



**Universidad
Tecnológica de Bolívar**
CARTAGENA DE INDIAS

Indufrial
...Tu frío ideal
...Tu frío seguro

EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL



**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA
MINOR EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

ORLANDO MÉNDEZ SIBAJA
2.009

Fotografía de la portada: Instalaciones del Laboratorio de Ensayos de Equipos de Refrigeración Comercial de **INDUFRIAL S.A.**

Cartagena de Indias - Colombia.



**EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS
DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

MINOR EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2.009



**EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS
DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO ACADÉMICO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

DIRECTOR

PhD. LEONEL MARTÍNEZ DÍAZ

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

MINOR EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2.009

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C., Marzo 25 de 2.009

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Cordial Saludo:

Por medio de la presente, me permito someter a su consideración la monografía titulada **“EXPLORACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL”**, para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**.

Cordialmente,

ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA

T00013589

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C., Marzo 25 de 2.009

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Respetados señores:

A través de la presente, me permito informar que la monografía titulada **“EXPLORACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL”**, fue desarrollada bajo mi supervisión y realizada por el estudiante **ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA** con **C.C. 1.128'045.833 de Cartagena**, para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**, en la cual me desempeñe cumpliendo la función de director y asesor del proyecto, cumple con los objetivos establecidos.

Atentamente,

LEONEL MARTÍNEZ DÍAZ

PhD. En Ciencias Técnicas

Programa de Ingeniería Mecánica

Universidad de Cien Fuegos – Cuba

Director de la Monografía

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa de mi vida, nuevamente doy gracias infinitas a mi **DIOS**, por todas las bendiciones que derramó sobre mí durante todo este tiempo dedicado a mi formación profesional. Gracias **PADRE SANTO** por permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios, por conservarme con vida y salud, por ser mi guía, mi fuente de sabiduría, mi fortaleza, por darme la inteligencia y la responsabilidad con la cual lleve a cabo todas mis obligaciones y por no dejarme desfallecer a pesar de las dificultades.

Gracias a mi vieja "**LUCY**" & a mi viejo "**ORLANDO**", porque gracias a su inmenso amor y a su apoyo incondicional, he llegado a realizar unos de los anhelos más grandes de la vida, fruto del cariño y la confianza que en mí depositaron y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales, que constituyen el mayor legado que pudiera recibir. Por todos sus sacrificios y por todo el esfuerzo, por mis principios éticos y morales, por mi educación, por su dedicación, y por ser partícipe de sus alegrías, por creer en mis sueños y por estar junto a mí, les viviré eternamente agradecido.

Como testimonio de cariño y eterna admiración, gracias también doy a mis hermanos, **ARLETH, MAURICIO & MARINELLA**, por el apoyo moral y la confianza infundida en mí, por mostrarme como hermanos mayores el valor que tiene el cumplir con responsabilidad todas las tareas de la vida, y el sacrificio que representa el hacer realidad un sueño.

Agradezco también a mis sobrinos, **CAMILO, JESÚS, MARTÍN, DANIELA & JORGE**, por encontrar en mí, su guía y su complemento a todas sus inquietudes, por permitirme ser en el comienzo de sus vidas, un ejemplo a seguir.

Al amor de mi vida, **JANIRÉE**, quien desde un comienzo me inspiró a continuar mi formación, proyectando mis estudios en la idealización de nuestro futuro. A ti mi **MUÑECA**, también doy gracias por tu incondicional apoyo y por tu inmenso **AMOR**.

Gracias le doy también, a mi tío “**ARMANDITO**”, por sus consejos y por sus ideas, por dejar un recuerdo de su forma de ser en mí. Gracias te doy, porque desde que te fuiste, has derramado muchas bendiciones sobre mí, por acompañarme y atender mis oraciones, por iluminarme en los momentos más difíciles y por llenar de gloria cada uno de los momentos de mi vida.

Quiero expresar sinceros agradecimientos a mi amigo y director de Monografía, **Dr. LEONEL MARTÍNEZ DÍAZ**, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad, talento y experiencia científica, profesional y humana, en el desarrollo de este proyecto, el cual convertimos en monografía.

Agradezco también, a todo el personal de **INDUFRIAL S.A.** que fue partícipe de este importante proyecto, por su especial colaboración y sus valiosos aportes en cuanto a conocimiento e información en el manejo de los procesos de fabricación, funcionamiento y mantenimiento de equipos de refrigeración comercial.

Gracias a **MI UNIVERSIDAD, LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**, por inculcar en mí, a través de todos mis maestros, los conocimientos, la ética, la dedicación, el sentido de pertenencia, la amistad y todos los valores que hacen hoy de mi, un excelente profesional con una gran calidad humana.

Muchas gracias a todos mis familiares, amigos y compañeros, por su permanente disposición y desinteresada colaboración, por su incondicional apoyo y por su continuo estímulo.

Gracias **DIOS MIO** por todas estas personas, Bendícelos, llénalos de Vida, Salud y mucha Prosperidad. Gracias a todos, por enseñarme que a través de la perseverancia, el esfuerzo, la dedicación y el amor para realizar todo en la vida, encontramos el camino para lograr nuestras metas, nuestros sueños y todos nuestros objetivos.

¡¡¡UN MILLÓN DE GRACIAS!!!

ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA

AUTORIZACIÓN

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C., Marzo 25 de 2.009

Yo, **ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA**, con **C.C. 1.128'045.833** de **Cartagena**, de la manera más cordial, autorizo a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR** para hacer uso de mi trabajo de grado titulado: **“EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LABORATORIOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL”**, y publicarlo en el catalogo **ON-LINE** del **CENTRO CULTURAL y BIBLIOTECA LUÍS ENRIQUE BORJA BARÓN**.

Cordialmente,

ORLANDO JOSÉ MÉNDEZ SIBAJA

T00013589

TABLA DE CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I. EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.	19
1.1. Concepto de refrigeración	19
1.2. Refrigeración por compresión mecánica	20
1.2.1. Diagrama de Mollier.	23
1.2.1.1. Análisis del diagrama.	25
1.2.2. Ciclo mecánico de refrigeración.	27
1.2.3. Relación ciclo mecánico de refrigeración y el diag.de Mollier.	32
1.3. Refrigerantes.	34
1.3.1. Propiedades de los refrigerantes.	34
1.3.2. Selección del refrigerante.	35
1.3.3. Refrigerantes más comunes.	36
1.4. Refrigeración comercial.	38
1.5. Características de componentes de los equipos de refrigeración.	41
1.5.1. Compresores.	41
1.5.2. Evaporadores.	42
1.5.3. Condensadores.	43
1.5.4. Dispositivos de expansión.	44
1.5.5. Sistema de refrigeración.	44
1.5.6. Carga térmica.	45
1.6. Sistemas de refrigeración de equipos fabricados por INDUFRIAL S.A.	46
1.6.1. Temperaturas y presiones de trabajo.	48
1.6.2. Otros componentes del circuito eléctrico.	51
1.7. Diagnóstico de fallas y reparaciones.	52

1.8. Mantenimiento.	63
1.8.1. Tipos de mantenimiento.	63
1.8.2. Mantenimiento de sistemas de refrigeración.	64
1.8.2.1. Consideraciones sobre instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración .	64
1.8.2.2. Inspección periódica y mantenimiento preventivo.	66
1.8.2.3. Sustitución de componentes.	68
1.8.3. Herramientas y equipos de servicio.	68
1.8.3.1. Herramientas de servicio.	69

CAPITULO II. INDUSTRIAL: CENTRO DE REFERENCIA DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.

2.1. Reseña histórica.	73
2.2. Misión de la fábrica.	74
2.3. Visión de la fábrica.	74
2.4. Diferentes modelos fabricados.	75
2.4.1. Características técnicas y operacionales.	77
2.4.1.1. Botelleros.	77
2.4.1.2. Congeladores.	78
2.4.1.3. Neveras.	79
2.4.1.4. Vitrinas.	80
2.4.2. Esquemas constructivos.	81
2.4.2.1. Botelleros y congeladores: Sistemas de refrigeración por convección natural.	81
2.4.2.2. Neveras: Sistemas de refrigeración por aire forzado.	82
2.4.2.3. Vitrinas: Sistemas de doble servicio: Refrigeración por convección natural y Congelación por placas.	83
2.4.2.4. Vitrinas. Sistemas de doble servicio: Refrigeración por aire forzado y Congelación por placas.	84

CAPITULO III. LABORATORIO DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.	85
3.1. Necesidad de evaluar un equipo de refrigeración.	85
3.2. Diseño de laboratorios de ensayo. Parámetros fundamentales para el diseño.	86
3.3. Evaluación de equipos de refrigeración comercial.	89
3.3.1. Descripción del laboratorio de ensayos.	90
3.4. Procedimiento de ensayo según normativas.	91
3.4.1. Resultados de las evaluaciones.	98
3.4.2. Tipos de Ensayos.	100
3.4.3. Casos de Estudio. Análisis de los resultados.	103
3.4.4. Eficiencia energética en sistemas de refrigeración.	112
3.4.4.1. ¿Qué es la eficiencia energética?	112
3.4.4.2. Indicadores de evaluación (COP – EER).	113
3.4.4.3. Etiqueta energética.	115
3.4.4.4. Implementación de indicadores de evaluación.	117
3.5. Mantenimiento del laboratorio.	125
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132

LISTA DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
Figura 1	Funcionamiento de sistemas de refrigeración	20
Figura 2	Evaporación del refrigerante	21
Figura 3	Compresión del refrigerante	21
Figura 4	Condensación del refrigerante	21
Figura 5	Tubo capilar	21
Figura 6	Diagrama de Mollier	24
Figura 7	Diagrama de un ciclo básico de refrigeración	27
Figura 8	Diag. Típico ciclo de sistema de refrigeración	28
Figura 9	Compresor hermético	29
Figura 10	Condensador	29
Figura 11	Tubo capilar	30
Figura 12	Evaporador	30
Figura 13	Filtro secador	31
Figura 14	Distancia requerida para flujo de ventilación	40
Figura 15	Moto-compresor hermético	41
Figura 16	Compresor centrífugo	41
Figura 17	Evaporador	42
Figura 18	Condensador	43
Figura 19	Válvula Termostática	44
Figura 20	Sistema de refrigeración	44
Figura 21	Carga de refrigeración	47
Figura 22	Circuito elemental de refrigeración	47
Figura 23	Zonas de mediciones de temperaturas	48
Figura 24	Termostato	51
Figura 25	Control digital de temperatura centralizado	52
Figura 26	Detalle termostato inteligente	52
Figura 27	Manómetros	70
Figura 28	Pinza voltiamperimétrica	70
Figura 29	Termómetro digital	71
Figura 30	Detector electrónico de fugas	72
Figura 31	Calibrador de capilares	72
Figura 32	Alicates	72
Figura 33	Ratchet, llave de boca ajustable	72
Figura 34	Logotipo de INDUSTRIAL S.A	73
Figura 35	Logotipo de UTO.	74
Figura 36	Equipo Botellero	75
Figura 37	Equipo Congelador	75
Figura 38	Equipo Nevera	76
Figura 39	Equipo Vitrina	76
Figura 40	Especificaciones técnicas de botelleros	77
Figura 41	Especificaciones técnicas de congeladores	78
Figura 42	Especificaciones técnicas de neveras	79
Figura 43	Especificaciones técnicas de vitrinas	80
Figura 44	Sistemas de refrigeración por convección natural: Botelleros y Congeladores	81
Figura 45	Sistemas de refrigeración por aire forzado: Neveras	82

Figura 46	Sistemas de Refrigeración por convección natural y Congelación por placas. Vitrinas	83
Figura 47	Sistemas de doble servicio: Refrigeración por aire forzado y Congelación por placas: Vitrinas.	84
Figura 48	Ubicación del punto de medición de la temperatura ambiente y la humedad relativa del equipo a ensayar	93
Figura 49	Paquete "M"	94
Figura 50	Paquete "Tipo Lata"	94
Figura 51	Ejemplos de colocación de paquetes "M"	93
Figura 52	Puntos de medición de temperatura en artefactos con diferente disposición del evaporador	96
Figura 53	Interfaz grafica del sistema de monitoreo (LABVIEW®), Ventana de Temperaturas	97
Figura 54	Medición de temperaturas internas	101
Figura 55	Ubicación de sensores para la medición de temperaturas en el sistema de refrigeración	101
Figura 56	Ubicación de sensores para la medición de presión en los lados de alta y baja	101
Figura 57	Medición de Humedad Relativa en el recinto de ensayos	102
Figura 58	Medición de variables de energía	102
Figura 59	Ensayos de abatimiento	103
Figura 60	Comportamiento de temp. durante prueba N° 1	104
Figura 61	Instante de apertura de la puerta	105
Figura 62	Estabilidad térmica	105
Figura 63	Comportamiento de temp. durante prueba N° 2	106
Figura 64	Comportamiento del volteje durante prueba N° 2	106
Figura 65	Comportamiento de corriente eléctrica del equipo durante prueba N° 2	107
Figura 66	Comportamiento de temperaturas durante la prueba de Pull Down	109
Figura 67	Pull Down del equipo	110
Figura 68	Comportamiento de temperaturas durante la prueba de Half Reload	110
Figura 69	Etiqueta energética.	115
Figura 70	Valores de COP & EER de acuerdo a la eficiencia del equipo.	116
Figura 71	Diagrama básico de un ciclo completo de refrigeración.	119
Figura 72	Interfaz grafica del sistema de monitoreo (LABVIEW®), Ventana COP y EER.	124

LISTA DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
Tabla 1	Denominaciones para Refrigerantes más comunes	37
Tabla 2	Problemas de arranque	56
Tabla 3	Funcionamiento irregular	58
Tabla 4	Ruidos en el sistema	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo	Contenido	Página
A	Ensayo de Abatimiento y Temperaturas	CD
B	Ensayo de Energía	CD
C	Ensayo de Temperaturas (Pull Down)	CD

RESUMEN

El trabajo aborda de forma resumida aspectos relacionados con la *refrigeración*. Se relacionan temas desde conceptos básicos, se abarca de manera especial “la refrigeración por compresión mecánica”, sistema objeto de estudio, criterios sobre operación y mantenimiento, así como la implementación de las técnicas y procedimientos para la ejecución de ensayos de equipos de refrigeración comercial en la empresa **INDUFRIAL S.A.** de la ciudad de *Cartagena (Colombia)*. A partir del uso de una instrumentación de avanzada instalada, sistemas e infraestructura para la adquisición de datos (a través del software **LABVIEW®**), se implementaron **modelos matemáticos** que permiten ofrecer para cada equipo ensayado, **indicadores de eficiencia** importantes como los son el **COP (Coeficiente de Rendimiento)** y el **EER (Relación de Eficiencia Energética)**, además de otros parámetros característicos en los sistemas de refrigeración, como son las *temperaturas (internas y externas)*, *presiones (lados de alta y lado de baja)*, *humedad relativa y velocidad del aire*.

Se ofrecen manuales de procedimientos para todos los ensayos realizados en el laboratorio, basados en las normativas y legislaciones nacionales e internacionales, que rigen los procesos de evaluación de equipos de refrigeración. A través de toda la implementación de procedimientos y parámetros de funcionamiento, es posible, a partir del análisis de los resultados de cada ensayo realizado, perfeccionar los modelos construidos por **INDUFRIAL S.A.**, en función de incrementar los indicadores de eficiencia y así disminuir el impacto ambiental. Aspecto importante y resaltable, es que a partir de las nuevas condiciones creadas, fruto de la exitosa culminación de este trabajo y cumplimiento de todos los objetivos, mediante normativas de regulación estatales autorizadas, pueden ser evaluados en el laboratorio lotes representativos de equipos de refrigeración que son importados a *Colombia* y que ingresan a través del puerto de la ciudad, en función de verificar el funcionamiento de estas maquinas y el cumplimiento de todas las reglamentaciones internacionales en el campo de la refrigeración.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una tendencia global hacia la clasificación energética de equipos de refrigeración, utilizados comercialmente para la conservación de alimentos, bebidas, congelados, entre otros productos. Esto se efectúa con la finalidad de que el cliente potencial, pueda elegir un producto eficiente energéticamente de una forma más práctica, sin recurrir a la comparación de los consumos de energía real entre productos similares según su necesidad.

Aspectos como el diseño y la correcta selección del equipo de refrigeración, estado de mantenimiento, funcionamiento de los distintos componentes de la unidad refrigerante y las modalidades operativas, determinan significativamente la eficiencia del equipo y los costos por la energía eléctrica consumida del mismo. La evaluación del desempeño energético y de funcionamiento de los equipos clasificados como de refrigeración comercial, viene tomando un gran auge dentro del país con el actual desarrollo de una normativa específica que regule estos aspectos, basada en experiencias anteriores de *Europa, Estados Unidos y Centro América*.

De igual forma, el advenimiento del *Tratado de Libre Comercio (TLC)* y las situaciones particulares para la refrigeración comercial derivadas del mismo, exigen que en el país exista un *Norte* definido y que las empresas fabricantes de estos productos, estén a la vanguardia en lo que respecta a certificación del desempeño y reducción del consumo energético, ante condiciones particulares de operación de los mismos.

Para poder llevar a cabo estas pruebas, se utilizan **recintos de ensayos normalizados**, que a su vez se constituyen en una **fuentes primaria de información**, para implementar mejoras al diseño de los equipos existentes, validar nuevos diseños y configuraciones, todo esto encaminado a reducir su consumo de energía.

Como consecuencia de los anteriores aspectos, **INDUFRIAL S.A**, una de las principales empresas dedicadas a la fabricación de refrigeración comercial para la conservación, exhibición y venta de alimentos en Colombia, actual exportador a países como *Perú, Ecuador, Venezuela, México, República Dominicana, Estados Unidos* y líder en el mercado nacional en ventas; implementó la tecnología alrededor de los conceptos asociados a los métodos de ensayos estandarizados internacionalmente para equipos de refrigeración comercial, mediante la construcción de un **LABORATORIO DE ENSAYOS**, que puede realizar continuos desarrollos en sus equipos e introducir en el mercado nuevos modelos con mejoras de los sistemas de refrigeración que permitan reducir costos de fabricación y consumo energético.

Este hecho les permitirá el ingreso a nuevos mercados internacionales, los cuales requieren protocolos específicos de ensayos según normas, y el tipo de condición ambiental específica de trabajo de los mismos, y así clasificarlos según su eficiencia energética.

No obstante contar con la tecnología para la ejecución de los ensayos no es suficiente, pues no tenían definidos todos los procedimientos normalizados para la explotación técnica del laboratorio. La información que se brindaba en los reportes de ensayos a estos equipos, solo se limitaba a conocer el *consumo energético* y el comportamiento en el tiempo de parámetros, como *temperaturas internas* en diferentes zonas (en dependencia del diseño del equipo), *humedad relativa* y *temperatura ambiente* del recinto de ensayo.

Cabe señalar que en el laboratorio, solo se habían realizado pruebas aisladas en función de la fábrica, y no se tenía un íntegro conocimiento por parte del personal técnico, de cómo explotar las potencialidades que brinda el mismo, además de ser un ente que no está acreditado.

En el presente trabajo, en aras de solucionar la problemática existente y lograr la explotación técnica adecuada del laboratorio de ensayos, se realizó una revisión de toda la información, métodos, normas y otros documentos existentes.

Sobre la base de las normas nacionales e internacionales, los distintos modelos de equipos de refrigeración construidos y la necesidad de lograr la acreditación del laboratorio (como ente prestador de servicios a terceros), se establecieron los distintos requerimientos y procedimientos para la ejecución de ensayos.

Se debe destacar el hecho que a diferencia de otros laboratorios, en este se podrán obtener indicadores de eficiencia muy útiles para la correcta selección del equipo de refrigeración por parte del cliente potencial, tales como el **COP (Coeficiente de Rendimiento)** y el **EER (Relación de Eficiencia Energética)**. [1]

El documento base del trabajo aborda aspectos teóricos y prácticos relacionados con los sistemas de refrigeración, *criterios de operación y mantenimiento de los sistemas de refrigeración*, por lo que es una *Útil Herramienta* para profesionales y técnicos en refrigeración, en función de transmisión del conocimiento. Además sirve como soporte a los diferentes cursos, talleres y programas de capacitación en refrigeración que se desarrollen en la **UTB**.

CAPITULO I

EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

1.1. Concepto de refrigeración.

La refrigeración, es el proceso en el cual se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura baja (a un valor menor a la del medio ambiente) con el fin, por ejemplo, de enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias o conseguir un ambiente agradable. Como ningún recinto o cámara es perfectamente *adiabático**, para mantener dicho recinto a esa baja temperatura, es preciso extraer calor del recinto (continua o al menos intermitentemente). Esto implica normalmente el transporte de calor de un recinto a baja temperatura al medio ambiente, que se encuentra a mayor temperatura [2].

La temperatura es el reflejo de la cantidad o nivel de energía que posee el cuerpo, ya que el frío propiamente *no existe*, los cuerpos solo tienen más o menos energía térmica. De esta manera enfriar corresponde a retirar energía (*calor*) y no debe pensarse en términos de "*producir frío o agregar frío*". En general, el transporte de calor se realiza mediante un fluido transportador de calor que se denomina *refrigerante*. El almacenamiento refrigerado de alimentos perecederos, pieles, productos farmacéuticos y otros se conoce como *almacenamiento en frío*. La refrigeración evita el crecimiento de bacterias e impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente [2].

* El término **adiabático** hace referencia a elementos que impiden la transferencia de calor con el entorno – Wikipedia (La Enciclopedia Libre) – URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Adiabasis>

1.2. Refrigeración por compresión mecánica.

La refrigeración mecánica se define como aquella que incluye componentes fabricados por el hombre y que forman parte de un sistema, ya sea cerrado (cíclico) o abierto, los cuales operan de acuerdo a ciertas leyes físicas que gobiernan el proceso de refrigeración. Para lograr este propósito partimos de conocimientos de la física de los materiales y en particular, los gases; según los cuales, *el calor* (como forma de energía), siempre tiende a fluir hacia un contorno más *frío*. Este proceso físico se efectúa a mayor o menor velocidad según las características de resistencia que oponga el material por el cual el calor circula, *si es un sólido*; o según la velocidad, forma, posición, densidad y otras propiedades, *si se trata de un fluido* como el *aire* o el *agua*.

En los sistemas de refrigeración o climatización, el calor es bombeado del interior al exterior del recinto. Los principios de funcionamiento de la **refrigeración por compresión de vapor** en forma simplificada pueden dividirse en cuatro operaciones: **evaporación**, **compresión**, **condensación** y **expansión** (ver figura 1) [3].

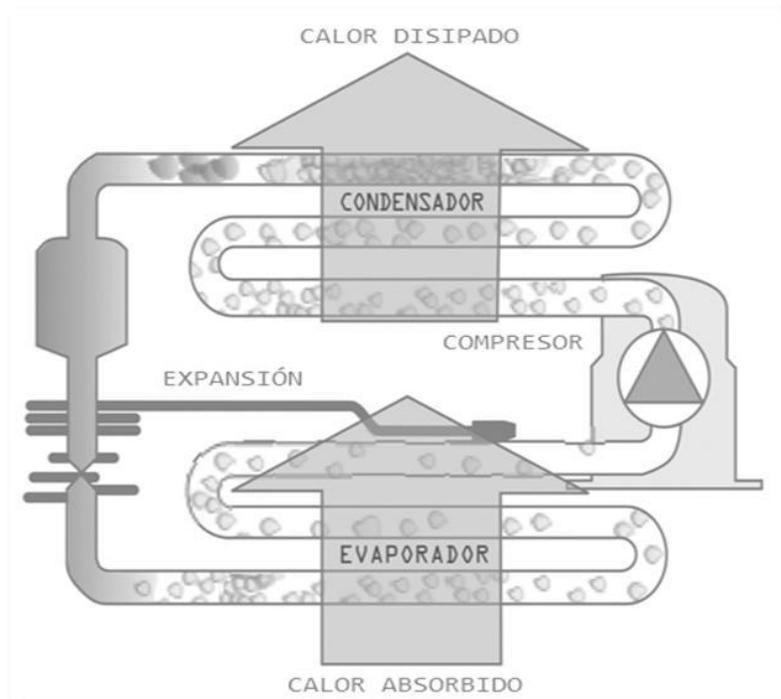
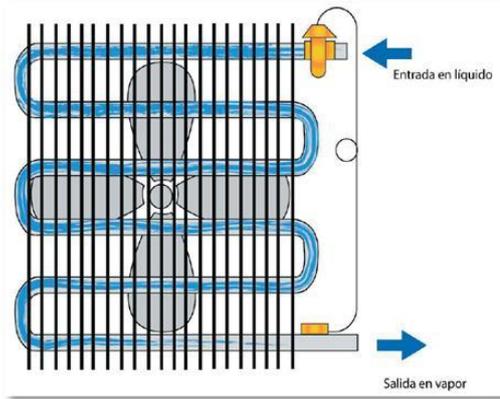


Figura 1. Funcionamiento de sistemas de refrigeración.



Durante la **evaporación**, el calor se absorbe del aire o del proceso que habrá de ser enfriado por el refrigerante que se evapora (ver figura 2).

Figura 2. Evaporación del refrigerante.

Este refrigerante en estado gaseoso es aspirado por el **compresor**, el cual obtiene su energía de un motor eléctrico o de otro medio mecánico motorizado (ver figura 3).

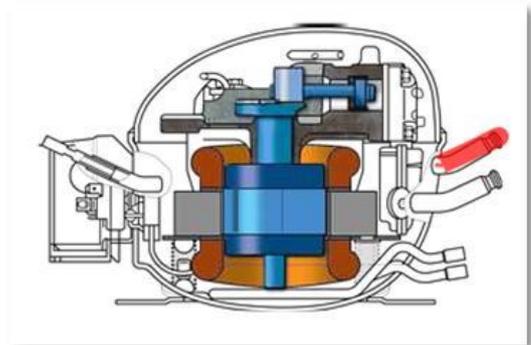
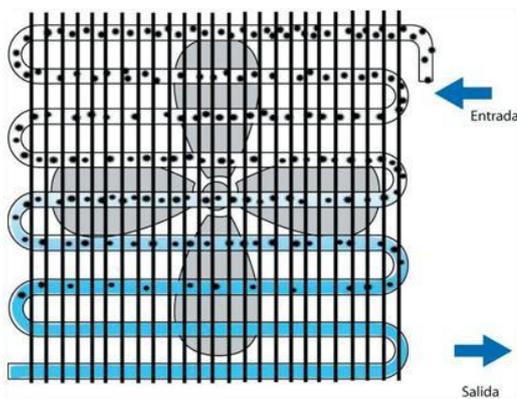


Figura 3. Compresión del refrigerante.



El compresor comprime el refrigerante gaseoso aumentando su presión, el gas a alta presión va al **condensador** donde por sus condiciones de presión y temperatura, es condensado por la acción del aire ambiente o el agua (ver figura 4).

Figura 4. Condensación del refrigerante.

Este refrigerante líquido a alta presión es conducido hacia el evaporador nuevamente a través de un **dispositivo de expansión**, en el cual baja su presión disminuyendo su temperatura dejándolo listo para iniciar el ciclo [3].



Figura 5. Tubo capilar.

En los últimos tiempos, la climatización y la refrigeración han dejado de ser un lujo para convertirse en una necesidad para el desarrollo económico y para mejorar nuestra calidad de vida. El desarrollo de métodos de fabricación de líquidos refrigerantes aparentemente inocuos y de pequeños motores fiables, ha dado lugar a la proliferación de los refrigeradores en el mundo industrializado y una rápida saturación en los países en desarrollo. La climatización y la refrigeración desempeñan un papel importantísimo en el desarrollo del mundo moderno, por ejemplo:

- ✓ *Los alimentos duran más tiempo cuando se mantienen a temperaturas bajas, ya que se hace más lento su envejecimiento y reduce la acción de microorganismos no deseados.*
- ✓ *En casos de congelación pueden alargar la vida de los alimentos por meses o años.*
- ✓ *La elaboración, el transporte y la conservación de los alimentos exigen refrigeración para poder abastecer la población mundial hasta en lugares de difícil acceso.*
- ✓ *El trabajo de precisión con máquinas y montajes no sería posible en gran parte del mundo haciendo que muchos productos de trabajo refinado del que disponemos actualmente fuesen inferiores o inexistentes.*
- ✓ *La mayor parte de los plásticos actuales no podrían fabricarse.*
- ✓ *No se podrían construir las computadoras actuales.*
- ✓ *La mayoría de los edificios no podrían ocuparse durante el verano en muchas partes del mundo.*

Ampliando estos conceptos, se puede decir que sin la refrigeración, sería imposible lograr el cumplimiento de la mayoría de los proyectos que han hecho posible el avance de la tecnología, desde el enfriamiento de máquinas, el desarrollo de los plásticos, tratamiento de metales, pistas de patinaje, congelamiento de pescados en altamar, hasta la investigación nuclear y de partículas, aplicaciones en el campo de la salud y otros [3].

1.2.1. Diagrama de Mollier.

Todos los gases refrigerantes tienen tabuladas sus propiedades en función de la temperatura, presión y volumen. Además se han diseñado herramientas de ayuda para facilitar el entendimiento y cálculo del comportamiento de ellos durante los cambios de estado o en cualquier condición que se encuentren. Para ello es necesario conocer *la Presión Ó la temperatura*, si el gas está en cambio de fase; ó conocer *la Presión Y la Temperatura*, si es un gas sobrecalentado. *El diagrama de Mollier (ver diagrama en figura 6)*, es una ayuda de gran valor tanto para calcular como para visualizar un proceso, y/o analizar un problema en cualquier equipo que se esté diagnosticando. Aquí es importante destacar que de la comparación entre diagramas de distintos gases, es posible apreciar las diferencias de presiones y temperaturas de operación que se lograrán en un mismo sistema, si se efectúa una sustitución de refrigerante y las consecuencias en cuanto a seguridad, pérdida o ganancia de eficiencia y logro de la temperatura de trabajo deseada [4].

Presión Vs Entalpia: R-134a

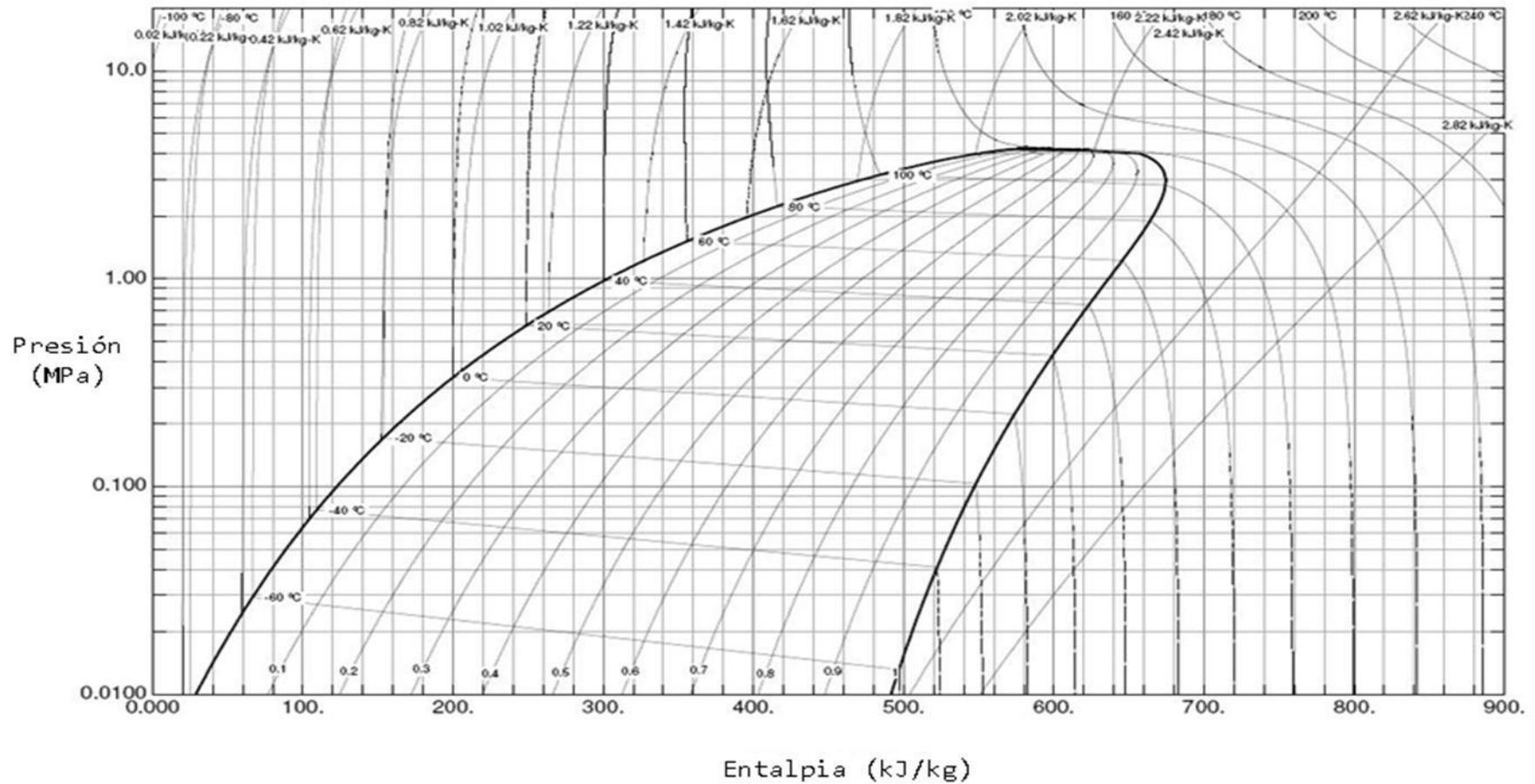


Figura 6. Diagrama de Mollier: R-134.

1.2.1.1. Análisis del diagrama.

El diagrama tiene en su **Ordenada** (eje vertical), la **Presión Absoluta** [en **Psia** o en **Kg/cm²** absolutos] a **escala logarítmica** y en la **coordenada o abscisa** (eje horizontal), la **Entalpía** [en **BTU/lbm** o en **Kcal/kgm**] a **escala lineal**.

Ahora bien, en este diagrama se encuentran tres (**3**) zonas y dos (**2**) líneas bien definidas:

1. *Zona de líquido subenfriado.*
2. *Zona de mezcla.*
3. *Zona de vapor sobrecalentado.*
4. *Línea de líquido saturado.*
5. *Línea de vapor saturado.*

La **línea izquierda** de la curva, indica el **Inicio de la Evaporación** y se denomina línea de **Líquido Saturado**. En este punto se inicia la evaporación del líquido (en este caso, del refrigerante) y varía según la presión y la temperatura. La zona de vapor indica el paso de líquido a gas y ocurre a presión y temperatura constante, hasta que todo el fluido se haya evaporado. Por consiguiente, durante este proceso, es notable que la cantidad de líquido vaya disminuyendo mientras que el vapor va aumentando, cambiando solamente la entalpía.

La **línea derecha** de la curva, indica el **Fin de la Evaporación**, se denomina **Línea de Vapor Saturado** y en esta línea se **Inicia el Proceso de Sobrecalentamiento**. Después de esa línea todo el fluido o refrigerante tendrá otras condiciones que dependen de la temperatura y la presión, aquí todo el refrigerante está sobrecalentado.

El punto de unión de las líneas de **Líquido Saturado** y de **Vapor Saturado** se denomina **Punto Crítico** y en él, tanto la temperatura como la presión se denominan **Temperatura Crítica** y **Presión Crítica**, respectivamente [4].

En este punto el refrigerante puede estar como líquido o como vapor y no tiene un valor determinado de calor latente de vaporización. Por encima de este punto el gas no pasa a fase líquida a pesar de la presión.

El proceso de evaporación bajo las condiciones de presión o temperatura predeterminada, es progresivo y un punto cualquiera de él, identifica porcentualmente la cantidad de líquido convertido en vapor y se define como **calidad del vapor** y en el diagrama podemos leer la **entalpía [h]** que le corresponde, o sea la entalpía que el refrigerante tiene en ese punto.

Esas líneas están dibujadas en la **zona de evaporación** de arriba hacia abajo y naturalmente, están contenidas entre **CERO (0: totalmente líquido)** y **UNO (1: totalmente vapor)**.

La suma de puntos de calidad **UNO (1)**, corresponde a la **línea de vapor saturado** por fuera de la **curva de vapor**, las **líneas de temperatura constante ($T = cte$)** están dibujadas casi verticalmente hacia arriba en la **zona de líquido** y casi verticalmente hacia abajo en la **zona de gas sobrecalentado**.

Las **líneas de entropía constante [$S = cte$]** están dibujadas en la **zona de gas sobrecalentado**. En el caso de un ciclo de refrigeración, representan el proceso de compresión del refrigerante, el cual sucede *isoentrópicamente*.

Las **líneas de volumen específico constante ($v = cte$)** del gas refrigerante, están indicadas en metros cúbicos por kilogramo del material [**m³/kg**] y están dibujadas en la **zona de gas sobrecalentado**. Esta información nos permite conocer las características del gas en un punto y en particular, en el ciclo de refrigeración, para conocer el volumen o la masa manejados por el compresor [4].

1.2.2. Ciclo mecánico de refrigeración.

En la *figura 7* que se muestra a continuación, se superponen un **esquema de un sistema de refrigeración** y un **diagrama de Mollier** para destacar la correlación que existe entre ambos, cuando se identifican los procesos que se llevan a cabo en cada uno de los cuatro componentes principales de un sistema de refrigeración.

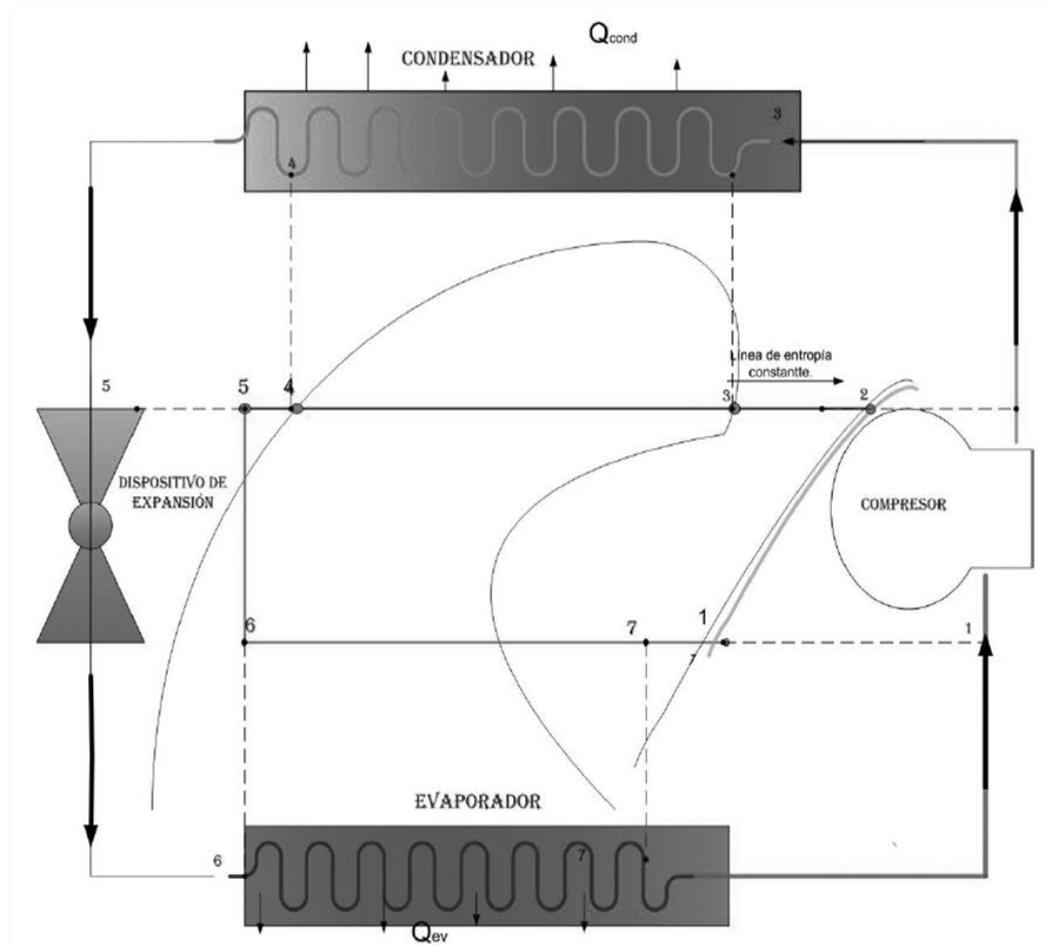


Figura 7. Diagrama de un ciclo básico de refrigeración.

Se debe recordar que el objeto de un proceso de refrigeración es **extraer calor de los materiales**, ya sean alimentos, bebidas, gases o cualquier otro material que deseemos enfriar, valiéndonos de los principios de la física como del conocimiento del ingenio humano sobre el comportamiento de los fluidos y materiales desarrollados durante el avance de la tecnología [5].

Como su nombre, **CICLO**, lo indica, se trata de un proceso cerrado en el cual no hay pérdida de materia y todas las condiciones se repiten indefinidamente. Dentro del ciclo de refrigeración y basado en la presión de operación se puede dividir el sistema en dos partes (*ver figura 8*):

1. **Lado de alta presión:** Parte del sistema que está bajo la presión del condensador.
2. **Lado de baja presión:** Parte del sistema que está bajo la presión del evaporador.

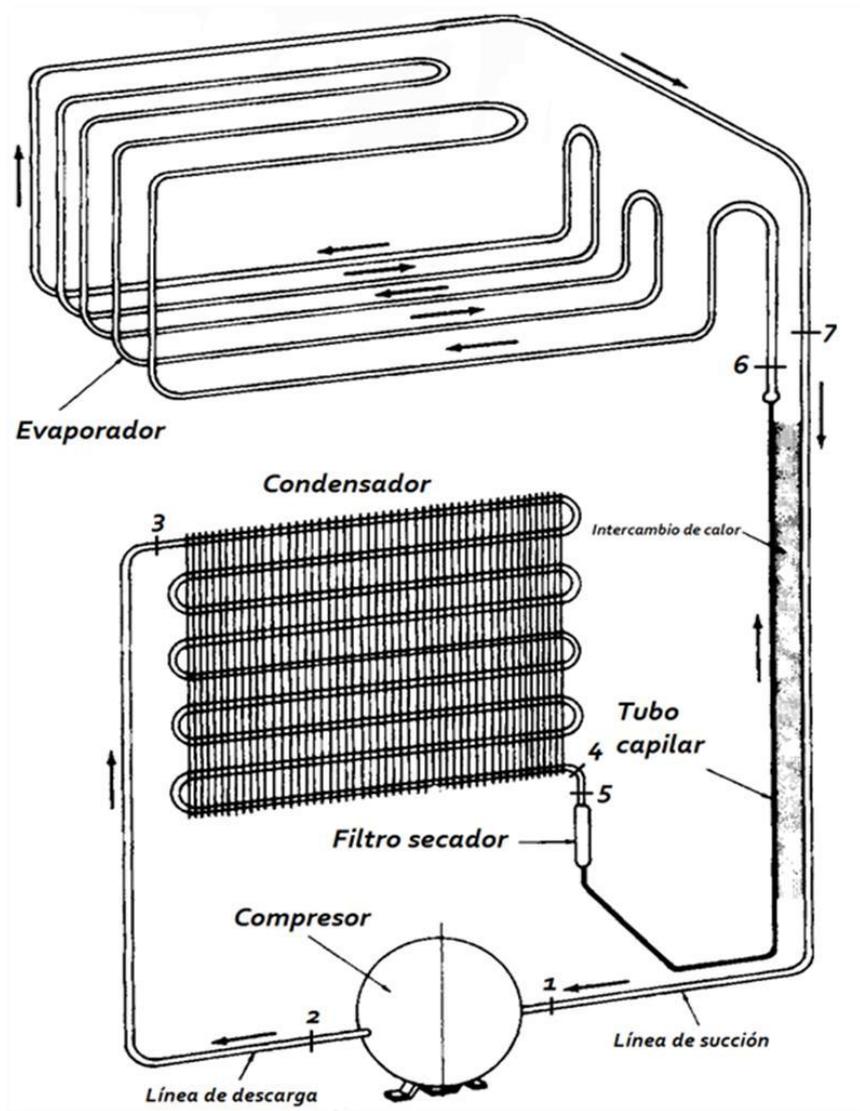


Figura 8. Diagrama típico de ciclo de un sistema de refrigeración.

El proceso básico del ciclo consta de cuatro (4) elementos:

➤ **LADO DE ALTA PRESIÓN.**

1) **Compresor:** (1-2) **comprime** el refrigerante en forma de gas sobrecalentado. Este es un proceso a entropía constante ($S = cte$) y lleva el gas sobrecalentado de la presión de succión (ligeramente por debajo de la presión de evaporación) a la presión de condensación, en condiciones de gas sobrecalentado (ver figura 9) [5].



Figura 9. Compresor hermético.



Figura 10. Condensador.

2) **Condensador:** (3-4) **extrae** el calor del refrigerante por medios naturales o artificiales (forzado). El refrigerante es recibido por el condensador en forma de gas y es enfriado al pasar por los tubos hasta convertir toda la masa refrigerante en líquido; su diseño debe garantizar el cumplimiento de este proceso, de lo contrario se presentarán problemas de funcionamiento (ver figura 10).

NOTA: Para condensadores enfriados por aire, puede decirse que la temperatura refrigerante en un condensador debe estar **15°C** por encima de la temperatura promedio del aire alrededor de este (**temperatura del condensador = temperatura ambiente + 15°C**).

3) **Dispositivo de expansión:** (5-6) es el elemento que **estrangula el flujo** del líquido refrigerante para producir una caída súbita de presión obligando al líquido a entrar en evaporación. Puede ser una válvula de expansión o un tubo de diámetro muy pequeño en relación a su longitud [capilar] (ver figura 11).



Figura 11. Tubo capilar.

➤ **LADO DE BAJA PRESIÓN.**



Figura 12. Evaporador.

4) **Evaporador:** (6-7) **suministra calor** al vapor del refrigerante que se encuentra en condiciones de cambio de estado de líquido a gas, extrayendo dicho calor de los productos o del medio que se desea refrigerar (ver figura 12) [5].

NOTA: El evaporador debe ser calculado para que garantice la evaporación total del refrigerante, y producir un ligero sobrecalentamiento del gas antes de salir de él. Evitando el peligroso efecto de entrada de líquido al compresor, que puede observarse como presencia de escarcha en la succión, lo cual prácticamente representa una condición que tarde o temprano provocará su falla. Cumpliendo el ciclo, el sistema se cierra nuevamente al succionar el refrigerante el compresor en condiciones de gas sobrecalentado.

➤ **OTROS DISPOSITIVOS:** Adicionalmente, usualmente se insertan a ambos lados de presión (*Alta/Baja*) en el sistema, con fines de **seguridad y de control**, varios dispositivos como son:

5) **Filtro secador:** su propósito es retener la **humedad residual** contenida en el refrigerante y al mismo tiempo, filtrar las partículas sólidas tanto de metales como cualquier otro material que circule en el sistema. Normalmente se coloca después del condensador y antes de la entrada del sistema de expansión del líquido. La selección del tamaño adecuado es importante para que retenga **toda la humedad remanente**, después de una buena limpieza y evacuación del sistema (*ver figura 13*).



Figura 13. Filtro secador.

6) **Visor de líquido:** su propósito es el de supervisar el estado del refrigerante (líquido) antes de entrar al dispositivo de expansión. Al mismo tiempo permite ver el grado de sequedad del refrigerante.

7) **Separador de aceite:** como su nombre lo indica, retiene el exceso de aceite que es bombeado por el compresor con el gas como consecuencia de su miscibilidad y desde allí, lo retorna al compresor directamente, sin que circule por el resto del circuito de refrigeración. Solo se lo emplea en sistemas de ciertas dimensiones [5].

NOTA: Existen otros dispositivos que han sido desarrollados para **mejorar la eficiencia del ciclo de refrigeración**, tanto en la capacidad de enfriamiento (*subenfriamiento*), como en el funcionamiento (*control de ecualización*); o para **proteger el compresor** como es el caso de los **presostatos** de Alta y Baja, que bloquean el arranque del compresor bajo condiciones de presiones en exceso o en defecto del rango permitido de operación segura, e impiden que el compresor trabaje en sobrecarga o en vacío; y los **filtros de limpieza**,

colocados en la línea de succión del compresor, en aquellos casos en que se sospeche que el sistema pueda tener vestigios no detectados de contaminantes.

1.2.3. Relación entre el ciclo mecánico de refrigeración y el diagrama de Mollier.

Es importante recordar que el diagrama de Mollier indica en el eje horizontal (o abcisa) la variación de la entalpía y en el eje vertical (u ordenada), la variación de la presión absoluta. En el ciclo de refrigeración ilustrado en la *figura 6*, se presenta al mismo tiempo el **Ciclo Teórico** y el **Ciclo Real**. Allí, al analizar con atención se puede observar y visualizar todos los pasos que ocurren dentro del sistema de refrigeración, así como se muestra en el diagrama de un ciclo básico de refrigeración (*ver figura 7*).

Se inicia el proceso desde el punto **1** representado en la *figura 7*. Involucra el proceso **1-2**, correspondiente al trabajo introducido por el compresor que lleva el gas del punto **1** al **2**, transcurriendo a entropía constante (**$S = cte$**). El refrigerante sale en forma de gas sobrecalentado y va perdiendo calor rápidamente (de **2** a **3**), a presión aproximadamente constante (**$P \approx cte$**).

Luego dentro del condensador, bien sea por medios naturales (convección natural) o por ventilación forzada, se extrae el calor del refrigerante (de **3** a **4**), proceso que transcurre a presión y temperatura constantes (**$P; T = cte$**). Allí, el refrigerante pasa de ser vapor saturado seco (gas), en el punto **3**, a líquido o vapor saturado húmedo en el punto **4** y aproximadamente una vuelta antes de la salida del condensador.

En la última parte del condensador, que corresponde al segmento **4-5**, el refrigerante en forma de líquido experimenta un enfriamiento adicional (tendiendo a la temperatura ambiente) y menor que la temperatura de condensación; denominando a esta parte **zona de subenfriamiento**. Los procesos descritos hasta ahora están dentro de lo que se definió como **Lado de Alta Presión del Sistema**.

Luego de estar en el punto **5**, se inicia una caída súbita de presión que ocurre en el dispositivo de expansión, correspondiendo a los puntos **5-6**. Este es un proceso adiabático, es decir que sucede a entalpía constante ($H = cte$) [5].

Podemos observar que la salida del vapor en el punto **6**, no corresponde con la línea de líquido saturado sino que se presenta como una mezcla de vapor con baja calidad (Baja sequedad).

En ese punto se inicia el recorrido del vapor por el evaporador entre los puntos **6 y 7**, tomando el calor que necesita para completar la evaporación a presión y temperatura constantes ($P; T = cte$), y es en este proceso cuando se realiza el efecto de refrigeración, o lo que es igual el enfriamiento de las superficies que están en contacto con el evaporador.

Antes de salir del evaporador (algunas vueltas) el refrigerante ha llegado a condiciones de saturado seco (gas) en **7** y sigue calentándose hasta llegar a la succión del compresor de **7** a **1**, nuevamente a presión aproximadamente constante ($P \approx cte$). Este sobrecalentamiento nos permite asegurar que el refrigerante será aspirado siempre como gas. Esta parte del sistema es lo que se conoce como **Lado de Baja Presión del Sistema**.

En ocasiones se aprovecha la baja temperatura, a través de una disposición de las tuberías de retorno de gas al compresor y el dispositivo de expansión (en caso de que este sea un **tubo capilar**), dispuestas en contacto directo, en forma de *intercambiador de calor*, para subenfriar el refrigerante después de la salida del condensador, permitiendo ganar rendimiento del evaporador equivalente al segmento **4-5**.

Adicionalmente, quien analiza el diagrama de Mollier, tendrá la facultad de poder calcular para cualquier ciclo diseñado, la *cantidad de calor* que debe ser manejado en él y seleccionar el equipamiento necesario (*compresor, condensador, válvula de expansión, evaporador, etc.*) según la masa de refrigerante a circular por el sistema [1], [5].

1.3. Refrigerantes.

Los refrigerantes son los fluidos de transporte que conducen la energía calorífica al interior de un circuito de una máquina frigorífica, desde el nivel a baja temperatura (*evaporador*) al nivel a alta temperatura (*condensador*), donde pueden ceder su calor [6].

1.3.1. Propiedades de los refrigerantes.

- **Propiedades térmicas:** En general, permiten conocer el comportamiento de las sustancias frente a los cambios de estado o bien el análisis de los diferentes factores externos que intervienen para que estos cambios se produzcan.
- **Presión de vapor:** Para compuestos puros, el equilibrio entre las fases del refrigerante líquido y el refrigerante vapor, permite la determinación de las temperaturas de evaporación y de condensación, así como de las presiones en función de estas temperaturas.
- **Volumen específico y densidad:** Es el valor inverso de la densidad, y ambos varían en función de la temperatura y de la presión, siendo más importante este efecto si el refrigerante se encuentra en fase vapor. Conociendo el volumen específico se puede determinar la cantidad de vapor generado por la vaporización de una cierta masa de refrigerante líquido.
- **Calor específico:** Indica la cantidad de calor necesaria para absorberse o disiparse, para obtener la variación de un grado de temperatura de una cierta masa de una sustancia. Este valor es muy importante sobre todo para el dimensionamiento de los intercambiadores de calor.
- **Calor latente:** Indica la cantidad de calor necesaria por unidad de masa de la sustancia, para efectuar una transición de un estado de agregación a otro. En el caso de los refrigerantes existen grandes variaciones de estos calores [7].

1.3.2. Selección del refrigerante.

Para cada uno de los diferentes métodos de producción de frío existen para determinadas condiciones de funcionamiento uno o varios refrigerantes apropiados, que garantizan un óptimo de eficiencia y seguridad, en relación con sus propiedades químicas y físicas, existiendo ciertas condiciones mínimas y propiedades que deben satisfacer, tales como:

- a) **Comportamiento indiferente frente a los materiales utilizados:** El refrigerante no debe combinarse o reaccionar con los materiales utilizados para la construcción de la máquina frigorífica.
- b) **Estabilidad química:** El refrigerante no debe de sufrir ningún tipo de transformación química, dentro del dominio de temperaturas y presiones de operación.
- c) **Ausencia de toxicidad:** Es importante que el refrigerante no tenga efectos nocivos sobre la salud, ni sobre el medio. No todos los refrigerantes satisfacen esta condición.
- d) **No debe ser explosivo ni inflamable:** Por motivos de seguridad se exige que el refrigerante este operando fuera de los dominios de peligrosidad, en lo referente a los riesgos de explosión y flamabilidad.
- e) **Fácil detección de fugas:** Por aspectos de seguridad, operación y economía, es necesario que la circulación del refrigerante se realice en conductos herméticos y que las fugas en caso de ocurrir deben ser inmediatamente detectadas, prefiriéndose aquellos refrigerantes que tengan un olor penetrante.
- f) **Ningún efecto sobre el lubricante:** Si en el circuito del ciclo de refrigeración se utiliza algún tipo de lubricante, el refrigerante no le debe ocasionar ningún cambio químico, ni influir en sus propiedades lubricantes.
- g) **La presión de evaporación debe ser superior a la presión atmosférica:** En el caso de la refrigeración por vaporización, la presión de evaporación del refrigerante, debe ser dentro de lo posible, algo superior a la presión atmosférica. De esta manera se evita la introducción de aire al interior del sistema.

- h) **Baja presión de condensación:** La generación de altas presiones de condensación, requiere de estructuras que soporten esta presión, aumentando el costo. Se sugiere trabajar el refrigerante a condiciones de operación no muy próximas del punto crítico, con el objeto de realizar más fácilmente la condensación.
- i) **Gran potencia frigorífica específica:** Entre mayor sea su capacidad o potencia de enfriamiento, se requerirá una menor cantidad de refrigerante en circulación para una potencia de enfriamiento determinada.
- j) **Costo y disponibilidad:** El refrigerante no debe ser muy costoso y debe estar disponible en el mercado, sobre todo si se requiere de un abastecimiento continuo, como en el caso de los ciclos de refrigeración abiertos [7].

1.3.3. Refrigerantes más comunes.

En la *tabla 1* que se muestra a continuación, se listan algunos de los refrigerantes más comunes, con su denominación, su nombre técnico, su fórmula química y sus aplicaciones más frecuentes.

En el caso de las mezclas, en lugar de la composición química se muestran los componentes simples y, entre paréntesis, los porcentajes de cada uno de estos, en el mismo orden en que se muestran los primeros [8].

No. Refrigerante	Nombre	Composición química	Aplicaciones
COMPUESTOS INORGANICOS			
R717	Amoníaco	NH ₃	Refrigeración Industrial
R718	Agua	H ₂ O	Refrigeración Industrial
R744	Dioxido de Carbono	CO ₂	Refrigeración Industrial
COMPUESTOS ORGANICOS			
R170	Etano	CH ₃ CH ₃	Refrigeración Industrial. Sistemas en cascada.
R290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃	Mezclas, enfriadores industriales, A/A pequeños.
R600a	Isobutano	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	Refrigeración doméstica. Inflamable.
HIDROCARBUROS HALOGENADOS			
CLOROFLUOROCARNOS (CFC'S)			
R11	Triclorofluorometano	CCL ₃ F	Chillers de baja presión, espumado.
R12	Diclorodifluorometano	CCL ₂ F ₂	Refrigeración doméstica. A/A vehículos.
R115	Cloropentafluorometano	C ₂ F ₅ CL	Baja temperatura. Efecto invernadero alto.
HIDROCLOROFLUOROCARNOS (HCFC'S)			
R22	Clorodifluorometano	CHCLF ₂	A/A, bombas de calor, refrigeración comercial e industrial.
R141b	1,1 dicloro-1-fluoroetano	CH ₃ CCL ₂ F	Espumado, solvente.
R142b	1,1 cloro-1-difluoroetano	CH ₃ CCLF ₂	Alta temperatura. Inflamable.
HIDROFLUOROCARNOS (HFC'S)			
R32	Difluorometano	CH ₂ F ₂	Baja temperatura. Inflamable.
R125	Pentafluoroetano	CHF ₂ CF ₃	Efecto invernadero alto, baja y media temperatura.
R134a	1,1,1,2-tetrafluoroetano	CH ₂ FCF ₃	Refrigeración doméstica y comercial. A/A vehículos, transporte refrigerado.
R143a	1,1,1-trifluoroetano	CH ₃ CF ₃	Acerlera el desgaste de compresor. Inflamable.
R152a	1,1-difluoroetano	CH ₃ CHF ₂	Inflamable.
MEZCLAS AZEOTROPICAS.			
R502	HCFC+CFC	R22/R115 (48.8/51.2)	Refrigeración comercial baja temperatura, refrigerante de equipos móviles.
R507	HFC+HFC	R125/R143a (50/50)	Reemplaza al R502, gabinetes de supermercados, temperaturas baja y media.
MEZCLAS ZEOTROPICAS.			
R404a	HFC+HFC+HFC	R125/R143a/R134a (44/52/4)	Maquinas para hielo, reemplaza al R502, retrofit R502.
R407c	HFC+HFC+HFC	R32/R125/R134a (23/25/52)	Reemplaza al R22 en A/A, bombas de calor, refrigeración comercial e industrial, retrofit R22.
R410a	HFC+HFC	R32/R125 (50/50)	A/A, bombas de calor, refrigeración comercial e industrial.
Isobutano/Propano	HC+HC	R600a/R290 (50/50)	Reemplazo R12 "drop in". Inflamable.

Tabla 1. Denominaciones para refrigerantes más comunes.

1.4. Refrigeración comercial.

La diversidad de equipos empleados para refrigeración es muy grande y su funcionamiento se ajusta, en términos generales, a los principios anteriormente mencionados. Cada sistema tiene sus características particulares. Cada dispositivo de control está diseñado para mantener algún parámetro de funcionamiento del equipo entre determinados límites, principalmente temperaturas, presiones, acumulación de hielo, entre otros fenómenos que se desean controlar.

La refrigeración comercial tiene su campo de aplicación en negocios de comercialización de alimentos perecederos y bebidas que requieren conservación o congelación para su preservación. Estas unidades están destinadas a la conservación a largo plazo de todos estos productos, a temperaturas que garanticen la detención de cualquier proceso de reproducción bacteriana. Las temperaturas controladas (generalmente las más bajas), minimizan el deterioro de los alimentos, reducen la multiplicación de bacterias, microorganismos y enzimas en células y fibras vivas, y reducen la pérdida de fluidos de los alimentos. Los lugares de mayor aplicación de estos equipos son normalmente supermercados, frigoríficos, centros de almacenaje masivo de alimentos, hoteles y otras instalaciones que requieren grandes capacidades de refrigeración o condiciones variables [9].

En relación a la *refrigeración doméstica*, la refrigeración comercial tiene vigencia a medida que los requerimientos de capacidad alcanzan niveles que justifican, la *inclusión de controles más complejos* y el *empleo de componentes de mayor eficiencia y confiabilidad*; puesto que las condiciones de uso son más exigentes, los diseños son sobredimensionados con capacidad frigorífica *extra*, para compensar el trabajo pesado al que son sometidos regularmente estos equipos, tales como:

- ✓ *Aperturas de puertas frecuentes.*
- ✓ *Carga de mercancía a temperatura por encima de la ambiente.*
- ✓ *Exhibidores descubiertos, donde el intercambio de calor con el medio ambiente es solo limitado por el uso de cortinas de aire a alta velocidad, que recogen el aire frío antes de que este pueda escapar del exhibidor, para ser recirculado.*
- ✓ *Y un cúmulo de aplicaciones diversas trabajando a distintas temperaturas.*

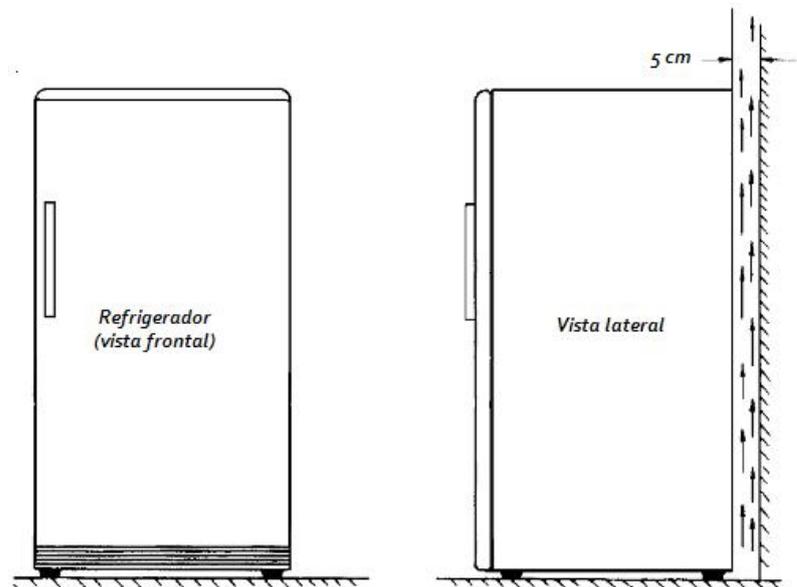
Esta categoría de sistemas de refrigeración, comprende equipos autónomos, instalaciones de prestación a distancia y cámaras frías prefabricadas en los que se almacenan los productos. La mayoría de estos equipos se arman en fábrica, para ser posteriormente instalados, interconectando las tuberías y las conexiones eléctricas. En esta aplicación los equipos varían entre unidades simples hasta sistemas multicompresores en paralelo para abastecer la necesidad del establecimiento.

Físicamente, todas estas maquinas son cajas aisladas térmicamente, algunas con tapas sujetas por bisagras con resortes de compensación que reducen el esfuerzo necesario para abrirla y dependen de su peso y del estado del empaque de puerta para cerrar herméticamente la caja. El exterior de la caja es metálico (*acero galvanizado*), al igual que su interior, al cual se fija (*mecánicamente o mediante adhesivo especial*) una longitud de tubería de cobre que actúa como *evaporador* y cuya distribución es tal, que las paredes y piso del equipo, actúan como intercambiadores de calor, absorbiendo el calor de los productos contenidos en su interior.

El compartimiento de alojamiento de la unidad condensadora, se obtiene a expensas del volumen interno del gabinete, de manera que la superficie exterior del equipo sea un paralelepípedo sin protuberancias [9].

Este compartimiento donde se alojan: *compresor, condensador, ventilador, termostato, elementos de protección del compresor* y el *exceso de tubo capilar*, está diseñado como un *túnel*, de tal manera que se proporcione un *flujo de aire de enfriamiento correcto* al compresor y al condensador, por lo que se instalan rejillas de ventilación observables en las paredes exteriores del mismo equipo, estratégicamente ubicadas para orientar adecuadamente este flujo. Debe tenerse cuidado de mantener una distancia de al menos *cinco (5) centímetros* entre estas rejillas y la pared más próxima, y evitar obstruir de cualquier manera el flujo de aire que es absolutamente necesario para el buen funcionamiento de la unidad (*ver figura 14*).

Figura 14. Distancia de separación requerida para flujo de ventilación.



El tipo de compresor que se ha establecido como el *patrón de referencia* para casi todas estas aplicaciones comerciales, es el ***moto-compresor hermético recíprocante*** o ***alternativo***, por sus ventajas comparativas de bajo costo, funcionamiento confiable, bajo nivel de ruido, tamaño reducido y alta eficiencia (*ver figura 15*).

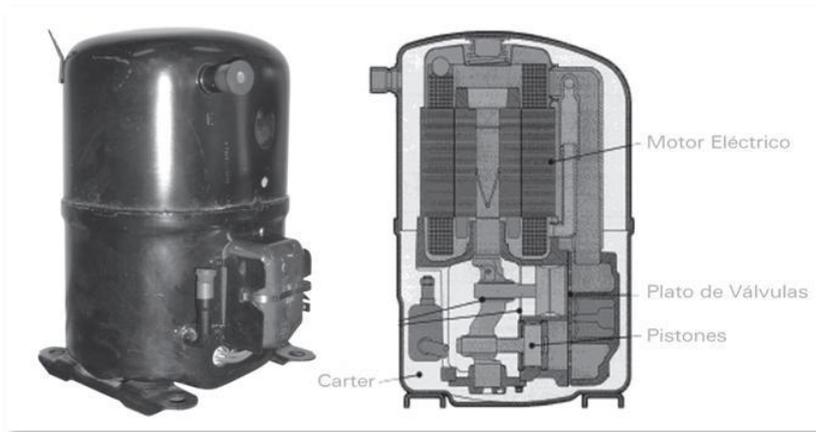


Figura 15.
*Moto-compresor
 hermético
 reciprocante o
 alternativo*

Todos estos equipos de refrigeración, comparten el mismo tipo de componentes, pero con sutiles diferencias en lo que respecta a las características operativas y constructivas [9].

1.5. Características de componentes de los equipos de refrigeración.

1.5.1. Compresores: Los compresores más comúnmente empleados en los sistemas de refrigeración de alimentos son los de pistón o émbolo, los rotatorios y los centrífugos.



Figura 16. *Compresor centrifugo*

Los dos primeros son de desplazamiento positivo, efectuándose la compresión del vapor mediante un miembro compresor. En los de pistón, como su nombre indica, el miembro compresor es un pistón mientras que en los rotatorios, el miembro compresor puede ser un pistón rodante, una aleta rotatoria o un lóbulo helicoidal o tornillo.

En el compresor centrífugo (*figura 16*) la compresión se produce por la acción de la fuerza centrífuga la cual es desarrollada a medida que el vapor es girado por un impulsor de alta velocidad. El tipo de compresor empleado en cada aplicación específica, depende del tamaño y la naturaleza de la instalación y del refrigerante utilizado. El compresor pistón constituye uno de los más divulgados en los sistemas de refrigeración de alimentos, adaptándose especialmente a refrigerantes que requieran desplazamientos relativamente pequeños y presiones de condensación relativamente altas. La potencia requerida por unidad de capacidad de refrigeración y el volumen de succión por unidad de capacidad de refrigeración, constituyen indicadores de la operación de estos compresores [10].

Entre los cálculos que pueden realizarse, están la determinación de la capacidad de refrigeración y la potencia requerida al variar las temperaturas de evaporación y condensación. Asimismo, la selección de un compresor para condiciones específicas de operación, resulta de importancia práctica.

1.5.2. Evaporadores: El equipo donde se produce la ebullición del refrigerante producto de la absorción de calor desde el foco frío recibe el nombre de evaporador. Aunque lo que se produce es una ebullición y no una evaporación, universalmente se acepta la denominación de evaporador para designar al equipo donde ocurre este proceso (*ver figura 17*).

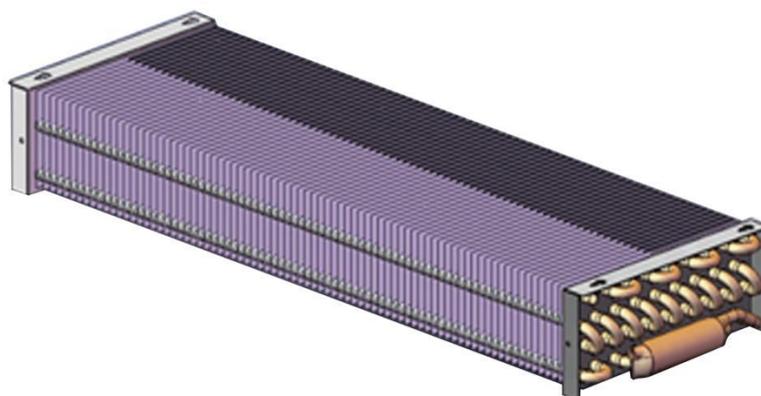


Figura 17.
Evaporador

Debido a la cantidad y variedad de requisitos que deben cumplir estos equipos en función de sus diversas aplicaciones, ellos son fabricados en una amplia gama de tipos, formas, dimensiones y diseños, pudiendo clasificarse según el medio refrigerado, el principio de operación, las características de la superficie de transferencia y según la forma de circulación del fluido a enfriar.

La capacidad de refrigeración de un evaporador está dada por la razón a la cual se trasmite el calor a través de sus paredes, proveniente del espacio o producto refrigerado al refrigerante líquido que circula por su interior, el cual se vaporiza. Esta capacidad está determinada por los factores que gobiernan la transferencia de calor a través de cualquier superficie, esto es, el coeficiente de transferencia de calor, el área de transferencia y la diferencia de temperaturas. La selección de evaporadores para una aplicación específica, constituye un elemento de utilización práctica.

1.5.3. Condensadores: El calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente al trabajo de compresión. Cualquier calor absorbido por el vapor de succión desde el aire de los alrededores, también forma parte de la carga térmica del condensador. Como el trabajo de compresión por unidad de capacidad de refrigeración depende de la relación de compresión, la cantidad de calor rechazado en el condensador varía con las condiciones de operación del sistema (*ver figura 18*).

Los condensadores se agrupan de manera general en enfriados por aire, enfriados por agua y evaporativos. De igual forma que los evaporadores la capacidad del condensador está determinada por los factores que rigen la transferencia de calor. La selección de condensadores para una aplicación dada, resulta de interés práctico.

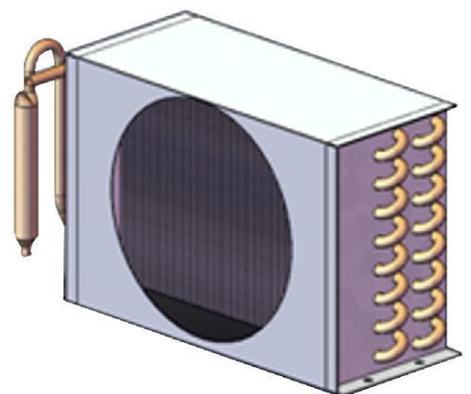


Figura 18. Condensador

1.5.4. Dispositivos de expansión: Los dispositivos de expansión tienen una doble función, la de reducir la presión del líquido refrigerante y la de regular el paso de refrigerante a través del evaporador.



Entre estos dispositivos se encuentran el tubo capilar, la válvula de expansión manual, la válvula de flotador y la válvula termostática. La localización de estos dispositivos así como sus accesorios resultan de especial importancia ya que de ello dependerá su adecuado funcionamiento.

Figura 19. Válvula Termostática

1.5.5. Sistema de refrigeración: Una consideración importante, es establecer las relaciones de balance entre las secciones vaporizante y condensante del sistema, esto es, que la rapidez con que se lleve a cabo la ebullición sea igual a la rapidez con que se produce la condensación. Como todos los componentes del sistema están conectados en serie, el flujo de refrigerante que circula a través de ellos es el mismo, por lo que la capacidad de todos ellos coincidirá (*ver figura 20*).

La selección de los equipos del sistema, debe garantizar igual capacidad de refrigeración a la temperatura de ebullición requerida para lograr remover la carga térmica.

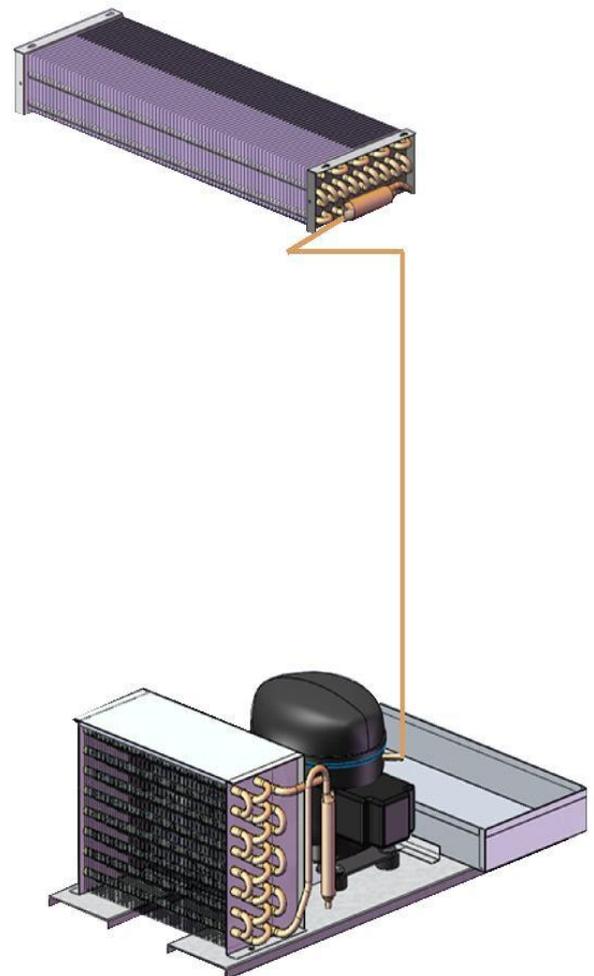
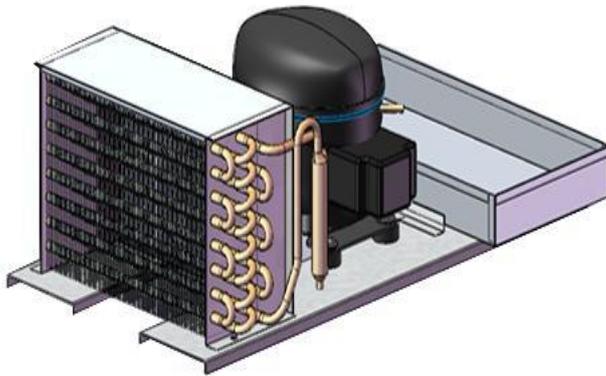


Figura 20. Sistema de refrigeración

Sin embargo, cuando todos los equipos no cumplen con esta condición, resulta importante determinar el punto de equilibrio correspondiente a esta condición.



1.5.6. Carga térmica: La carga térmica o carga de refrigeración, constituye un cálculo importante en los sistemas de refrigeración. Esta carga es el calor que debe ser removido desde el foco frío, a través del evaporador, para que en él se mantenga la temperatura requerida (ver figura 21)

Figura 21. Carga de refrigeración

Las fuentes que contribuyen a la carga térmica son:

- **Carga de los productos:** se incluyen las cargas originadas al llevar el producto, los envases y embalajes y los medios de sustentación empleados en las cámaras, a la temperatura de conservación; en el caso de la refrigeración de frutas y vegetales, esta carga debe contemplar además, el calor de respiración.
- **Carga por transferencia de calor a través de estructuras:** comprende las cargas térmicas debido al calor que se transfiere desde el exterior a través de paredes, techo y pisos de las cámaras.
- **Carga por ventilación:** se refiere a la carga térmica debida a la ventilación controlada de los productos. El almacenaje refrigerado de frutas y vegetales frescos, requiere de esta ventilación para garantizar que la composición de la atmósfera del almacén no se afecte por la propia actividad metabólica de estos productos.
- **Carga por apertura de puertas:** esta carga térmica es consecuencia de la apertura de las puertas, lo que provoca que el aire exterior penetre a la cámara.

- **Carga por el personal:** se encuentra referida al calor que aportan las personas que penetren en la cámara, resultando dependiente de la temperatura en esta y de la actividad que se realiza.
- **Carga por equipos eléctricos:** incluye las cargas por la iluminación, así como por motores en funcionamiento dentro de la cámara, básicamente referidos a los de los evaporadores con movimiento forzado del aire [10].

1.6. Sistemas de refrigeración de equipos fabricados por *INDUFRIAL S.A.*

Los sistemas de refrigeración empleados en los equipos de ***INDUFRIAL S.A.***, como se muestra en la *figura 22*, generalmente utilizan compresores herméticos enfriados por convección natural, con potencias que varían desde ***1/6Hp*** hasta ***1/2Hp***; condensadores de tubo (*tubo - lamina*), enfriados con convección forzada, montados externamente en la parte inferior del gabinete.

Evaporadores de tubo (*tubo - lamina*), algunos del tipo "***roll-bond***" (consistente en dos (**2**) laminas de aluminio adheridas una a la otra), diseñado para que circule el gas refrigerante entre el dispositivo de expansión (*tubo capilar*) y la línea de retorno de gas al compresor. Los evaporadores exponen una gran área superficial destinada a absorber calor del interior del gabinete para que sea retirado de allí por el flujo de refrigerante en evaporación.

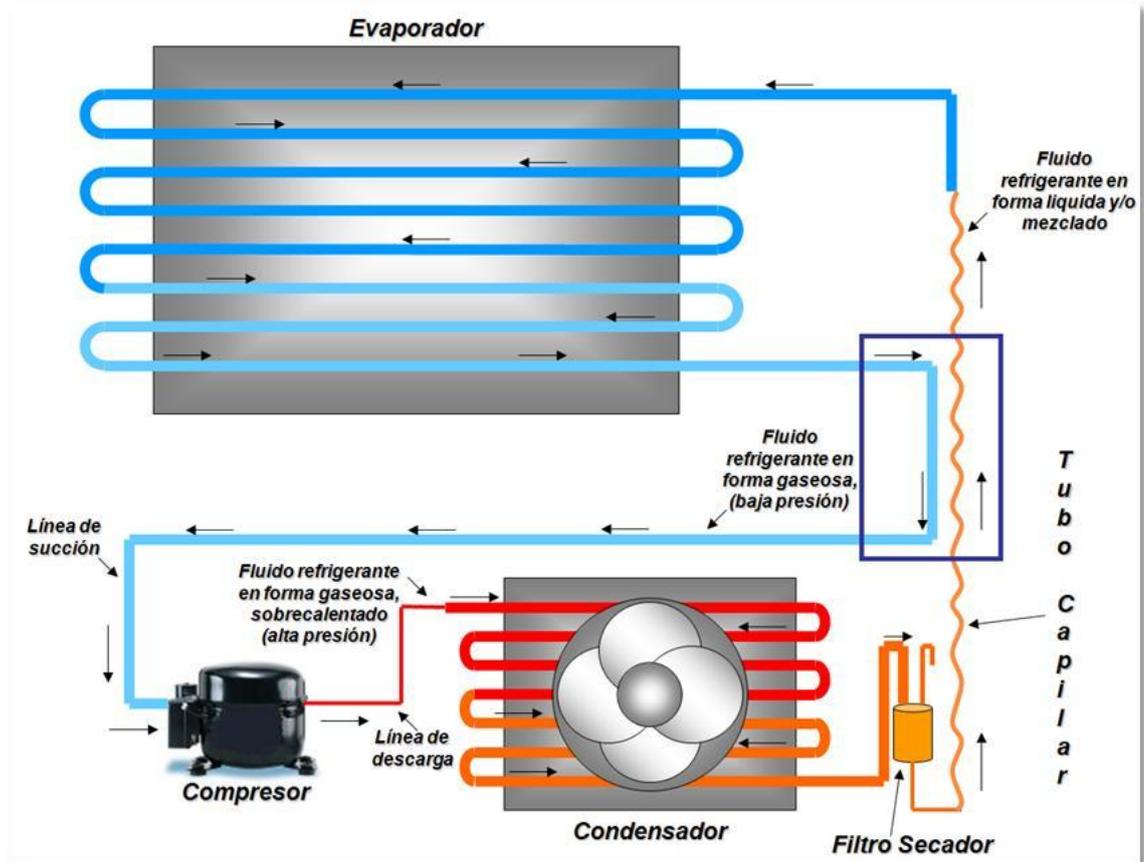


Figura 22. Circuito elemental de refrigeración.

Durante la marcha de un equipo de refrigeración es importante el control de funcionamiento del compresor mediante un termostato de diafragma, sensible a la temperatura, en un punto predeterminado en el interior del gabinete, el cual abre el circuito de alimentación eléctrica del compresor, al alcanzarse la temperatura deseada (seleccionable y ajustable por el usuario dentro de un rango distribuido en un número de divisiones, y que en la mayoría de los casos incluye un interruptor para abrir manualmente el circuito) y cierra nuevamente el circuito cuando la temperatura asciende y alcanza un valor diferencial (no programable por el usuario).

El diferencial entre la temperatura de arranque y parada del compresor es prefijado en la fábrica y es un valor de compromiso que establece la mínima variación de temperatura que permita que el **tiempo de trabajo-reposo del compresor**, tenga una distribución de 50 - 50 (%) en condiciones normales de operación [10].

1.6.1. Temperaturas y presiones de trabajo.

En el diagrama representado en la *figura 23*, se observan zonas importantes donde la temperatura debe ser objeto de medición. A través de las mediciones obtenidas, se puede inferir un comportamiento estable del equipo, acorde al servicio que brinda para las condiciones seleccionadas.

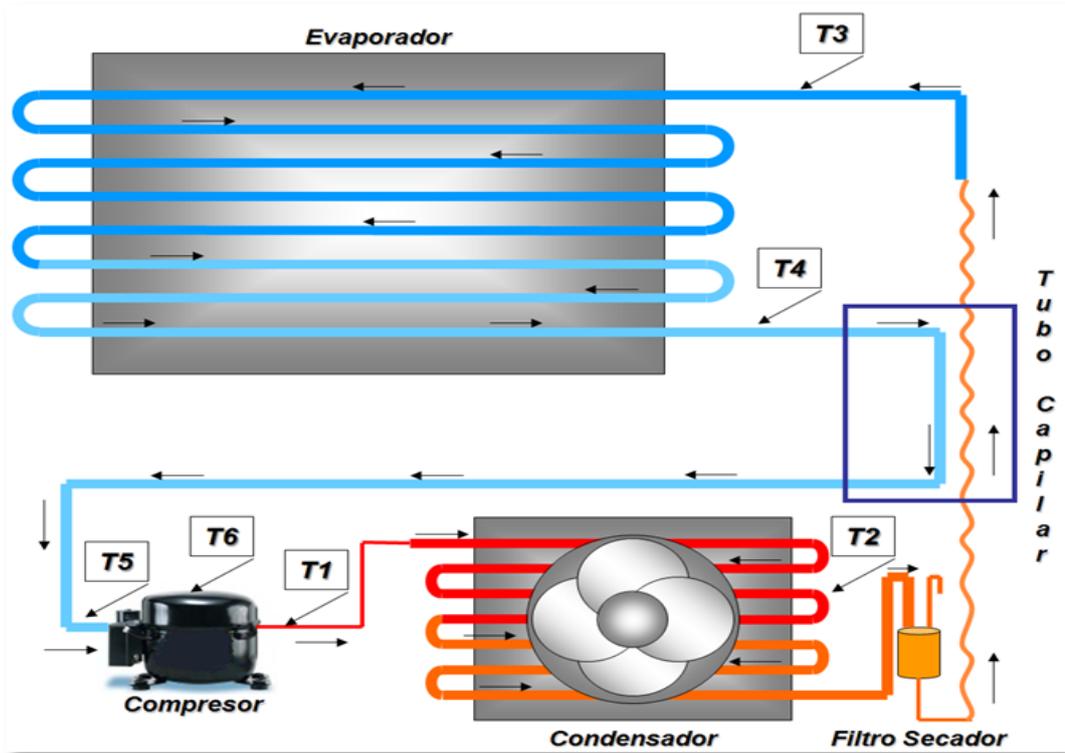


Figura 23. Zonas de mediciones de temperaturas.

- **T1** = Temperatura de descarga del compresor.
- **T2** = Temperatura de condensación.
- **T3** = Temperatura a la entrada del evaporador.
- **T4** = Temperatura a la salida del evaporador.
- **T5** = Temperatura de succión del compresor.
- **T6** = Temperatura de la carcasa del compresor.

Los valores de temperatura obtenidos deben corresponder, a la temperatura estipulada para cada uno de los diseños. Debe procurarse que el equipo mantenga estos valores, pues de ello depende que el compresor funcione bien durante su periodo de vida útil. Estas son las razones:

- **La temperatura de descarga del compresor (T_1)**, usualmente medida en el tubo de descarga, a **5cm** de la carcasa, es un fiel reflejo de la temperatura de la válvula de descarga. Si la temperatura en la válvula de descarga supera el valor límite hay riesgo de carbonización del lubricante en el asiento de la válvula, con la consiguiente pérdida de compresión.
- **La temperatura de condensación (T_2)** debe estar por encima de la temperatura ambiente para que haya intercambio de calor desde el gas refrigerante hacia el aire que rodea el condensador. Asimismo, debe ser tal que respete la máxima presión de descarga recomendada para el compresor.
- **Las temperaturas a la entrada y salida del evaporador (T_3) y (T_4)** iguales, o casi iguales, determinan que se está empleando éste a su plena capacidad, y dependen de la temperatura de evaporación del refrigerante empleado.
- **La temperatura de succión del compresor (T_5)**, depende de que el proceso de evaporación se haya completado dentro del evaporador y del trayecto del vapor por la línea de succión. Para obtener una temperatura aceptable se suele recurrir a un intercambio de calor entre el tubo capilar y el tubo de retorno desde el evaporador a la succión del compresor. El rango de esta temperatura tiene por objeto: **Por el límite inferior:** que no haya retorno de líquido al compresor y, **Por el superior:** que el gas de retorno no llegue excesivamente caliente, pues el equilibrio térmico de funcionamiento, en este caso de un **compresor de baja presión de succión o retorno** requiere de la baja temperatura del gas de retorno para enfriar el compresor y mantener sus temperaturas críticas por debajo de los límites aceptables.
- **La temperatura de la carcasa del compresor (T_6)** (*medida en el domo o centro de la tapa del compresor*), normalmente se toma como referencia para saber a través de esta lectura, si el comportamiento del compresor es el recomendado por el fabricante, basados en los límites de temperatura de funcionamiento.

Tan importantes como las temperaturas mencionadas, son las **presiones de trabajo**. Las presiones de diseño dependen del gas refrigerante empleado y deben fijarse teniendo en cuenta además, de los valores necesarios para un funcionamiento adecuado del sistema aquí indicados, la presión crítica del refrigerante. He aquí, las presiones de trabajo presentes en los sistemas de refrigeración:

- **La presión de equilibrio** que alcance el circuito de refrigeración durante los períodos de reposo del compresor dependerá de la carga de gas del sistema, que deberá ser calculada de manera de lograr el efecto máximo de enfriamiento en el evaporador (que se observa cuando las temperaturas de entrada y salida son iguales o casi iguales). Un exceso de carga producirá como efecto, primero que las presiones de equilibrio sean superiores a lo especificado y segundo, retorno de líquido al compresor.
- **La presión de pico** es la consecuencia de:
a) la presencia de gases no condensables en el sistema o, b) que se ha cargado una mezcla zeotrópica indebidamente, o sea en fase vapor, y como consecuencia el gas resultante no responde a las especificaciones de presiones - temperaturas correspondientes a la mezcla correcta o, c) que se haya introducido una carga térmica en el gabinete demasiado elevada, provocando que el gas de retorno se sobrecaliente en exceso y al ser comprimido en el compresor se eleve temporalmente la presión que alcanza en el condensador. La protección térmica debe estar en capacidad de detectar esta situación y detener temporalmente el compresor [10].
- **La presión de descarga** estabilizada, depende del gas en el circuito y nuevamente de la carga de gas. Las presiones de descarga elevadas pueden ser producto de una sobrecarga de gas en el sistema, así como de un condensador sucio o mal ventilado, por falla del ventilador (si es de enfriamiento forzado) u obstrucción en el flujo regular de aire de enfriamiento.

1.6.2. Otros componentes del circuito eléctrico.

En un circuito básico de refrigeración se encuentran, además de los elementos descritos, un dispositivo de control de funcionamiento del *moto-compresor*, el cual para *refrigeradores comerciales* es normalmente un **termostato** (ver figura 24). O puede también encontrarse un dispositivo de control basado en la presión de retorno al compresor, empleando un **presostato**.



Figura 24. Termostato.

Como circuito auxiliar, no relacionado con el sistema de refrigeración, estos equipos, casi sin excepción, disponen de un **circuito de iluminación** dentro del gabinete, operado por un interruptor de puerta, a fin de que la fuente de luz incandescente no irradie calor cuando la puerta esté cerrada.

Con el desarrollo tecnológico se han incorporado innovaciones tales como el **control digital de temperatura centralizado por microprocesador** (**termostato inteligente**, ver figuras 25 y 26), el cual sustituye los componentes tradicionales tales como el **termostato de diafragma** y el **control de descongelamiento**, y los reemplaza por un dispositivo electrónico que, mediante señales recibidas a través de **termocuplas** ubicadas estratégicamente, no solo lleva a cabo el *control de funcionamiento* sino que registra continuamente las condiciones de operación, indica las *temperaturas de trabajo* y en situaciones de riesgo, genera *señales de alarma* para el usuario y servicio técnico, esto lo exhibe o muestra por medio de un “**display**” o visor, incluido en el mismo dispositivo de control [10].

Esta forma de control tiene además como objetivo optimizar la operación del sistema eléctrico, para minimizar el consumo de energía de estas unidades, normalmente en cumplimiento de exigencias de límites impuestos por entidades reguladoras.



Figura 25. Control digital de temperatura centralizado por microprocesador.

Figura 26. Detalle termostato inteligente.



1.7. Diagnóstico de fallas y reparaciones.

Cuando un sistema de refrigeración se daña o presenta una anomalía, bien sea porque se quema el bobinado del motor del compresor o por cualquier otra causa es necesario e importante efectuar un diagnóstico que permita determinar cuál fue la **causa primitiva** que provocó el daño al compresor o a cualquiera de los elementos que conforman el sistema.

Existe una gran variedad de causas que pudieron originar el desperfecto, es posible que la causa haya sido externa (*alimentación eléctrica deficiente*) o interna (*componente auxiliar o de control del sistema de refrigeración defectuoso*); o carga de gas incorrecta, por exceso o por defecto; empleo de técnicas de limpieza y evacuación del sistema incorrectas; incompatibilidad de lubricante-refrigerante, entre otras, es muy importante conocer el origen de la

falla y corregirla (descartando que no haya sido falla interna del propio compresor) antes de sustituirlo; de otra manera, tarde o temprano la falla se repetirá [3].

Dentro de los principales **Agentes Generadores de Fallas**, se encuentran:

- **Contaminación:** Es necesario resaltar que el interior del sistema de refrigeración debe estar rigurosamente limpio todo el tiempo, porque cualquier clase de contaminación puede provocar desperfectos continuamente y daño permanente a las partes metálicas internas. Mientras que en la línea de producción de la fábrica, se practican procedimientos metódicos de limpieza (disponiendo, incluso de salas de montaje climatizadas), las instalaciones que se llevan a cabo en el terreno carecen naturalmente de estas facilidades. La posible entrada de aire y de polvo cuando se abren los extremos de tubos, válvulas y otras partes, representan un grave peligro. Por esta razón hay que tener sumo cuidado en todas las etapas para evitar más tarde costosas reparaciones.
- **Polvo:** Un peligro para el sistema lo representan también las partículas de polvo, lo cual significa toda materia sólida que se ha introducido en los tubos, válvulas y otras partes abiertas. De nuevo, esta posibilidad existe especialmente cuando se están realizando renovaciones o cuando se están construyendo locales nuevos. El polvo que se ve acumularse sobre las superficies exteriores es prueba de lo que está sucediendo adentro si se permite lo mismo. Para impedir este riesgo, es necesario tapar rápidamente las líneas abiertas, así como eliminar el aire de las mismas.
- **Fugas de refrigerante:** El refrigerante en un sistema de refrigeración nunca se consume totalmente. Si se ha determinado que la cantidad de refrigerante de un sistema está bajo (posiblemente detectado por no realizar enfriamiento), debe verificarse si el sistema tiene fugas, seguidamente repararlo y recargarlo.

Hay varios problemas que pueden plantearse en un sistema que tendrían los mismos síntomas que una fuga de refrigerante, por ejemplo, el ventilador, el compresor y diversos mandos podrían estar funcionando pero el sistema no enfría, deben determinarse siempre las posibilidades, antes de proceder a la recarga de refrigerante. Una carga de refrigerante que ha disminuido es signo probable de fugas, agregar refrigerante sin localizar primero las fugas y subsanarlas, constituye una solución temporal, costosa, incorrecta desde el punto de vista ambiental y no rectificará de manera permanente la dificultad. Hay que tratar de determinar donde se produce la fuga antes de recuperar refrigerante para evitar contaminar el aire circundante con el refrigerante de un sistema recientemente abierto. La presencia de aceite alrededor de una junta de la tubería indica habitualmente que hay fugas pero no hay que considerar esto un factor determinante. Verifique siempre el área con un detector de fugas [3].

- **Causas de las fugas:** Toda fuga de refrigerante es provocada por una falla del material. El mecanismo que crea la falla de material es atribuible normalmente a uno o más de los siguientes factores:
 - a) **Vibración:** La vibración es un factor importante en la falla de material y es responsable del “endurecimiento” del cobre, la desalineación de las selladuras, el desajuste de piezas de sujeción, etc.
 - b) **Cambios de Presión:** Los sistemas de refrigeración dependen de los cambios de presión para su funcionamiento. El régimen de cambio de presión tiene diferentes efectos sobre los diversos componentes del sistema, lo cual resulta en esfuerzos de material por expansión y contracción diferencial del mismo.
 - c) **Cambios de temperatura:** Los sistemas de refrigeración constan frecuentemente de materiales diversos de diferentes espesores de pared. Los rápidos cambios de temperatura resultan en esfuerzos de material por expansión y contracción diferencial del mismo.

- d) **Desgaste por fricción:** Hay muchos casos de desgaste por fricción que provocan falla del material y pueden deberse tanto a un trabajo mal hecho en la tubería fija como a las empaquetaduras de los tubos.
- e) **Selección incorrecta del material:** En varios casos se han seleccionado materiales que son inapropiados; por ejemplo, ciertos tipos de manueras flexibles adolecen de una incidencia de fugas conocida y se han utilizado materiales que se sabe fallan en determinadas condiciones de vibración, presión transeúnte y cambios de temperatura.
- f) **Accidentes:** Esto se produce raramente pero hay que tener cuidado de proteger los sistemas presurizados de posibles accidentes.

Los siguientes criterios de diagnósticos de fallas y acciones correctivas, son aplicables a todas las líneas de equipos de refrigeración comercial, dotados de compresor hermético.

Debe considerarse si para el circuito en particular aplica o no el diagnóstico, dependiendo de si usa o no el componente referido en el punto señalado [3].

NOTA: *Este listado no es exhaustivo y pueden existir condiciones de funcionamiento incorrecto, no tomadas en cuenta para la elaboración de este cuadro resumen.*

Las fallas que se diagnostican, se muestran de acuerdo al siguiente orden:

- a) *Problemas de arranque (ver tabla 2).*
- b) *Funcionamiento irregular (ver tabla 3).*
- c) *Ruidos en el sistema (ver tabla 4.)*

a) PROBLEMAS DE ARRANQUE.

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
<p>Compresor no arranca: No emite ningún sonido.</p>	<p>Alimentación eléctrica no llega los bornes del compresor, o no es suficiente (bajo voltaje).</p>	<p>Verificar si el equipo está enchufado y si el voltaje en el tomacorriente es el correcto (110 V ± 10%).</p>	<p>Si el voltaje no está en el rango correcto, emplear un regulador de voltaje de la capacidad necesaria. Si está en el rango correcto, enchufar y probar.</p>
		<p>Si la línea a la que está conectado el equipo está sobrecargada, quitar otras cargas eléctricas del circuito y verificar.</p>	<p>Puede ser necesario crear un circuito de alimentación independiente para el equipo, con un interruptor termomagnético ("breaker") independiente.</p>
		<p>Verificar el cableado.</p>	<p>Corregir si hay interrupción(es) o conexión(es) equivocada(s).</p>
		<p>Verificar el termostato.</p>	<p>Puentear contacto, si el compresor arranca, revisar y si es necesario, sustituir termostato.</p>
		<p>Verificar el temporizador de descongelamiento (si aplica). El motor debe girar. Los contactos deben abrir y cerrar accionados por las levas correspondientes al girar manualmente el rotor.</p>	<p>Si el motor del temporizador no gira cuando se le energiza o los contactos no abren y cierran normalmente, sustituir con otro similar o equivalente.</p>
	<p>Verificar condición y especificaciones del relé de arranque y de la protección térmica del compresor, y del capacitor de arranque y el de marcha (si aplica).</p>	<p>Sustituir con el reemplazo correcto el componente defectuoso.</p>	
	<p>Compresor defectuoso.</p>	<p>Verificar resistencias de bobinas con especificaciones del fabricante y aislamiento a tierra. Probar si arranca aplicando el voltaje correcto directamente a bornes.</p>	<p>Recuperar el gas, sustituir el compresor por otro idéntico o su equivalente exacto. Investigar causa de daño al compresor y corregir.</p>

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
Compresor no arranca: Actúa la protección térmica.	Conexión inadecuada.	Verifique conexiones de acuerdo con diagrama eléctrico.	Arranque el compresor y compruebe parámetros eléctricos.
	Bajo voltaje o voltaje incorrecto.	Corrija situación.	Incorpore regulador de voltaje.
	Capacitor de arranque defectuoso ó incorrecto.	Verifique valor correcto.	Sustituir.
	Relé de arranque defectuoso ó incorrecto.	Verifique valor correcto.	Sustituir.
	Protección térmica distinta a la especificada.	Verifique valor correcto.	Sustituir.
	Bobinas del compresor abierta o a tierra.	Verifique resistencia/continuidad y continuidad a tierra.	Sustituir el compresor.
Compresor arranca: Actúa la protección térmica.	Voltaje muy alto o muy bajo.	Corrija situación.	Incorpore regulador de voltaje.
	Protección térmica distinta a la especificada.	Verifique valor correcto.	Sustituir.
	Capacitor de marcha defectuoso.	Verifique valor correcto.	Sustituir.
	Corriente eléctrica excesiva en la protección térmica.	Verifique la causa del incremento de consumo eléctrico (puede ser el ventilador de condensación, si ha sido conectado a través de un puente erróneamente).	Corrija la condición que causa el aumento de consumo eléctrico, sustituir el elemento responsable.
	Carga de gas del sistema excesiva.	Verifique presiones manométricas de alta y de baja del sistema.	Recupere el exceso de gas en un cilindro hasta alcanzar lecturas de presiones aceptables.
	Compresor inadecuado para la aplicación.	Verifique características del sistema y determine cuál es el compresor que se debe emplear.	Sustituir el compresor de acuerdo a lo recomendado para la aplicación.

Tabla 2. Problemas de arranque [3].

b) FUNCIONAMIENTO IRREGULAR.

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
Temperatura interna muy baja.	Control manual del termostato fijado en una división correspondiente a una temperatura muy baja (ver manual del fabricante).	Poner el termostato en el valor correspondiente a la temperatura esperada.	Esperar y verificar que la temperatura ascienda al valor deseado.
Lado de conservación y congelación demasiado calientes.	Control manual del termostato fijado en una división correspondiente a una temperatura muy alta (ver manual del fabricante).	Poner el termostato en el valor correspondiente a la temperatura esperada.	Esperar y verificar que la temperatura descienda al valor deseado.
	Evaporador bloqueado por hielo.	Verificar funcionamiento del termostato y temporizador de descongelamiento.	Sustituir componente defectuoso.
	Carga de refrigerante insuficiente.	Verifique si hay fugas.	Recupere el refrigerante, repare fuga(s), recargue y revise nuevamente.
	Condensador sucio.	Limpia condensador y todo el compartimiento de la unidad condensadora.	Instruir al usuario, verificar funcionamiento.
	Flujo de aire insuficiente al condensador.	Ventilador de la unidad condensadora defectuoso. Obstrucción al paso de aire a la unidad condensadora.	Sustituir. Despejar el paso de aire, reposicionar artefacto si es necesario.
	Puerta(s) descuadrada(s) (No cierra(n) uniformemente).	Nivelar el gabinete, revisar bisagras, cambiar borde imantado si fuese necesario. Revisar si algún objeto (gaveta) o carga impide que la(s) puerta(s) cierre(n) totalmente.	Verificar correcto sello entre borde imantado y gabinete con una hoja de papel.
	Apertura de puerta demasiado frecuente.	Instruir al usuario.	Reducir la frecuencia de apertura de puerta planeando cuándo hacerlo anticipadamente y no abrirla innecesariamente.
Lado de congelación demasiado frío.	Control manual del termostato fijado en una división correspondiente a una temperatura muy baja (ver manual del fabricante).	Poner el termostato en el valor correspondiente a la temperatura esperada.	Esperar y verificar que la temperatura ascienda al valor deseado.
	Bulbo sensor del termostato mal ubicado.	Reposicionar en la ubicación original establecida por el fabricante del equipo. Fijar para que no se vuelva a mover.	Esperar y verificar resultado del cambio.
	Termostato dañado (contactos soldados).	Accionar manualmente termostato para que abra contactos; si no reacciona, sustituir.	El sustituto debe ser de idénticas características que el sustituido.

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
Temperatura interna elevada.	Control manual del termostato fijado en una división correspondiente a una temperatura muy alta (ver manual del fabricante.)	Poner el termostato en el valor correspondiente a la temperatura esperada.	Esperar y verificar que la temperatura desciende al valor deseado.
	Apertura de puerta demasiado frecuente.	Instruir al usuario.	Reducir la frecuencia de apertura de puerta planeando cuándo hacerlo anticipadamente y no abrirla innecesariamente.
	Puerta descuadrada (no cierra uniformemente).	Nivelar el gabinete, revisar bisagras, cambiar borde imantado si fuese necesario. Revisar si algún objeto (gaveta) o carga impide que la(s) puerta(s) cierre(n) totalmente.	Verificar correcto sello entre borde imantado y gabinete con una hoja de papel.
	Carga de alimentos tibios o calientes en el compartimiento.	Instruir al usuario.	Solo se deben cargar recipientes cuando estén a temperatura ambiente.
	Distribución de carga en los estantes, obstruyendo el paso de aire o empleo de papel aluminio para recubrir los estantes.	Instruir al usuario a distribuir la carga de tal manera, permita el paso de aire de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba. Eliminar práctica de recubrir estantes con papel aluminio.	Reordenar la carga y verificar si la situación se corrige.
	Luz interior no apaga.	Verifique interruptor de luz accionado por la puerta.	Si no abre el circuito, sustituir.
	Ventilador del evaporador gira a velocidad inferior a la especificada.	Verificar velocidad de las aspas y ajuste de estas en el eje.	Sustituir aspas si no ajustan o el motor completo si este gira lento.
	Ventilador del evaporador no gira.	Verificar motor alimentándolo directamente y verificar el cableado.	Sustituir motor si esta es la causa o corregir el cableado si esta es la razón.
	Exceso de hielo en el evaporador.	Descongelar.	Verificar si esto corrige la situación.
	Compresor ineficiente.	Verificar temperaturas de succión y descarga del compresor y presiones de alta y baja.	Sustituir compresor si se comprueba la falta de eficiencia.
Compresor ciclando por protección térmica.	Revisar causa de sobrecarga del compresor.	Eliminar causa de sobrecarga.	

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
El compresor funciona continuamente	Puerta(s) descuadrada(s) (no cierra(n) uniformemente).	Nivelar el gabinete, revisar bisagras, cambiar borde imantado si fuese necesario. Revisar si algún objeto (gaveta) o carga impide que la(s) puerta(s) cierre(n) totalmente.	Verificar correcto sello entre borde imantado y gabinete con una hoja de papel.
	Carga de alimentos tibios o calientes en el compartimiento; o exceso de carga introducida; o puerta mantenida abierta.	Instruir al usuario.	Solo se deben cargar recipientes cuando estén a temperatura ambiente; la puerta solo debe ser abierta por intervalos cortos de tiempo.
	Termostato dañado (contactos soldados).	Accionar manualmente termostato para que abra contactos; si no reacciona, sustituir.	El sustituto debe ser de idénticas características que el sustituido.
	Carga de refrigerante insuficiente.	Verifique si hay fugas.	Recupere el refrigerante, repare fuga(s), recargue y revise nuevamente.
	Bulbo sensor del termostato mal ubicado.	Reposicionar en la ubicación original establecida por el fabricante del equipo. Fijar para que no se vuelva a mover.	Esperar y verificar resultado del cambio.
	Compresor ineficiente.	Verificar temperaturas de succión y descarga del compresor y presiones de alta y baja.	Sustituir compresor por otro idéntico o de la misma capacidad si se comprueba la falta de eficiencia.
	Apertura de puerta demasiado frecuente.	Instruir al usuario.	Reducir la frecuencia de apertura de puerta planeando cuándo hacerlo anticipadamente y no abrirla innecesariamente.
	Luz interior no apaga.	Verifique interruptor de luz accionado por la puerta.	Si no abre el circuito, sustitúyalo.

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
Hielo en el evaporador.	Temporizador de descongelación inoperativo.	Verificar funcionamiento o cableado de alimentación (arnés)	Reparar cableado o sustituir el control si está dañado.
	Resistencia de descongelamiento abierta.	Verificar continuidad de la resistencia y su circuito de alimentación.	Reparar cableado o sustituir resistencia si está abierta.
	Termostato dañado (contactos soldados).	Accionar manualmente termostato para que abra contactos; si no reacciona, sustituir.	El sustituto debe ser de idénticas características que el sustituido.
	Bulbo sensor del termostato mal ubicado.	Reposicionar en la ubicación original establecida por el fabricante del equipo. Fijar para que no se vuelva a mover.	Esperar y verificar resultado del cambio.
Línea de retorno de gas al compresor cubierta por hielo (normalmente el evaporador también habrá acumulado hielo).	Ventilador del evaporador defectuoso.	Puede que esté girando a menos velocidad de lo regular pero sin que ello sea apreciable a simple vista.	Verificar velocidad con un tacómetro si se dispone de uno; sino, sustituir motor y comprobar que se corrige la situación.
Formación de hielo demasiado rápido en las paredes del evaporador.	Filtración de aire atmosférico húmedo hacia el interior del compartimiento.	Burletes de puerta defectuosos, puerta descuadrada.	Sustituir borde imantado, ajustar puerta, verificar ajuste entre el borde imantado y el marco.
El congelador funciona pero se calienta.	Humedad en el refrigerante.	Instale nuevo filtro secador en la línea de líquido, antes del capilar.	Siempre instale un filtro secador de mayor capacidad que el original, por seguridad.
Pérdida gradual de capacidad de congelación.	Presencia de parafina en el lubricante que se separa en el capilar creando una obstrucción parcial creciente.	Limpiar el capilar (si es posible) con barrido de solvente aprobado, seguido de nitrógeno.	Es más seguro sustituir el capilar, respetando longitud y diámetro interno.

Tabla 3. Funcionamiento irregular [3].

c) RUIDOS EN EL SISTEMA.

FALLA	DIAGNOSTICO	SOLUCIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA
Funcionamiento ruidoso.	Tubos, condensador, compresor, componentes en general, partes mecánicas sueltas, haciendo contacto entre sí o con el gabinete.	Revisar y reposicionar componentes para que no hagan contacto entre sí, puesto que ellos vibran por estar de alguna manera vinculados al compresor.	Los componentes hacen menos ruido si vienen fijados con sujetadores a partes fijas de gran tamaño relativo (el gabinete o el chasis de la unidad condensadora).
	Bases de goma del compresor, mal colocadas o dañadas.	Acomodar, o sustituir.	Las bases de goma se deben montar según las especificaciones del fabricante del compresor.
	Aspas del ventilador de condensación desbalanceadas.	Sustituir. Verificar que no hagan contacto con partes fijas del gabinete.	Verificar que las aspas sustitutas sean idénticas a las sustituidas y estén bien balanceadas.
	Bases del gabinete desniveladas.	Nivelar bases del gabinete con el piso.	El gabinete debe estar sólidamente apoyado en el piso para que no transmita vibración proveniente del compresor y aspas de los motores eléctricos de ventilación.
	Tornillos de fijación de abrazaderas o componentes flojos o faltantes.	Colocar tornillos faltantes, ajustar los que estén flojos.	Por efecto de la vibración algunos tornillos pueden aflojarse e incluso caerse. Cada tornillo es importante.
	Sonidos provenientes del compresor.	Sustituir el compresor.	Verificar que el sistema funcione correctamente después de la sustitución.

Tabla 4. Ruidos en el sistema [3].

1.8. Mantenimiento.

Se define como el conjunto de actividades humanas eficaces y necesarias para mejorar aspectos operativos relevantes de un establecimiento tales como funcionalidad, seguridad, productividad, confort, imagen corporativa, salubridad e higiene. El Mantenimiento es una profesión que se dedica a la conservación de los equipos de producción, para asegurar que estos se encuentre disponibles constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sean seguros de operar. El mantenimiento otorga la posibilidad de racionalizar costos de operación, además, garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada. Cualquier clase de trabajo hecho en sistemas, subsistemas, equipos maquinas, etc., para que estos continúen o regresen a proporcionar el servicio con calidad esperada, son trabajos de mantenimiento, pues están ejecutados con este fin.

1.8.1. Tipos de mantenimiento.

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados, así tenemos:

- **Mantenimiento correctivo:** Este mantenimiento también es denominado "*mantenimiento reactivo*", tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema.
- **Mantenimiento preventivo:** Este mantenimiento también es denominado "*mantenimiento planificado*", tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería. Se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema.
- **Mantenimiento predictivo:** Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento.

Para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo.

- **Mantenimiento proactivo:** Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento, deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

1.8.2. Mantenimiento de sistemas de refrigeración.

Los equipos de refrigeración deben inspeccionarse y mantenerse de manera regular y minuciosa, para disipar la aparición de fallas y minimizar (cuando aparecen), las averías en el sistema. La frecuencia de las inspecciones y mantenimiento necesarios, depende de la intensidad de uso del sistema, de la carga del refrigerante y del carácter del sistema, es decir, su campo de aplicación. El mantenimiento incluye una verificación de la debida función de todos los componentes, del ajuste correcto de los controles y de todos los dispositivos de seguridad. Para evitar los problemas que traen consigo los contaminantes presentes en el aire, es de suma importancia adoptar medidas preventivas estrictas para evitar fallas en estos equipos [3].

1.8.2.1. Consideraciones sobre la instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración.

- ❖ **Servicio técnico:** El fabricante ha diseñado y construido el equipo siguiendo, en general, los principios fundamentales de ingeniería y, en particular, de refrigeración; en cuanto al dimensionamiento del circuito, selección y empleo de componentes apropiados y de calidad; y adicionalmente, se hayan incorporando al cálculo los factores de seguridad que requieran las aplicaciones y situaciones en que se utilizará el equipo.

Los equipos son inicialmente diseñados para un determinado fluido refrigerante cuyos parámetros tales como temperaturas y presiones críticas determinan cuáles componentes han sido incorporados al sistema.

El técnico de servicio debe atender las especificaciones de diseño para la toma de decisiones y tener cuidado al introducir cambios, ya sea en el fluido refrigerante o en los componentes mecánicos que conforman el sistema, de no violar los límites del diseño.

En el caso de equipos de instalación simple, es responsabilidad del **propietario**, estar pendiente en instalar la unidad correctamente, acompañado de su correspondiente manual de instalación y certificado de garantía. Si se trata de una instalación de refrigeración compleja, cuya complejidad de instalación requiera la intervención de un técnico, es responsabilidad del **propietario**, contratar los servicios de una empresa competente que garantice una instalación adecuada de los elementos mecánicos del sistema en general [3].

NOTA: El propietario debe evitar en todo momento la contratación de técnicos en refrigeración que no tengan el soporte de conocimiento adecuado tanto en el ámbito ambiental como profesional.

Debe tenerse presente que los equipos de refrigeración son sumamente susceptibles a diversas influencias del entorno: particularmente *la alimentación eléctrica, la temperatura ambiente y las condiciones de contaminación del aire* (que le sirve de medio de intercambio de calor). En este sentido, las deficiencias en estos tres factores son las mayores causas de fallas de equipos y por consiguiente el diagnóstico preventivo de la calidad de estos parámetros es clave para un buen funcionamiento de los sistemas. Los técnicos de servicio deben estar pendientes de observar estos parámetros y dar las recomendaciones pertinentes a los usuarios cuando observen alguna deficiencia en estas condiciones de trabajo para que se tomen las medidas

correctivas o preventivas que pueden consistir en instalar un *regulador o estabilizador de voltaje, incrementar la frecuencia de limpieza del condensador, ubicar el artefacto en lugares donde las temperaturas sean menores o en sitios donde haya mejor circulación de aire*, para mencionar solo algunas de ellas.

Después de haber realizado una instalación adecuada al diseño del equipo o sistema, el usuario debe asegurarse de darle el uso que corresponda (*según el diseño*), y de darle el cuidado y mantenimiento preventivo adecuados, para que la unidad alcance o supere la vida útil esperada [3].

1.8.2.2. Inspección periódica y mantenimiento preventivo.

Una vez instalado el equipo y verificadas las condiciones normales de operación, cualquier variación en estas pueden ser indicio del comienzo de una condición de falla. Mientras más temprano se detecte una condición de operación que no responda al funcionamiento normal, es más probable hacer una reparación de menor costo y menos invasiva, que no necesite extraer el refrigerante del sistema. Es menos costoso:

- ✓ *Limpiar periódicamente el condensador (y en general todo el compartimiento donde se ubican el compresor y sus accesorios y en algunos casos el condensador).*
- ✓ *Eliminar el hielo adherido a las paredes del evaporador, sin emplear objetos punzopenetrantes.*
- ✓ *Cambiar empacaduras de puertas en mal estado.*
- ✓ *Observar que el compresor arranque y pare a intervalos regulares de cierta duración y no en intervalos cortos (síntoma de operación por actuación del protector térmico).*
- ✓ *Revisar que la temperatura de conservación o congelación se alcance con el termostato de control puesto en posiciones intermedias (nunca en el extremo superior).*

- ✓ *Otros aspectos de cuidado regular del equipo, que esperar hasta que la situación irregular provoque finalmente la falla del compresor e irremediablemente la necesidad de su sustitución con la consiguiente obligación de recuperar el gas que (en caso de motor quemado), no podrá ser ni siquiera regenerado y deberá ser destruido.*

Considerando que un sistema de refrigeración está diseñado para operar bien durante un largo período de tiempo, hay que tomar en cuenta la importancia que tiene un programa de mantenimiento preventivo y la revisión permanente de las condiciones de trabajo del equipo, observando variaciones de estas que pudiesen indicar una situación que derive en una falla a corto, mediano o largo plazo [3].

Las personas responsables del cuidado y mantenimiento del equipo deben estar preparadas para determinar, a partir del seguimiento del desempeño normal, cuándo algún parámetro esté presentando desviaciones que hagan sospechar que un componente del sistema esté presentando funcionamiento irregular.

En tal caso, corresponderá sustituir este dispositivo una vez confirmado el diagnóstico preliminar, a fin de evitar que su accionamiento fuera de los parámetros de diseño, provoque daños consecuentes a otros componentes de mayor costo, cuya reparación o sustitución represente no solo costos mayores sino también la necesidad de realizar reparaciones que requieran extraer el gas del sistema, con la secuela de riesgos que ello implica de fugas de este a la atmósfera [3].

Recuerde que... mientras se lleve a cabo un diagnóstico acertado de una falla menor, mucho más efectiva será la reparación que deba efectuarse.

1.8.2.3. Sustitución de componentes.

Cuando se sustituyen componentes, debe asegurarse que el sustituto sea exactamente igual al sustituido, en lo que respecta a prestaciones; y de similar o mejor calidad. Si no se consigue uno que reúna estos requisitos, se deben analizar las consecuencias de aceptar las desviaciones y si eso implica el riesgo de que esta decisión no sea totalmente segura o satisfactoria, y si la necesidad de que el equipo reanude su funcionamiento lo antes posible, quizás sea necesario emplear este componente solo temporalmente para que el usuario pueda seguir utilizando el equipo, pero se debe corregir el sistema a especificaciones originales tan pronto se consiga el componente que sí responda a las solicitudes de diseño.

Esto es de particular importancia cuando se trata de elementos de protección térmica y de dispositivos de arranque. En muchos casos se emplean sustitutos genéricos o aproximados que no garantizan protección en todos los casos de funcionamiento del sistema de refrigeración en condiciones extremas de aplicación [3].

1.8.3. Herramientas y equipos de servicio.

Cualquiera que sea el tipo de equipo de refrigeración que requiera servicio, las herramientas e instrumentos son los mismos. Los procedimientos son los que variarán, en función de la simplicidad o complejidad del equipo. Los procedimientos de recuperación y reciclaje, que han sido parte integral del mantenimiento de grandes equipos por razones económicas, ahora se incorporan como una obligación para cualquier equipo que emplea SAO, por razones ecológicas y legales, e implican la imperiosa necesidad de incorporar al equipamiento de los técnicos, equipo de recuperación y cilindros para gases recuperados [3]. La seguridad en estas actividades debe ser considerada como una actividad prioritaria, tanto en el orden personal como en lo concerniente al equipo y al entorno, por lo cual siempre deben adoptarse medidas preventivas en todos estos órdenes:

- **Elementos de protección personal:** según sea el caso, deberá hacerse uso de lentes o anteojos de seguridad, guantes de material apropiado, ropa o protecciones contra salpicaduras de sustancias peligrosas, casco (en caso de trabajos en equipos industriales), máscaras de respiración asistida (en caso de trabajos efectuados en ambientes cerrados con sustancias tóxicas) y cualquier otra protección que se considere recomendable para minimizar los riesgos para el operario, sus ayudantes y otras personas en el entorno.
- **Elementos de prevención de ocurrencia de eventos:** que pongan en peligro al técnico, tal como bloqueo mecánico de interruptores principales (si existe la posibilidad) y señalizaciones visuales que instruyan a terceros sobre acciones que no deben llevarse a cabo mientras se está efectuando servicio a un equipo.
- **Empleo de instrumentos de medición y herramientas:** que garanticen la seguridad tanto para el técnico como para el equipo.

1.8.3.1. Herramientas de servicio.

- **Instrumentos de medición:** El servicio técnico de un equipo de refrigeración debe iniciarse por un diagnóstico correcto, el cual depende del uso de instrumentos que permitan medir las condiciones de trabajo encontradas, y a partir de las lecturas obtenidas, aplicando los conocimientos teóricos sobre las propiedades del refrigerante, especificaciones de los componentes y las condiciones de trabajo óptimas para ese equipo, tomar las medidas correctivas, empleando las herramientas apropiadas [3]. Los principales instrumentos de medición son:
 - **Juego de manómetros:** Este instrumento consiste en un par de manómetros (normalmente del tipo "Bourdon", (*ver figura 27*)). El juego de manómetros tradicional cuenta con dos instrumentos, dos válvulas y tres conexiones; las dos válvulas abren o cierran permitiendo que las tres conexiones se intercomunicuen entre sí. Los dos instrumentos, uno, combinado, donde se puede leer desde vacío absoluto (con baja precisión)

hasta valores relativamente bajos de presión, suficientes para las presiones que se encuentran en el lado de baja del sistema y el otro instrumento, cuya escala cubre el rango de presiones que se encuentran en el lado de alta del sistema. Las escalas de presiones son complementadas con escalas correspondientes de temperatura para una determinada familia de refrigerantes. Se debe tener la precaución de emplear el juego de manómetros de acuerdo al gas del sistema, previniendo el riesgo de que la presión del sistema para algunos gases sea más alta de lo que indica el tope de escala del instrumento y que pueda dañar al mecanismo, o perforar el tubo de "Bourdon" con la consiguiente fuga de gas.



Estos instrumentos simplifican las maniobras de recuperación, evacuación y carga de un sistema [3].

Figura 27. Manómetros.

- **Pinza voltiamperimetrica:** Instrumento de medición de parámetros eléctricos. Necesario para medir tensiones entre diversos puntos de un circuito, valores de resistencia óhmica y la corriente que circula en un conductor. Existen versiones análogas y digitales y es importante familiarizarse con sus características de precisión, repetitividad, tolerancia, etc.



Figura 28. Pinza voltiamperimetrica.

- **Termómetros:** La refrigeración es una técnica cuyos valores fundamentales son temperaturas. No debemos evaluar resultados en refrigeración basándonos en sensaciones táctiles o visuales.



Figura 29. Termometro digital.

El instrumento necesario es el termómetro y debe ser considerado imprescindible para cualquier servicio. Existen termómetros analógicos y digitales y de diversos rangos de temperatura. En refrigeración se emplean termómetros con rangos desde temperaturas de congelación hasta temperaturas de condensación y más, necesarios para medir temperaturas de descarga.

- **Detector electrónico de fugas:** Este instrumento permite localizar en el aire ambiental la presencia de moléculas de cloro, o flúor o hidrocarburos o amoníaco u otros gases; no son universales y es necesario utilizar uno específico para cada tipo de refrigerante. Son instrumentos muy sensibles, capaces de detectar concentraciones en el orden de decenas de ppm con tolerancias del orden de ± 5 ppm.



Figura 30. Detector electrónico de fugas.

Por lo mismo, es necesario emplearlos en ambientes donde no existan otras fuentes de contaminación, aparte de la fuente de fuga, para evitar falsas advertencias.

- **Herramientas manuales:** Luego que se ha efectuado el diagnóstico de un sistema, se han registrado los valores de las condiciones de trabajo encontradas, si se ha detectado alguna situación que amerite corrección, surge la necesidad de prestar el servicio pertinente, lo cual requiere el uso de herramientas de buena calidad y en buenas condiciones [3]. Entre ellas podemos mencionar:

- **Calibrador de capilares** (ver figura 31).



Figura 31. Calibrador de capilares.

- **Alicates** (ver figura 32).

De tipo electricista, "pico de loro", de corte, de presión, cortador de capilares, de presión con perforador de tubería de cobre, de presión con mordazas conformadas para obturar por compresión tubería de cobre.



Figura 32. Alicates.

- **Llaves de servicio con mecanismo de trinquete** (ver figura 33).



Figura 33. Ratchet, llave de boca ajustable, juego de llaves combinadas, juego de llaves "allen", juego de destornilladores, espejos de inspección.

CAPITULO II.

INDUFRIAL: CENTRO DE REFERENCIA DE FABRICACIÓN DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.

2.1. Reseña histórica.

INDUFRIAL S.A. surgió por la iniciativa del Señor **Enrique Zurek Mesa** en el año de **1956**, dentro de un garaje ubicado en *la calle del Tejadillo* en Cartagena. Enrique Zurek Mesa con un grupo de amigos y un pequeño capital, inicia esta industria de refrigeración comercial.



Figura 34. Logotipo de INDUFRIAL S.A.

Después de muchos ensayos y de intenso trabajo, se produce el *primer modelo de enfriador con capacidad para enfriar 200 botellas de gaseosas y cervezas.*

Los primeros modelos fabricados fueron vendidos a la firma **LARSEN Y GAVASSA & CIA.**, que tiene sucursales en Bogotá y Cúcuta. Posteriormente, el señor **Alfonso Pereira Morales**, demostró también interés por estos enfriadores adquiriendo un gran número de unidades. En el curso de estas negociaciones el señor *Alfonso Pereira* se hizo socio de la firma. Con su apoyo y colaboración ingresaron también como socios los señores **Antonio Araujo, Arvelio García** y **Jorge Tahua Suárez**, para consolidar el capital de la empresa y empezar así una organización con bases mas firmes.

En **1960** se crearon las bases para el gran desarrollo de **INDUFRIAL S.A.** con la adquisición de *10.000 metros cuadrados en el barrio el Bosque*, lugar donde actualmente se encuentra ubicada la empresa. Tiempo después, se adquieren *600 metros cuadrados* más, aledaños a la planta, para nuevas ampliaciones.

La empresa ha procesado y puede producir aparatos para **refrigeración doméstica, comercial e industrial**, pero actualmente, por las condiciones del mercado, dedica la capacidad instalada de la planta exclusivamente a la refrigeración comercial.



En **1998, INDUFRIAL S.A.**, culminó la reconversión industrial, amparada en el *protocolo de Montreal* y tendiente a la eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono en su proceso productivo. El Ministerio del Medio Ambiente da la constancia **UTO**, que junto con la autodeclaración **“Protegemos su vida, cuidamos la capa de ozono”**, se sustenta este cambio en beneficio del medio ambiente.

Figura 35. Logotipo de UTO.

INDUFRIAL S.A. cuenta con un selecto equipo humano que la sitúa en la vanguardia de la fabricación del frío que mas vende en Colombia, posicionándola en otros países de América Latina con la más avanzada tecnología para la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes.

2.2. Misión de la fábrica.

Satisfacer las necesidades de frío de los clientes institucionales y no institucionales del mercado nacional e internacional, compaginando sus intereses con los nuestros a través de la búsqueda del beneficio común.

2.3. Visión de la fábrica.

Permanecer en el mercado como la primera opción de refrigeración comercial, a través de la calidad, la innovación, el servicio y el cumplimiento de los compromisos para dar felicidad y bienestar a los empleados y a la comunidad.

2.4. Diferentes modelos fabricados.

Existen cuatro (4) tipos básicos de artefactos destinados a este sector.

1. **Botelleros:** Son equipos diseñados para almacenar y mantener bebidas a temperaturas bajas entre -4°C y 0°C , (ver figura 36).



Figura 36. Equipo Botellero

2. **Congeladores:** Son equipos diseñados para almacenar alimentos por periodos prolongados, a temperaturas de -18°C o menores, y en algunos casos, solo por debajo de los 0°C , (ver figura 37).



Figura 37. Equipo Congelador

3. **Neveras:** Artefactos cuyas temperaturas establecidas para la conservación de los productos al interior, se encuentran entre los 0°C y 8°C, *ver figura 38.*



Figura 38. Equipo Nevera

4. **Vitrinas:** Son los muebles principales de una tienda o negocio, cuya función es exhibir, conservar y congelar los productos. Son equipos de doble servicio, es decir, son capaces de mantener dos temperaturas simultáneamente.



Figura 39. Equipo Vitrina

2.4.1. Características técnicas y operacionales (Equipos fabricados por INDUSTRIAL S.A).

2.4.1.1. Botelleros.

 <p>BGL -250</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>940 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>815 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/6 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-16°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	940 mm	Largo	815 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/6 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-16°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	940 mm																		
Largo	815 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/6 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-16°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		
 <p>BGL -320</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>960 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1255 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/4 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-18°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	960 mm	Largo	1255 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/4 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-18°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	960 mm																		
Largo	1255 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/4 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-18°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		
 <p>BGL -380</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>960 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1045 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/5 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-16°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	960 mm	Largo	1045 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/5 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-16°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	960 mm																		
Largo	1045 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/5 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-16°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		
 <p>BGL -550</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>960 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1255 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/4 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-16°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	960 mm	Largo	1255 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/4 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-16°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	960 mm																		
Largo	1255 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/4 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-16°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		
 <p>BGL -750</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>960 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1840 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/3 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-16°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	960 mm	Largo	1840 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/3 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-16°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	960 mm																		
Largo	1840 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/3 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-16°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		
 <p>BGL -1000</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>960 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>2430 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>760 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/3 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Conservación</td> <td>5°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-16°C</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	960 mm	Largo	2430 mm	Fondo	760 mm	Unidad Condensadora	1/3 Hp	Temperatura de Conservación	5°C Promedio	Temperatura de Congelación	-16°C	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																			
Alto	960 mm																		
Largo	2430 mm																		
Fondo	760 mm																		
Unidad Condensadora	1/3 Hp																		
Temperatura de Conservación	5°C Promedio																		
Temperatura de Congelación	-16°C																		
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																		
Refrigerante	134a																		

Figura 40. Especificaciones técnicas de botelleros

2.4.1.2. Congeladores.

 <p>ICHV-5R</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>930 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>730 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>480 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/6 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	930 mm	Largo	730 mm	Fondo	480 mm	Unidad Condensadora	1/6 Hp	Temperatura de Congelación	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	930 mm																
Largo	730 mm																
Fondo	480 mm																
Unidad Condensadora	1/6 Hp																
Temperatura de Congelación	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>ICHVC-11</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>1350 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1045 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>710 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/3 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	1350 mm	Largo	1045 mm	Fondo	710 mm	Unidad Condensadora	1/3 Hp	Temperatura de Congelación	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	1350 mm																
Largo	1045 mm																
Fondo	710 mm																
Unidad Condensadora	1/3 Hp																
Temperatura de Congelación	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>ICH-7</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>820 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>895 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>600 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/5 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	820 mm	Largo	895 mm	Fondo	600 mm	Unidad Condensadora	1/5 Hp	Temperatura de Congelación	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	820 mm																
Largo	895 mm																
Fondo	600 mm																
Unidad Condensadora	1/5 Hp																
Temperatura de Congelación	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>ICH-11</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>910 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1045 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>710 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/3 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	910 mm	Largo	1045 mm	Fondo	710 mm	Unidad Condensadora	1/3 Hp	Temperatura de Congelación	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	910 mm																
Largo	1045 mm																
Fondo	710 mm																
Unidad Condensadora	1/3 Hp																
Temperatura de Congelación	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>ICH-22R</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>915 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>1800 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>690 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/2 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congeladón</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	915 mm	Largo	1800 mm	Fondo	690 mm	Unidad Condensadora	1/2 Hp	Temperatura de Congeladón	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	915 mm																
Largo	1800 mm																
Fondo	690 mm																
Unidad Condensadora	1/2 Hp																
Temperatura de Congeladón	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>ICVS-15</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>1770 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>675 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>770 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>1/2 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congeladón</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	1770 mm	Largo	675 mm	Fondo	770 mm	Unidad Condensadora	1/2 Hp	Temperatura de Congeladón	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	1770 mm																
Largo	675 mm																
Fondo	770 mm																
Unidad Condensadora	1/2 Hp																
Temperatura de Congeladón	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																
 <p>IPALET-15</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>1830 mm</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>675 mm</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>770 mm</td> </tr> <tr> <td>Unidad Condensadora</td> <td>3/4 Hp</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de Congelación</td> <td>-24°C Promedio</td> </tr> <tr> <td>Voltaje – Amperaje</td> <td>115V – 60Hz</td> </tr> <tr> <td>Refrigerante</td> <td>134a</td> </tr> </tbody> </table>	ESPECIFICACIONES		Alto	1830 mm	Largo	675 mm	Fondo	770 mm	Unidad Condensadora	3/4 Hp	Temperatura de Congelación	-24°C Promedio	Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz	Refrigerante	134a
ESPECIFICACIONES																	
Alto	1830 mm																
Largo	675 mm																
Fondo	770 mm																
Unidad Condensadora	3/4 Hp																
Temperatura de Congelación	-24°C Promedio																
Voltaje – Amperaje	115V – 60Hz																
Refrigerante	134a																

Figura 41. Especificaciones técnicas de congeladores

2.4.1.3. Neveras.

 <p>INPV-6</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1420 mm
	Largo	555 mm
	Fondo	500 mm
	Unidad Condensadora	1/6 Hp
	Temperatura de Conservación	1°C - 5°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>INPVE-15</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1940 mm
	Largo	650 mm
	Fondo	750 mm
	Unidad Condensadora	1/3Hp
	Temperatura de Conservación	1°C - 5°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>INPVE-18</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	2100 mm
	Largo	650 mm
	Fondo	755 mm
	Unidad Condensadora	1/3Hp
	Temperatura de Conservación	1°C - 5°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>INPV-38</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	2030 mm
	Largo	991 mm
	Fondo	864 mm
	Unidad Condensadora	3/2 Hp
	Temperatura de Conservación	1°C - 5°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>INPV-46B</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	2050 mm
	Largo	1345mm
	Fondo	755 mm
	Unidad Condensadora	1/3 Hp
	Temperatura de Conservación	1°C - 5°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a

Figura 42. Especificaciones técnicas de neveras

2.4.1.4. Vitrinas.

 <p>IVD 130</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1083 mm
	Largo	1335 mm
	Fondo	715 mm
	Unidad Condensadora	1/5 Hp
	Conservación - Congelación	-10°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>IVDC 23-4</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1155 mm
	Largo	1350 mm
	Fondo	910 mm
	Unidad Condensadora	1/4 Hp
	Conservación - Congelación	-12°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>IVD 200</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1155 mm
	Largo	1950 mm
	Fondo	905 mm
	Unidad Condensadora	1/3 Hp
	Conservación - Congelación	-12°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>IVISION 27R</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1160 mm
	Largo	1865 mm
	Fondo	750 mm
	Unidad Condensadora	1/4 Hp
	Conservación - Congelación	-12°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a
 <p>SUPER 8</p>	ESPECIFICACIONES	
	Alto	1160 mm
	Largo	1865 mm
	Fondo	750 mm
	Unidad Condensadora	1/4 Hp
	Conservación - Congelación	-12°C
	Voltaje - Amperaje	115V - 60Hz
	Refrigerante	134a

Figura 43. Especificaciones técnicas de vitrinas

2.4.2. Esquemas constructivos.

2.4.2.1. Botelleros y congeladores: Sistemas de refrigeración por convección natural.

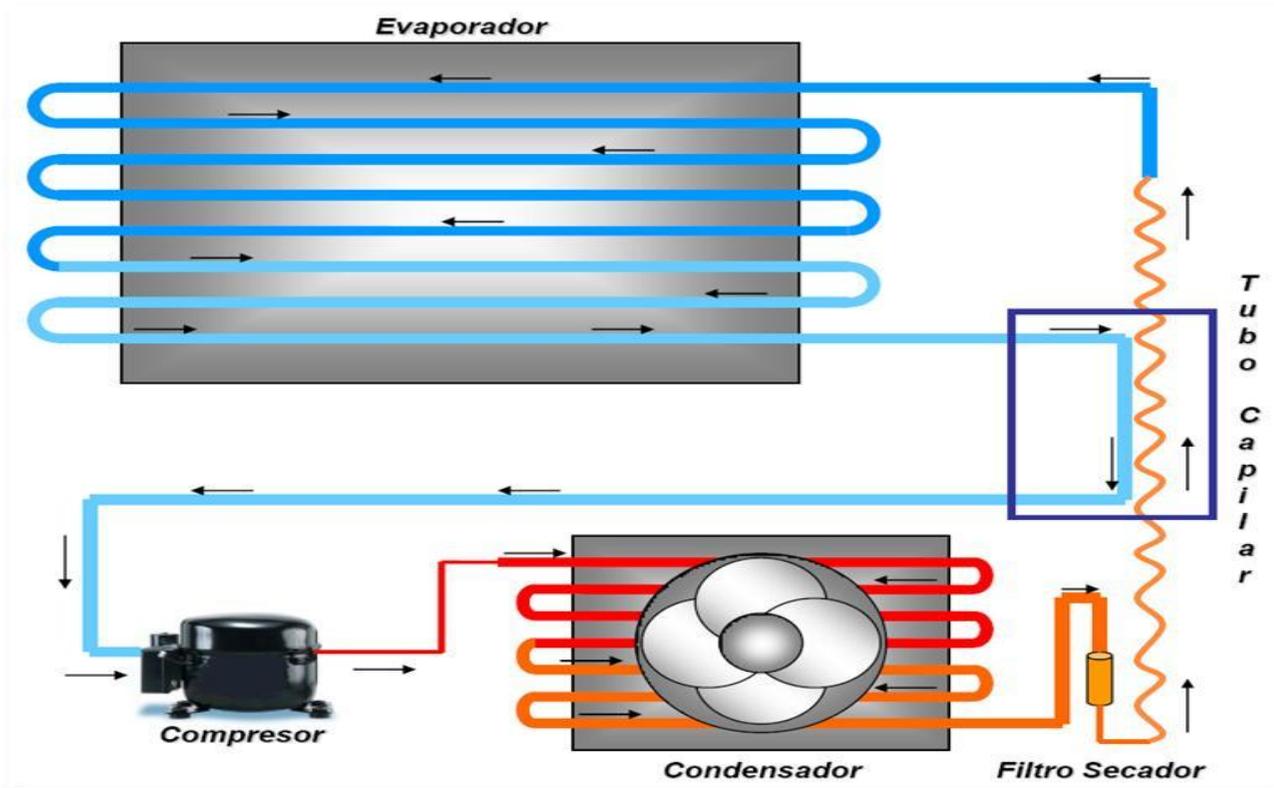


Figura 44. Sistemas de refrigeración por convección natural: Botelleros y Congeladores

2.4.2.2. Neveras: Sistemas de refrigeración por aire forzado.

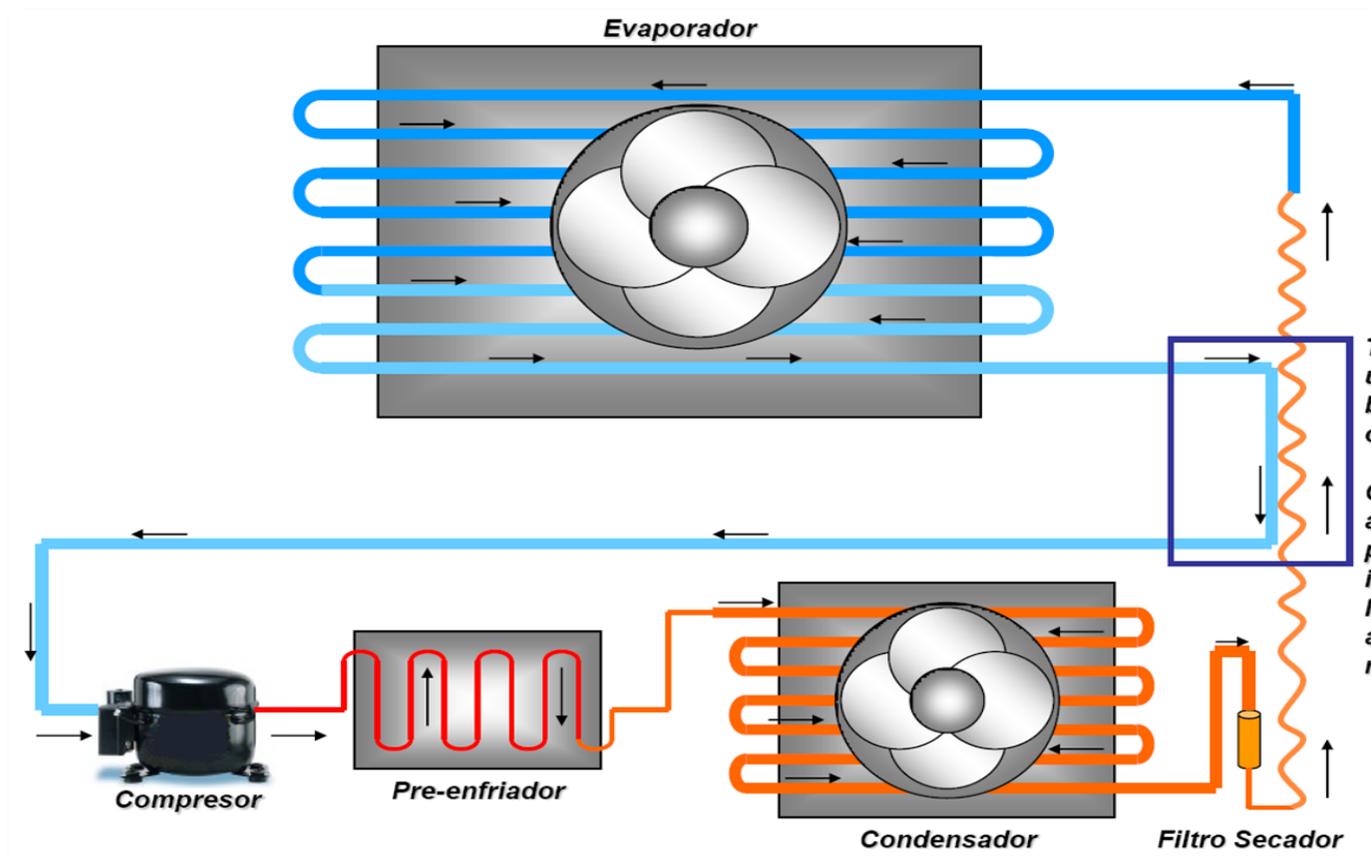


Figura 45. Sistemas de refrigeración por aire forzado: Neveras

2.4.2.3. Vitrinas. Sistemas de doble servicio: Refrigeración por convección natural y Congelación por placas.

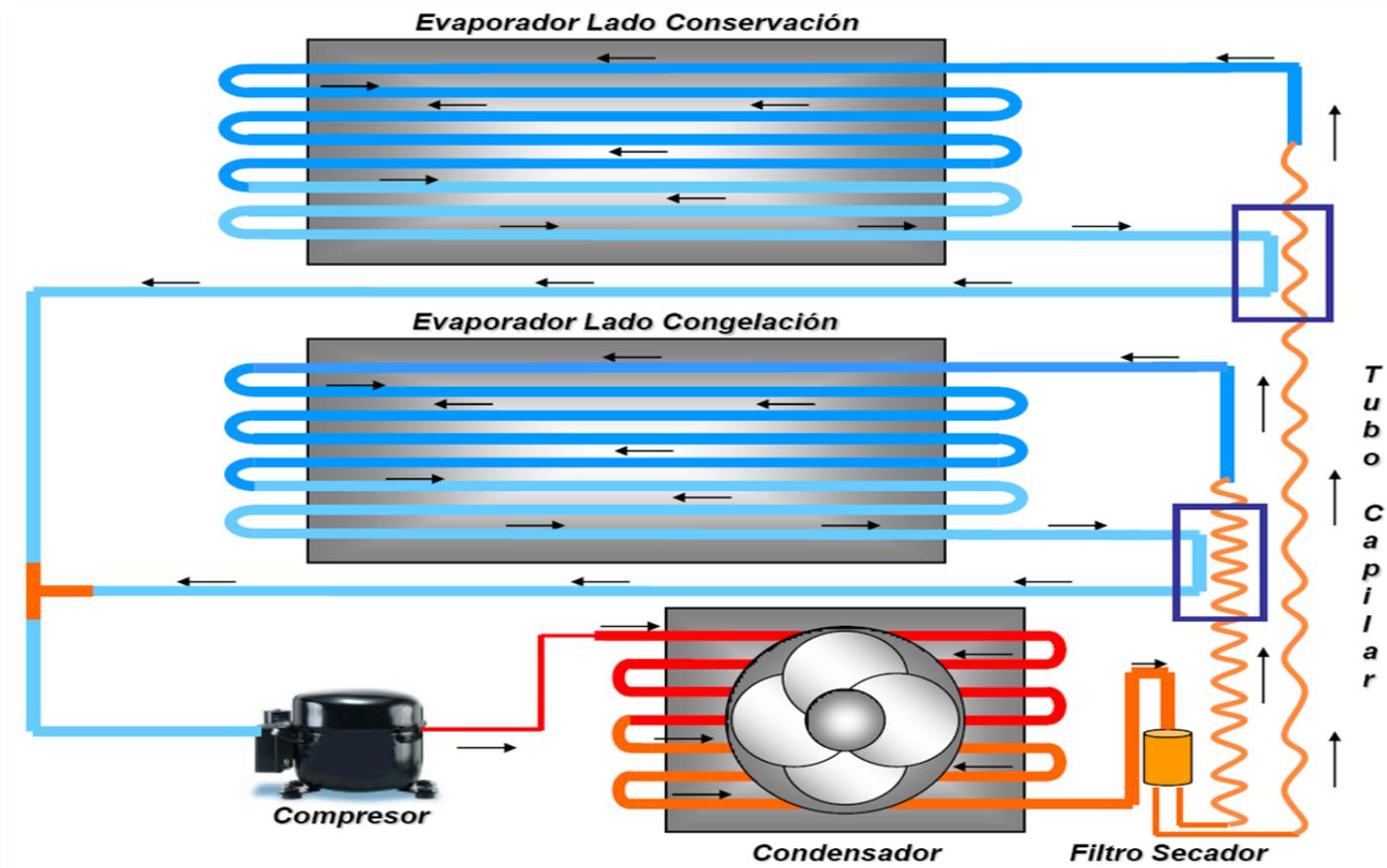


Figura 46. Sistemas de doble servicio: Refrigeración por convección natural y Congelación por placas. Vitrinas

2.4.2.4. Vitrinas. Sistemas de doble servicio: Refrigeración por aire forzado y Congelación por placas.

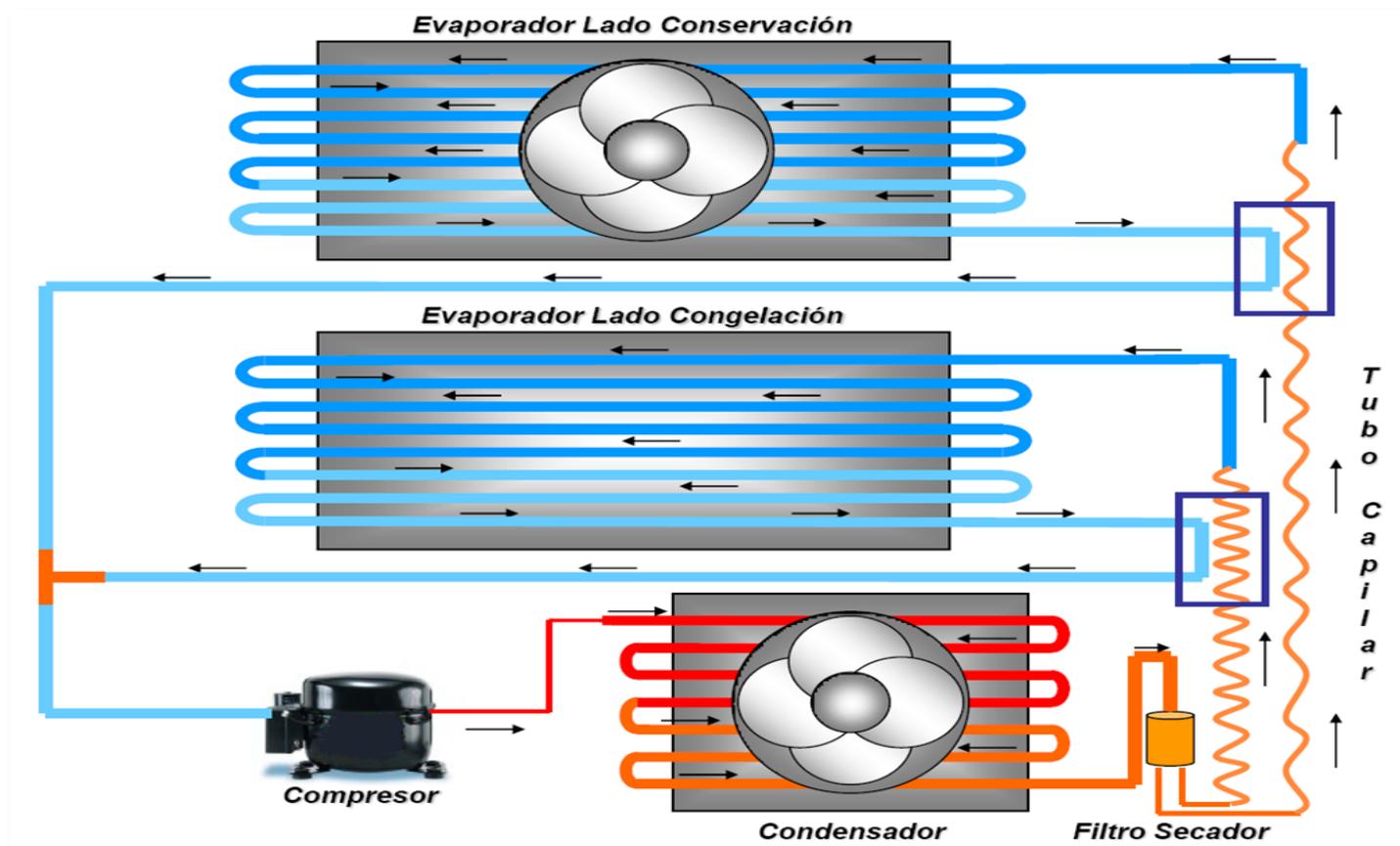


Figura 47. Sistemas de doble servicio: Refrigeración por aire forzado y Congelación por placas: Vitrinas.

CAPITULO III.

LABORATORIO DE ENSAYOS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.

3.1. Necesidad de evaluar un equipo de refrigeración.

Actualmente existe una tendencia mundial hacia la clasificación energética de equipos de refrigeración comercial para la preservación de alimentos, bebidas, congelados entre otros; con el fin de que el cliente potencial pueda seleccionar un producto eficiente energéticamente de manera fácil, sin la necesidad de comparar el consumo de energía real entre productos similares según su necesidad. Aspectos como el diseño y la selección del equipo de refrigeración, las condiciones de operación, el estado de mantenimiento, el funcionamiento de los diferentes componentes de la unidad refrigerante y las costumbres o modalidades operativas determinan la eficiencia de la maquina y los costos por la energía eléctrica consumida del producto.

La evaluación del desempeño energético y de funcionamiento de los equipos clasificados como refrigeración comercial, viene tomando un gran auge dentro del país con el actual desarrollo de una normativa específica que regule estos aspectos, basada en experiencias anteriores de *Europa, Estados Unidos y Centro América*. De igual forma, el advenimiento del *Tratado de Libre Comercio (TLC)* y las situaciones particulares para la refrigeración comercial derivadas del mismo, exigen que en el país exista una Norte definido y que las empresas fabricantes de estos productos, estén a la vanguardia en lo que respecta a certificación del desempeño y reducción del consumo energético, ante condiciones particulares de operación de los mismos.

Para poder llevar a cabo estos ensayos, se utilizan **recintos de ensayos normalizados**, que a su vez se constituyen en una **fuentes primaria de información**, para implementar mejoras al diseño de los equipos, validar nuevos diseños y configuraciones, todo esto encaminado a reducir su consumo de energía [11].

3.2. Diseño de laboratorios de ensayo. Parámetros fundamentales para el diseño.

Como consecuencia de los anteriores aspectos, **INDUFRIAL S.A**, una de las principales empresas dedicadas a la fabricación de equipos de refrigeración comercial para la conservación, exhibición y venta de alimentos en Colombia, actual exportador a países como *Perú, Ecuador, Venezuela, México, República Dominicana, Estados Unidos* y líder en el mercado nacional en ventas; implementó la tecnología y el conocimiento científico alrededor de los conceptos asociados a los métodos de ensayos estandarizados internacionalmente para equipos de refrigeración comercial, mediante la fabricación de un **LABORATORIO DE ENSAYOS**, que le permite realizar continuos desarrollos en sus equipos e introducir en el mercado nuevos modelos, encaminados a mejorar los sistemas de refrigeración bajo los cuales operan, y así, optimizar la selección de componentes que los conforman, para lograr un mejor dimensionamiento de los mismos y reducir sus costos de fabricación y consumo energético.

Este hecho les permitirá el ingreso a nuevos mercados internacionales, los cuales requieren protocolos específicos de ensayos según normas, y el tipo de condición ambiental específica de trabajo de los mismos, y así clasificarlos según su eficiencia energética. El desarrollo tecnológico involucrado en este proyecto, incluye [11]:

- ✓ *Sistema avanzado de producción y control climático al interior del recinto.*
- ✓ *Sistema de monitoreo y registro de variables de operación del equipo ensayado.*
- ✓ *Sistema automatizado de apertura y cierre de puertas para los equipos durante el transcurso de las pruebas.*
- ✓ *Infraestructura integradora de cada subsistema.*

Este *laboratorio de ensayos*, opera bajo condiciones establecidas por las normas nacionales e internacionales, y a su vez posee un rango de operación que le permite, simular zonas climáticas particulares, como por ejemplo microclimas tropicales de alta temperatura y humedad relativa. Tanto el consumo de energía, como otros ensayos específicos realizados en el laboratorio, son ejecutados y medidos bajo métodos estandarizados por normas específicas del país o región del mercado destino, y en función de las condiciones operativas de los equipos de refrigeración comercial (temperatura y humedad relativa) relacionada directamente a la zona climática de funcionamiento. Estos métodos también suelen ser especificados por casas matrices o fabricantes de productos de consumo humano que contienen los equipos de refrigeración (por ejemplo una bebida gaseosa o una marca de helados), y son llamados, ***protocolos de prueba del cliente***, exigidos como garantía del buen funcionamiento de los equipos de refrigeración. Estos protocolos particulares del cliente, exigen reportes de desempeño del producto en el tiempo, en cuanto a consumos eléctricos, distribución de temperaturas en el interior, con o sin abatimiento de puertas, entre otras; las cuales deben medirse de acuerdo a la norma particular del país en que operarían los equipos o a normativas propias de dichas empresas, y a su vez cumplir con los sellos de calidad exigidos por las mismas, quienes suministran los equipos a distribuidores, supermercados y establecimientos de consumo y venta de sus productos [11].

- **Parámetros fundamentales para el diseño:** Por ser la norma **EN 441*** la base para la estandarización de los métodos de pruebas y ensayos de equipos de refrigeración comercial, donde además incluye parámetros para el diseño de los recintos utilizados para tal fin, se presentan a continuación los aspectos más significativos para la fabricación de dichos recintos con base en los distintos apartados de esta norma. A continuación, se hace una breve descripción de cada una de los apartados que conciernen al tipo de equipos producidos por **INDUFRIAL S.A**, haciendo énfasis en aquellos conceptos relacionadas con la metodología de las pruebas, funcionamiento y especificaciones de diseño del recinto:

- ✓ *Las pruebas deben realizarse en recintos con capacidades avanzadas de control climático y que puedan operar tanto equipos de refrigeración remota, aquellos donde el compresor y el condensador están ubicados en un sitio distante del recinto donde se encuentran los productos refrigerados, o integrales como los producidos por **INDUFRIAL S.A.***
- ✓ *Los equipos son cargados con paquetes de pruebas estándar, lo que permite realizar mediciones de temperatura en diversas áreas del equipo.*
- ✓ *Durante la prueba, temperaturas, humedad, presiones, flujos, consumo de energía y otros tipos de información, deben ser eficientemente almacenadas por un sistema de adquisición de datos.*
- ✓ *El recinto debe permitir hacer los anteriores ensayos de acuerdo a la clase climática con la que se esté evaluando el equipo [11].*
- ✓ *La principal característica del recinto EN 441 es el poder mantener una condiciones particulares de flujo de aire, que según lo establece la norma, su movimiento debe ser paralelo al piso con una velocidad controlada y ajustable entre 0.1m/s y 0.2m/s, entre dos paredes opuestas del área de ensayo, llamadas paredes técnicas.*

NOTA: Para obtener estas características, se debe diseñar y construir un sistema especial de control del aire que ingresa al recinto, el cual garantice un flujo constante. Esto se realiza en la mayoría de los casos mediante el uso de un plenum de presión y un diseño específico de entrada de aire al recinto.

- ✓ *El control de la temperatura y humedad al interior, se realiza con el diseño de un lazo de control para el tipo de sistema de acondicionamiento de aire específico, el cual puede ser de expansión directa u otro.*

*EN 441: Refrigerated display cabinets. General mechanical and physical requirements.

*El término **plenum** hace referencia a presiones ligeramente superiores a la atmosférica, generalmente en el interior de sistemas de aire, como resultado de la acción de un ventilador o soplador. – Wikipedia (La Enciclopedia Libre) – URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Plenum>

- ✓ *Las medición de las variables ambientales, se logra con la selección de una instrumentación que garantice los requerimientos de precisión establecidos por la norma EN 441 es 0.2°C para la temperatura y 5% para la humedad relativa.*
- ✓ *Todos los componentes deben ser diseñados y seleccionados para trabajar continuamente hasta periodos de 48h, por lo que se requiere de un robusto sistema de adquisición de datos y señales.*
- ✓ *Otro aspecto importante que busca evaluar los recintos de ensayos para equipos de refrigeración comercial, es todo aquello relacionado con consumo de energía [11].*

3.3. Evaluación de equipos de refrigeración comercial.

El futuro de la refrigeración comercial en América, tendrá un comportamiento positivo en alza, ya que se están creciendo las ofertas de alimentos refrigerados para los nuevos consumidores, y los cambios en sus hábitos de consumo de alimentos pre-cocidos, comidas rápidas y helados. La competencia es directa de fabricantes del mismo sector, pero no vemos que exista a corto plazo un concepto diferente que ataque al sector de refrigeración comercial. Las tiendas minoristas están en crecimiento, aun cuando se están especializando, pero solicitando mayor frío para sus ofertas. Los equipos de Refrigeración Comercial son usados para la conservación de alimentos y hacen parte de la cadena de frío. El Laboratorio de Ensayos, permitirá innovar en los productos, minimizando los riesgos para la salud humana, al asegurar que los equipos mantengan las temperaturas de conservación adecuadas bajo diferentes condiciones ambientales [11].

3.3.1. Descripción del laboratorio de ensayos:

El laboratorio de ensayos de **INDUFRIAL S.A.**, cuenta con la más moderna infraestructura en adquisición y procesamiento de datos, con el fin de garantizar la veracidad de las mediciones, que a su vez nos permite establecer una tendencia de comportamiento precisa en los equipos probados.

El recinto de ensayos, es capaz no solo de operar bajo las condiciones normalizadas establecidas, sino bajo cualquier Clase Climática que especifique un cliente potencial, comprendidas en un rango entre **15°C** y **50°C** de **Temperatura**, y **50%** a **80%** de **Humedad Relativa**, para dar cubrimiento a microclimas particulares de Colombia y de otras regiones del mundo.

El Sistema Especial de Acondicionamiento Ambiental, fue proyectado bajo criterios de diseño mecánico tales que permiten mantener las condiciones internas del cuarto: **Temperatura**, **Humedad Relativa** y **Velocidad del Aire**, **CONSTANTES** durante el periodo de ejecución de la prueba (**24 Horas**), o variarlas durante su transcurso, para evaluar el efecto de modificación de condiciones ambientales en el tiempo, sobre el consumo energético del equipo. De igual forma, el recinto permite realizar la medición en el tiempo de variables como **Presión** (ALTA y BAJA en el sistema de refrigeración), **Temperatura** (capacidad para medir temperaturas en el equipo dentro del área refrigerada y en cualquier lugar fuera de ella en 94 diferentes puntos), **Humedad Relativa** (ambiental o interior del equipo ensayado), **Corriente Eléctrica**, **Voltaje** y **Consumo Eléctrico**, de tal forma que se puedan obtener innumerables tipos de registros, según sean solicitados o requeridos para el tipo de producto almacenado dentro del equipo de refrigeración comercial o para el estudio y desarrollo de nuevos productos.

También, cuenta con un **Sistema Robótico de Abatimiento de Puertas**, que permite simular de una manera más real, el comportamiento del equipo [11].

El diseño e implementación de este estricto Sistema de Control de las Condiciones Ambientales, permite variar entre valores de **+/- 2°C** para la **Temperatura** y **+/- 5%** para la **Humedad Relativa**, y mantener un **Flujo de Aire** comprendido entre **0.1m/seg - 0.2m/seg**, para lo cual, también se cuenta con un diseño especial de un sistema de acondicionamiento y tratamiento de aire, cuyo funcionamiento esta normalizado para el desarrollo y ejecución de las pruebas.

Podemos definir el Laboratorio de Ensayos de Equipos de Refrigeración Comercial de **INDUFRIAL S.A.**, como una verdadera integración entre las etapas de diseño, fabricación y servicio de la empresa y, una real apropiación de **Tecnología Científica** para la refrigeración [11].

3.4. Procedimiento de ensayo según normativas.

Los métodos para ensayos de equipos de refrigeración comercial y sus parámetros de certificación, operación y clasificación, se realizan bajo normas establecidas (ya sea por organizaciones de estandarización nacionales o internacionales, tales como: ISO, EN, UNE, BS, NOM, NTC, etc.) por organizaciones conformadas por los fabricantes de productos que serán incluidos dentro de los equipos, u organismos de regulación para consumidores, los cuales pueden trabajar de forma independiente, o en grupo, para determinar dichos aspectos. Todo el procedimiento correspondiente a la ejecución de un ensayo, se describe textualmente a continuación, en orden real desde el inicio hasta la finalización de la prueba:

✓ **Suministro de energía:** Como primera instancia, deben activarse los sistemas encargados de suministrar la energía eléctrica al cuarto de control del laboratorio y al recinto de ensayos, de igual manera, a los diferentes equipos y dispositivos vinculados con el ensayo que se va a realizar.

- ✓ **Selección del equipo de refrigeración:** Dependiendo de la solicitud interna de la empresa (o de un cliente en particular), se debe seleccionar de la producción en serie o del "**stock**" una muestra, la cual debe ser representativa en la fabricación, y a la cual se le realizarán los ensayos requeridos; evidentemente, el laboratorio está acondicionado para evaluar todos y cada uno de los equipos diseñados y fabricados por **INDUFRIAL S.A.**
- ✓ **Ubicación de los sensores y transductores:** Una vez seleccionado el equipo y situado dentro del recinto de ensayos (como lo recomienda el fabricante, dependiendo de las condiciones donde se vaya a instalar), se colocan los sensores en los lugares preestablecidos por la norma que rige el ensayo y en las zonas de interés solicitadas por el cliente, recordemos que la distribución de los sensores, depende del diseño del equipo a evaluar. Posteriormente, se analiza el comportamiento de las variables a monitorear con respecto al tiempo de duración de ejecución de la prueba. Así mismo, si se van a realizar pruebas de abatimiento, se instalan los actuadores en sus correspondientes posiciones, respecto a la configuración específica que requiere cada equipo.
- ✓ **Ajuste de las condiciones de trabajo:** Durante la ejecución de la prueba, el recinto debe mantenerse con la clase climática preestablecida (concerniente a las condiciones ambientales), que fija la temperatura y humedad relativa bajo la cual, debe ser probado el equipo, procurando garantizar el correcto desempeño del sistema de refrigeración.

El equipo que se desea evaluar debe permanecer 24 horas previas al inicio de las mediciones operando normalmente, con el objetivo de estabilizar el funcionamiento de la máquina, acondicionándose a los parámetros de operación del medio. Los valores de temperatura y humedad relativa debe tener una tolerancia de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 5\%$ respectivamente, en el lugar de medida especificado; el cual deberá encontrarse a la mitad de la longitud del mueble según muestra la figura y las temperaturas tomadas en los puntos deberán coincidir con los valores de la clase climática del recinto de ensayo [11].

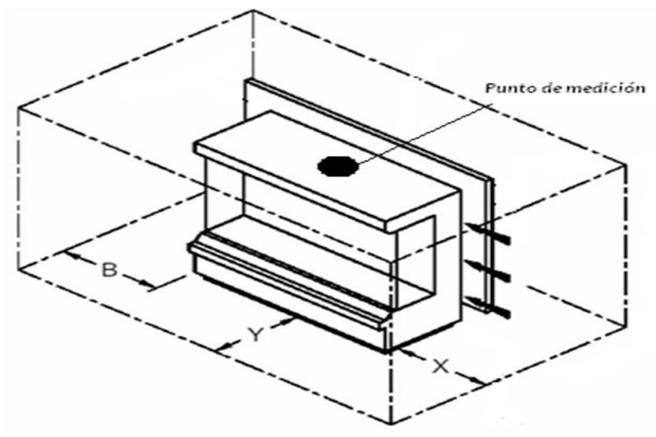


Figura 48. Ubicación del punto de medición de la temperatura ambiente y la humedad relativa del equipo a ensayar.

El gradiente de temperatura, deberá medirse ubicado como se muestra en la *figura 48*, antes de poner en funcionamiento el equipo sometido a ensayo, pues la temperatura del recinto puede variar entre el suelo y el techo; la diferencia de temperatura que debe existir entre suelo y techo no debe ser mayor de 6°C.

Los techos de todas las partes del recinto de ensayo (dentro y fuera), y cualquier división del recinto destinada para el ensayo de equipos de refrigeración comercial, deberán estar pintadas en **GRIS CLARO**, color que garantiza una *emisividad* entre 0.9 y 1 a una temperatura de 25°C, establecido por la normativa. Las temperaturas superficiales de paredes, techos y divisiones deberá mantenerse dentro de +/- 2°C de la temperatura del aire ambiente medida al mismo nivel.

La iluminación fluorescente deberá instalarse para mantener 600 +/- 100 Lúmenes, medidos a una altura de un (1) metro sobre nivel del suelo, y encontrarse encendida durante la totalidad del periodo de ensayo.

En el momento de llevar a cabo los ensayos, los equipos son cargados con paquetes de pruebas, que permiten realizar mediciones de temperatura en diversas áreas del equipo. Estos paquetes de pruebas, se utilizan para simular además de carga térmica, el comportamiento de productos alimenticios dentro del equipo.



Figura 49. Paquete “M”

Deben utilizarse paquetes de prueba en forma de paralelepípedos rectos, conocidos como **Paquetes “M”** (ver figura 49), los cuales están compuestos por **oxietilmetilcelulosa, agua, cloruro sódico y para-clorometa-cresol.**

También existe otro tipo de paquetes de prueba, son **paquetes “Tipo Latas”** (ver figura 50), los cuales poseen un centro geométrico roscado, en el cual se inserta el sensor de temperatura.



Figura 50. Paquete “Tipo Lata”

Este tipo de paquetes de prueba, son llenados dependiendo al requerimiento de la norma o a la solicitud del cliente, ya sea con glicol, refresco o simplemente, al vacío.

Dependiendo de la disposición del equipo de refrigeración, se le insertaran a algunos de estos paquetes: **paquetes “M”** y **paquetes “Tipo Latas”, TERMOCUPLAS DE MEDICIÓN**, con el fin de determinar el calor absorbido por estos, en un determinado momento de la prueba [11].

La distribución y colocación de estos paquetes está ligada, a la naturaleza y diseño del equipo, veamos algunos ejemplos:

✓ Paquetes “M”.

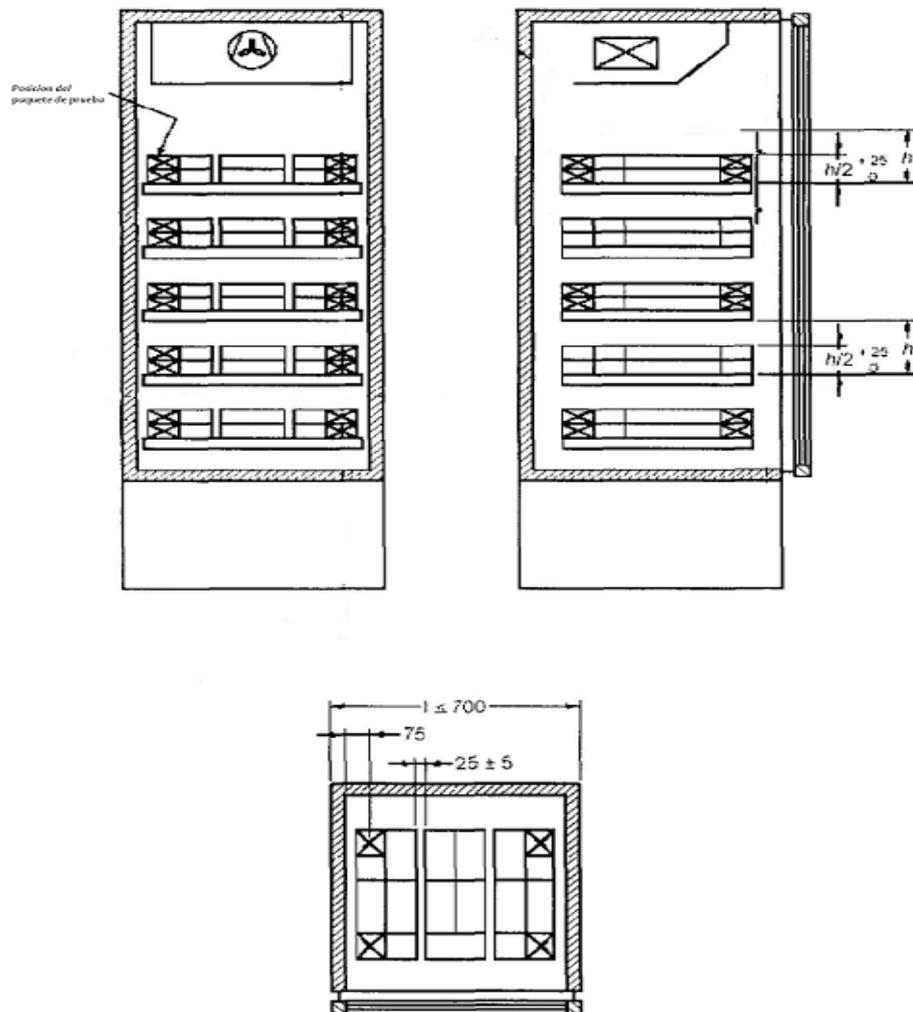


Figura 51*. Ejemplos de colocación de paquetes “M”.

Los **paquetes “M”**, marcados con una **equis (X)** representan las zonas de interés de medición, recomendada por la norma para la determinación de las zonas más calientes al interior del equipo. Estos paquetes se insertan **congelados** al equipo, y se ubican en la zona de congelación [11].

*NTC 4097: Artefactos refrigeradores sin escarcha para uso doméstico, refrigeradores, refrigeradores con compartimiento para congelar alimentos o almacenar alimentos congelados, y congeladores de alimentos que utilizan circulación de aire forzado. Características y métodos de ensayo.

✓ Paquetes “Tipo Latas”.

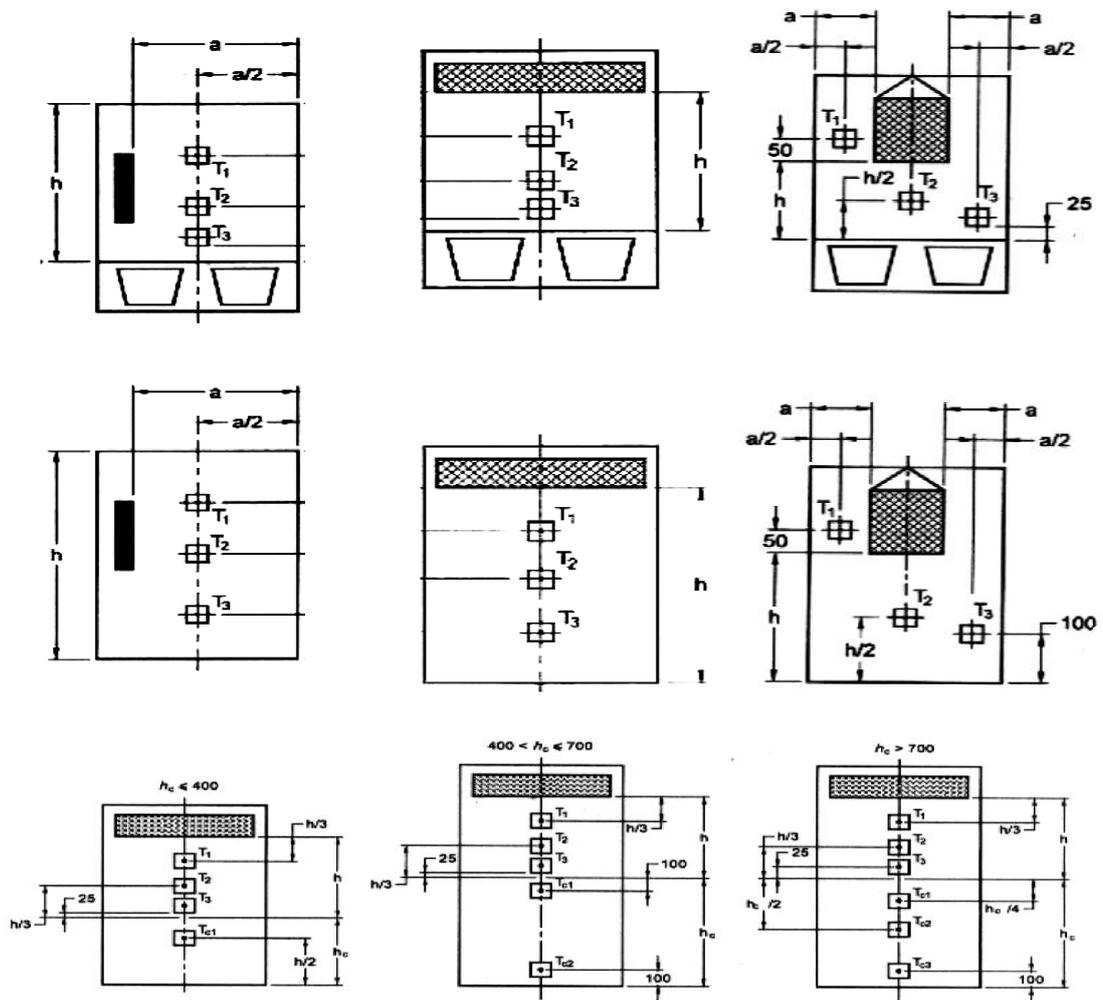


Figura 52*. Puntos de medición de temperatura en artefactos con diferente disposición del evaporador.

En los esquemas de la *figura 52* se muestran como **T1**, **T2**, **T3**, **Tc1**, **Tc2** y **Tc3**, la colocación exacta de los paquetes de pruebas “**Tipo Latas**” dentro del equipo. En estos esquemas, se visualizan las zonas de conservación y congelación (evaporador) de los equipos.

*NTC 2078 (2ª Actualización): Artefactos refrigeradores domésticos, refrigeradores con o sin comportamiento de baja temperatura. Características y métodos de ensayo.

Una vez acondicionado el recinto de pruebas, se ubican en el equipo los diferentes sensores (necesarios) para evaluar las variables deseadas en un ensayo específico. El dispositivo de adquisición de datos electrónico, debe ser capaz de tomar todas las muestras adquiridas por los sensores, procesarlas en caso indicado, y además, acondicionarlas para su posterior visualización, monitoreo y control, a través de la interfaz gráfica de interacción (ver figura 53) entre el operador y el sistema de control, disponible en el laboratorio de ensayos.



Figura 53. Interfaz gráfica del sistema de monitoreo (LABVIEW®),
Ventana de Temperaturas.

3.4.1. Resultados de las evaluaciones.

Un ensayo de laboratorio, es un procedimiento técnico en el cual se hace seguimiento, se examina y analiza una variable determinada de un equipo de refrigeración, para conocer la afectación de esta en la operación normal del sistema y detectar si existe alguna característica irregular en su funcionamiento. Estos ensayos o pruebas se usan con frecuencia como parte de una evaluación rutinaria para identificar posibles cambios en la operación de un equipo antes de que aparezcan las averías o para conocer como es la adaptación de las configuraciones ya existentes, al implementar cambios en componentes del mismo.

Los ensayos de laboratorio juegan también un papel importante en el diagnóstico del equipo cuando presenta síntomas de fallas. Además, estos resultados son utilizados para ayudar a planificar y evaluar la respuesta al mantenimiento o vigilar el curso de las fallas con el tiempo.

Los equipos destinados para ejecutar ensayos de laboratorio, son analizados para determinar si los resultados están dentro de los rangos normales de operación. Pueden evaluarse también, para ver si han presentado cambios desde los ensayos anteriores.

Muchos factores (incluyendo las condiciones ambientales, la capacidad del equipo y los componentes del sistema de refrigeración en general) pueden influir en los resultados del ensayo. Algunas veces, la manera como se realiza la conexión de dispositivos y sensores, ubicación del equipo dentro del recinto de ensayos, colocación de paquetes de prueba al interior del equipo, ajustes del software de monitoreo, modificaciones en los procedimientos (normas), ejecución de las instrucciones de los manuales de operación, entre otras acciones particulares, pueden afectar los resultados y la exactitud con que se almacenan las mediciones modificando los resultados esperados de las pruebas.

Los resultados de los ensayos se presentan generalmente como un número específico dentro de un rango predeterminado, es decir, el comportamiento del parámetro analizado debe estar entre valores regulares de operación, teniendo en cuenta que los valores varían de equipo a equipo, en otras palabras, lo que es normal para un equipo puede no serlo para otro, esto debido muchas veces a diferencias entre los diseños de los mismos. Algunos ensayos de laboratorio son indicadores precisos y confiables de problemas específicos de operación. Otros proporcionan información más general que simplemente dan indicaciones de posibles problemas de funcionamiento. La información que se obtiene de los ensayos de laboratorio, puede ayudar a los ingenieros de refrigeración a decidir si es necesario hacer otras pruebas o procedimientos para dar un diagnóstico más efectivo.

La información puede ayudar también a los ingenieros de refrigeración a preparar o revisar el plan de mantenimiento del equipo. Todos los resultados de ensayos de laboratorio necesitan interpretarse en el contexto de la operación general del equipo, y se usan generalmente, junto con otras evaluaciones o análisis.

El ingeniero que está familiarizado con los antecedentes operativos del equipo y su situación actual, es el más indicado para explicar los resultados de las pruebas y sus implicaciones. El reporte de ensayo consta de:

1. **Identificación:** Nombre y grafica del equipo ensayado.
2. **Información del cliente:** Cliente, fecha de recepción del equipo, duración del ensayo, tipo de equipo, modelo, marca y norma ó protocolo de ensayo implementado.
3. **Especificaciones del equipo:** Dimensiones, propiedades eléctricas, características operativas del compresor y tipo de refrigerante.
4. **Condiciones de ensayo:** Clase climática y producto utilizado.

5. **Distribución de sensores de temperatura:** Se ilustra la ubicación que tuvieron los sensores dentro del equipo.
6. **Resultados obtenidos:** Dependiendo de la naturaleza del ensayo, se muestran los valores ya sean promedios o totales de la variable analizada, así como su comportamiento en el tiempo de ejecución de la prueba.
7. **Imágenes del equipo ensayado:** Imágenes del equipo dentro del recinto de ensayos.
8. **Conclusión final sobre la conformidad del equipo:** Se notifica con respecto a la norma o protocolo de evaluación, como fue el desempeño del equipo durante el tiempo de ensayo. Además, si se presentan anomalías en el funcionamiento, específicamente de la variable examinada, se identifica y reporta la situación y se señala la razón de la falla.

3.4.2. Tipos de ensayos.

A continuación se mencionan los tipos de ensayos que se ejecutan en el laboratorio, a cada una de las variables que intervienen en la operación normal del equipo:

- **Ensayos de temperaturas.**
 - ✓ *Temperaturas internas.*
 - ✓ *Temperaturas externas.*
 - ✓ *Temperatura en el condensador: Entrada y Salida.*
 - ✓ *Temperatura en el condensador: Entrada y Salida.*
 - ✓ *Temperatura en el compresor: Domo.*
 - ✓ *Temperatura en el ventilador del condensador: Cuerpo del motor.*



Figura 54. Medición de temperaturas internas.

Figura 55. Ubicación de sensores para la medición de temperaturas en el sistema de refrigeración.



- **Ensayos de Presiones.**

- ✓ Presión de Alta.
- ✓ Presión de Baja.



Figura 56. Ubicación de sensores para la medición de presión en los lados de alta y baja.

- **Ensayos de Humedad Relativa.**
 - ✓ *Humedad Relativa del recinto.*
 - ✓ *Humedad Relativa al interior del equipo.*



Figura 57. Medición de Humedad Relativa en el recinto de ensayos.

- **Ensayos de Energía.**
 - ✓ *Voltaje Nominal: +/- 10%.*
 - ✓ *Amperaje.*
 - ✓ *Consumo de Energía.*



Figura 58. Medición de variables de energía.

- **Ensayos de Abatimiento: Apertura y Cierre de puertas.**



Figura 59. Ensayos de abatimiento.



3.4.3. Casos de estudio. Análisis de los resultados.

Caso N°1. Ensayo de Abatimiento y temperaturas.

En el siguiente caso de estudio, analizaremos el comportamiento de una nevera, que estuvo sometida a una prueba de abatimiento (apertura y cierre de puerta). La finalidad de esta prueba, es monitorear la velocidad de enfriamiento mientras el equilibrio térmico del equipo se perturba. La clase climática para el ensayo es 35°C y 70% HR.

A continuación se muestra, a través de la *figura 60*, la grafica del comportamiento de temperaturas, durante el tiempo de ejecución del ensayo (24 horas):

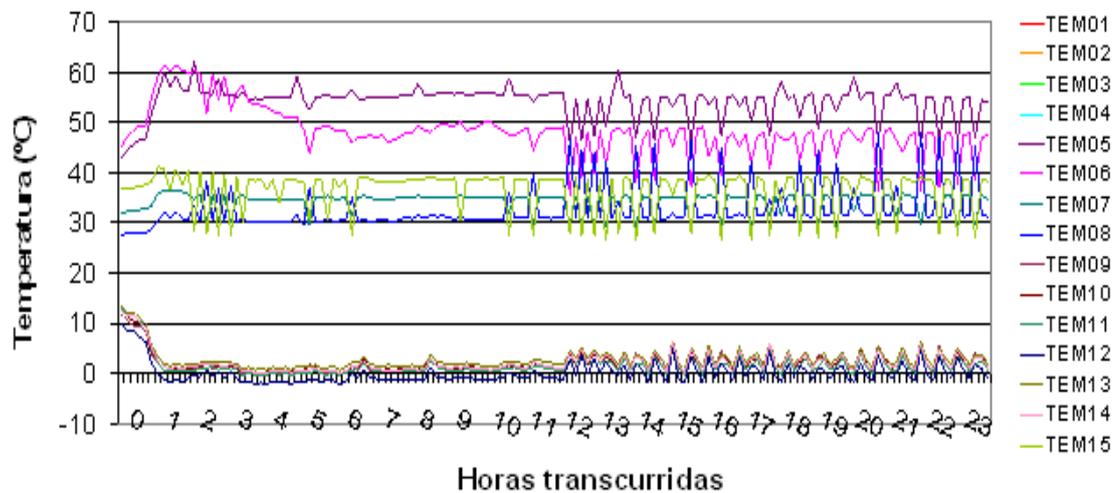


Figura 60. Comportamiento de temperaturas durante la prueba.

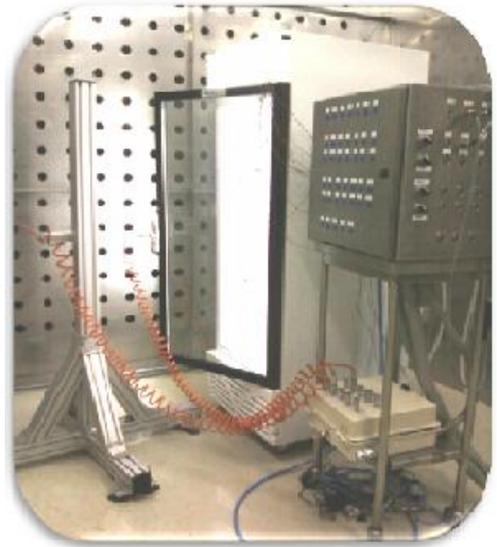
Los registros más altos, corresponden a las temperaturas medidas en el sistema de refrigeración (compresor, condensador, etc.), y las más bajas, las medidas al interior del equipo. La prueba consiste (luego de haber permanecido el equipo estabilizándose por un tiempo de 24 horas) en simular durante la mitad del tiempo de prueba (12 horas iniciales), abatimiento constante (1 ciclo apertura y cierre, cada 10 minutos), con el fin de simular el comportamiento normal al cual va a ser sometido, cuando este prestando sus servicios, como se muestra en la *figura 61*.

Se percibe en la *figura 60*, como el equipo trata de estabilizar todas sus temperaturas, tanto internas como externas, pero la acción recurrente de abatimiento lo impide, lo cual, es un factor determinante en el aumento de consumo de energía de este. Sin embargo las temperaturas internas logran mantenerse, debido a la inercia del volumen de aire refrigerado, hecho que favorece la conservación de los productos almacenados.

En contraste con la segunda mitad del tiempo de la prueba (12 horas finales), se exhiben muchas paradas por temperatura, lo cual es normal, cuando el equipo logra mantener su temperatura de operación y su estabilidad térmica.

Esta situación solo es posible, cuando no ocurre con frecuencia la apertura de la puerta, y no existe entrada alguna de aire exterior a la cámara de conservación. Logrando mantener por más tiempo la temperatura ideal para la conservación de los productos.

Figura 61. Instante de apertura de la puerta.



Al estabilizar la temperatura, el equipo entra en modo de suspensión (*ver figura 62*), dejando solo en servicio el ventilador del evaporador, para mantener la recirculación interior del aire. Luego de alcanzar cierto valor de temperatura (aumento), el equipo entra nuevamente en operación para tratar de restablecer su nivel térmico de operación, evacuando todo el calor, que se produjo durante la suspensión del proceso.



Figura 62. Estabilidad térmica.

Se puede visualizar el informe completo de este ensayo de abatimiento, en la parte de ***anexos A (CD de referencia)***.

Es posible concluir a través de esta prueba, que el equipo cumple con los requerimientos necesarios de aprobación, para el almacenamiento adecuado de los productos que requieren bajas temperaturas para su conservación.

Caso N°2. Ensayo de energía.

Para este caso, el equipo que se analiza es un botellero, el cual ha sido modificado, adicionando un dispositivo de control de temperatura, para lograr un mejor desempeño del sistema de refrigeración y lograr una mayor eficiencia energética. Es necesario para el ensayo, monitorear y analizar parámetros como la temperatura, voltaje, corriente eléctrica y por supuesto, el consumo energético. La clase climática que se establece para el ensayo es 35°C y 70% HR. Se analiza la temperatura, antes que las demás variables:

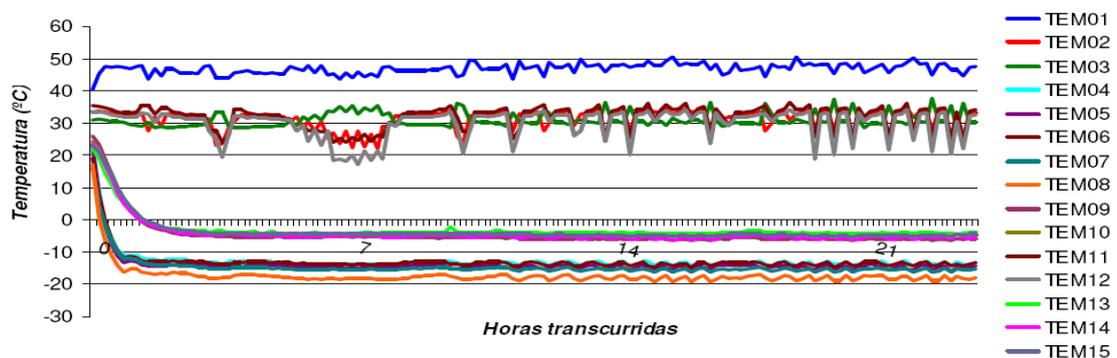


Figura 63. Comportamiento de temperaturas durante la prueba.

Son visibles paradas por temperatura en todos los niveles de medición, tanto en el sistema de refrigeración como en la zona de conservación y en la zona de congelación (temperaturas por debajo de -10°C; ver figura 63). Pero a pesar de realizar estas paradas, se visualiza que en el equipo, internamente, las temperaturas tienden a mantenerse. Ahora se prosigue a analizar las variables de energía, se empieza con el voltaje de la red:

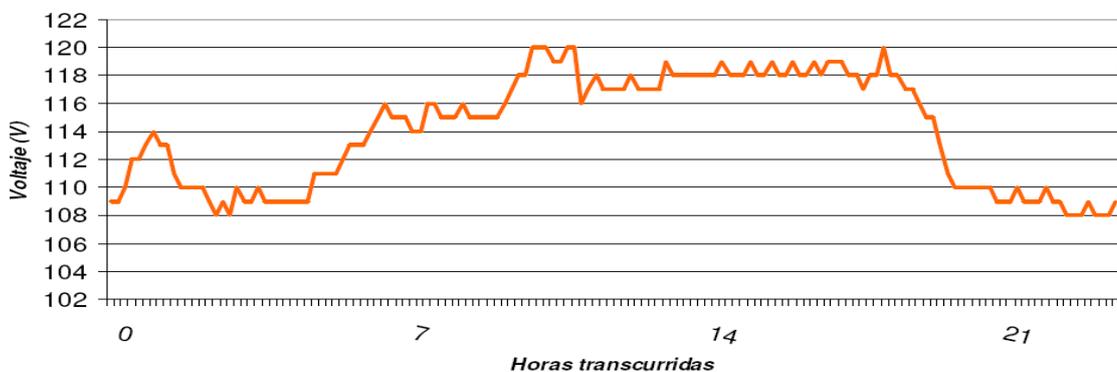


Figura 64. Comportamiento del voltaje durante la prueba.

Se observa que el voltaje que llega al equipo (procedente de la red local) durante la ejecución de la prueba (ver figura 64), no fue estable, lo cual podría ser uno de los principales actores responsables del mal funcionamiento del equipo de refrigeración.

Si el voltaje excede el límite establecido en la protección térmica que posee el compresor, esta protección se disparara, como medio de resguardo al compresor. Por lo cual el proceso de refrigeración se suspenderá, mientras se mantengan estas condiciones de energía, siendo imposible la conservación y congelación de los productos almacenados. Igual sucedería, si el voltaje cae, hasta tal punto inhabilitar el funcionamiento del compresor.

Es por eso que todos los equipos de refrigeración, están diseñados para que sus componentes, sean capaces de operar sin ninguna dificultad al +/- 10% del voltaje nominal de la red eléctrica. Teniendo previstas todas estas dificultades.

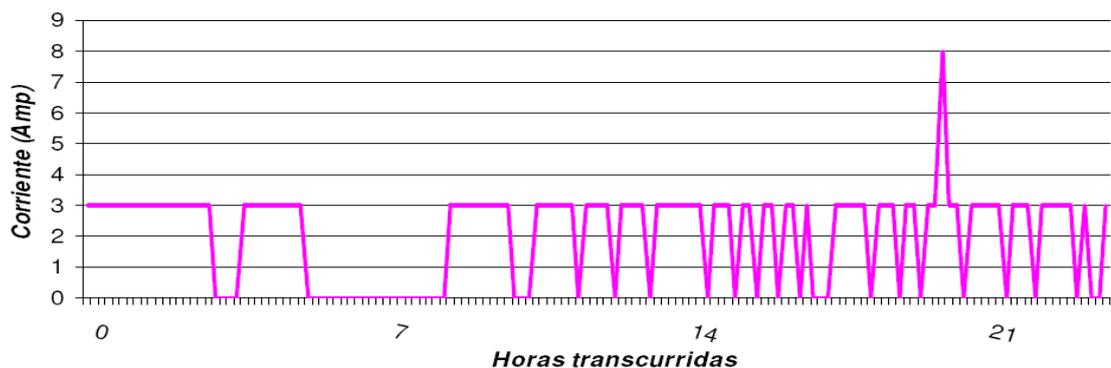


Figura 65. Comportamiento de la corriente eléctrica del equipo durante la prueba.

Continuando ahora con el análisis de la corriente eléctrica del equipo (ver figura 65), se visualizan muchas caídas repentinas y estabilizaciones cortas durante el desarrollo de todo el ensayo. Teniendo en cuenta la situación anterior (relacionada con el voltaje de la red), no se contempla ninguna suspensión de energía eléctrica en el equipo por exceso de voltaje, por lo cual descartamos este factor como generador de paradas en el compresor.

Como la circulación de aire dentro de este equipo se da por convección natural (a diferencia de las neveras, donde el flujo de aire interno se da por medio de convección forzada, a través de un ventilador), no se presentan muestras de consumo mínimo (por lo general: 1 Amperio) por funcionamiento del ventilador, pues no posee.

Las paradas que se muestran en el gráfico de corriente eléctrica, se dan gracias al dispositivo implementado como novedad operativa en el equipo (este dispositivo permite que el equipo sea más eficiente energéticamente); el cual opera de tal manera, que al alcanzar la temperatura de servicio, le ordena al compresor suspender el consumo de energía, hasta cuando la temperatura al interior de las zonas de conservación y congelación, estén por encima del valor establecido como inicio del proceso.

Los picos significativos de corriente eléctrica que se presentan, se dan cada vez que el equipo inicia nuevamente su operación normal, es decir, cada vez que el compresor arranca.

Para concluir con este caso de estudio, es posible afirmar que el dispositivo implementado en el sistema de refrigeración, cumple con los objetivos preestablecidos para el funcionamiento ideal del equipo.

El desarrollo completo de este ensayo, se muestra en el informe de resultados que se encuentra en la parte de **anexos B (CD de referencia)**.

Caso N°3. Ensayo de temperaturas.

Este ensayo es de carácter institucional, se realiza como parte de un requisito para lograr ser partícipe de una licitación para distribución de equipos de refrigeración comercial. Aquí el cliente establece su propio protocolo de evaluación, para verificar como es el desempeño del equipo en condiciones extremas, y si es capaz de lograr llegar a la temperatura necesaria para la conservación del producto. La clase climática que preestablece el protocolo para la realización de todas las pruebas es 40.5°C y 75% HR.

Los ensayos que contempla el protocolo de evaluación, comprende ensayos de temperaturas (*Pull Down*: Carga completa; *Half Reload*: Media recarga) y consumo de energía (en cada prueba de temperatura, 24 horas y -10% del voltaje nominal: 2 horas).

Se analiza en la siguiente *figura 66*, la primera prueba de temperatura (*Pull Down*), la cual consiste (luego del tiempo de estabilización: 24 horas) en cargar completamente el equipo a toda su capacidad con el producto a temperatura ambiente (40.5°C). Esta situación es crítica para cualquier maquina de refrigeracion, es una prueba bastante exigente en la que se verifica la efectividad de todo el sistema de refrigeracion, pues el equipo debe alcanzar la temperatura requerida (-4.5°C) en un periodo de 24 horas o menos, para que pueda superar la prueba.

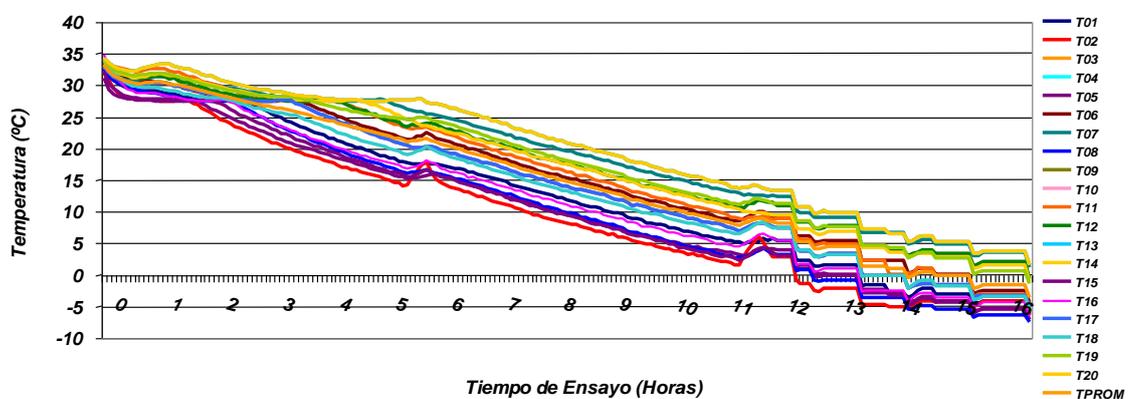


Figura 66. Comportamiento de temperaturas durante la prueba de Pull Down.

En la *figura 66*, el grafico de temperaturas de la prueba de Pull Down, se observa que el equipo logra alcanzar la temperatura estipulada por el protocolo, en un tiempo menor al estimado (17 horas), situacion favorable para el cumplimiento del requisito del cliente . Se puede apreciar en la grafica, como va siendo el comportamiento de todas las temperaturas en cada uno de los niveles designados para las mediciones, el equipo va evacuando paulatinamente todo ese calor presente en el producto almacenado. Debe aclararse que esta prueba se logra, cuando la zona mas caliente, alcanza la temperatura requerida, no cuando la zona mas refrigerada lo indique (*ver figura 67*).



Ahora analicemos la grafica (*ver figura 68*) de la segunda prueba de temperatura: *Half Reload* (media recarga). Esta prueba consiste en retirar (posterior al tiempo de Pull Down), la mitad del producto refrigerado y reemplazarlo, por otra mitad que se encuentre a temperatura ambiente (40.5°C). Para esta prueba, a diferencia de la anterior, el tiempo estipulado es de 17 horas o menos, en el cual el equipo debe alcanzar la temperatura requerida (-4.5°C).

Figura 67. Pull Down del equipo.

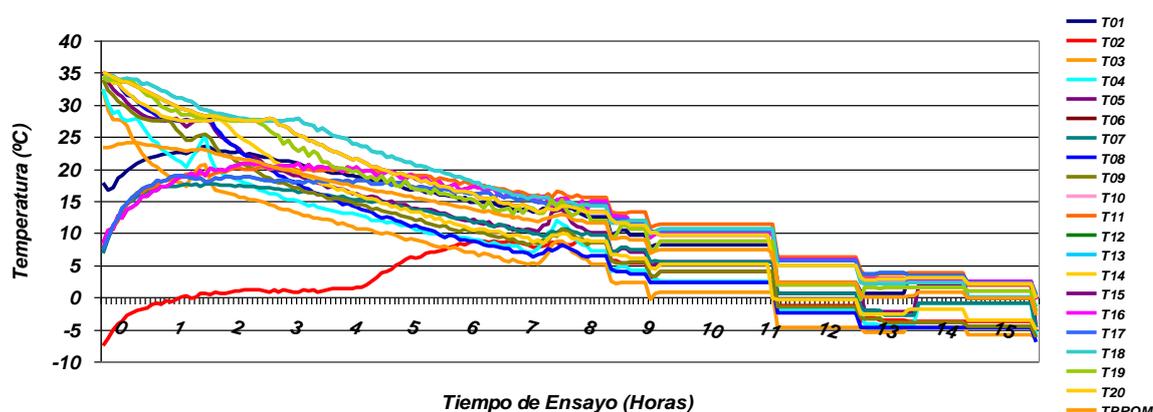


Figura 68. Comportamiento de temperaturas durante la prueba de Half Reload.

En la grafica (ver figura 68) se aprecia el desorden en la temperatura interna a causa de la apertura de la puerta, entrada de aire e ingreso del producto a temperatura ambiente. Se puede ver como ocurre la transferencia de calor del producto más caliente al más frío. Hasta que no exista un equilibrio entre ambas partes (producto frío y producto caliente), el equipo no empieza a disminuir su temperatura para llevarla hasta su punto de ajuste. Luego de 16 horas, la zona más caliente, logra establecerse dentro del rango de temperatura requerida.

Con los resultados obtenidos en ambas pruebas, podemos decir que el equipo está acorde a los requerimientos del cliente y cumple con las exigencias establecidas por el protocolo de evaluación solicitado.

Para conocer el informe completo de este ensayo, remítase a la parte de **anexos C (CD de Referencia)** y conozca cada detalle de este protocolo de evaluación.

3.4.4. Eficiencia energética en sistemas de refrigeración.

El frigorífico es el electrodoméstico de los hogares y negocios que consume más electricidad. Haciendo un uso racional del mismo, se consigue un buen ahorro. Aspectos importantes como el diseño y la selección del equipo de refrigeración, las condiciones de operación, el diseño de la cámara frigorífica, el estado de mantenimiento, el funcionamiento de los diferentes componentes de la unidad refrigerante y las costumbres o modalidades operativas del equipo por parte de los usuarios, determinan significativamente la eficiencia de la instalación, el estado final del producto para su venta y los costos por la energía eléctrica consumida [1].

Recordemos que... una buena administración de energía en los procesos de refrigeración, repercute en beneficios económicos que pueden alcanzar hasta el 70% de los gastos actuales de electricidad.

3.4.4.1. ¿Qué es la eficiencia energética? Es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad.

Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía, pueden desear ahorrar energía para reducir costos energéticos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así su beneficio. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica [1].

- **Recomendaciones para disminuir el consumo de energía en sistemas de refrigeración.**

- ✓ *Regular la temperatura del equipo según las instrucciones del fabricante (un grado centígrado más de frío supone un aumento del 5% en el consumo de energía).*
- ✓ *Instalar estos electrodomésticos lo más lejos posible de los focos de calor (sol, horno, etc.).*
- ✓ *No introducir alimentos calientes en el frigorífico o en el congelador; dejándolos enfriar fuera, se ahorra energía.*
- ✓ *Mantener las puertas abiertas el menor tiempo posible y comprobar que cierran correctamente.*
- ✓ *Cuando se compre un frigorífico o un congelador nuevo, elegir un modelo "eficiente" y ecológico, porque consumen menos energía que los convencionales.*

3.4.4.2. Indicadores de evaluación.

Cuando se trata de sistemas de refrigeración, la eficiencia energética de los equipos, es posible medirla a través de coeficientes de rendimiento [1]:

- **COP: Coeficient Of Performance.**

En castellano, coeficiente de rendimiento, es la medida de que tan eficiente es un sistema de refrigeración, al operar en una condición determinada de temperatura ambiente. Es una expresión de la eficiencia del ciclo y queda definido como la relación del calor absorbido en el espacio refrigerado (*energía útil*) entre la energía térmica equivalente a la energía suministrada al compresor (*energía consumida*), esto es:

$$COP = \frac{\text{Calor absorbido en el espacio refrigerado}}{\text{Energía térmica equivalente a la energía suministrada al compresor}}$$

De otra manera, esto puede escribirse como:

$$COP = \frac{\text{Efecto refrigerante}}{\text{Calor de compresion}} = \frac{(h_c - h_a)}{(h_d - h_c)} = \frac{q_e}{q_w}$$

Donde:

h_c : es la entalpía a la salida del evaporador.

h_a : es la entalpía a la entrada del evaporador.

h_d : es la entalpía a la entrada del condensador.

q_e : es el efecto refrigerante.

q_w : es el calor de compresión.

Cuanto mayor sea el valor del **COP**, más eficiente es el sistema. El **COP** permite una estimación del funcionamiento del sistema completo, el cual es útil para el diseño y evolución de sistemas de refrigeración mecánicos por compresión de vapor, además es considerado, el estándar para la eficiencia de la energía en los procesos de refrigeración.

- **EER: Energy Efficiency Ratio.**

En castellano, relación de eficiencia energética, es un coeficiente que representa el rendimiento energético del equipo de refrigeración, producto de dividir la cantidad de calor removido del espacio refrigerado (*evaporador*) dado en *Btu*, por la energía eléctrica consumida (*compresor*) en *W.h*, esto es:

$$EER = \frac{\textit{Cantidad de calor removido del espacio refrigerado}}{\textit{Energía eléctrica consumida por el compresor}}$$

Un alto valor de **EER**, significa que el sistema es más eficiente.

De otra forma, esto puede escribirse como:

$$EER = \frac{\textit{Efecto refrigerante}}{\textit{Energía eléctrica consumida por el compresor}}$$

Estos índices (**COP** y **EER**), ayudan a comparar la eficiencia energética entre equipos de refrigeración. Entre más antiguo sea el equipo que se posee, es probable que sea extremadamente ineficiente en comparación con los actuales modelos.

3.4.4.3. Etiqueta energética.

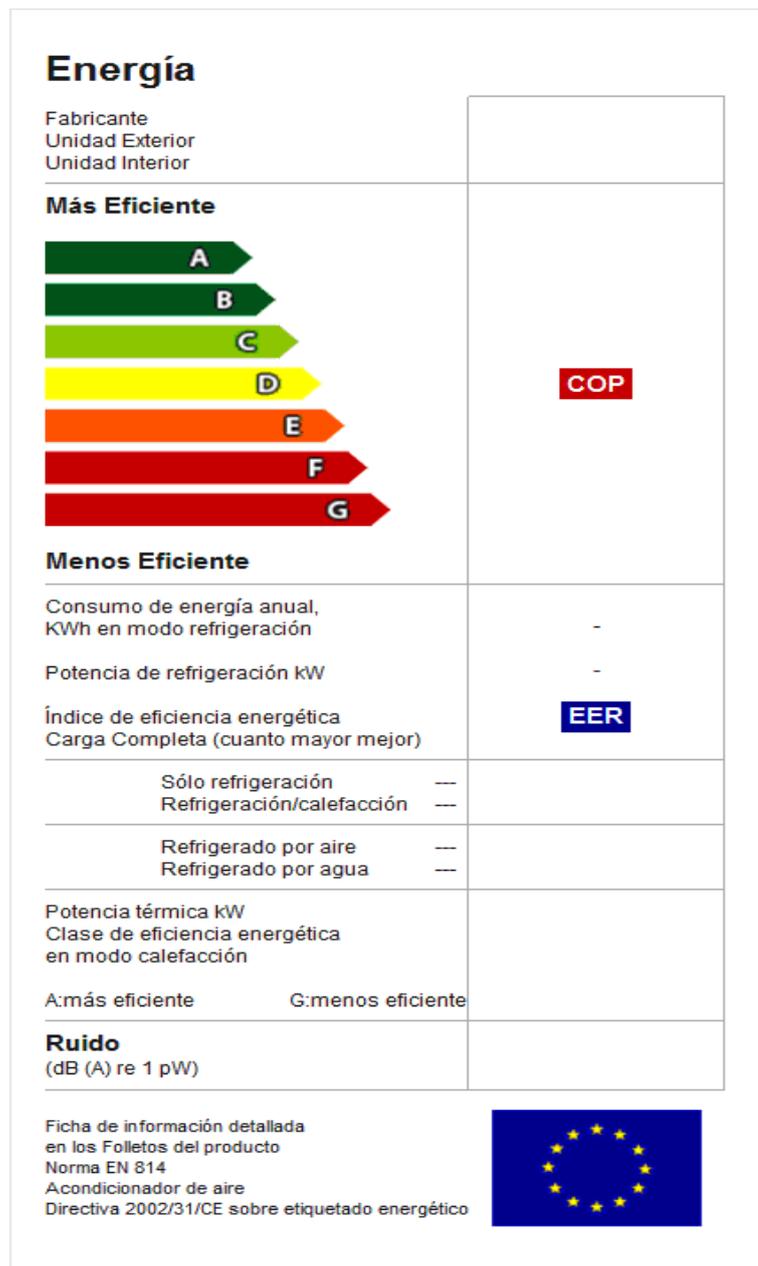
Con el objetivo de respetar y cuidar el medio ambiente, ahorrar energía para reducir las emisiones de CO2 y cumplir con los acuerdos del protocolo de Kyoto, la Unión Europea regula el etiquetado de todos los equipos de refrigeración [20].

- **¿Qué es la etiqueta energética?**

El objetivo de la etiqueta energética es informar al consumidor de la eficiencia y valores de consumo (energía) de un equipo de refrigeración. La etiqueta (ver figura 69), indica la eficiencia de un equipo en relación a otro de semejantes características.

Figura 69.

Etiqueta energética.



Esta etiqueta se compone de siete niveles de eficiencia representados por colores y letras, desde el **COLOR VERDE** y la **CLASE A** (los más eficientes) al **COLOR ROJO** y la **CLASE G** (los que más energía consumen).

Para los *frigoríficos* se han creado **DOS (2) NIVELES** más: **A+** y **A++**, de menor consumo que la **CLASE A**.

De acuerdo al nivel de eficiencia en el cual se encuentre el equipo seleccionado, existe un rango de valores predeterminados tanto para el **COP** (coeficiente de rendimiento) como para el **EER** (relación de eficiencia energética) (ver figura 70), lo cual confirma la eficiencia energética y permite la selección adecuada e ideal de un equipo de refrigeración, según las necesidades del cliente [20].

COP		EER	
Clase de eficiencia energética	COP	Clase de eficiencia energética	EER
A	$3,60 < COP$	A	$3,20 < EER$
B	$3,60 \geq COP > 3,40$	B	$3,20 \geq EER > 3,00$
C	$3,40 \geq COP > 3,20$	C	$3,00 \geq EER > 2,80$
D	$3,20 \geq COP > 2,80$	D	$2,80 \geq EER > 2,60$
E	$2,80 \geq COP > 2,60$	E	$2,60 \geq EER > 2,40$
F	$2,60 \geq COP > 2,40$	F	$2,40 \geq EER > 2,20$
G	$2,40 \geq COP$	G	$2,20 \geq EER$

Figura 70. Valores de COP & EER de acuerdo a la eficiencia del equipo.

- **¿Porque es importante?**

Más del 90% del impacto sobre el medio ambiente, es causado por los equipos eléctricos en hogares, negocios e industrias. Esto se produce, debido a hábitos de consumo excesivo de energía en los aparatos.

- **Obligaciones que conlleva.**

El fabricante debe suministrar en la etiqueta, características del equipo tales como: *Marca, Modelo, Eficiencia, Consumos, Etc.* El distribuidor debe colocar la etiqueta en los equipos expuestos en el establecimiento y pegar en ella la banda de datos. El etiquetado energético proviene de legislación de la Unión Europea y es de obligado cumplimiento en equipos de refrigeración [21].

- **Ventajas.**

Entre las ventajas mas notables con la selección adecuada de un equipo de refrigeración, se encuentran:

- ✓ *Menor consumo de energía.*
- ✓ *Menor costo en el ciclo de vida del producto.*
- ✓ *Mejores resultados.*
- ✓ *Productos con mejores prestaciones (eficacia).*
- ✓ *Mayor satisfacción del cliente.*

3.4.4.4. Implementación de indicadores de evaluación.

Dentro de las incorporaciones más relevantes en la plataforma de adquisición de datos (**LABVIEW®**) del laboratorio de ensayos de maquinas de refrigeración comercial de **INDUFRIAL S.A.**, se implementaron herramientas de cálculo que ofrecen parámetros de explotación de exigencia internacional, como los son el **COP** y el **EER**, que permiten dar una evaluación más amplia de los equipos ensayados. Estos indicadores de evaluación, permiten dar un mejor concepto con respecto a la eficiencia energética de un equipo de refrigeración. A través de estas herramientas se analiza el comportamiento total del equipo; para esto es necesario conjugar todas las variables que intervienen en el funcionamiento del mismo; variables como la *temperatura* (interna y externa), la *humedad relativa*, la *presión* (alta y baja), la *velocidad del aire* y la *iluminación*.

Se determinaron el **COP** y el **EER**, a través de modelos matemáticos realizados de manera ardua, con el objeto de suministrar nuevos parámetros de trabajo del ciclo de refrigeración y así, dar una evaluación mas cualitativa y representativa (desde el punto de vista operacional) de los equipos construidos por la fabrica a todos los clientes.

Para lograr el cálculo del **COP**, se idealizó una ecuación que fuera capaz de estimar un valor de la eficiencia del equipo. El análisis partió desde la ecuación fundamental que define este parámetro (ver numeral 3.4.4.2). Como se observa, el **COP** está en función de los valores de las entalpias; Al ser una propiedad que no es medible directamente, es necesario implementar un modelo matemático que permita calcular esta propiedad del refrigerante, experimentalmente, en función de parámetros medibles.

Para obtener estos valores de entalpia, se recurre a su medición a través de parámetros como la presión y temperatura del fluido refrigerante (**R134a**), es decir:

$$h = f(P, T)$$

Conociendo los procesos de transferencia térmica de este sistema, el fluido refrigerante pasa por diferentes estados físicos, por lo cual, para realizar el desglose del análisis, tomaremos como referencia la salida a alta presión del compresor:

1. Al salir del compresor, el refrigerante está a alta presión, alta temperatura, en estado gaseoso con un gran volumen y con baja densidad.
2. Posteriormente, la transferencia térmica que se produce en el condensador, permite que el refrigerante ceda energía calórica al medio ambiente (se enfría), cambiando su estado de gas a líquido, a una presión muy alta, disminuyendo su volumen y aumentando significativamente su densidad, acumulando el exceso en un deposito.
3. Luego, se elimina la humedad presente en el refrigerante por medio de un filtro secador.

4. Para que el sistema pueda regular el caudal de refrigerante líquido necesario en la siguiente etapa del proceso termodinámico, este pasa a través de un medio de control denominado, tubo capilar.
5. Ahora, se inyecta este líquido al evaporador causando una expansión del mismo, disminuyendo bruscamente su presión, lo que precipita su evaporación, para lo cual requiere extraer calor del entorno (roba calor: sensación de frío), calor que utiliza para cambiar su estado de líquido a gaseoso. Notando que los productos al interior del evaporador ceden su calor, el cual calienta al evaporador, absorbiendo por ende el refrigerante este calor, disminuyéndose la presión, aumentando su volumen y minimizando su densidad, a una temperatura muy baja.
6. Después de esta etapa, se inicia nuevamente el ciclo, repitiendo (en teoría) infinitamente todo el proceso termodinámico.

Graficando el ciclo completo de refrigeración en el Diagrama de Mollier, obtenemos:

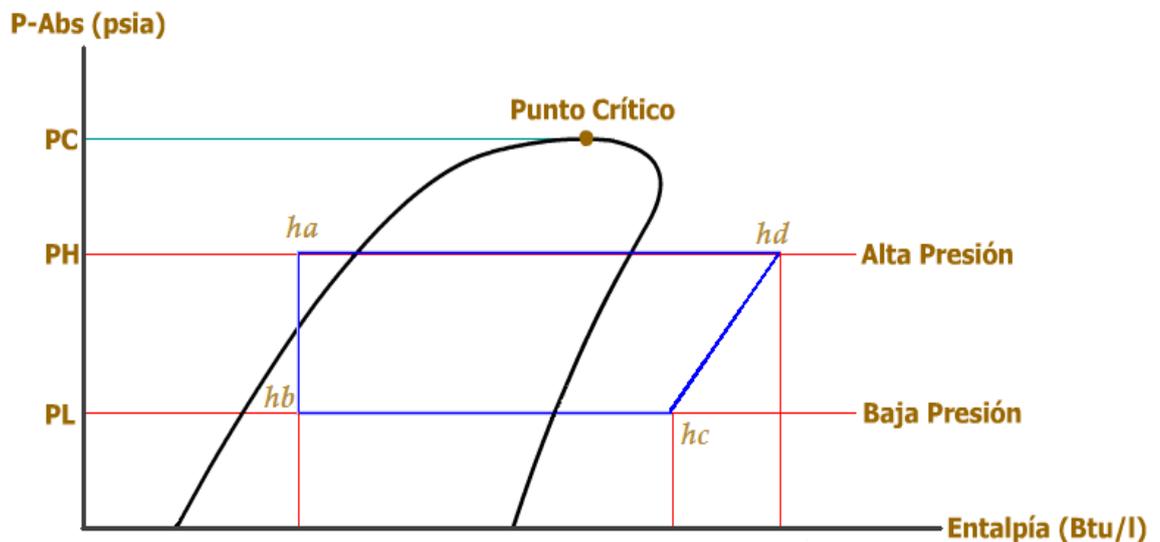


Figura 71. Diagrama básico de un ciclo completo de refrigeración.

Para determinar las entalpías, es necesario identificar el estado en el que se encuentra el refrigerante en esa etapa del proceso.

Los valores de la entalpía a la salida del evaporador (h_c) y a la entrada del condensador (h_d), son valores del refrigerante en estado de vapor sobrecalentado (ver figura 71). Para su medición, se encuentra un modelo de ajuste para esta zona, que permita hallar experimentalmente [19]*, con mediciones hechas al equipo (temperatura y presión) en las partes mencionadas, estos valores de manera instantánea.

La definición del modelo obtenido para esta zona, es el siguiente:

$$Y = a + b \times x_1 + c \times x_2 + d \times (x_2)^2$$

Donde:

Y: Entalpía calculada; $h \left[\frac{Btu}{lbm} \right]$.

x_1 : Presión absoluta; $P [Psi]$.

x_2 : Temperatura ; $T [^\circ C]$.

Este modelo posee un coeficiente de determinación múltiple (R^2) de **0.9986593864**, el más exacto entre los demás modelos ensayados.

Con un intervalo de confiabilidad del **95%**, los valores resultantes para las constantes presentes en este modelo son:

$$a = 109.20893627727$$

$$b = -0.042144881160691$$

$$c = 0.356683797858469$$

$$d = 0.000508049856033157$$

Reemplazando cada uno de los respectivos valores en el modelo, la ecuación sería:

$$h = 109.20893627727 + (-0.042144881160691) \times P + 0.356683797858469 \times T + 0.000508049856033157 \times (T^2)$$

*Fuente: Valores tabulados para las propiedades del refrigerante (R134a - Unidades Inglesas) en las tablas A-11E a A-13E del texto.

Ecuación en la cual, P (presión) y T (temperatura) son valores reales medidos en las partes de interés del sistema de refrigeración del equipo ensayado.

Por ejemplo para hallar el valor de la entalpía a la salida del evaporador (h_c), se selecciona el **sensor de temperatura** ubicado en ese sitio específico, además del **sensor de presión del lado de baja**.

Para el valor de la entalpía a la entrada del condensador (h_d), debe seleccionarse el **sensor de temperatura** ubicado en ese lugar, además de seleccionar el **sensor de presión del lado de alta**.

Debe procurarse realizar de manera adecuada el procedimiento, para evitar errores en la medición de las entalpías del sistema.

Para realizar el cálculo de la entalpía a la entrada del evaporador (h_a), el procedimiento es similar. A diferencia de las anteriores entalpías (h_c y h_d), para este valor, el estado del refrigerante es líquido subenfriado (ver figura 69).

Para su medición experimental [19]*, es necesario solo realizar mediciones al equipo de *temperatura* en la parte designada.

La definición del modelo obtenido para esta zona, es el siguiente:

$$Y = a \times (x)^5 + b \times (x)^4 + c \times (x)^3 + d \times (x)^2 + e \times x + f$$

Donde:

Y: Entalpía calculada; $h \left[\frac{Btu}{lbm} \right]$.

x: Temperatura ; $T [^{\circ}C]$.

Este modelo posee un coeficiente de determinación múltiple (R^2) de **0.9999512306**, el más exacto entre los demás modelos ensayados.

*Fuente: Valores tabulados para las propiedades del refrigerante (R134a - Unidades Inglesas) en las tablas A-11E a A-13E del texto.

Con un intervalo de confiabilidad del **95%**, los valores resultantes para las constantes presentes en este modelo son:

$$a = 0.00000000347746908479065$$

$$b = 0.000000270473950576266$$

$$c = 0.00000284847857523018$$

$$d = 0.00131043669499349$$

$$e = 0.569599260328925$$

$$f = 21.3727098598986$$

Reemplazando cada uno de los respectivos valores en el modelo, la ecuación resultante es:

$$h = 0.00000000347746908479065 \times (x)^5 + 0.000000270473950576266 \times (x)^4 + 0.00000284847857523018 \times (x)^3 + 0.00131043669499349 \times (x)^2 + 0.569599260328925 \times x + 21.3727098598986$$

Habiendo el sistema de adquisición de datos (**LABVIEW®**) obtenido todos estos parámetros, procede automáticamente, al cálculo instantáneo del coeficiente de rendimiento (**COP**) del equipo ensayado.

Por otra parte, para calcular la relación de eficiencia energética (**EER**) de todo el sistema, es imprescindible conocer el resultado del coeficiente de rendimiento (**COP**). La ecuación implementada en el software para determinar su valor, parte de la relación que se muestra a continuación:

$$1kW.h = 3412Btu \rightarrow 1W.h = 3.412Btu$$

Obteniendo de esta relación, fundamentada en la definición del **EER** (ver numeral 3.4.4.2), una forma más sencilla para la determinación del valor de la eficiencia energética del equipo de refrigeración:

$$EER = 3.412 \times COP$$

El resultado de los indicadores, se visualiza de manera automática y en tiempo real, de tal forma que se puede analizar instantáneamente, el comportamiento actual que va teniendo el equipo hasta que alcanza su estabilización térmica, instante en el cual los valores de estos indicadores serán los más *ideales*.

Se considera la incorporación de estas herramientas al software (*ver figura 72*), primordiales a la hora de lograr mayor competitividad (*re-ingeniería y desarrollo técnico de los equipos*), mayor incremento en las ventas (*dinamismo operacional*) y mayor reconocimiento (*altos estándares de calidad y exigencia*). Y a través de esto, conceptualizar aun mejor la estructura del mercado (*mercados objetivos*), además de la innovación en los servicios que se deseen brindar con óptimas estrategias de comercialización [12].

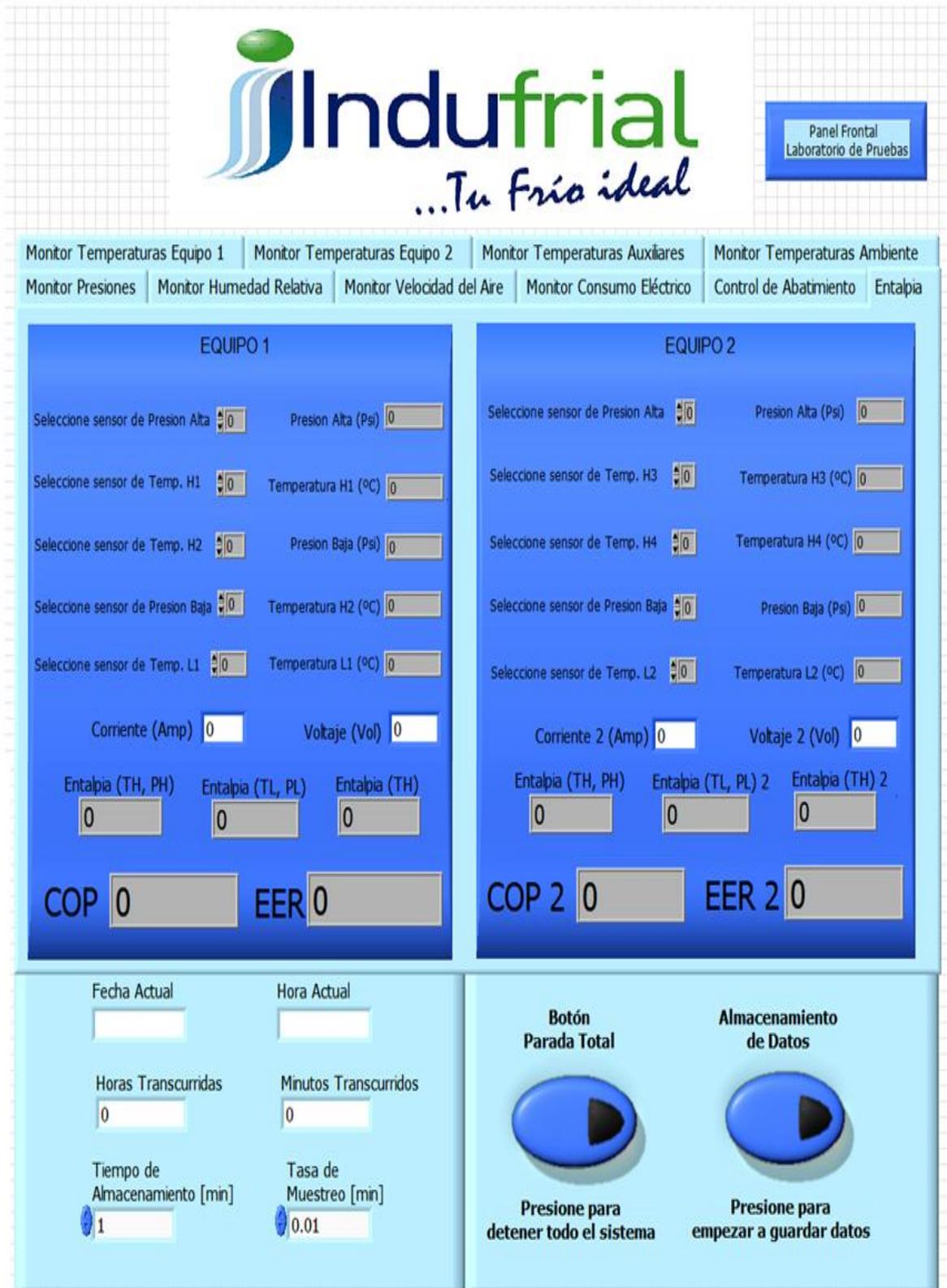


Figura 72. Interfaz grafica del sistema de monitoreo (LABVIEW®),
Ventana COP y EER.

3.5. Mantenimiento del laboratorio.

Al igual que los equipos de refrigeración evaluados, es necesario que el laboratorio sea intervenido para garantizar su correcto funcionamiento, ya sea para corregir fallas o para prevenir su futura aparición [11].

Sistema de climatización. La frecuencia del mantenimiento depende de diversos factores, entre ellos están:

- ✓ La cantidad de horas diarias de operación.
- ✓ El tipo de ensayo que se realice.
- ✓ La clase climática ajustada para cada ensayo.

Además de otras variables de afectación físicas (estructurales), debe tenerse presente el resultado obtenido en el último mantenimiento realizado.

Basándose en el criterio del ente que provee el servicio de mantenimiento al sistema de climatización del laboratorio, el cual recomienda, realizar la intervención cada 2 meses, para garantizar la eliminación de agentes externos y mantener cada una de las partes del sistema en correcto funcionamiento, se proceden a realizar las actividades de preservación enfocadas a los siguientes subsistemas que lo componen [11]:

1. **Sistema de ventilación:** El mantenimiento del sistema de ventilación se enfoca principalmente a la eliminación del material particulado que ingresa al recinto de ensayos y que es arrastrado por el flujo constante de aire que circula al interior del mismo y absorbido por los componentes de este sistema. Las actividades de mantenimiento que se realizan son las siguientes:

- *Lavado de serpentín evaporador.*
- *Revisión tensión correas y poleas.*
- *Lubricación de cojinetes y rodamientos.*
- *Revisión de estado de prefiltro.*
- *Revisión de empaques de juntas y sellos.*
- *Revisión estado del ventilador.*
- *Revisión de ejes y gabinete.*

- *Lavado de desagües y bandeja de condensador.*
- *Revisión de fugas de condensador.*
- *Revisión del sistema de suspensión.*
- *Verificación de soportes y tensores.*
- *Lavado de estructura.*
- *Verificación de condiciones de operación.*
- *Limpieza de filtros de aire.*
- *Verificación del buen funcionamiento y limpieza del banco de recalentadores.*
- *Verificación del buen funcionamiento y limpieza del nebulizador y boiler.*

2. **Sistema eléctrico:** Toda las parte de suministro de energía eléctrica de los dispositivos de control del sistema de climatización, son minuciosamente revisados con el fin de hallar componentes que no estén dentro de los rangos de funcionamiento preestablecidos, y ajustar aquellos que se encuentren desfasados de acuerdo a su configuración.

Las inspecciones que se ejecutan son las siguientes:

- *Verificación de estado de amperaje y voltajes de placas de motores, ventiladores y compresores.*
- *Verificación de conexiones eléctricas en tableros y borneras.*
- *Verificación de contactores, relés y elementos de control y potencia.*
- *Mediciones de corrientes y voltaje de elementos de control.*
- *Pruebas en vacío de la maniobra.*
- *Verificación de estado de los breakers.*

3. **Sistema hidráulico:** Los requerimientos de control son más estrictos para este sistema, pues indiscutiblemente su funcionamiento no sería exitoso, si el agua de suministro del chiller, no llega con las condiciones necesarias de trabajo para realizar el ajuste de las condiciones climáticas del recinto de ensayos. Para el mantenimiento del sistema hidráulico se realizan las siguientes acciones:

- *Verificación de fugas.*

- *Verificación de aislamiento.*
- *Verificación y pruebas de válvulas de control y corte.*
- *Verificación de válvulas modulantes.*
- *Revisión de manómetros y termómetros.*
- *Verificación de punto de operación bomba.*
- *Revisión y ajuste de bomba.*
- *Revisión de eliminadores de vibración.*
- *Revisión de acoples flexibles de bomba.*

4. **Sistema de refrigeración:** Las acciones de mantenimiento de este sistema, son las más complejas; pues además de verificar el estado de servicio de cada uno de sus componentes, deben corresponder los valores ajustados con los asignados en los dispositivos de control, es decir, la configuración de los parámetros de funcionamiento de cualquier clase climática, deben coincidir con los valores preestablecidos de trabajo.

Aquí se muestran las acciones del servicio:

- *Lavado de serpentín de condensación.*
- *Revisión de motor y compresor.*
- *Verificación de fugas de refrigerante.*
- *Verificación del punto operativo.*
- *Revisión de elementos de control y potencia.*
- *Revisión de alarmas.*
- *Ajustes y calibración de sensores y termocuplas.*

5. **Sistema de control:** Toda la instrumentación de control y medición que hacen parte del sistema de climatización, nos permiten manipular, monitorear y predecir el estado de las variables de trabajo que intervienen en el funcionamiento del sistema de climatización. Las acciones del mantenimiento para este sistema son:

- *Ajustes y calibración sensor de temperatura.*
- *Ajustes y calibración sensor de humedad.*
- *Ajustes y calibración sensores de flujo de aire.*

- *Verificación software de control.*
 - *Verificación estado tarjeta de control humidificador.*
 - *Ajuste y calibración del controlador de temperatura del chiller.*
6. **Sistema de estructuras:** La función de este sistema es contener a los dispositivos de ventilación mecánica, y las acciones de mantenimiento se enfocan a la preservación física de toda la estructura. Para ello se realiza:
- *Limpieza general del sistema de ventilación mecánica (descarga y retorno, paredes técnicas y deflectores de direccionamiento del aire.)*

CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo desarrollado han permitido generar un proceso de transferencia de conocimientos desde la **Universidad Tecnológica de Bolívar** hacia **INDUFRIAL S.A.** basado en la interacción cognitiva y tecnológica de la ingeniería de refrigeración, mecánica y electrónica, la cual le permite a partir de ahora a la empresa, contar con un laboratorio de ensayos para equipos de refrigeración comercial único en el país, siendo un soporte esencial, para realizar continuos desarrollos de sus equipos, encaminados a mejorar su diseño y eficiencia energética.

Los procedimientos y normativas para la explotación técnica del laboratorio fueron definidos, por lo que actualmente, toda la infraestructura tecnológica de los sistemas estipulados para la ejecución de los ensayos, está disponible para ser implementada y garantizar excelentes resultados.

A través de este laboratorio de ensayos, se podrán clasificar y certificar todos los equipos producidos por **INDUFRIAL S.A.** y también, todos aquellos que provengan de solicitudes externas (**INDUFRIAL S.A.** actualmente se encuentra en proceso de acreditación), dentro de las especificaciones solicitadas por los clientes y según protocolos de evaluación. Esto, orientado a que los equipos cuenten con el respaldo de ensayos realizados mediante metodologías normalizadas.

El sistema de climatización presente en el laboratorio de ensayos (único en la región), cuenta con correctas condiciones ambientales de operación, ajustadas para simular microclimas particulares para la medición real y acertada de las variables de funcionamiento de los equipos de refrigeración. Siendo posible de esta manera, validar metodologías propuestas en la evaluación de estos sistemas.

En las mejoras realizadas, también se encuentran, la habilitación y descripción de procedimientos de ensamble y funcionamiento de cada una de las secuencias preestablecidas en el sistema robótico de abatimiento (apertura y cierre de puertas). Este sistema está totalmente disponible para simular (en todas las configuraciones existentes), el comportamiento real de un equipo de refrigeración en servicio.

La nueva forma de ofrecer los resultados de los ensayos a equipos de refrigeración, es también una novedad en el laboratorio, pues ahora brindan mayor información que facilita la comprensión del comportamiento del equipo durante el periodo de prueba. Los nuevos reportes (respecto al ensayo que se ejecute) ofrecen un completo análisis de la(s) variable(s) monitoreada(s), promedios y gráficos que evidencian cualquier anomalía ocurrida durante el funcionamiento del equipo en prueba. Conclusiones de conformidades, irregularidades y características relevantes del equipo durante su evaluación, visibles en el despliegue de toda la información del reporte, quedan argumentadas con criterio técnico, procurando dar un diagnóstico acertado y de fácil entendimiento para el solicitante del ensayo.

Dentro de las innovaciones más destacadas en los servicios ofrecidos por el laboratorio de ensayos, sobresale el hecho que a diferencia de otros laboratorios, en este se pueden obtener indicadores de eficiencia energética muy útiles para la correcta selección de un equipo de refrigeración. Herramientas como el **COP (Coeficiente de Rendimiento)** y el **EER (Relación de Eficiencia Energética)** permiten al cliente potencial, elegir el equipo ideal para satisfacer sus necesidades de frío. Logrando **INDUFRIAL S.A.**, mejoras en el consumo de energía de los equipos que se ofertan al mercado y por lo tanto, contribuir a la disminución del impacto sobre el medio ambiente.

INDUFRIAL S.A., apoyada en los procesos de investigación y desarrollo científico realizados en el marco del proyecto de explotación técnica y con la infraestructura tecnológica que posee, reconoce que el laboratorio de ensayos representa una ventaja competitiva en el mercado de la refrigeración comercial a nivel nacional e internacional.

RECOMENDACIONES

En aras de mantener y garantizar la operación óptima del Laboratorio de Ensayos de Maquinas de Refrigeración Comercial de **INDUFRIAL S.A.**, se hará mención de una serie de acciones necesarias para lograr conseguirlo. Entre las cuales están:

- ✓ Implementar en todos los procedimientos del laboratorio, los manuales elaborados para tales fines y además, para evitar realizar de manera errónea maniobras o tal vez, acciones no estipuladas en estos.
- ✓ Ejecutar todos los ensayos, bajo los requerimientos de las normas o protocolos de evaluación, procurando regir todo el proceso guiado por el documento.
- ✓ Verificar siempre, la estabilidad térmica del recinto de ensayos, previamente a la ejecución de una prueba. Debido a la influencia de los parámetros ambientales, en el funcionamiento regular del equipo.
- ✓ Dar seguimiento a los indicadores de evaluación implementados en el software, para lograr establecer lugares más efectivos de medición de los parámetros que intervienen en los resultados. Además, continuar mejorando las potencialidades de estos indicadores, permitirá la investigación permanente de la operación de los equipos con miras a lograr una mayor eficiencia en estos sistemas de refrigeración construidos por **INDUFRIAL S.A.**
- ✓ Velar por el cumplimiento programado y adecuado del mantenimiento a todos los sistemas presentes en el laboratorio de ensayos, garantizando su funcionalidad y la eficacia en la ejecución de las pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dossat, Roy J, "Principios de Refrigeración". Editorial Cecsca - 1980.
- [2] Martínez, I - TERMODINAMICA BASICA Y APLICADA – Capitulo 18: Maquinas Térmicas de Refrigeración. - PDF_URL:
<http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c18/Maquinas%20termicas%20de%20refrigeracion.pdf>
- [3] Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), CHILE. Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.
PDF_URL:
<http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao/archivos/ManualBuenasPracticas2.pdf>
- [4] Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), CHILE. Manual de capacitación: Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.
URL: <http://www.abcdatos.com/tutoriales/tutorial/l8005.html>
- [5] Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), CHILE. Manual de capacitación: Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.
URL: <http://www.abcdatos.com/tutoriales/tutorial/l8005.html>
- [6] Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), CHILE. Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado
URL:
<http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao/archivos/ManualBuenasPracticas2.pdf>
- [7] MANUAL TECNICO VALYCONTROL, Valycontrol SA de CV. Guadalajara, Jalisco, México.
- [8] Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), CHILE. Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.
URL:<http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao/archivos/ManualBuenasPracticas2.pdf>
- [9] Manual de Refrigeración, Copeland Corporation. Sidney Ohio 45365.
- [10] Fundamentos de la operación de los equipos de refrigeración.
URL:http://www.quiminet.com/ar0/ar_V%25CD%257D%25EA%2520%25F9%2517%253D.htm
- [11] Desarrollo de un recinto piloto para diseños y ensayos de equipos de refrigeración comercial – INDUFRIAL S.A. & Universidad del Norte - Febrero de 2004

- [12] Tecnológico de monterrey, departamento de ingeniería mecánica. Laboratorio de ingeniería térmica, practica aire acondicionado.
URL:
http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/im/termofluidos/refrigeracion/a_acondicionado.pdf
- [13] Universidad Pontificia de Catalunya – Biblioteca ETSEIB (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona) – Antecedentes históricos de Refrigeración.
PDF_URL: http://biblioteca.upc.es/bib240/serveis/fhct/expo_et/refrig.pdf
- [14] Torrella A., Enrique. “La producción de frío”. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Termodinámica aplicada. Editorial Servicio de Publicaciones. 1996.
- [15] Ingeniería Energética – Termodinámica - Ciclos de refrigeración por compresión – PDF_URL:
<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Termodinamica/PDFs/Capitulo14.pdf>
- [16] Salvador Escoda S.A. – Catalogo Técnico “Gas Refrigerante R-134A” – PDF_URL:
<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/GF/01-GasR134a.pdf>
- [17] Servistec Ltd - Servistec House 7 Bailey Road - Energy Efficiency - URL:
http://www.servistec.com/welcome/Energy_Efficiency/body_energy_efficiency.html
- [18] QUIMINET.COM - FUNDAMENTOS DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN – URL:
http://www.quiminet.com/ar0/ar_V%25CD%257D%25EA%2520%25F9%2517%253D.htm
- [19] Wark, K; Richards, D.E., “TERMODINÁMICA”. Editorial Mc Graw Hill, España.
- [20] TECNOKLIMA.COM – ETIQUETA ENERGÉTICA – URL:
http://www.tecnoklima.es/publico/etiqueta_energetica.html
- [21] ETIQUETAENERGÉTICA.COM – LA ETIQUETA ENERGÉTICA – URL:
<http://www.etiquetaenergetica.com/>

ANEXOS