vapor se necesita una absorción de energía por parte de las moléculas líquidas, pues la energía total de éstas últimas es menor que la de las moléculas gaseosas. En el caso contrario, en la condensación, se produce un desprendimiento energético en forma de calor.

“al calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de líquido a vapor a su temperatura de ebullición se le denomina calor latente de vaporización”.⁶

En un proceso de ebullición a presión constante el calor absorbido por la sustancia que cambia de fase viene dado por:

$$Q = mL_v$$

1.1.3. Ciclo de refrigeración

El ciclo de refrigeración se realiza cuando un refrigerante realiza un número de cambios en su estado, cada cambio es llamado proceso.

1.1.3.1. Ciclo de refrigeración

El calor fluye desde una zona de alta temperatura a una de baja temperatura sin necesidad de algún dispositivo. El proceso inverso no sucede por sí solo, para lograr transferir calor desde una zona de baja temperatura a una de alta requiere de dispositivos especiales conocidos como refrigerantes.

⁶ TIPPENS, Paul E. *física conceptos y aplicaciones*. p.359.

Los ciclos de refrigeración se encuentran comprendidos por cuatro fases principales:

- Producción de una baja temperatura
- Absorción del calor donde se desea tener baja temperatura
- Transporte del calor absorbido
- Entrega del calor absorbido por el sistema al ambiente

Cuando el refrigerante ha completado estas cuatro etapas, ha realizado el ciclo total de refrigeración y, por lo tanto, el refrigerante se encuentra listo para iniciar un nuevo ciclo.

1.1.3.2. Calor de compresión

En el proceso de compresión de vapor se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el proceso de compresión, el fluido de trabajo solo debe estar en la fase de vapor.
- La temperatura de condensación no debe limitarse a la zona de saturación.

En los ciclos ideales de refrigeración, el fluido de trabajo sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. Sin embargo, es inevitable que se produzcan caídas de presión en el condensador así como en las líneas que conectan al compresor y a la válvula de estrangulamiento (expansión), además de la imposibilidad de mantener con precisión la regulación del condensador para tener a la salida líquido saturado, y es indeseable enviar refrigerante a la válvula de estrangulamiento sin

condensar en su totalidad, debido a que reduce la capacidad de absorción de calor, por lo que se considera el subenfriamiento como alternativa para disminuir la entalpía de entrada a la válvula de estrangulamiento y en consecuencia aumentar la capacidad de absorción de calor.

1.1.3.3. Eficiencia volumétrica del compresor

En la eficiencia volumétrica, importancia se relaciona con la estimación de la capacidad del compresor.

La eficiencia volumétrica de un compresor se reduce a medida que aumenta la relación de compresión (es decir la relación entre las presiones absolutas de descarga y de succión). Esta curva depende primariamente de los ajustes internos del compresor que permiten fugas del lado de alta presión de regreso a la succión.

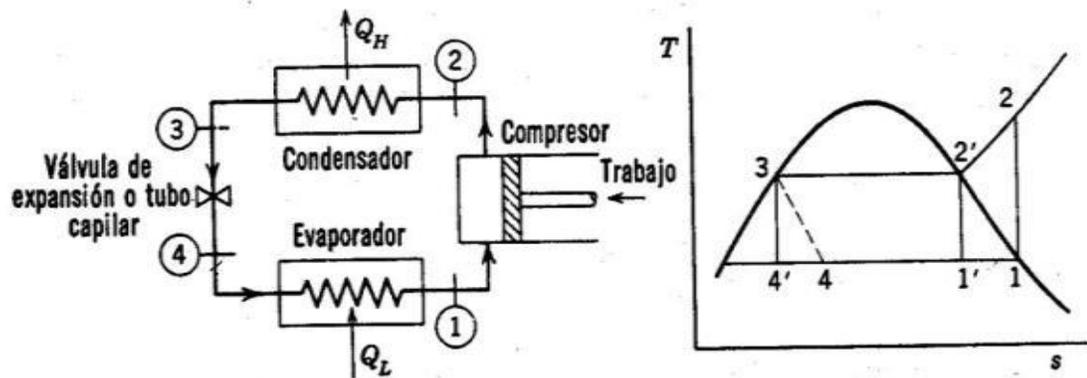
Los ajustes totales pueden visualizarse como un solo orificio de tamaño equivalente. A medida que la relación de compresión a través de los ajustes aumenta, el flujo también aumenta. Una máquina con ajustes muy pequeños tendrá una curva de eficiencia volumétrica muy plana y una con ajustes grandes tendrá una curva de eficiencia volumétrica con pendiente empinada.

La eficiencia volumétrica de un compresor también se reduce a medida que aumenta la relación de compresión. La pendiente es más Esto depende primariamente del volumen de punto muerto del compresor recíprocante. A medida que aumenta la relación de compresión, el volumen de punto muerto reduce cada vez más la eficiencia volumétrica, puesto que el refrigerante restante después de cada ciclo de compresión ocupa mayor porcentaje del volumen disponible.

1.1.3.4. Diagrama del ciclo de refrigeración

Para tener un conocimiento del ciclo de refrigeración se ha simplificado con el uso de gráficas y diagramas sobre los cuales se observa el ciclo completo.

Figura 2. Diagrama del ciclo de refrigeración



Fuente: WARK, Kenneth. *Termodinámica*. p.872.

1.1.4. Refrigerantes

Un refrigerante es una sustancia que realiza un trabajo como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otra sustancia.

Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión.

Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante.

1.1.4.1. Clases de refrigerantes

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa refrigerante. Cada refrigerante está asociado a una letra y un número de identificación. En la tabla I, aparecen los refrigerantes más comunes. Cabe mencionar que las mezclas zeotrópicas, son refrigerantes transitorios que se desarrollaron para substituir al R- 22 y al R-502, aunque algunas de estas, van a permanecer como sustitutos de estos refrigerantes.

Es necesario enfatizar que Los números entre paréntesis indican el porcentaje de cada componente en la mezcla. Para que un líquido pueda ser utilizado como refrigerante, debe reunir ciertas propiedades, tanto termodinámicas como físicas. El refrigerante ideal, es el que es capaz de descargar en el condensador todo el calor que absorba del evaporador, la línea de succión y el compresor.

Tabla I. Clases de refrigerantes

No.	NOMBRE QUIMICO	FORMULA QUIMICA
Serie Metano		
10	Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)	CCl ₄
11	Tricloromonofluorometano	CCl ₃ F
12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂
13	Clorotrifluorometano	CClF ₃
20	Triclorometano (cloroforno)	CHCl ₃
21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F
22	Clorodifluorometano	CHClF ₂
23	Trifluorometano	CHF ₃
30	Diclorometano (cloruro de metileno)	CH ₂ Cl ₂
40	Clorometano (cloruro de metilo)	CH ₃ Cl
50	Metano	CH ₄
Serie Etano		
110	Hexacloroetano	CCl ₃ CCl ₃
113	1,1,2-triclorotrifluoroetano	CCl ₂ FCCLF ₂
115	Cloropentafluoroetano	CClF ₂ CF ₃
123	2,2-Dicloro-1,1,1-Trifluoroetano	CHCl ₂ CF ₃
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CH ₂ FCF ₃
141b	1,1-Dicloro-1-fluoroetano	CH ₃ CCl ₂ F
150a	1,1-Dicloroetano	CH ₃ CHCl ₂
152a	1,1-Difluoroetano	CH ₃ CHF ₂
160	Cloroetano (cloruro de etilo)	CH ₃ CH ₂ Cl
170	Etano	CH ₃ CH ₃
Hidrocarburos		
290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃
600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
600a	2-Metilpropano (isobutano)	CH(CH ₃) ₃
Compuestos Inorgánicos		
702	Hidrógeno	H ₂
704	Helio	He
717	Amoníaco	NH ₃
718	Agua	H ₂ O
720	Neón	Ne
728	Nitrógeno	N ₂
732	Oxígeno	O ₂
744	Bióxido de Carbono	CO ₂
764	Bióxido de Azufre	SO ₂
Mezclas Zeotrópicas		
400	R-12/114 (60/40)	
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	
402A	R-22/125/290 (38/60/2)	
402B	R-22/125/290 (60/38/2)	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
407B	R-32/125/134A (10/70/20)	
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
410A	R-32/125 (50/50)	
Mezclas Azeotrópicas		
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
502	R22/115 (48.8/51.2)	
503	R-223/13 (40.1/59.9)	
507	R-125/143a (50/50)	

Fuente: HERNANDEZ G, Eduardo. *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. p.348.

Para fines del EPS de estudio, se listan las principales clases de refrigerantes y la descripción de cada uno de ellos:

- Refrigerantes puros: son aquellos que solo tienen un componente químico y su comportamiento está basado en sus propiedades termodinámicas propias de la sustancia como es el caso del refrigerante 12(R-12), el refrigerante 11 (R-11), el propano (R-290).
- Refrigerantes azeotrópicos: son mezclas de refrigerantes de dos componentes los cuales se comportan como un compuesto puro debido que no tienen variación de temperatura y presión en los cambios de fase, tal es el caso de los refrigerantes siguientes: R-502, R-507, R-508B.
- Refrigerantes zeotrópicos: mezclas de refrigerantes que si tienen variaciones de temperatura cuando existe un cambio de fase (condensación o evaporación) esto se da porque los componentes que conforman la mezcla tienen diferentes puntos de ebullición. A esta variación de temperatura se le llama deslizamiento de temperatura o que debe ser considerado cuando se instalen este tipo de refrigerantes en los sistemas.

1.1.4.1.1. Refrigerantes convencionales (CFC y HCFC)

Los refrigerantes convencionales son los refrigerantes compuestos por clorofluorocarbonos y por hidroclorofluorocarbonos. Estos refrigerantes tienen, debido a las iniciales de su nombre la nomenclatura de CFC, los que contienen clorofluorocarbonos y de HCFC los que contienen hidroclorofluorocarbonos. Entre estos están los siguientes:

- Hidrocarburos halogenados

Es un grupo de refrigerantes derivados de hidrocarburos de bajo peso molecular fundamentalmente derivados del metano y el etano en los que alguno o todos sus átomos de hidrógeno se han sustituido por halógenos normalmente flúor, cloro y bromo. En función de su composición estos refrigerantes pueden clasificarse en tres grupos siguientes:

- Clorofluorocarbonos (CFC): son hidrocarburos totalmente halogenados, todos sus hidrógenos están sustituidos por cloro y flúor. Estos refrigerantes son de baja toxicidad, no corrosivos y compatibles con otros materiales. No son inflamables ni explosivos, pero en grandes cantidades no deben ser liberados donde halla fuego o elementos de calentamiento eléctrico ya que el aumento de temperatura puede hacer que se descompongan en sus elementos internos causando afecciones al tejido humano. Son particularmente perjudiciales para el sistema respiratorio. Los refrigerantes CFC más comunes son: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115. En el medio ambiente, Se caracterizan por ser gases muy estables que persisten en la atmósfera muchos años y por tanto pueden llegar a la estratosfera donde destruyen la capa de ozono.
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC): son hidrocarburos halogenados que contienen un átomo de hidrógeno en su molécula lo cual le permite oxidarse con mayor rapidez en la parte baja de la atmósfera siendo su poder de destrucción de la capa de ozono menor. Son sustitutos a medio plazo de los CFC. Los HCFC tales como el R-22 y el R-123 son considerados refrigerantes interinos. Son usados hasta que se dispongan su remplazo.

- Hidrofluorocarbonos (HFC): Los HFC son considerados con potencial nulo de daño a la capa de ozono. Tienen únicamente un ligero efecto en el calentamiento global. Son usados típicamente en los sistemas nuevos los cuales son específicamente diseñados para su uso.

1.1.4.1.2. Refrigerantes ecológicos (HCF)

Para la protección del medio ambiente, se investiga y fabrica nuevos productos químicos, como los refrigerantes, los cuales deben de tener características especiales que cumplan con la misión de refrigerar o enfriar determinado ambiente, pero a la vez protejan el medio ambiente y al ser humano de los efectos nocivos.

Los refrigerantes importantes ecológicos se clasifican de la siguiente manera:

- R-134A
- R-404a
- R-407b
- R-410A

El Protocolo de Montreal, identifica los refrigerantes convencionales (R-11, R-12, R-22, R-502) como reductores de la capa de ozono y establece límites específicos en sus niveles de producción en el futuro. Todas las medidas indican solo usar, únicamente, refrigerantes ecológicos ya que éstos no contienen ni clorofluorocarbonos, ni hidroclorofluorocarbonos sino solamente hidrofluorocarbonos o HFC.

Tabla II. **Propiedades químicas y físicas de refrigerantes**

REFRIG. N°	Nombre Químico	Grupo de Seguridad	
		Anterior (34-1989)	Nuevo (34-1992)
12	Diclorodifluorometano	1	A1
22	Clorodifluorometano	1	A1
30	Cloruro de metileno	2	B2
123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	---	B1
134a	1,1,1,2-tetrafluoruro etano	---	A1
170	Etano	3a	A3
500	12/152a (73.8/26.2)	1	A1
502	22/115 (48.8/51.2)	1	A1
717	Amoniaco	2	B2
718	Agua	---	A1

Fuente: EMERSON, Climate. *Manual técnico de refrigeración y aire acondicionado*. p.154.

El R-134 es un refrigerante hidrofluorocarbono para la sustitución del R-12 en instalaciones nuevas, o la adaptación de las ya existentes. Es un refrigerante HFC, por lo que no produce ningún daño a la capa de ozono. Posee una gran estabilidad térmica y química.

1.1.4.1.3. Factor de daño de capa de ozono (ODP)

A través de los procesos naturales de la atmósfera, las moléculas de ozono se crean y se destruyen sin cesar. La radiación ultravioleta del sol descompone las moléculas de oxígeno en átomos que seguidamente se combinan con otras moléculas de oxígeno. Para formar el ozono. El ozono no

es un gas estable y es particularmente vulnerable a la destrucción por los compuestos naturales que contengan hidrogeno, nitrógeno y cloro. Cerca de la superficie de la tierra (la troposfera) el ozono es un contaminante cada vez más nocivo, un constituyente del smog, la mezcla fotoquímica de niebla y humo, y de las lluvias acidas. Pero inocuo en la estratosfera, de 11 a 48 Km. por encima de la superficie terrestre, el gas azul y de fuerte olor acre es tan importante para la vida como el oxígeno mismo.

Para preservar la capa de ozono hay que disminuir a cero el uso de compuestos químicos como los clorofluorocarbonos, CFC; (refrigerantes industriales), y fungicidas de suelo que destruyen la capa de ozono a un ritmo 50 veces superior a los CFC.

Hay que tomar conciencia de la gran cantidad de moléculas de ozono que se destruyen diariamente por culpa de la actividad humana y que tomando las medidas adecuadas se podría remediar.

El potencial de agotamiento del ozono es un número que se refiere a la cantidad de destrucción de ozono estratosférico causado por una sustancia. Es la razón entre el impacto sobre el ozono causado por una sustancia determinada y el impacto causado por una masa similar de CFC-11 (el potencial de agotamiento del CFC-11 está definido como 1).

Por ejemplo, el potencial de una sustancia como halón-1301 es 10, lo que significa que su impacto sobre el ozono es diez veces mayor que el del CFC-11. El bromuro de metilo tiene el potencial 50.

1.1.4.1.4. Factor de calentamiento global (GWP)

Es importante debido a que determina el potencial de calentamiento global y nos ayuda para mejorar y preservar el medio ambiente. Si bien la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, la radiación infrarroja se absorbe en la atmósfera por muchos gases menos abundantes. Aunque presentes en pequeñas cantidades, estas trazas de gases actúan como un manto que impide que buena parte de la radiación infrarroja se escape directamente hacia el espacio. Al frenar la liberación de la radiación que provoca el enfriamiento, estos gases calientan la superficie terrestre.

El potencial de calentamiento global en la atmósfera (GWP) es un índice que compara el efecto del recalentamiento en un lapso de tiempo para diferentes gases con respecto a emisiones iguales de CO₂ (por peso). Utilizando el GWP de los gases junto con sus concentraciones previstas en el futuro da por resultado escenarios de cambios climáticos en el próximo siglo, un aspecto que recibe mucha más atención de los científicos y responsables de tomar decisiones en todo el mundo.

La contribución directa ya se está reduciendo gracias a la limitación de las emisiones tanto por los métodos más estrictos para evitar fugas en los sistemas de refrigeración como por la recuperación de los CFC.

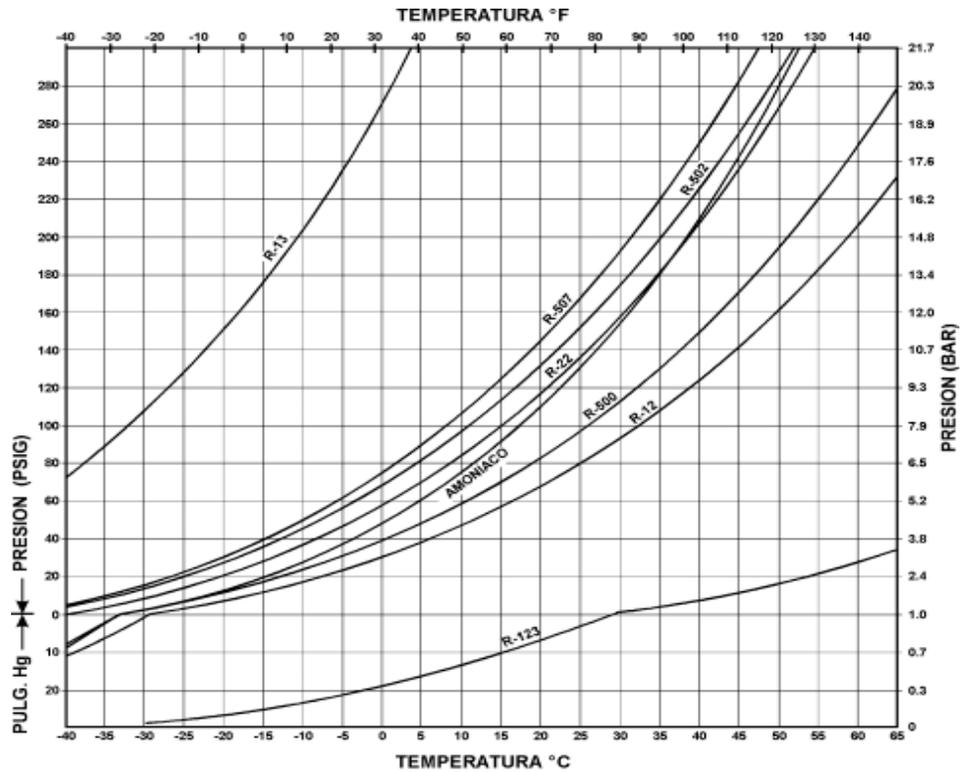
Potencial de Calentamiento Global (PCG) Medida del efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1 kg de un gas efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂ en base a un tiempo horizonte de 100 años. El caso de la

emisión de 1 kg de HCFC-22 equivale a 1 700 kg de CO₂. (Protocolo de Montreal)

1.1.4.2. Temperatura de saturación de refrigerantes

El trabajo de refrigeración tiene que mezclar con refrigerantes en sistemas cerrados, a presiones variables. Estas presiones se controlan y se controlan las temperaturas del refrigerante en diferentes puntos del sistema. Por lo tanto, es necesario que hierva el refrigerante a baja temperatura en un punto (disminuyendo su presión), y que después, se condense a alta temperatura en otro punto (aumentando su presión). Para cualquier líquido, la temperatura a la que se lleva a cabo la ebullición se conoce como temperatura de saturación, y su presión correspondiente, se conoce como presión de saturación.

Figura 3. Gráfica P- T para refrigerantes



Fuente: EMERSON, Climate. *Manual técnico de refrigeración y aire acondicionado*. p.143.

En la figura 3, se presentan las gráficas de presión y temperatura para varios refrigerantes comunes. Los valores dan presiones cada grado o cada 2 grados centígrados para las temperaturas de evaporación comunes. Además de esto, para temperaturas de evaporación menos comunes o temperaturas de condensación, se dan presiones cada 5°C.

1.1.4.3. Evaporación de refrigerantes

En la etapa del ciclo de refrigeración, el refrigerante se evapora en un estado parcialmente líquido y a baja presión, al ponerse en contacto con el

ambiente que desea enfriar, el refrigerante al absorber el calor medio inicia la ebullición hasta obtener el sobrecalentamiento del mismo.

1.1.4.4. Condensación de refrigerantes

El refrigerante ahora se encuentra con una alta presión y un mayor grado de sobrecalentamiento y es enviado hacia el condensador donde puede entonces volver al estado líquido mediante generación del calor hacia el exterior, existen condensadores que utilizan agua como medio de enfriamiento.

2. BUENAS PRÁCTICAS EN LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN (FASE DE INVESTIGACIÓN)

2.1. Requerimientos y Normas de buenas prácticas en instalaciones de sistemas de refrigeración

Entre los principales retos de la empresa Multiservicios Carrillo, está la aplicación de normas de buenas prácticas en instalaciones de refrigeración, el capítulo siguiente nos detalla algunas de las principales normas y protocolos.

2.1.1. Protocolos sobre uso de refrigerantes

Un punto que ha sido importante para la aplicación de Protocolos sobre uso de refrigerantes, es el de capacitar a los técnicos en la sustitución de refrigerantes Clorofluorocarbonos que son altamente perjudiciales a la capa estratosférica de ozono, esto se ha convertido en un trabajo habitual para aquellos técnicos que realizan servicios de mantenimiento en equipos de refrigeración. Es por ello que a continuación se describen Protocolos para el uso y manejo de refrigerantes, los cuales deben ser aplicados en la empresa Multiservicios Carrillo.

2.1.1.1. Protocolo de Montreal

Dado a los problemas que se presentaban con el uso de sustancias agotadoras de ozono (SAOs), en diferentes aplicaciones, a nivel mundial se adoptó las medidas acordadas en el Protocolo de Montreal que se firmó en septiembre de 1987. En el Protocolo de Montreal están listadas y clasificadas

las sustancias que agotan la capa de ozono, entre las que se encuentran los Clorofluorocarbonos (CFCs), Halones, Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), y Bromuro de Metilo, utilizadas como gases refrigerantes. En la tabla II, se presenta el acuerdo de eliminación de SAOs, para los diferentes países.

Tabla III. **Regulación de las SAOs**

Sustancia agotadora de la capa de ozono	Países del Artículo 5
CFC (clorofluorocarbonos)	01 de enero de 2010
Halones	01 de enero de 2010
Tetracloruro de carbono	01 de enero de 2010
Cloroformo de metilo	01 de enero de 2015
Bromuro de metilo	01 de enero de 2015
HBFC (hidrobromofluorocarburos)	01 de enero de 1996
HCFC (hidroclorofluorocarbonos)	01 de enero de 2013: congelación a la línea base (promedio 2009/2010)
	01 de enero de 2015: 10% por debajo de la línea base
	01 de enero de 2020: 35% por debajo de la línea base
	01 de enero de 2025: 67.5% por debajo de la línea base
	01 de enero de 2030- 31 de diciembre de 2039: total de 2,5% de la línea base durante todo el período

Fuente: LANG, Teresa. *Sustancias agotadoras de la capa de ozono*. Semarnat. p.4.

En el Protocolo de Montreal se divide en dos grandes grupos a los países miembros: países desarrollados (artículo 2) y países en desarrollo (artículo 5, grupo al cual pertenece Guatemala). Cada grupo posee obligaciones diferentes, basándose en el principio de responsabilidades comunes, pero compromisos diferenciados.

Los países en desarrollo están comprometidos con la eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAOs), estas con calendarios de

eliminación menos acelerados a los que tienen los países desarrollados. Reciben recursos del fondo multilateral para la ejecución de proyectos de preparación, demostrativos, de fortalecimiento institucional, capacitación, asistencia técnica y de inversión, con el objetivo de eliminar el consumo de las SAOs

2.1.1.2. Normas aplicadas a los diferentes refrigerantes

- Norma 34 de ASHRAE: esta norma clasifica a los refrigerantes por su toxicidad e inflamabilidad, de acuerdo a las concentraciones que se presentan cuando un refrigerante se emite a la atmósfera y entra en contacto con los seres humanos.
- Norma 700 del ARI (American Refrigeration Institute): indica las cantidades máximas de contaminantes que debe tener un refrigerante para considerarlo uno totalmente nuevo.

2.1.2. Manipulación y control de fluidos refrigerantes

Para la empresa es indispensable el manejo y la manipulación de los refrigerantes. Las técnicas de servicio que debe ejecutar el técnico de refrigeración son enfocadas al manejo correcto de los gases refrigerantes que se utilizan en un sistema de refrigeración.

La institución debe aplicar los procedimientos técnicos, los cuales dan mejora al rendimiento de un sistema de refrigeración, optimiza la calidad del trabajo del técnico que los ejecuta y, también, contribuye a no evacuar los

gases a la atmósfera que, como ya se ha visto, afectan la capa de ozono que protege al planeta y la temperatura del mismo.

Los gases refrigerantes generalmente están envasados en cilindros metálicos desechables. Son de: 1 Kg., 6,8 Kg., 13,6 Kg. y 22,6 Kg. Los fabricantes de gases refrigerantes los envasan en cilindros de colores, según el código de colores de ARI (American Refrigeration Institute).

Los cilindros desechables son hechos con base en las especificaciones establecidas por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT), el cual tiene una autoridad reguladora sobre todos los materiales peligrosos en el transporte comercial.

Tabla IV.

Tabla V. **Código de colores ARI para gases refrigerantes**

REFRIG. N°	COLOR	PMS *
R-11	NARANJA	021
R-12	BLANCO	---
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO	2975
R-22	VERDE	352
R-123	GRIS CLARO (PLATA)	428
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)	2975
R-401A (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)	177
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)	124
R-402A (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)	461
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA	385
R-404A (HP-62)	NARANJA	021
R-407C (AC-9000)	GRIS	---
R-500	AMARILLO	109
R-502	MORADO CLARO (ORQUIDEA)	251
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)	3268
R-507 (AZ-50)	MARRON	167
R-717	PLATA	877

* Sistema comparativo PANTONE.

Fuente. EMERSON, Climate. *Manual técnico de refrigeración y aire acondicionado*. p.163.

Para el transporte y manipulación de los refrigerantes, es necesario el cumplimiento de las siguientes reglas en la Empresa de estudio:

- No golpear el cilindro, en el suelo, con un martillo u otra herramienta
- No calentar el cilindro con vapor o con un soplete de flama directa
- No transportar el cilindro, cargándolo de la válvula
- No reparar la válvula en caso de ser averiada
- No bloquear el disco de ruptura
- No rellenar o recargar un cilindro desechable
- Al abrir la válvula, hacerlo despacio, y cerrar después de usarlo
- No utilizar cilindros oxidados o deteriorados

2.1.3. Refrigerantes ecológicos

El calentamiento global y el agujero en la capa de ozono son cuestiones urgentes que requieren respuestas concretas y efectivas. En el mercado de gases refrigerantes, todo equipo de aire acondicionado debe a partir de 2013 utilizar el gas refrigerante R410A, que reemplazará al existente R-22.

El R410A, es un refrigerante de alta seguridad, clasificado por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) como A1/A1, es decir, no tóxico y no inflamable aun en caso de fugas. El R410A es amigable con el medio ambiente porque no afecta la capa de ozono. El nuevo refrigerante, a diferencia del R22, cuyo compuesto tiene cloro (HCFC – hidro cloro fluo carbonado), tiene en su composición HFC (hidro fluo carbonado). Este más eficiente que el R22: a igual tiempo de uso, consume menos energía y logra el mismo resultado a nivel ambiente, otorgando mayor fiabilidad y un rendimiento superior.

Entre las principales ventajas que se tienen al usar este tipo de refrigerantes ecológicos son:

- Menor impacto ambiental
- Mejorar la capacidad de los equipos
- Equipos más eficientes
- Menor consumo de energía
- Es reutilizable
- No es tóxico: este gas no deteriora la capa de ozono

2.1.4. Refrigerantes naturales

Los refrigerantes naturales tienen muy poco efecto sobre la capa de ozono. Por ello, se está realizando un gran esfuerzo para incorporar los refrigerantes naturales en los sistemas de refrigeración en las empresas. Los refrigerantes naturales han sido el medio más empleado en grandes sistemas de refrigeración industrial dentro de la industria en especial el NH₃ y CO₂ utilizados con propósitos industriales con bajas temperaturas.

Entre los refrigerantes más comunes de este tipo son el R600a y el R717. Las siglas HC son de hidrocarburo, y expresan el contenido atómico de las moléculas.

- Sustancias puras
 - R170.....Etano
 - R290.....Propano
 - R600a.....Isobutano
 - R717..... Amoniaco

- R718..... Agua
- R729..... Aire
- R744..... Dióxido de carbono
- R1270..... Propileno

2.2. Principios elementales para buenas prácticas del tendido de tuberías

El tendido de tuberías es una operación tan común, que con frecuencia se ignora la importancia tan crítica que tiene en el correcto funcionamiento de los sistemas de refrigeración y por lo cual es indispensable la aplicación de principios elementales.

2.2.1. Tubería de cobre para refrigeración

La tubería de cobre (tubo ACR), es usada en el sistema de refrigeración de la Empresa Multiservicios. Entre las características principales en esta tubería están:

- El tubo ACR, tiene nitrógeno a presión para evitar la entrada de aire, humedad y polvo.
- Los extremos están taponados, y los tapones se deben volver a poner después de cortar un tramo del tubo.

Clasificación de la tubería de cobre

La tubería de cobre tiene tres clasificaciones: K, L y M, que se basan en los espesores de pared:

- K: pared gruesa, aprobado para refrigeración y aire acondicionado
- L: pared media, aprobado para refrigeración y aire acondicionado
- M: pared delgada; no se usa en sistemas de refrigeración

La tubería M de pared delgada, no se usa en tuberías de refrigerante a presión, debido a que no tiene el espesor de pared necesario para cumplir con los reglamentos de seguridad.

La tubería K de pared gruesa, se emplea en usos especiales, cuando se esperan condiciones excepcionales de corrosión.

El tipo L es el que se usa con más frecuencia para aplicaciones normales en refrigeración.

Tubería de cobre extruido suave

- Este tipo de tubería se recuece para hacer que el tubo sea más flexible y fácil de doblar y conformar. Los tamaños utilizados son de $\frac{1}{8}$ " a $1 \frac{5}{8}$ ".
- La tubería de cobre suave se puede soldar o usar con conexiones abocinadas o mecánicas de otro tipo.
- Como se dobla y se conforma con facilidad debe sujetarse con abrazaderas u otros componentes para soportar su propio peso.

Tubería de cobre extruido duro

- A diferencia del extruido suave, es duro y rígido y tiene la forma de tramos rectos.
- Se debe usar con conexiones formadas para dar los cambios de dirección y dobleces necesarios. Sus diámetros son de $\frac{3}{8}$ " a más de 6".

- Estos tubos están deshidratados, cargados con nitrógeno para mantener una condición interna limpia y libre de humedad. El empleo de “tubing” extruido duro se asocia con más frecuencia con tamaños mayores de tubería, de 7/8” o más.

2.2.1.1. Conexiones para tubería de cobre

Es sumamente necesario tener en cuenta las conexiones de la tubería, ya que por medio de este puede entrar material y partículas que sean extrañas para el proceso. A continuación, se listan los procedimientos necesarios para estas conexiones:

- Los compresores deshidratados y los filtros deshidratadores no deben estar expuestos a la atmósfera del tiempo establecido normal.
- El tipo de tubería de cobre a utilizar y recomendado es el K ó L, las cuales deben estar selladas para evitar todo tipo de contaminantes.
- Al ser soldadas las líneas de refrigerante, es necesario que un gas inerte circule a través de la línea a baja presión para evitar la formación de escamas y oxidación dentro de la tubería. En este caso debe ser Nitrógeno seco.
- Usar la soldadura de aleación de plata adecuada, en las líneas de líquido y de succión.
- Limitar la soldadura al mínimo requerido para prevenir la contaminación interna de la unión soldada. Aplicar el fundente en la porción fuerte de la unión, después de la soldadura se debe quitar el exceso del fundente.
- Determinar los diámetros de las tuberías de descarga y líquido para las conexiones del condensador remoto.

2.2.1.2. Longitud equivalente para tubería de cobre

Es indispensable la selección de la tubería de refrigerante, esto se puede verificar en las tablas con las longitudes y diámetros. (Anexo 1).

- Las líneas de succión tendrán una pendiente de 1/4 pulg. (0,63 cms) por 10 pies (304,8 cms) de longitud hacia el compresor.
- Cada elevador de succión vertical de 4 pies (122 cms) o más de altura, debe llevar una trampa tipo “P” en su base, para mejorar el retorno de aceite al compresor.

Tabla VI. **Metros equivalentes a tuberías debido a la fricción de válvulas y accesorios**

D.E Tubería de cobre, tipo "L"	1/2	5/8	7/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8	6 1/8
Válvula de globo (abierta)	4.3	4.9	6.7	8.5	11.0	12.8	17.4	21.0	25.3	30.2	36.0	42.1	51.2
Válvula de ángulo (abierta)	2.1	2.7	3.7	4.6	5.5	6.4	8.5	10.4	12.8	14.9	17.4	21.4	25.3
Unión tipo "U"	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	2.7	3.7	4.8	5.2	6.1	6.7	8.5	10.4
TEE Recta	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.7	3.4
Codo 90° ó TEE Reducida	0.3	0.6	0.6	0.9	1.2	1.2	1.5	2.1	2.4	3.1	3.7	4.3	4.9

Fuente: BOHN, Frigus. *Manual de instalación del sistema de refrigeración.* p.12.

2.2.2. Cálculo de tuberías

Al realizar el cálculo y diseño de las líneas de refrigerante, hay que considerar las distintas configuraciones posibles en función de la posición de los equipos: unidad exterior por encima de la unidad interior, unidad exterior por debajo de la unidad interior o ambas unidades a la misma altura. Además de lo

indicado, se debe tomar en cuenta las características que deben cumplir las líneas de gas (aspiración o descarga) y las líneas de líquido.

2.2.2.1. Cálculo de tuberías de líquido

Las líneas de líquido deben de ser dimensionadas para una caída de presión mínima para prevenir la caída de presión adicional y la expansión en la operación de la válvula, (Flasheo).

- Si el sistema tiene largas tuberías de líquido desde el receptor al evaporador y si el líquido tiene que levantarse verticalmente hacia arriba una distancia considerable, las pérdidas deberán ser calculadas para determinar si es o no requerido un intercambiador de calor.
- El empleo de un intercambiador de calor. El empleo de un intercambiador de calor debe usarse para subenfriar el líquido y para prevenir el Flasheo.
- El método de subenfriamiento normalmente proveerá no más de 20°F (11°C) de subenfriamiento en sistemas de alta presión.
- La cantidad de subenfriamiento es depende del diseño y el tamaño del intercambiador de calor y de las presiones a las que se opera en la succión y en la descarga.
- El uso del intercambiador de calor es que este puede ayudar a aumentar el sobrecalentamiento en la línea de succión para prevenir el retorno de refrigerante líquido al compresor vía la línea de succión.

- Los intercambiadores de calor no son recomendables en sistemas de baja temperatura con R-22. Sin embargo, ha sido conveniente su uso en tuberías cortas y bien aisladas con el objeto de suministrar el sobrecalentamiento al compresor.

Caída de presión en las líneas

La caída de presión a través de la línea de líquido no crítica porque se cuenta con una columna del 100 % de líquido entrando al elemento de expansión. Para calcular la caída de presión total en las líneas de líquido, lo siguiente debe ser determinado y sumado entre sí.

- La caída de presión debido a la fricción en tubos y accesorios instalados en terreno, tales como: filtros secadores, válvulas solenoides u otros elementos. La caída de presión debido a fricción es menor que la caída debido a verticales, pero debe ser considerada.
- Las caídas de presión debido a tendidos verticales ($1 \frac{1}{2}$ psi x metro) es suficientemente alta y puede ser factor limitante en el diseño final del sistema.

2.2.2.1.1. Presión a través de elemento de expansión y distribuidor

La presión del líquido entrando al elemento de expansión debe ser suficiente para producir el flujo requerido a través del elemento. Una caída de presión de 100 psi a través de la válvula de expansión y distribuidor es necesaria para producir un flujo completo a la capacidad establecida, por lo

tanto, es necesario entregar el líquido refrigerante (libre de flash gas) a la válvula de expansión a un mínimo de 175 psi.

2.2.2.2. Cálculo de tuberías de succión

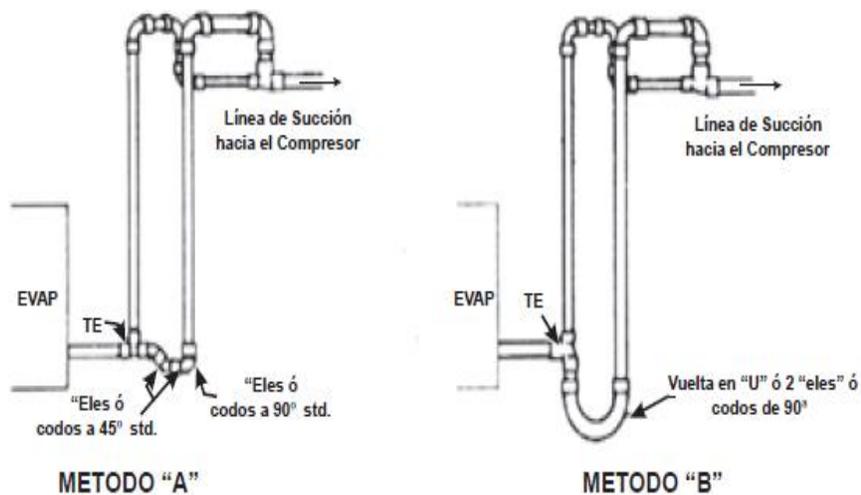
- Las tuberías de succión deben tenderse desde el evaporador hacia el compresor con una pendiente de 1/4" (0,64 cms), por 10' (304,8 cms), para un buen retorno de aceite.
- Cuando son conectados varios evaporadores en serie usando una línea de succión común, las derivaciones de la línea de succión deberán conectarse por la parte superior a la línea común.
- Para sistemas dual o múltiples evaporadores, el diámetro de las líneas de derivación, quedará determinado por la capacidad de cada evaporador.
- El diámetro de la línea común principal quedará determinado por la capacidad total del sistema.
- Las líneas de succión que se encuentren en el exterior del espacio refrigerado deberán aislarse.

2.2.2.3. Elevadores dobles

Existen trampas ya prefabricadas o pueden hacerse mediante el uso de dos "ELES" largas y una "ELE" regular. La trampa de succión debe tener el mismo diámetro que la línea de succión adicional, generalmente una trampa cada 20' (609 cms.) aproximadamente de longitud de tubería para asegurar el

adecuado movimiento de aceite. Los métodos de construcción adecuados de las trampas tipo "P" en la línea de succión.

Figura 4. **Construcción de elevador doble de succión**



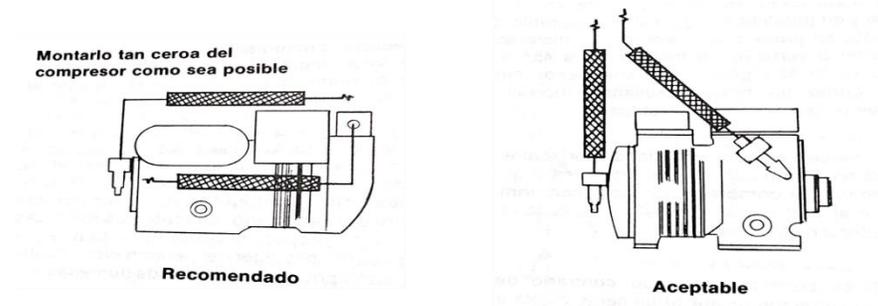
Fuente. DOSSAT, Roy J. *Principios de refrigeración*. p.489.

2.2.2.4. **Vibración y ruido en tuberías**

En las aplicaciones de conductos largos, es muy probable que la tubería del refrigerante transmita ruidos y vibración a la estructura a la que se encuentra sujeta. La vibración puede eliminarse adecuadamente en los compresores con eliminadores de vibración. Estos deben de ser instalados correctamente para evitar que el problema de la vibración crezca.

Se recomienda que estos se instalen cerca del compresor y en dirección del cigüeñal.

Figura 5. **Vibración y ruidos en tuberías**



Fuente. COPELAND. *Manual de refrigeración, parte 5, sección 24.* p.14.

Es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones para determinar el fallo en estos casos:

- Revisar el ajuste de la válvula de expansión
- Volver a colocar, eliminar o añadir abrazaderas según sea necesario
- Reemplazarlo
- Recablear para cambiar de fase

2.2.3. **Aislamiento de tuberías**

- Las tuberías de refrigerante expuestas a condiciones ambientales altas deberán ser aisladas para reducir la transferencia de calor y prevenir al Flasheo del refrigerante en las líneas de líquido.

- Las líneas de succión deberán ser aisladas con Armaflex Armstrong de 3/4 pulg. (2cms.) de espesor u otro aislante similar.
- Las tuberías de líquido deberán aislarse con aislamiento de 1/2” (1,27 cms.) de espesor.
- El aislamiento ubicado en ambientes al aire libre debe ser protegido de la exposición de los rayos ultravioleta para prevenir el deterioro del aislante estimado.
- La bomba de vacío debe ser operada hasta alcanzar una presión de 500 micrones de presión absoluta, en ese momento el vacío deberá romperse con el refrigerante a emplear en el sistema a través de un filtro deshidratador hasta una presión arriba de 0 Psi.
- Es necesario abrir las válvulas de servicio del compresor y evacue todo el sistema a 500 micrones de presión absoluta.

2.2.3.1. Importancia de aislamiento

- Las tuberías que transportan refrigerantes se aíslan para minimizar las pérdidas de calor no intencionadas.
- Las pérdidas de calor enfriarán el fluido calentando a la vez la habitación en la que se encuentre ubicada la tubería.
- Las tuberías se aíslan con el fin de no calentar el medio y para impedir la condensación en la tubería.

- El aislamiento garantiza que la temperatura externa de la superficie del aislamiento es mayor que la temperatura del punto de condensación.
- Las tuberías de refrigerante deben estar aisladas para evitar la posibilidad de condensaciones superficiales.
- En el caso de tuberías de refrigerante que circulen por ambientes con altos contenidos de humedad se deberá asegurar que no se produzcan condensaciones con el espesor de aislamiento.

2.2.3.2. Tipos de aislamiento

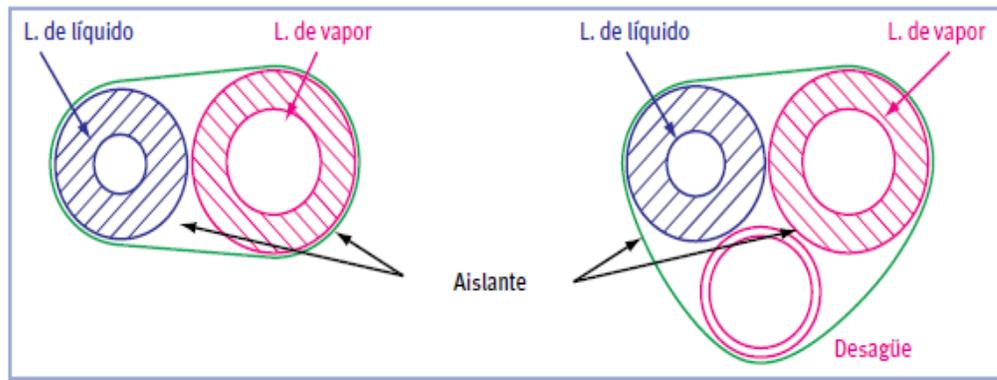
El aislamiento de tuberías de refrigeración es indispensable para evitar pérdidas de capacidad del sistema y en la tubería de succión para evitar condensaciones, a continuación, se detallan los diferentes tipos de aislamiento.

2.2.3.2.1. Aislamiento térmico en las líneas de refrigerante

En instalaciones, las tuberías de refrigerante deben aislarse: En ciclo de frío, la línea de vapor (aspiración del compresor) está entre 0 y 5°C y si no se aísla la tubería y los accesorios aparecerán condensaciones.

La línea de líquido está a temperatura similar al ambiente y no sería necesario aislarla. En ciclo de calor, la línea de vapor (impulsión del compresor), está a más de 40°C y debe aislarse.

Figura 6. **Aislamiento en líneas de refrigerante**



Fuente. elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

2.2.3.2.2. **Aislamiento térmico de los conductos**

Las redes de distribución de aire de los circuitos de climatización con aire suelen trabajar en el siguiente rango de temperaturas (depende de la localidad):

- Invierno: aire caliente climatización: 35 a 45°. Aire ventilación: 0°C
- Verano: fluido frío climatización: 12 a 16°C. Aire ventilación 35°C

2.3. **Buenas prácticas para la conservación de la energía**

Uno de los retos en las instalaciones de refrigeración es la eficiencia energética para lo cual se debe poner atención en los sistemas de control.

2.3.1. **Sistema eléctrico y de control**

El sistema de refrigeración tiene cuatro dispositivos principales.

Los dispositivos en cuestión son:

- Compresor
- Condensador
- Evaporador
- Válvula termostática de expansión.

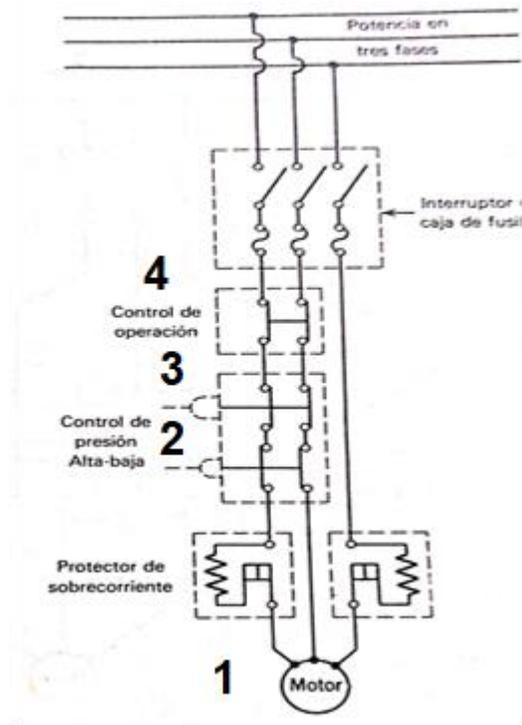
El compresor extrae vapor del evaporador, reduciendo la presión del líquido refrigerante. El calor circula desde los objetos más caliente hasta el líquido refrigerante. La reducción de la presión en el líquido produce evaporación, la que da como resultado la extracción de calor del líquido, suficiente para absorber más calor de los objetos más calientes. El vapor refrigerante extraído del evaporador se comprime en vapor a alta presión y se fuerza en el condensador.

El vapor condensado a líquido por acción de la elevada presión, entrega su calor a la atmosfera más fría que lo rodea. El líquido refrigerante condensado, se fuerza luego en el tubo capilar (o serpentín) por la presión que crea el compresor.

2.3.1.1. Circuitos de control

Un circuito de control es un circuito eléctrico que controla algunas corrientes mayores en el sistema. Si todos los componentes de control se conectan en el circuito en serie, la abertura de cualquier interruptor del componente abrirá el circuito y detendrá la carga eléctrica. Como se muestra en el circuito de la figura 7 (Los símbolos L1 y L2, representan la fuente del voltaje, la fuente de energía)

Figura 7. **Circuito de control**



En donde cada elemento de la figura se identifica como sigue:

1. Motor eléctrico
2. Interruptor de alta presión
3. Interruptor de baja presión
4. Control de operación

Fuente: DOSSAT, Roy J. *Principios de refrigeración*. p.547.

Para los circuitos de control utilizados en los estantes y sistemas de refrigeración comerciales, es necesario realizar lo siguiente para una buena conservación de la energía:

- Para Un transformador que incrementa o disminuye el voltaje, para el circuito de control es necesario obtener voltajes de 120 o 240 V. Estos controles de voltaje son diferentes a los circuitos de control de 240 V utilizados en los sistemas residenciales.
- Es necesario verificar el patrón de carga de voltaje, la carga de voltaje inaceptable puede haber abierto un circuito de control.

2.3.1.2. Circuitos de control para protección del sistema

La protección del sistema es indispensable para los centros de refrigeración. Es por ello que el circuito de control, en el sistema de expansión gestiona la entrada de refrigerante líquido al evaporador a la vez que intenta garantizar la salida de éste en forma de vapor. Es necesario garantizar la protección del sistema de acuerdo a los puntos siguientes:

- La utilización de restrictores y tubos capilares muy extendida en equipos de poca potencia frigorífica, da paso a las válvulas de expansión termostáticas en equipos de mayor capacidad.
- Verificar que el voltaje de control para el equipo que está fallando esté presente al inicio del circuito de control como el interruptor de encendido y apagado.
- Estar seguros de que el voltaje de control para el equipo que está fallando no esté presente al final del circuito de control.

2.3.1.3. Sistema de administración de energía

La utilización de sistemas de administración de energía debe tener un cuidado especial en las instalaciones para mantener una eficiencia energética adecuada, controlando los parámetros adecuados, realizando estrategias de ahorro energético.

2.3.1.3.1. Control de parámetros

Cuando trabaja con voltajes peligrosos, es necesario verificar La corriente alterna del sistema de refrigeración pues puede ser muy peligrosa. Entre los parámetros principales a tener en como importantes los siguientes:

- Voltaje entre líneas
- Corriente por fase
- Frecuencia
- Corriente de tierra
- Factor de potencia total, 3 fases
- Potencia reactiva total 3 fases
- Porcentaje de distorsión armónica de voltaje
- Porcentaje de distorsión armónica de corriente

Para un control de parámetros eléctricos en el sistema refrigerante la empresa Multiservicios Carrillo, se tomarán en cuenta las siguientes medidas de seguridad y prevención de riesgos:

- Desconectar la fuente de energía antes de trabajar con componentes y circuitos de sistemas refrigerantes.
- Asegurarse que la energía no pueda ser reestablecida sin previo aviso.

- Tomar en cuenta que una fuente peligrosa de tierra puede incluir: El marco de la unidad en la que se está trabajando y un cable tierra o neutral.
- Evitar dejar herramienta tirada.
- Interrumpir todo trabajo cuando se esté físicamente agotado o cansado.
- En los sistemas de tierra negativos, siempre conectar primero el cable positivo de la batería, antes de conectar el cable negativo. Esto evitará un corto circuito peligroso si se toca la llave con el suelo mientras se instala el cable positivo.

2.3.1.3.2. Control de capacidad

El coeficiente de rendimiento (COP), es una expresión de la eficiencia del ciclo y se define como la relación de calor absorbido en el espacio refrigerado a la energía térmica equivalente de la energía suministrada al compresor.

$$\text{COP} = \frac{\text{Efecto refrigerante}}{\text{Calor de compresión}}$$

Para el control de capacidad, es necesario tener en cuenta los siguientes indicadores, que llevarán a la conservación y buenas prácticas de la energía:

- En tres fases, el voltaje puede variar +/- 10 % sobre el voltaje de placa. En monofásico, el voltaje puede variar entre +10 % y -5 % respecto a los datos de la placa.
- El desbalanceo de fases no puede exceder del 2 %.
- Todos los circuitos de los interruptores de control y seguridad deben conectarse de acuerdo con lo especificado.
- Evitar que entre calor a muebles de refrigeración.

- Manejar niveles de temperatura lo más alto posible.
- Revisar frecuentemente el área de recirculación del aire.
- Nunca exponer muebles de refrigeración a fuentes de calor, en este caso, el sol.
- No exponer muebles de refrigeración a flujos de aire.
- Instalar muebles de refrigeración en grupos.
- Limpiar desagüe frecuentemente.
- Limpiar evaporadores y condensadores frecuentemente.
- Revisar presiones y cargas de refrigerante.
- Realizar mantenimiento preventivo.

2.3.1.3.3. Estrategias para el ahorro de energía

El ahorro en instalaciones de refrigeración trata de los métodos que las distintas tecnologías aportan para producir una cantidad de frío con el menor gasto posible. Utiliza los residuos energéticos que se generan y que hay que eliminar como subproductos útiles.

Es importante utilizar materiales con baja conductividad térmica la cual sea estable a lo largo del tiempo. Las paredes y techos deben tener colores claros para evitar la acumulación de calor en la masa del aislante. La situación de los recintos refrigerados en lugares que por la orografía del terreno estén en lugares frescos, que eviten la radiación directa del sol, que estén orientados al norte, así como la creación de ambientes frescos son factores que pueden reducir considerablemente las necesidades frigoríficas y por tanto energéticas.

- Funcionamiento eficiente de una instalación con refrigerantes

En el diseño de una instalación se debe tomar en cuenta que todo afecta a la instalación. Debe diseñarse la misma para permitir una continua demanda, la utilización de la máxima superficie de transmisión de calor y una utilización de compresores a su máxima eficiencia con el 100 %. En instalaciones ya en funcionamiento, puede ser necesario introducir ciertas modificaciones para aplicar estos conceptos con facilidad.

- Reducir las pérdidas por transporte

La ubicación relativa de máquinas donde se produce la compresión del vapor respecto a las cámaras de conservación es importante, porque el transporte de fluido refrigerante se traduce en una pérdida de carga en la aspiración, penalizando considerablemente el gasto energético.

- Reducir pérdidas de carga en aspiración

En los sistemas inundados, normalmente hay una válvula colocada a la salida del evaporador que regula la presión de evaporación para proteger el producto que se está enfriando. Para ello se pueden realizar tres tipos de control en el evaporador.

- Las válvulas más utilizadas suelen ser accionadas, lo cual significa que debe existir una pérdida de presión en la válvula para que pueda estar abierta, es necesario que exista una caída de presión debida al propio funcionamiento. La regulación de la temperatura de evaporación y del producto es muy buena, pero penaliza el consumo en el compresor y la bomba.

- Las válvulas motorizadas, podrán resolver el problema indicado de la pérdida de carga, pero sin embargo debido a la respuesta relativamente lenta de la válvula, las variaciones de presión en la aspiración se transmitan rápidamente al evaporador sin actuar sobre la válvula y eliminan parcialmente la protección del producto a enfriar.
 - Las válvulas neumáticas accionadas por gas de descarga y dependientes de la presión de evaporación, aunque de instalación compleja, tienen la gran ventaja de no penalizar el consumo, y tener una buena regulación de la temperatura de evaporación o del producto.
- Utilizar el calor del condensador

La utilización del calor del condensador de forma apropiada, requiere diseños especiales del circuito de instalación, en los cuales se suelen desviar una cantidad variable de los gases procedentes del compresor ó central de compresores, al lugar de utilización del calor. Posteriormente el líquido condensado retorna a la línea de líquido.

- Eliminar saltos térmicos innecesarios

El empleo de aceite es un inconveniente porque el efecto aislante aumenta las pérdidas considerablemente, de forma que con un 3,5 % de aceite circulando junto al refrigerante genera unas pérdidas de rendimiento del 8 %, y un 5 % de aceite las aumenta hasta más del 10 %. Para minimizar este efecto, se deberán instalar separadores de aceite de alta eficiencia a la salida del compresor.

- Respetar las condiciones de diseño

Las desviaciones por ajustes incorrectos o ligeras deficiencias en el mantenimiento provocan consumos de energía desproporcionados. Para respetar las condiciones de diseño, los ajustes que debe tener la planta, así como eliminar todos los contaminantes internos que perjudiquen el correcto funcionamiento.

3. FORMATOS Y ESPECIFICACIONES PARA AREA DE INSTALACIONES DE MULTISERVICIOS CARRILLO (FASE TÉCNICO-PROFESIONAL)

3.1. Procedimientos recomendados en la instalación

Para la realización de buenas prácticas en las instalaciones de refrigeración en la empresa Multiservicios Carrillo, se desarrollaron formatos que permitirán enfocarse en los adecuados procedimientos en las instalaciones.

3.1.1. Recomendaciones para casa de máquinas

- Los técnicos e instaladores de equipos de refrigeración y climatización deben conocer las características y desempeños de las tecnologías aplicadas en refrigeración.
- Se debe tener en cuenta que la mayoría de los refrigerantes y los de transición son del tipo zeotrópico, los técnicos se deben familiarizar con su comportamiento, evaluar su trabajo en los gráficos de presión-entalpía.
- Las casas de máquinas no se considerarán como locales a los efectos de establecer la carga máxima de refrigerante en las instalaciones frigoríficas.

- Tomar en cuenta que la cantidad máxima de refrigerante que puede ser almacenado en la casa de máquinas es el 20 % de la carga total de la instalación, con un máximo de 150 Kg.
- Es necesario que se mantenga siempre una ventilación adecuada en el área de trabajo de la maquinaria y ventilar bien la zona antes de intentar reparar el equipo.
- Establecer un calendario de mantenimiento preventivo y de verificación sistemática de fugas, que asegure la regularidad del examen y el servicio de la casa de máquinas.
- Verificar los parámetros operativos y el rendimiento de la maquinaria en uso, verificar las temperaturas, presiones de evaporación y condensación, y consumos eléctricos.
- Observar posibles vibraciones anormales del sistema (fricción entre tuberías y soportes).

3.1.1.1. Condiciones óptimas para la casa de máquinas

Uno de los elementos importantes en los sistemas de refrigeración es la casa de máquinas, por lo tanto, las condiciones óptimas deben tener un enfoque especial se debe verificar, que el equipo se encuentre nivelado, la ventilación sea adecuada, la tubería en el área tenga los soportes necesarios, el ingreso siempre se mantenga libre, una buena iluminación, área suficiente para ejecución de mantenimiento.

Figura 8. Formato de verificación de condiciones óptimas para la casa de máquinas

 <p>INDUSTRIALES CARRILLO Telefax: 2471-5926</p>	<h2 style="margin: 0;">MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC</h2> <p style="margin: 0;">DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.</p> <hr/> <h3 style="margin: 0;">INSTALACIÓN DE EQUIPOS</h3>																														
<u>INSTALACION DE EQUIPOS</u>																															
Nombre _____																															
Instalador de refrigeración _____																															
Fecha de entrega _____ Encargado _____																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">Sistemas Individuales</th> <th style="width: 15%;">Cantidad</th> <th style="width: 15%;">Marca</th> <th style="width: 35%;">Observaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Compresores</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condensadores</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maquinaria:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 2.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 3.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Sistemas Individuales	Cantidad	Marca	Observaciones	Compresores				Condensadores				Maquinaria:				1.				2.				3.			
Sistemas Individuales	Cantidad	Marca	Observaciones																												
Compresores																															
Condensadores																															
Maquinaria:																															
1.																															
2.																															
3.																															
Esquema cuarto de máquinas actual:																															

Continuación de la figura 8.



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Telefax: 2471-5926

Descripción de sistemas	Actua I	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> Factor de simultaneidad Capacidad refrigeración real Potencia frigorífica de refrigeración en compresores Potencia eléctrica compresores Manejo del sistema Factor eficiencia: regulador de revolución (25%), de capacidad (15%) Horas de operación ponderadas 	1	

Equipo y Maquinaria	SI	NO	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria en óptimas condiciones Señalización adecuada de maquinaria y equipo interruptores de ventiladores fuera y dentro de cada puerta del cuarto compresor Oxidación o corrosión de tuberías Equipo de protección adecuado para trabajadores 			

Descripción del procedimiento de emergencias: _____

Continuación de la figura 8.

 Telefax: 2471-5926	MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC
	DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.
INSTALACIÓN DE EQUIPOS	

- SISTEMA DE DUCTERIA (Si aplica)**
Marca de soporte _____
Reciclada SI NO
Tipo de soporte _____

Sellos entre paso de muros y cubiertas SI NO
Sellos entre uniones de ducto SI NO
- INSTALACIÓN DE AIRES ACONDICIONADOS**
Tipo de soporte _____

Soportes con pintura anticorrosiva SI NO
Protección eléctrica del equipo _____

Fuente. elaboración propia.

3.1.1.2. Verificación de generación de ruido

La generación de ruido tiene un tratamiento especial para el cumplimiento de normativas, el formato valida que el ruido cumpla con estas normas.

Figura 9. Formato de verificación de generación de ruido



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

GENERACIÓN DE RUIDO

INFORMACIÓN GENERAL

Empresa _____ Dirección _____

Trabajadores: Planta: _____ Oficina: _____ Total: _____

Turnos y horarios de trabajo: 1ro: _____ 2do: _____ 3ro: _____

Dependencia operación	No.de trabajadores Expuestos			Horas al día exposición	No. de fuentes		Ciclos de exposición			
	Total	Directos	indirectos		Primaria	Secundaria	Total	Parcial	Transitoria	

Resumen del proceso: _____

Continuación de la figura 9.

 Telefax: 2471-5926	MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.
	GENERACIÓN DE RUIDO

• **CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO**

Marca: _____ Tipo: _____ Modelo: _____

Cumple con Norma ISO: _____ Otra: _____

Tipo de micrófono: _____

Calibración:

Eléctrica: _____ **Acústica:** _____ **Lugar y fecha:** _____

Temperatura ambiente: _____ °C **Presión:** _____ mm Hg

Correcciones por : Temperatura: _____ Presión: _____

Esquema de secciones con localización de fuentes generadoras:

Continuación de la figura 9.



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

GENERACIÓN DE RUIDO

Telefax: 2471-5926

MEDICIONES NIVELES DE RUIDO														
Operación	NIVEL DE RUIDO dB(A)		Trabajadores expuestos		Horas		Análisis de Frecuencia							
	Mínimo	Máximo	Directos	Indirectos	Exposición	Permitido	63	125	250	600	1K	2K	4K	8K

Observaciones: _____

Responsable: _____

Fuente. elaboración propia.

3.1.2. Recepción de equipos

Indispensable tener un control en la recepción de los diferentes equipos de refrigeración desde su ingreso para su instalación, para evitar riesgos futuros de fugas o averías en la operación del sistema de refrigeración.

3.1.2.1. Recepción y control de calidad de equipos

El formato para recepción y control de calidad es una herramienta que garantiza una buena instalación en los sistemas de refrigeración.

Figura 10. Formato de recepción y control de calidad de los equipos



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

CONDICIONES ADECUADAS DE LOS EQUIPOS

RECEPCIÓN DE EQUIPOS

Máquina - Equipo		Marca		Código	
Serie No.		Modelo		Tipo	
Ubicación		Sección		Fecha de recepción	
Fabricante		Dirección		Teléfono	

Nombre del encargado: _____

CARACTERISTICAS GENERALES

Peso: _____ Altura: _____ Ancho: _____ Largo: _____

Capacidad de trabajo: _____

Continuación de la figura 10.



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

CONDICIONES ADECUADAS DE LOS EQUIPOS

Telefax: 2471-5926

EQUIPO-HERRAMIENTAS-ACCESORIOS					
Elemento	Marca	Referencia	Cantidad	Observaciones	
Interruptor de gatillo Botón de encendido Traba del eje Guarda Mango lateral					
Motores eléctricos		Características Técnicas			
Ubicación	Marca	Potencia HP	Voltaje	Amperaje	Revolución
Lubricación	Mecanismo	Marca	Referencia	Cantidad	
Características técnicas: _____ _____ _____					

Fuente. elaboración propia.

3.1.3. Tuberías para instalación

Uno de los elementos necesarios en las instalaciones de refrigeración que deben tener un control de calidad adecuado son las tuberías.

3.1.3.1. Control de calidad de tubería especificada

En el control de calidad para el tendido de tuberías, el formato adecuado garantiza que sean aplicados los elementos de acuerdo a especificaciones.

Figura 11. Formato de control calidad de tubería especificada

 <p>Telefax: 2471-5926</p>	MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD. VERIFICACIÓN DE TUBERÍA ESPECIFICADA
<u>FORMACIÓN GENERAL</u>	
Nombre de Instalador _____	
Fecha de entrega _____ Encargado _____	
INSTALACIÓN DE TUBERÍA	
Marca de tubería MUELLER SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> _____	
Varilla de plata utilizada en la soldaduras al ____ % de plata.	
Utilización nitrógeno SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Prueba de vacío SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Cuántos micrones _____	
Carga del gas refrigerante. Tipo _____ Libras _____	

Continuación de la figura 11.

 <p>INDUSTRIALES SERVICIOS CARRILLO Telefax: 2471-5926</p>	<h2>MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC</h2> <p>DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.</p> <h3>VERIFICACIÓN DE TUBERÍA ESPECIFICADA</h3>
Utilización de Sifón en puntos de aplicación SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Tubería instalada de acuerdo a planos proporcionados SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Especifique: _____ _____	
Marca AMAFLEX _____	
Baja Diam 1" SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	_____
Media Diam ¾" SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	_____
Utilización de Foam Tape SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	_____
Carga del gas refrigerante. Tipo _____ Libras _____	
Corte de Armaflex para los codos SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
SOPORTERIA	
Tipo, especifique: _____ _____	
Utilización de acuerdo a detalle, forro, PVC, cinchos plásticos SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.2. Cuidados para evitar contaminación de tuberías

La contaminación en tuberías puede provocar daños graves en operación y eficiencia de los sistemas, la aplicación de un formato de control es necesario.

Figura 12. Formato de cuidados para evitar contaminación de tuberías

 Telefax: 2471-5926	<h2 style="margin: 0;">MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC</h2> <p style="margin: 0; font-size: small;">DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.</p> <hr/> <h3 style="margin: 0;">CONTAMINACIÓN DE TUBERÍAS</h3>																		
<u>INFORMACIÓN GENERAL</u>																			
Nombre de Instalador _____																			
Fecha de entrega _____	Encargado _____																		
<p>CUIDADOS CONTAMINACIÓN</p> <p>Utilización de tubería tipo K ó L SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería sellada correctamente SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>Soldadura en tuberías adecuado SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>Fundente al mínimo requerido SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>																			
DETECCIÓN DE FUGAS																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Presurización</th> <th colspan="4" style="text-align: center;">Horas de verificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">150 Psig.</td> <td style="width: 15%;">>150 Psig.</td> <td style="width: 15%;">Potencia HP</td> <td style="width: 15%;">10 horas</td> <td style="width: 15%;">12 horas</td> <td style="width: 20%;">Observaciones</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Presurización		Horas de verificación				150 Psig.	>150 Psig.	Potencia HP	10 horas	12 horas	Observaciones						
Presurización		Horas de verificación																	
150 Psig.	>150 Psig.	Potencia HP	10 horas	12 horas	Observaciones														

Fuente. elaboración propia.

3.1.3.3. Especificaciones para soportes de tuberías

El uso adecuado de soportes de tuberías reduce riesgos de fugas de refrigerante por vibraciones, el seguimiento y control de su aplicación en instalaciones es importante.

Figura 13. Formato de soportes de tuberías

 <p>Telefax: 2471-5926</p>	<p>MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC</p> <p>DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.</p> <hr/> <p>SUJECIÓN DE TUBERÍAS</p>			
<u>INFORMACIÓN GENERAL</u>				
Nombre _____				
Encargado verificación _____				
VERIFICACIÓN SUJECIÓN				
Elemento	SI	NO	Observaciones	
Sujeción correcta de tubería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Detección de vibración de tubería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Agregación de apoyos por vibración de tuberías	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
DISTANCIAS DE SUJECIÓN				
Tipo de tubería	Distancia requerida			Observaciones
• 3/8" a 7/8"	5 Pies (152 cm)	SI	NO	
• 1-1/8" y 1-3/8"	7 Pes (213 cm)	SI	NO	
• 1-5/8" y 2-1/8"	9 a 10 pies (274 a 305 cm)	SI	NO	

Fuente. elaboración propia.

3.1.3.4. Control de calidad de aislantes de tuberías

La instalación de aislamiento en refrigeración evita condensación en las tuberías y por lo tanto la pérdida de eficiencia en operación, por tal razón debe ser aplicado un control de calidad con el formato adecuado.

Figura 14. Formato de control de calidad de aislantes de tuberías

 <p>Telefax: 2471-5926</p>	MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.
 AISLAMIENTO DE TUBERÍAS 	
 <u>INFORMACIÓN GENERAL</u> 	
Nombre de Instalador del sistema _____	
Fecha de entrega _____ Encargado _____	
 CHEQUEO DE AISLAMIENTO 	
Revisión de aislamiento en toda la tubería SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Si es NO, especifique: _____	
Aislamiento de válvulas EPR SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Se detecta "Flasheo" del refrigerante SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Especifique: _____	
Calentamiento de la habitación a causa de la tubería SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	

Fuente. elaboración propia.

3.1.3.5. Instalación correcta de aislamiento

El aislamiento no solamente debe ser el adecuado, debe tener una correcta instalación sobre todo en cortes para aislamiento de trampas de aceite y codos.

Figura 15. Formato de instalación correcta de aislamiento



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

VERIFICACIÓN DE AISLAMIENTO CORRECTO

INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de Instalador de Sistema _____

Fecha de verificación _____

TEMPERATURA AISLAMIENTO

Aislamiento térmico	0 y 5°C		Aislamiento utilizado	Observaciones
Ciclo de frío- línea de vapor	SI	NO		
	Temperatura ambiente		Aislamiento utilizado	Observaciones
Ciclo de línea de líquido	SI	NO		
	>40°C		Aislamiento utilizado	Observaciones
Ciclo de calor- línea de vapor	SI	NO		

Recomendaciones _____

Fuente. elaboración propia.

3.1.3.6. Verificación de presurización de sistema

La Presurización de sistema garantiza que la instalación se encuentra libre de fugas, su realización debe ser de forma correcta y con un estricto control.

Figura 16. Formato de verificación de presurización de sistema

 <p>Telefax: 2471-5926</p>	<p>MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC</p> <p>DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.</p> <hr/> <p><i>PRESURIZACIÓN DEL SISTEMA</i></p>																						
<u>INFORMACIÓN GENERAL</u>																							
Empresa _____ Dirección _____ Ingeniero: _____ Técnico: _____																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tramo</th> <th rowspan="2">Tipo de tubería</th> <th rowspan="2">Longitud del tramo (m)</th> <th rowspan="2">Presión de prueba</th> <th rowspan="2">Tiempo de prueba (horas)</th> <th rowspan="2">Presión de prueba</th> <th colspan="2">perdida de presión</th> </tr> <tr> <th>Inicial</th> <th>Final</th> <th>Si</th> <th>No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Tramo		Tipo de tubería	Longitud del tramo (m)	Presión de prueba	Tiempo de prueba (horas)	Presión de prueba	perdida de presión		Inicial	Final	Si	No									
Tramo		Tipo de tubería	Longitud del tramo (m)						Presión de prueba	Tiempo de prueba (horas)	Presión de prueba	perdida de presión											
Inicial	Final			Si	No																		
Resumen del proceso: _____ _____ _____																							

Fuente. elaboración propia.

3.1.4. Arranque y balanceo de carga

Para la puesta en marcha o arranque de los sistemas de refrigeración se requiere ejecutar tres procedimientos

1. Evacuación o vacío.
2. Programación de parámetros de operación.
3. Estrategias para ahorro de energía.

La correcta ejecución de los pasos anteriores y el uso adecuado de los formatos adecuados garantizan una buena operación y eficiencia energética de los sistemas, la aplicación en la empresa Multiservicios carrillo de los formatos es un reto para la realización de instalaciones con buenas prácticas.

3.1.4.1. Verificación de evacuación (vacío)

El vacío bien realizado en las instalaciones de refrigeración evita tener presencia de humedad en el sistema uno de los problemas mas comunes y que producen una mala operación, la reducción de la eficiencia y la causa de una gran serie de averías en operación del sistema de refrigeración.

Para evitar que el sistema contenga humedad, se necesita tener en toda instalación un seguimiento adecuado de la ejecución de la evacuación, para tal efecto se ha realizado el formato de seguimiento.

Figura 17. Formato para verificación de evacuación (vacío)



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

SISTEMA EVACUACIÓN-VACÍO

INFORMACIÓN GENERAL

Empresa _____ Dirección _____

Ingeniero: _____

Técnico: _____

Vacuo-metro electrónico: _____

Primer vacío (500 micrones)	Segundo vacío (250 micrones)	Tercer vacío (250 Micrones)		Bulbos de válvulas de expansión		Cumple con la evacuación-vacío	
		10 horas	Más de 10 horas	Con abrazadera	Con tornillos	Si cumple	No cumple

Rompe el segundo vacío con nitrógeno y refrigerante SI NO

Verificación de la instalación de filtros de succión y líquido, tercer vacío SI NO

Observaciones: _____

Fuente. elaboración propia.

3.1.4.3. Estrategias para ahorro de energía

Para un control y una reducción de la energía consumida por los sistemas de refrigeración se requiere implementar las estrategias de ahorro adecuadas, esto se realiza con un adecuado formato de seguimiento.

Figura 19. Formato para estrategias de ahorro de energía

 MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD. COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Telefax: 2471-5926		
Descripción de sistemas		
	P1	P2
Concepción del Sistema		
Descripción técnica		
Datos base para proyectar el sistema de refrigeración		
Temperatura de ambiente (max)	+45 °C	+45 °C
Temperatura de condensación tc-max. (día)	+60 °C	+60 °C
Temperatura de condensación tc-min. (noche)	+35 °C	+35 °C
Temperatura de condensación media tc-med.	+48 °C	+48 °C
Temperatura de condensación aplicada en cálculos de oferta	+48 °C	+48 °C

Fuente. elaboración propia.

Continuación de la figura 19.



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC
DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Telefax: 2471-5926

Refrigeración Media (RM)		
Temperatura de Vaporización	-6	-6 °C
Total capacidad de refrigeración según evaporadores	100,0 kWth	
Factor de simultaneidad	1,00	
Total capacidad de refrigeración real	100,0 kWth	
Horas de operación ponderadas (refrigeración media)	5.000 h/a	5.000 h/a
Demanda frigorífica anual	500.000 kWhth/a	500.000 kWhth/a
Potencia eléctrica compresores	50 kWel	45 kWel
Energy Efficiency Ratio (EER), promedio ponderado	2,00	2,22
Manejo del Sistema	Regulador	Regulador
Factor eficiencia: regulador de revolución (25%), de capacidad (15%)	25%	25%
EER mejorado: regulador de revolución (25%), de capacidad (15%)	2,50	2,78
Consumo anual de electricidad estimado	200.000 kWh/a	180.000 kWh/a
Ahorros energéticos anuales (refrigeración media)		20.000 kWh/a
Refrigeración Baja (RB)		
Temperatura de Vaporización	-28 °C	-28 °C
Total capacidad de refrigeración según evaporadores	17,0 kWth	
Factor de simultaneidad	1,00	
Total capacidad de refrigeración real	17,0 kWth	
Horas de operación ponderadas (refrigeración media)	6.500 h/a	6.500 h/a
Demanda frigorífica anual	110.500 kWhth/a	110.500 kWhth/a
Potencia eléctrica compresores	20 kWel	15 kWel
Energy Efficiency Ratio (EER), promedio ponderado	0,85	1,13
Manejo del Sistema	Regulador	Regulador
Factor eficiencia: regulador de revolución (25%), de capacidad (15%)	25%	25%
EER mejorado: regulador de revolución (25%), de capacidad (15%)	1,06	1,42

Continuación de la figura 19.



MULTI SERVICIOS CARRILLO MSC

DE TODO EN INSTALACIONES MECÁNICAS, REFRIGERACIÓN,
AIRE ACONDICIONADO Y ELECTRICIDAD.

COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Telefax: 2471-5926

RESULTADO AHORRO ENERGÉTICO EMPRESA CARRILLO		
Consumo anual de electricidad estimado	104.000 kWh/a	78.000 kWh/a
Ahorros energéticos anuales (refrigeración media)		26.000 kWh/a

Resumen energético/económico		
Consumo electrico anual (total)	304.000,00 kWh/a	258.000,00 kWh/a
Potenciales ahorros energéticos (refrigeración media)		20.000,00 kWh/a
Potenciales ahorros energéticos (refrigeración baja)		26.000,00 kWh/a
Total de ahorros energéticos		46.000,00 kWh/a
Ahorros en %		15%
Ahorros económicos por año		Q82 800,00

Precio anual de electricidad	Q1,8
------------------------------	------

Inversión	Q100,000	Q150,000
Costo especifico por kWh térmico	0,0163800163800164	0,024570024570024

Fuente. elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El presente manual de instalaciones para sistemas de refrigeración aplicable para montaje de cuartos fríos para la empresa Multiservicios Carrillo, teniendo como priorización para su aplicación las buenas prácticas de instalaciones para tener una producción más limpia en el ambiente.
2. Se ha determinado que la supervisión y diseño en los sistemas de refrigeración es de suma importancia para el buen funcionamiento de los equipos, se deben seguir todas las especificaciones y recomendaciones del fabricante de los diferentes componentes de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Hay que seleccionarlos adecuadamente, según la aplicación, para lograr su finalidad primordial, que es mantener la seguridad de los trabajadores y técnicos de instalación.
3. El manual de refrigeración fue basado en la primicia de estudio e investigación en los diferentes componentes y accesorios para protección y control de flujo de los sistemas, así como obtener y proporcionar un conocimiento a fondo de una manera detallada las propiedades y características de los refrigerantes.

4. Se supervisó el trabajo y los procesos para el desarrollo del manual, en donde se ha incluido la información técnica más actualizada, debido a las constantes verificaciones de los procesos y reuniones con el equipo, cuyos aportes de conocimientos y experiencias se ha logrado el material óptimo de seguimiento en la refrigeración y aire acondicionado de la empresa Multiservicios Carrillo.

5. Se logró de forma satisfactoria el plan de mejoramiento de la empresa, el manual identifica, detalla el conocimiento y la aplicación para que sea más útil al medio de refrigeración y aire acondicionado, logrando la competitividad de la empresa.

RECOMENDACIONES

1. Si la Gerencia General de la empresa “Multiservicios Carrillo” desea adoptar el manual de refrigeración, debe valorar la presente actualización de la información relacionada a los efectos ambientales de las sustancias agotadoras de ozono, y aumentar la información de los nuevos refrigerantes alternativos que se comercializan en la región, porque es necesario brindar las diferentes opciones que tiene el departamento técnico para realizar una instalación de producción más limpia.
2. Es necesario que la supervisión técnica incentive la verificación constante de los equipos y de las instalaciones que la empresa tiene en su portafolio de mantenimiento preventivo, porque esto conllevará a obtener un mantenimiento efectivo de cualquier sistema de refrigeración mecánica.
3. La Gerencia General debe tomar en cuenta que en el manual de refrigeración es necesario para considerar las actualizaciones anuales de los requerimientos de los equipos, vida útil, costo de servicio, costo de mantenimiento, costo energético, equipos auxiliares e infraestructura, porque está sujeto a cambios y se debe de estar a mano con la tecnología.
4. Las reuniones mensuales con el departamento técnico involucrado son indispensables, indicando a cada uno de los involucrados las diferentes soluciones en el desarrollo de instalaciones de refrigeración, teniendo

como primicias la producción más limpia, los servicios a los equipos de refrigeración y la eficiencia energética

5. Es indispensable que la Gerencia General y la Gerencia Técnica de la empresa "Multiservicios Carrillo "coordine capacitaciones al personal y técnicos de refrigeración de forma continua y permanente. a través de planes que contengan fines, metas y objetivos precisos y claramente definidos. Se deben realizar reuniones periódicas, para poder evaluar el ambiente de seguridad por medio de cuestionarios y sesiones de grupo.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE Montenegro, DUBY Manuel, *Diferencias entre un equipo de aire acondicionado tipo paquete y un split y consideraciones para su elección*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 26 p.
2. BOHN, Frigus. *Manual de Instalación del Sistema de refrigeración*. Bohn de Mexico, S.A de C.V. noviembre 2008. 44 p.
3. BOTERO, Camilo. *Refrigeración y aire acondicionado*. 3a ed. Prentice Hall Hispano Americana, 2000. Tomo 1. 213 p.
4. CARRIER, air conditioning Company Co. *Manual de aire acondicionado*. (hand book of air conditioning system design). Marcombo Boixareu Editores. Barcelona España, 1980. 634 p.
5. CENGEL, Yunus A y BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 2003. 988 p.
6. COPELAND. *Manual de refrigeración, parte 5 instalación y servicio*. Sección 24. Propiedad literaria 1970 Copeland corporation.
7. DOSSAT, Roy. *Principios de refrigeración*. 7ª ed. Continental, 2003. 594 p.

8. EMERSON, Climate. *Manual técnico de refrigeración y aire acondicionado*. 284 p.
9. HERNÁNDEZ, Eduardo. *Calefacción y aire acondicionado*. 1a ed. Limusa, 2004. Tomo 1 y 2. 461 p.
10. JENNINGS, Burgess y LEWIS, Samuel. *Aire acondicionado y refrigeración*. 14a ed. México: Continental, 2000. 793 p.
11. LANG, Teresa. *Sustancias agotadoras de la capa de ozono para México*. Sermanat Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2015. 82 p.
12. MCQUISTON, Faye C., PARKER, Jerald D., SPITLER, Jeffrey D, *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Limusa. Grupo Noriega editores, 2003. 622 p.
13. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire principios y sistemas*. 4a ed. Limusa. México: Continental, 2006. 545 p.
14. TIPPENS, Paul E. *Física conceptos y aplicaciones*. 7a ed. McGraw-Hill, Interamericana Editores, México. 2011. 782 p.
15. WARK, Kenneth Jr. *Termodinámica*. 6a ed.. McGraw-Hill, Interamericana de España S.A.U. 2004. 1048 p.

ANEXOS

Anexo 1. Diámetros recomendados de las tuberías para R-134a

Capacidad del Sistema kcal/Hr	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE SUCCION (pulg)																	
	TEMPERATURA DE SUCCION																	
	4.4 °C						-1.1 °C						-6.7 °C					
	Longitud Equivalente (m.)						Longitud Equivalente (m.)						Longitud Equivalente (m.)					
	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96
252	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
756	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8
1008	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8
1512	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8
2288	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8
3024	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
3778	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
4534	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
6048	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
7557	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8
9072	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
10579	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
12096	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
13802	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8
15120	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
16625	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
18144	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
19647	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
21159	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
22670	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
30240	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
37783	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
45360	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8
52897	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8
60480	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8
75600	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8
90720	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8
120960	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8
151200	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8

Continuación del anexo 1.

DIAMETRO DE LA LINEA DE SUCCION												DIAMETRO DE LA LINEA DE LIQUIDO						Capacidad del sistema kcal/Hr
TEMPERATURA DE SUCCION																		
-12.2 °C						-17.8 °C						Longitudes Equivalentes del Recibidor a la Válvula de Expansión						
Longitud Equivalente (m.)						Longitud Equivalente (m.)												
7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	
3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	252
1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1 1/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	756
5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1008
5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1512
7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	2268
7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3024
7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3778
1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	4534
1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	6048
1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	7557
1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	9072
1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	10579
1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	12096
1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	13802
1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	15120
1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	16625
1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	18144
1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	19647
1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	21159
1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	22670
2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	30240
2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	37783
2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	45360
2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	52897
2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	60480
2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	75600
2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	90720
3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	120960
3 1/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	5 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	151200

Fuente:BOHN, Frigus. *Manual de instalación del sistema de refrigeración.* p.16.

Anexo 2. Diámetros recomendados de las tuberías para R-22

Capacidad del Sistema kcal/Hr	DIAMETRO DE LA LINEA DE SUCCION (pulg)																						
	TEMPERATURA DE SUCCION																						
	4.4 °C Longitud Equivalente (m.)						-6.7 °C Longitud Equivalente (m.)						-12.2 °C Longitud Equivalente (m.)						-17.8 °C Longitud				
	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86		
252	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8		
756	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2		
1008	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8		
1512	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	5/8	5/8	5/8		
2268	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8		
3024	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8		
3778	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	
4534	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	
6048	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	
7557	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8
9072	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
10579	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
12096	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
13602	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8
15120	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8
16625	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
18144	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
19647	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
21159	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
22670	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
30240	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
37783	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
45360	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
52897	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
60480	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
75600	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
90720	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
120960	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8
151200	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8

Continuación del anexo 2.

DIAMETRO DE LA LINEA DE SUCCION															DIAMETRO DE LA LINEA DE LIQUIDO						Capacidad del sistema kcal/Hr
TEMPERATURA DE SUCCION															Longitudes Equivalentes del Recibidor a la Válvula de Expansión						
-17.8 °C Equivalente (m.)			-23.3 °C Longitud Equivalente (m.)						-28.9 °F Longitud Equivalente (m.)												
30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	
3/8	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	252
5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	756
5/8	5/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1008
5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1512
7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	2268
7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3024
7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3778
1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	4534
1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	6048
1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	7557
1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	9072
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	10579
1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	12096
1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	13602
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	15120
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	16625
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	18144
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	19647
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	21159
2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	22670
2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	30240
2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	37783
2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	45360
2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	52897
2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	60480
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	75600
3 1/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	90720
3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	120960
3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	151200

Fuente: BOHN, Frigus. *Manual de instalación del sistema de refrigeración.* p.18.

Anexo 3. Diámetros recomendados de las tuberías para R-404a R-507

Capacidad del sistema kcal/Hr	DIAMETRO DE LA LINEA DE SUCCION (pulg.)																					
	TEMPERATURA DE SUCCION																					
	-6.7 ° C						-12.2 ° C						-23.3 ° C						-28.9 ° C			
	Longitud Equivalente (m.)						Longitud Equivalente (m.)						Longitud Equivalente (m.)						Longitud			
	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	
252	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2	
756	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	1/2	1/2	5/8	
1008	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	
1512	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	
2268	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	
3024	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	
3778	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	
4534	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	
6048	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	
7557	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	
9072	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	
10579	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	
12096	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	
13602	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	
15120	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	
16625	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	
18144	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	
19647	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	
21159	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	
22670	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	
30240	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	
37783	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	
45360	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	
52897	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	
60480	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	
75600	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	
90720	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	
120960	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	
151200	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	

Continuación del anexo 3.

DIAMETRO DE LA LINEA DE SUCCION															DIAMETRO DE LA LINEA DE LIQUIDO						Capacidad del sistema kcal/Hr
TEMPERATURA DE SUCCION															Longitudes Equivalentes del Recibidor a la Válvula de Expansión						
-28.9 °C Equivalente (m.)			-34.4 °C Longitud Equivalente (m.)						-40 °C Longitud Equivalente (m.)												
30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	7.62	15.24	22.86	30.48	45.72	60.96	
1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	252
5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	756
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1008
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1512
7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	2268
1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3024
1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	3778
1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	4534
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	6048
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	7557
1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	9072
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	10579
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	12096
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	13602
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	15120
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	16625
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	18144
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	19647
2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	21159
2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	22670
2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	30240
2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	37783
2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	45360
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	52897
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	60480
3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	75600
3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	90720
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	120960
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	15/8	1 5/8	1 5/8	151200

Fuente: BOHN, Frigus. *Manual de instalación del sistema de refrigeración.* p.20.