

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA

ACTUALIZACIÓN A PLAN DE MANTENCIÓN PARA LA REFRIGERACIÓN
INDUSTRIAL

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
Automatización y control

Alumnos:

Fernanda Paz Bravo Saavedra

Juan Cuevas Aravena

Profesor Guía:

Iván Acencio Barrientos

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	4
SIGLA.....	5
INTRODUCCIÓN	6
Capítulo I: Antecedentes Generales del Estudio.....	7
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 Objetivo General.....	8
1.1.2 Objetivos Específicos.....	8
1.1.3 Alcance	8
1.2 Generalidades.....	9
Capítulo II: Marco Teórico	10
2.1 Antecedentes generales	11
2.2 Historia de la refrigeración	11
2.2.1 Refrigerantes	11
2.2.2 El Refrigerante Ideal	12
2.2.3 Propiedades seguras	12
2.2.4 Clasificación	13
2.2.4 Según su toxicidad	13
2.2.5 Según su inflamabilidad.....	13
Clase 1.....	13
Clase 2.....	13
Clase 3.....	13
2.2.6 Según su impacto a la capa de ozono.....	14
2.2.7 Clasificación de los refrigerantes	14
2.2.8 Comparación de los refrigerantes	16
2.2.9 Aplicación de los distintos refrigerantes:.....	22
2.3 Levantamiento a los sistemas de refrigeración	23
2.3.1 Estudio de las características de los sistemas de refrigeración	23
2.3.2 Tipos de refrigeración	26
2.3.2.1 Sistema de refrigeración por compresión.....	26
2.3.2.2 Sistema de refrigeración por absorción.....	27
2.4 Sistema frigorífico	29
2.4.1 Existen diferentes tipos de válvulas:.....	30
2.4.2 El sistema de evaporación absorbe el calor al evaporar el líquido refrigerante.	31
2.4.3 Calificación de los instaladores y mantenedores de sistemas y equipos de refrigeración y climatización	32
2.4.4 Conocimiento de una instalación	33
2.4.5 Mantenimiento detección de fugas.	33
2.4.5 Mantenimiento a Sistema de refrigeración	35
2.4.6 Mantenimiento correctivo	35
2.4.7 Mantenimiento preventivo	43

2.4.8 Mantenimiento predictivo	48
2.5 Identificación de modo de fallas compresor y condensador	51
2.5.1 Identificación de modos de fallas Válvula de expansión y Evaporador	52
2.6 Informe de inspección de equipos asociados al tablero de distribución eléctrica	53
2.9 Inspección de moto generador según norma NFPA 70B	54
Capítulo III: Análisis de Sistema Frigorífico	56
3.1 Análisis de criticidad a los Sistemas de Refrigeración	57
3.1.1 Matriz cualitativa de riesgo.....	57
3.1.2 Análisis de modos de fallas y efecto FMEA.....	59
3.2 Diagramas causa y Efecto	60
3.2.1 Identificación de modos de fallas Compresor y Condensador.....	60
.....	64
3.2.2 Identificación de modos de fallas Válvula de expansión y Evaporador	66
Capítulo IV: Conclusiones	71
Bibliografía	73

INDICE ILUSTRACIONES

Ilustración I- 1 Sistema de refrigeración por compresión.....	26
Ilustración I- 2 Sistema de refrigeración por absorción	28
Ilustración I- 3 Válvulas de expansión termostáticas.....	30
Ilustración I- 4 Válvulas solenoides.....	30
Ilustración I- 5 Válvulas reguladoras de presión del evaporador.....	31
Ilustración I- 6 El sistema de evaporación absorbe el calor al evaporar el líquido refrigerante.	32

INDICE DE TABLAS

Tabla I- 1 Clasificación de los refrigerantes de acuerdo con su seguridad	13
Tabla I- 2 Refrigerantes hidrocarburos halogenados	15
Tabla I- 3 Hidrocarburos refrigerantes.....	15
Tabla I- 4 Refrigerantes inorgánicos.....	16
Tabla I- 5 Presiones de ebullición y condensación	17
Tabla I- 6 Temperaturas de congelación de refrigerantes a la presión atmosférica	17
Tabla I- 7 Caudal en volumen por ton medido a la entrada del compresor (temperatura de evaporización, -15°C y temperatura de condensación, 30°C).....	18
Tabla I- 8 Coeficiente de funcionamiento y potencia por ton para ciclos con -15°C de temperatura de evaporación y 30°C de temperatura de condensación.....	18
Tabla I- 9 Propiedades tóxicas de los refrigerantes.....	19
Tabla I- 10 Ejemplo de las características técnicas y termodinámicas de los diferentes sistemas de refrigeración que se utilizan en las instalaciones industriales (distintas de las centrales eléctricas)	24
Tabla III- 1 Matriz cualitativa de riesgo	57
Tabla III- 2 Factores de Consecuencias	¡Error! Marcador no definido.
Tabla III- 3 Impacto por flexibilidad operacional.....	58
Tabla III- 4 Impacto en costes de mantenimiento	58
Tabla III- 5 Impacto en seguridad, higiene y ambiente.....	59
Tabla III- 6 Análisis de modos de fallas y efecto FMEA.....	51
Tabla III- 7 Identificación de modos de fallas a válvula de expansión.....	52
Tabla III- 8 Inspección de equipos asociados a tablero de distribución Eléctrica	53

SIGLA

ANSI/ASHRAE 34:2007: Number Designation and Safety Classification of Refrigerants.

CMA-PTP: índice Concentración Máxima Admisible - Promedio Temporal Ponderado;
índice

ASTM E 681:2009: Standard Test Method for Concentration Limits of Flammability of
Chemicals (Vapors and Gases).

SAO: Sustancias agotadoras de la capa de ozono.

PAO: Potencial de agotamiento de la capa de ozono.

FMECA: Efectos de modo de fallo y Análisis de Criticidad

FMEA: Análisis de Modos de Fallas y Efectos

RCM: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad

LA NATIONAL FIRE UNDERWRITERS: Protección frente a incendios

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING ENGINEERS: Asociación nacional de

CFC: Refrigerantes clorofluorocarbonos

HCFC: Refrigerantes Hidroclorofluorocarbonos

HFC: Refrigerantes Sintéticos Hidrofluorocarbonos

INTRODUCCIÓN

Todo plan de mantenimiento está sujeto a la particularidad de cada empresa. Este trabajo está basado en el plan de mantenimiento entregado por la empresa Ingemetal Ltda. Soprole. Por lo cual, se cumple con la exigencia de mantención, presentada por un proceso directamente relacionado con productos de consumo humano.

El proceso de refrigeración se define como: un proceso de eliminación del calor. Un sistema de refrigeración está constituido por diversos instrumentos y equipos, los cuales, debido a la importancia de los riesgos asociados, se hacen críticos en relación con el mantenimiento que se le debe brindar.

Los planes de mantenimiento están diseñados de acuerdo con los equipamientos asociados y al tipo de refrigerantes que se ocupan, en este escrito, si bien se menciona los refrigerantes de acuerdo con su clasificación, se hace referencia principalmente a la mantención del equipamiento asociado a un sistema de refrigeración.

En lo particular, los refrigerantes están asociados a dos sistemas, uno por compresión y otro por absorción. En este trabajo, se presentan los tipos de mantenimiento; correctivo, predictivo y preventivo a los sistemas de refrigeración, a los cuales se realizó un análisis de criticidad, análisis de fallas y efecto, e identificación de modos de fallas del compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador, siendo estas partes principales de un sistema de refrigeración.

El desarrollo de este escrito contempla cuatro capítulos. En el capítulo uno se presenta y se describe el problema que motiva este trabajo, como al igual que los objetivos generales y objetivos específicos.

El capítulo dos está asociado a lo que es marco teórico que es toda la teoría respecto a los sistemas de refrigeración, refrigerantes y levantamiento del sistema, etc.

En el capítulo tres, se presenta la propuesta realizada durante este período de desarrollo del escrito para mantenimiento, análisis de sistemas y fallas. Buscando dar directrices asociadas, a mantener el óptimo funcionamiento del Sistema.

Finalmente, el capítulo cuatro concentra las conclusiones referida al trabajo realizado,

Capítulo I: Antecedentes Generales del Estudio

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

En el presente trabajo de título se plantea como objetivo principal, la actualización de un plan de mantención al sistema de refrigeración, ofrecido por la empresa Ingemetal Ltda., para su cliente SOPROLE S.A, con el propósito de reconocer, los modos de fallas dentro del sistema y realizarle el mantenimiento correspondiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se busca:

- Estudiar las normas medioambientales referidas a la correcta manipulación de refrigerantes.
- Realizar levantamiento de los sistemas de refrigeración utilizados en la empresa Ingemetal.
- Realizar reconocimiento de ventajas y desventajas ofrecidos por cada uno de los sistemas de refrigeración revisados.
- Realizar levantamiento de información de los sistemas utilizados en planta Soprole.
- Revisar el plan de mantenimiento actual a los sistemas de refrigeración Soprole.
- Elaborar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento del sistema de refrigeración de planta Soprole.

1.1.3 Alcance

- En este trabajo se propondrá un plan de mantención, a través de un diagrama de Ishikawa, diagrama causa y efecto, con el propósito de hacer mejoras en el plan de mantención para los sistemas de refrigeración.

1. 2 Generalidades

Los peligros que presentan los refrigerantes se derivan de sus características físicas y químicas, así como de la presión y temperatura existentes en los sistemas de refrigeración y climatización, las cuales pueden causar daños corporales o materiales debido a:

- Ruptura de una pieza o una explosión que conlleve el riesgo de expulsar trozos de metal o derrumbamiento de la estructura;
- Escape de refrigerante por rotura, fuga u operación incorrecta;
- Incendio ocasionado o intensificado por la combustión o la deflagración de un aceite o de un refrigerante;
- Refrigerantes más pesados que el aire en sitios poco ventilados, causando asfixia;
- Efecto narcótico o la sensibilidad cardíaca de las personas a estos productos;
- Efectos tóxicos de los vapores o productos de descomposición, resultado del contacto de los productos con llamas o superficies calientes;
- Efectos corrosivos en los ojos, la piel y otros tejidos humanos;
- Congelación de los tejidos humanos, por contacto con otro líquido.

En un sistema de refrigeración y climatización los refrigerantes se encontrarán en fase líquida y gaseosa, siendo de mayor riesgo su manipulación en estado líquido. En su transporte los refrigerantes se deben manipular como líquidos a alta presión.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes generales

La refrigeración en general se define como cualquier proceso de eliminación de calor. Más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes. Para lograr lo anterior, debe sustraerse el calor del cuerpo, que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo, cuya temperatura es inferior a la del cuerpo refrigerado. Debido a que el calor eliminado del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo, es evidente que la refrigeración y calefacción son en realidad los extremos opuestos del mismo proceso.

2.2 Historia de la refrigeración

Durante los inicios de la refrigeración mecánica, el equipo disponible era voluminoso, caro y no muy eficiente. Además, era de tal naturaleza que requería continuamente los servicios de un mecánico o de un ingeniero de servicio. Esto limitaba el uso de la refrigeración mecánica, a unas cuantas aplicaciones, tales como plantas de hielo, plantas empacadoras de carne y a grandes bodegas de almacenamiento. En el transcurso de unas pocas décadas, la refrigeración ha tenido un crecimiento asombroso y actualmente se ha extendido con rapidez para la industria. Este crecimiento explosivo es el resultado de varios factores. Primero, con el desarrollo de métodos de fabricación muy precisos, ha hecho posible la fabricación de equipos pequeños y eficientes.

2.2.1 Refrigerantes

Un refrigerante, es un medio de transmisión del calor, que absorbe calor al evaporarse a baja temperatura y lo cede al condensarse a alta temperatura y presión. Además de estos refrigerantes primarios, también están los refrigerantes secundarios, que incluyen el agua, las salmueras y los anticongelantes. Los refrigerantes secundarios transportan calor, desde un punto lejano, al evaporador del sistema de refrigeración.

Se utilizan muchos refrigerantes, y todos ellos tienen sus ventajas e inconvenientes. Para dar, en principio, una visión de conjunto de los refrigerantes disponibles, se dará la clasificación y designación de los refrigerantes de la American Society of Refrigerating Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración). Después se hará una comparación de las características físicas y de funcionamiento de los refrigerantes, seguida de un breve estudio de los refrigerantes más usados. Finalmente serán examinadas las características de los refrigerantes secundarios.

2.2.2 El Refrigerante Ideal

En general, un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Con respecto al ciclo compresión-vapor, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cual alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo de compresión -vapor, debe tener ciertas propiedades químicas, físicas y termodinámicas que lo hagan seguro y económico durante su uso.

Propiamente no existe un refrigerante “ideal” y por las grandes diferencias en las condiciones y necesidades de las aplicaciones, no hay un solo refrigerante que sea universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al “ideal”, sólo cuando sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para lo cual va a ser utilizado.

2.2.3 Propiedades seguras

Las propiedades seguras de un refrigerante son de especial importancia en la selección de éste. Es por esta razón que algunos fluidos que de otro modo son altamente deseables como refrigerantes, son de uso limitado como tales. Los más importantes de estos son: el amoníaco y algunos del grupo de los hidrocarburos.

Para tener un uso apropiado como refrigerante, un fluido deberá ser químicamente inerte, hasta el grado de no ser inflamable, no explosivo, no tóxico, tanto en su estado puro como cuando están mezclados con el aire en cierta proporción; además, el fluido no deberá reaccionar desfavorablemente con el aceite lubricante o con cualquier otro material normalmente usado en las construcciones del equipo de refrigeración. No deberá reaccionar desfavorablemente con la humedad, el cual, no obstante, a pesar de las precauciones rigurosas que se tienen, sí se presenta en cierto grado este problema, en todos los sistemas de refrigeración. Además, es deseable de que el fluido sea de tal naturaleza que no contamine en forma alguna a los productos alimenticios o algunos otros productos almacenados, en caso de que se tuviera alguna fuga en el sistema.

2.2.4 Clasificación

Los refrigerantes se clasifican en grupos de acuerdo con su seguridad (ANSI/ASHRAE 34:2007), con dos caracteres alfanuméricos (por ejemplo, A2, B1) siguiendo los criterios siguientes:

2.2.4 Según su toxicidad

Debido a que todos los fluidos no son otra cosa que aire tóxico, en el sentido de que puedan causar sofocación cuando se tienen en concentraciones suficientemente altas que evitan tener el oxígeno necesario para sustentar la vida, la toxicidad es un término relativo el cual tiene significancia sólo cuando se especifica el grado de concentración y el tiempo de exposición requeridos para producir efectos nocivos.

La National Fire Underwriters ha efectuado pruebas de toxicidad con los refrigerantes más comúnmente empleados. Obteniendo como resultado de ello los diferentes refrigerantes están clasificados en 6 grupos de acuerdo con su grado de toxicidad.

Se clasifican en dos categorías, A o B, basadas en el grado de exposición permisible:

Clase A - Agrupa los refrigerantes que no tienen toxicidad en concentraciones menores o iguales que 400 ppm en volumen, según el índice CMA-PTP.

Clase B - Agrupa los refrigerantes para los cuales se han encontrado pruebas de toxicidad en concentraciones menores que 400 ppm en volumen, según el índice CMA-PTP.

2.2.5 Según su inflamabilidad

Sobre esta base los refrigerantes se pueden clasificar en tres categorías, 1, 2 o 3, según las pruebas de clasificación realizadas de acuerdo con ASTM E 681:2009.


Clase 1 - Comprende los refrigerantes que no propagan la llama cuando se les somete a pruebas en aire, a 100°C y 101,3 kPa.

Clase 2 - Comprende los refrigerantes que presentan un Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) mayor que 0,1 kg/m³ cuando se les somete a pruebas en aire, a 100°C y 101,3 kPa, y un calor de combustión menor que 19 000 kJ/kg.

Clase 3 - Comprende los refrigerantes muy inflamables según se define por su LII menor o igual que 0,1 kg/m³ cuando se les somete a pruebas en aire a 100°C y 101,3 kPa, y un calor de combustión mayor o igual que 19 000 kJ/kg

Tabla I- 1 Clasificación de los refrigerantes de acuerdo con su seguridad

	Grupo de seguridad	
	Toxicidad inferior	Toxicidad superior
Inflamabilidad superior	A3	B3
Inflamabilidad inferior	A2	B2
Ninguna propagación de llamas	A1	B1

Toxicidad inferior Toxicidad superior
Toxicidad creciente 

Fuente: Norma Chilena "NCh3241"

2.2.6 Según su impacto a la capa de ozono

- **Refrigerante SAO:** refrigerante que tiene un Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO) mayor a cero.

- **Refrigerante no SAO:** refrigerante que tiene un nulo Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono

2.2.7 Clasificación de los refrigerantes

La norma 34 de la American Society of Refrigerating Engineers, clasifica los refrigerantes en varios grupos. Los más importantes de estos grupos son los hidrocarburos halogenados, mezclas aceotropicas, hidrocarburos, compuestos inorgánicos, y sustancias orgánicas no saturadas.

➤ Hidrocarburos halogenados:

El grupo de los hidrocarburos halogenados, comprenden refrigerantes que contienen uno o más de los 3 halógenos: cloro, flúor y bromo. La designación numérica, el nombre químico, la fórmula química de los miembros de este grupo utilizados comercialmente se da en la tabla.

En el grupo de los hidrocarburos halogenados, aparecen los populares refrigerantes 12 y refrigerante 22. Estos refrigerantes se venden con los nombres comerciales de Freon, Genetron, Isotron y Arcton, que son nombres patentados por E. I. du Pont de Nemours and Company, General Chemical Division of Allied Chemical and Dye Corporation, Pennsylvania Salt Manufacturing Company, e Imperial Chemicals of England, respectivamente. Estos hidrocarburos fluorados, fueron desarrollados en 1928 por investigaciones estimuladas por Charles Kettering y el Dr. Thomas Migley de General Motors Corporation. La organización de fabricación se llamaba Kinetic Chemical Company, que es ahora la Freon Products Division de du Pont. A los 17 años, las patentes expiraron y los otros fabricantes comenzaron a producir hidrocarburos fluorados.

El sistema de numeración del grupo de los hidrocarburos halogenados sigue la siguiente regla: el primer dígito a partir de la derecha es el número de átomos de flúor en el compuesto, el segundo dígito es uno más que el número de átomos de hidrógeno del compuesto, y el tercero es uno menos que el número de átomos de carbono del compuesto. Cuando el último dígito es cero, se omite.

Tabla I- 2 *Refrigerantes hidrocarburos halogenados*

Designación numérica	Nombre químico	Formula química
11	Tricloromonofluorometano	CCl_3F
12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2
13	Monoclorotrifluorometano	CClF_3
22	monoclorodifluorometano	CHClF_2
30	Cloruro de metileno	CH_2Cl_2
40	Cloruro de metilo	CH_3Cl
113	Triclorotrifluoretano	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$
114	Diclorotetrafluoretano	$\text{ClF}_2\text{CCF}_2\text{Cl}$
114 ^a	Diclorotetrafluoretano	$\text{ClF}_2\text{CCF}_2\text{Cl}$
152 ^a	Difluoretano	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

➤ Mezcla aceotrópicas:

Una mezcla aceotrópicas de 2 sustancias, es una mezcla que no se puede separar en sus componentes por destilación. Una mezcla aceotrópica se evapora y condensa como una sustancia simple, con propiedades que son diferentes de las de sus constituyentes. La única mezcla aceotrópica comercial es el refrigerante 500, que es una mezcla de refrigerante 12 y refrigerante 152a en una proporción de 73,8 y 26,2% en peso respectivamente.

➤ Hidrocarburos:

Algunos hidrocarburos se utilizan como refrigerantes, especialmente para uso de las industrias del petróleo y petroquímica, estos refrigerantes se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla I- 3 *Hidrocarburos refrigerantes*

Designación numérica	Nombre químico	Formula química
50	Metano	CH_4
170	Etano	CH_3CH_3
290	Propano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

➤ Compuestos inorgánicos:

Muchos de los primitivos refrigerantes eran compuestos inorgánicos, algunos de los cuales siguen todavía utilizándose. Estos compuestos se relacionan en la siguiente tabla

Tabla I- 4 Refrigerantes inorgánicos

Designación numérica	Nombre químico	Formula química
717	Amoníaco	NH ₃
718	Agua	H ₂ O
729	Aire	O ₂
744	Anhídrido carbónico	CO ₂
764	Anhídrido sulfuroso	SO ₂

Fuente: Refrigeración y acondicionamiento de aire

➤ Sustancias orgánicas no saturadas:

Son 2 refrigerantes raramente utilizados son compuestos orgánicos no saturados: refrigerante 1150, etileno, y refrigerante 1270, propileno.

2.2.8 Comparación de los refrigerantes

Al momento de realizar una comparación existen varios factores, los cuales se deben tener en cuenta al momento de elegir un refrigerante. Estos factores pueden agruparse en propiedades termodinámicas, químicas y físicas:

➤ Termodinámicas:

Presiones a altas temperaturas de evaporación y de condensación, punto de congelación, volumen puesto en juego por ton de refrigeración, y potencia por ton de refrigeración y coeficiente de funcionamiento.

➤ Químicas:

Inflamabilidad, toxicidad, reacción con los materiales de construcción, y daños a los productos refrigerados.

➤ Físicas:

Tendencia a las fugas y detección, viscosidad y conductividad térmica, acción sobre el aceite, costo y preferencia personal.

Ebullición y presiones de condensación: Las presiones de trabajo, deben ser lo suficientemente bajas, para que el material que contiene al refrigerante sea de poco peso. Por otro lado, las presiones han de ser, con preferencia, superiores a la atmosférica, para evitar que el aire entre en el sistema en el caso de fugas. La siguiente tabla da las presiones de evaporador a -15°C y las presiones de condensación a 30°C para varios refrigerantes.

El anhídrido carbónico, trabaja a presiones extremadamente altas en el intervalo de temperaturas dado en la tabla, por lo que se necesitara un compresor, tuberías y recipientes de gruesas paredes. El refrigerante 11, el refrigerante 113 y el agua trabajan a presiones

más bajas que la atmosférica. Los sistemas que utilicen estos refrigerantes deben, por tanto, poseer equipos de purga del aire que entre en el sistema.

Tabla I- 5 *Presiones de ebullición y condensación*

Refrigerante	Presión del evaporador al - 15°C Kg/cm ²	Presión del condensador a 30°C Kg/cm ²
Amoníaco	2,41	11,90
Anhídrido carbónico	23,36	73,52
Refrigerante 11	0,20	1,29
Refrigerante 12	1,86	7,59
Refrigerante 22	3,02	12,27
Refrigerante 113	0,07	0,55
Agua	0,008 a 4,4°C	0,04

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

➤ Punto de congelación:

El refrigerante debe trabajar por encima de su temperatura de congelación, por lo que es deseable un punto de congelación bajo. La siguiente tabla da las temperaturas de congelación de varios refrigerantes.

Tabla I- 6 *Temperaturas de congelación de refrigerantes a la presión atmosférica*

Refrigerante	Temperatura de congelación °C
Amoníaco	77,7
Anhídrido carbónico	56,6
Refrigerante 11	111
Refrigerante 12	158
Refrigerante 22	160
Refrigerante 113	35
Agua	0

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

➤ Caudal en volumen por ton:

El caudal en volumen, de vapor de refrigerante que el compresor debe comprimir da una indicación aproximada del tamaño del compresor. Con un compresor alternativo, es normalmente deseable un pequeño valor del volumen comprimido por ton, lo que permite un desplazamiento pequeño. En compresores centrífugos, está permitido un caudal en volumen por ton grande, porque las secciones de paso pueden ser grandes para una dada capacidad. Grandes secciones de paso permiten un empuje menor del refrigerante sobre las superficies metálicas, lo que aumenta el rendimiento del compresor. La siguiente tabla da el caudal en metros cúbicos por minuto y por ton para diversos refrigerantes.

Los grandes valores de caudal por ton para los refrigerantes 11 y 113, explican por qué estos se usan principalmente en sistemas con compresores centrífugos.

Tabla I- 7 Caudal en volumen por ton medido a la entrada del compresor (temperatura de evaporización, -15°C y temperatura de condensación, 30°C)

Refrigerante	Metros cúbicos por minutos por ton
Amoníaco	0,098
Anhídrido carbónico	0,027
Refrigerante 11	1,031
Refrigerante 12	0,164
Refrigerante 22	0,102
Refrigerante 113	2,851
Agua, $4,4^{\circ}\text{C}$ y 30°C	13,4

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

Coefficiente de funcionamiento y potencia por ton: una característica que tiene gran importancia en la elección de refrigerante es el coeficiente de funcionamiento o la potencia por ton, la siguiente tabla da algunos valores calculados de estas características basadas en la compresión isoentrópica.

Tabla I- 8 Coeficiente de funcionamiento y potencia por ton para ciclos con -15°C de temperatura de evaporación y 30°C de temperatura de condensación

Refrigerante	Coefficiente de funcionamiento	Potencia por ton
Ciclo de Carnot	5,74	0,82
Refrigerante 11	5,09	0,93
Refrigerante 113	4,92	0,96
Amoníaco	4,76	0,99
Refrigerante 12	4,70	1,00
Refrigerante 22	4,66	1,01
Agua, $4,4^{\circ}\text{C}$ y 30°C	4,10	1,125
Anhídrido carbónico	2,56	1,84

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

El coeficiente de funcionamiento de los refrigerantes reales puede compararse con el valor máximo posible correspondiente al ciclo de Carnot, que es 5,74. Con excepción del agua y el anhídrido carbónico, la mayoría de los refrigerantes trabajan casi con el mismo coeficiente de funcionamiento. Las ligeras diferencias que se observan no deben influir en la elección del refrigerante.

➤ **Inflamabilidad:**

El peligro de inflamación o explosión influirá ciertamente en la elección del refrigerante. Los hidrocarburos tales como el propano, etano y butano son altamente inflamables y explosivos, por lo que se usan únicamente en aquellas aplicaciones industriales en las que se pueden disponer de métodos de seguridad para el empleo de gases explosivos. El amoníaco es explosivo cuando se mezcla con el aire en concentraciones de 16 a 25% de amoníaco en volumen. Los hidrocarburos halogenados (refrigerantes 11, 12, 22, etc.), se consideran no inflamables.

➤ **Toxicidad:**

Un refrigerante tóxico, es el que es perjudicial a los seres humanos cuando se mezcla con el aire en pequeños porcentajes. Todos los refrigerantes comunes, excepto el aire, pueden causar sofocación. Pero esto, generalmente, solo ocurre a altas concentraciones. Los Underwriters Laboratories han clasificado los refrigerantes de acuerdo con su toxicidad relativa. Como se muestra en la siguiente tabla, los números de clasificación más altos de los Underwriters laboratories indican una toxicidad reducida.

Tabla I- 9 *Propiedades tóxicas de los refrigerantes*

Refrigerante	Muerte o serios daños			
	Duración de la exposición, h	Concentración en el aire		
		Por ciento en volumen	Kg/1.000 m ³ a 20°C	Clase
Amoniaco	1/2	0,5 – 0,6	3,2 – 4,8	2
Refrigerante 113	1	4,8 – 5,2	373 - 402	4
Anhídrido carbónico	1/2 -1	29,0 – 30,0	530 - 550	5
Refrigerante 11	2	10	570	5
Refrigerante 22	2	18,0 – 22,6	642 - 808	5
Refrigerante 12	(ningún daño serio a los conejos de indias después de 2 h de exposición)	28,5 – 30,4	1.430 – 1.530	6

Fuente: *Refrigeración y acondicionamiento de aire*

Los hidrocarburos halogenados no son tóxicos cuando se mezclan con el aire. Sin embargo, su descomposición en presencia de una llama puede ser peligrosa. De la descomposición de estos refrigerantes, en presencia de una llama resulta fosgeno, que es un gas venenoso. El olor acre de los productos de la descomposición sirve de aviso.

Reacción con los materiales de construcción: corrientemente, la reacción de un refrigerante con un material de construcción no tiene influencia en la elección del refrigerante, pero la clase del material que debe emplearse para contener al refrigerante a usar viene generalmente dictada por éste. Ciertos metales pueden ser atacados por los refrigerantes. El amoníaco, por ejemplo, reacciona con el cobre en presencia del agua. Por tanto, el hierro y el acero son los metales comúnmente empleados en los sistemas de amoníaco. Los hidrocarburos halogenados pueden reaccionar con el cinc, pero no con el cobre, aluminio, hierro o acero. En presencia de una cantidad de agua, los hidrocarburos halogenados forman ácidos que atacan a la mayoría de los metales.

Los hidrocarburos halogenados atacan al caucho natural, por lo que debe usarse en las empaquetaduras y juntas de estanqueidad caucho sintético del tipo neopreno.

Daño a los productos refrigerados: cuando por una fuga en el sistema refrigerante es posible que llegue el refrigerante a estar en contacto con los productos refrigerados, hay que tener en cuenta los efectos de este contacto.

El amoníaco se disuelve en agua, y la mayoría de los productos alimenticios contienen agua. En pequeñas concentraciones, o con largos periodos de exposición, los alimentos toman mal sabor, e incluso pueden ser tóxicos. Los hidrocarburos halogenados no tienen efecto perjudicial sobre los alimentos, pieles o telas.

Los hidrocarburos halogenados son inodoros. Por tanto, la carga completa de refrigerante puede escaparse sin que se advierta. El primer aviso aparecerá cuando el sistema haya perdido la capacidad de refrigeración. El método corriente de detectar las fugas de estos refrigerantes es observar la llama de una lámpara de alcohol o de Presto-lite. Cuando no hay refrigerante presente, la llama es de color azul claro, pero en presencia de refrigerante es azul verdoso. También puede utilizarse un detector electrónico, que es mucho más sensible que el método de la lámpara. El detector electrónico de fugas se usa principalmente en las fábricas de montaje de sistemas de refrigeración, y no en los lugares de utilización.

➤ Viscosidad y conductividad térmica:

La viscosidad y la conductividad térmica tienen gran influencia en las características de transmisión del calor del refrigerante. Para una buena transmisión de calor, la viscosidad debe ser baja y la conductividad térmica alta.

➤ Acción sobre el aceite:

No es de esperar reacción química alguna entre el refrigerante y el aceite de lubricación del compresor, pero la miscibilidad del aceite y el refrigerante es importante. Un poco de aceite, saldrá del compresor con el vapor refrigerante caliente para lubricar convenientemente los pistones y las válvulas de escape. Este aceite, pasa a través del condensador y llega al evaporador. En el evaporador, el refrigerante se vaporiza y sale, dejando el aceite, con lo que se reduce la efectividad de la transmisión del calor en el evaporador.

Se utilizan varios procedimientos para evitar que el aceite llegue al evaporador, o para extraerlo si se acumula en éste. Un separador de aceite situado en la conducción de escape separa continuamente el aceite y lo devuelve al compresor. El refrigerante 12 y el aceite son miscibles, mientras que el refrigerante 22 es parcialmente miscible, y el amoníaco no es miscible con el aceite. El que exista aceite en el evaporador de un sistema de refrigerante 12 no es tan perjudicial a la transmisión del calor como en un sistema de amoníaco, en que el aceite se separa del amoníaco. El aceite debe purgarse en los evaporadores de amoníaco, mientras que en los sistemas de refrigerante 12, la velocidad en la tubería de admisión debe ser lo suficientemente alta para que el aceite regrese al compresor.

- Costo: el costo de la carga inicial de refrigerante y el costo de las pérdidas debidas a fugas merece considerarse. Sin embargo, el costo del refrigerante no influye tanto en su elección como a primera vista pudiera parecer. El costo de la carga inicial de refrigerante representa normalmente un pequeño tanto por ciento del costo total de la instalación. Generalmente, otros factores predominan en la elección del refrigerante. De los tres refrigerantes más comunes, el amoníaco es el más barato, el refrigerante 12 es el más caro que el amoníaco y el refrigerante 22 es el más caro de los tres.
- Preferencia personal: la preferencia es a veces el elemento de mayor influencia en la elección. Si la planta de refrigeración usa ya cierto refrigerante, al aumentar de tamaño se continuará usando el mismo. Si la persona que hace la elección del refrigerante tiene experiencia en el uso de un refrigerante determinado, elegirá, probablemente, ese mismo refrigerante en el nuevo sistema.

2.2.9 Aplicación de los distintos refrigerantes:

- Aire: el uso principal del aire como refrigerante es en la unidad de refrigeración de ciclo de aire para aviones. El coeficiente de funcionamiento de un ciclo de aire que trabaja entre las temperaturas de 30 y -15°C es 1,67; si se compara con el coeficiente de funcionamiento de los otros refrigerantes.
- Amoníaco: el amoníaco se usa principalmente en las grandes industrias y en las instalaciones de baja temperatura. La mayoría de las plantas que usan amoníaco han adiestrado a sus operarios para el servicio. La toxicidad del amoníaco impide su uso en los lugares ocupados con grandes grupos de gente. Aunque su utilización en refrigeraciones a baja temperatura, tales como congelación de alimentos y plantas lecheras tiene la competencia de los refrigerantes 22 y 12, cada año entran en funcionamiento muchos nuevos sistemas de amoníaco.
- Anhídrido carbónico: antes de que apareciesen los hidrocarburos halogenados, el anhídrido carbónico era un refrigerante no tóxico muy popular. Al exigir altas potencias y altas presiones de condensación, está limitado ahora su uso a los ciclos de baja temperatura en sistemas en cascada, en los que el anhídrido carbónico se condensa cediendo su calor al evaporador de una unidad de temperatura más alta que utiliza un refrigerante distinto.
- Refrigerante 11: debido al alto valor del caudal en volumen por ton, el refrigerante 11 es apropiado para trabajar en compresores centrífugos. Los refrigerantes 11 y 113 son los más usados en sistemas de compresor centrífugo. Por debajo de 23,9°C, el refrigerante 11 está en presión inferior a la atmosférica, por lo que se necesitan dispositivos de purga para separar el aire que se introduzca en el sistema.
- Refrigerante 12: es el refrigerante más ampliamente usado. Se usa principalmente con compresores alternativos en aparatos de refrigeración domésticos, en acondicionamientos de aire en comercios e industrias, y en multitud de otros tipos de sistemas de refrigeración. Las propiedades del refrigerante 12 que lo hacen tan útil son las convenientes presiones de funcionamiento, la pequeña potencia necesaria por ton, y el que no sea tóxico ni corrosivo.
- Refrigerante 22: el refrigerante 22, igual que el 12, no es tóxico, y necesita una pequeña potencia por ton. Este refrigerante compite con el 12 en unidades pequeñas de acondicionamiento de aire. Compite con el amoníaco en sistemas industriales de baja temperatura en aquellos casos en que la toxicidad del amoníaco ha de tenerse en cuenta.
- Comparación de los refrigerantes 12 y 22: estos refrigerantes compiten entre sí en muchas aplicaciones.

Las ventajas del refrigerante 12 sobre el 22 son un menor costo, más bajas presiones de condensación, menor tendencia al escape, y menores temperaturas a la salida del compresor. Por otro lado, una ventaja del refrigerante 22 es que el caudal en volumen por ton es pequeño. Por tanto, para conseguir una capacidad de refrigeración dada, un sistema con refrigerante 22 usa un compresor menor. Sin embargo, el tamaño del motor será el mismo en los dos casos, porque las potencias consumidas por ton son casi idénticas para los dos refrigerantes. Otra ventaja del refrigerante 22 es que puede absorber mucha más agua que el 12 antes de que se produzca la congelación en la válvula de expansión.

2.3 Levantamiento a los sistemas de refrigeración

2.3.1 Estudio de las características de los sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración se basan en principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante y para facilitar la liberación del calor irrecuperable al medio ambiente. Los sistemas de refrigeración industrial pueden clasificarse en función de su diseño y de su principio básico de funcionamiento: agua o aire, o una combinación de ambos.

El intercambio calorífico entre el medio de proceso y el refrigerante se intensifica a través de intercambiadores, donde el refrigerante descarga su calor al ambiente. En los sistemas abiertos, el refrigerante está en contacto con el ambiente, cosa que no ocurre en los sistemas cerrados, donde el refrigerante o el medio de proceso circulan por tubos o serpentines.

Los sistemas sin recirculación suelen utilizarse en instalaciones de gran capacidad que disponen de un suministro suficiente de agua para la refrigeración y que están situadas junto a una masa de aguas superficiales que sirve como medio receptor de los vertidos. Cuando no se dispone de un suministro de agua fiable, se utilizan sistemas con recirculación (torres de refrigeración).

En las torres de recirculación abiertas, el agua refrigerante se enfría por contacto con una corriente de aire. Estas torres están equipadas con dispositivos que aumentan la superficie de contacto de aire y agua. La corriente de aire puede crearse por tiro natural o por tiro mecánico, utilizando ventiladores.

Las instalaciones de pequeña o gran capacidad utilizan mucho las torres de tiro mecánico, mientras que las instalaciones de gran capacidad (como las industrias eléctricas) utilizan principalmente las torres de tiro natural. En los sistemas de circuito cerrado, los tubos o serpentines por los que circula el refrigerante o el medio de proceso tienen su propio sistema de refrigeración con el que enfrían la sustancia que contienen.

En los sistemas de proceso húmedo, la corriente de aire enfría por evaporación los tubos o serpentines rociados con agua. Los sistemas de proceso seco sólo utilizan la corriente de aire. En ambos casos, los serpentines pueden ir provistos de aletas, que amplían la

superficie de refrigeración y, por lo tanto, el efecto refrigerante. Los sistemas húmedos de circuito cerrado se utilizan mucho en la industria para las instalaciones de menor capacidad. El principio de refrigeración con aire seco puede encontrarse en pequeñas instalaciones industriales o también en grandes centrales eléctricas, cuando no se dispone de agua suficiente o ésta es muy cara.

Los sistemas de refrigeración híbrida, abierta o cerrados son torres mecánicas de diseño especial que pueden utilizar la vía seca o la húmeda para reducir la formación de penachos visibles. Con la opción de que los sistemas funcionen por la vía seca durante períodos de baja temperatura del aire ambiente, puede reducirse además el consumo anual de agua.

Tabla I- 10 Ejemplo de las características técnicas y termodinámicas de los diferentes sistemas de refrigeración que se utilizan en las instalaciones industriales (distintas de las centrales eléctricas)

Sistemas de refrigeración	Medio refrigerante	Principio básico de refrigeración	Aproximación mínima (K^4)	Temperatura final mínima alcanzable en el medio de proceso ⁵ ($^{\circ}C$)	Capacidad del proceso industrial (MW_h)
Sistema abierto sin recirculación directa	Agua	Conducción/ convección	3 – 5	18 – 20	<0.01 - >2.000
Sistema abierto sin recirculación indirecto	Agua	Conducción/ convección	6 – 10	21 – 25	<0.01 - >1.000
Sistema abierto con recirculación directa	Agua ¹ Aire ²	Evaporación ³	6 – 10	27 – 31	<0.1 - >2.000
Sistema abierto sin recirculación indirecto	Agua ¹ Aire ²	Evaporación ³	9 – 15	30 – 36	<0.1 - >200
Sistema húmedo de circuito cerrado	Agua ¹ Aire ²	Evaporación + convección	7 – 14 ⁷	28 – 35	0.2 – 10
Sistema de aire seco de circuito cerrado	Aire	Convección	10 – 15	40 – 45	<0.1 - 100
Sistema abierto híbrido	Agua ¹ Aire ²	Evaporación + convección	7 – 14	28 – 35	0.15 – 2.5 ⁶
Sistema abierto cerrado	Agua ¹ Aire ²	Evaporación + convección	7 – 14	28 – 35	0.15 – 2.5 ⁶

Fuente: *Sistemas de refrigeración industrial*

Notas:

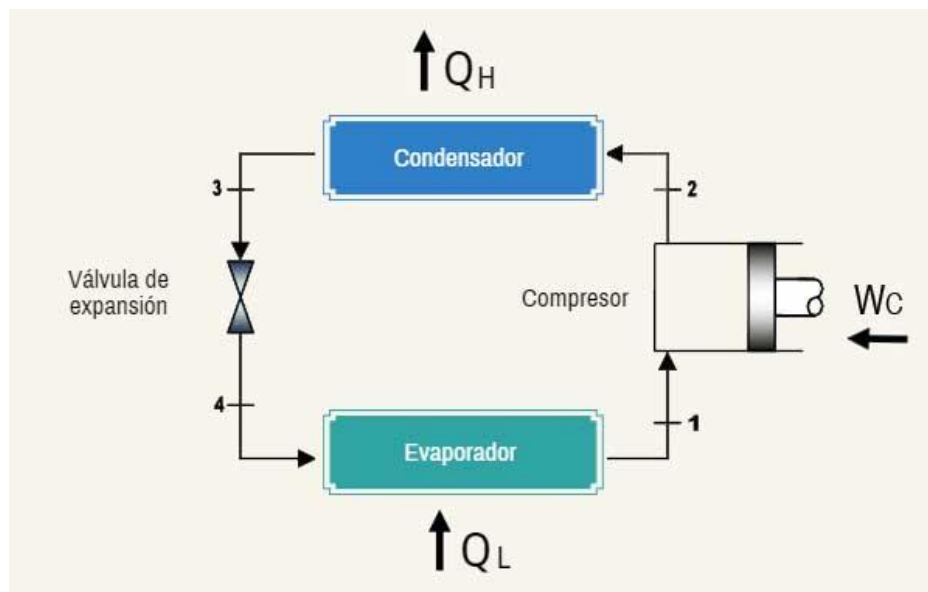
1. El agua es el medio refrigerante secundario y se recircula en su mayor parte. El agua evaporada transmite el calor al aire.
2. El aire es el medio refrigerante que descarga el calor al ambiente.
3. El principio básico de refrigeración es la evaporación. El calor también se transmite por conducción/convección, pero en menor proporción.
4. Aproximación relacionada con las temperaturas de bulbo húmedo o seco.
Hay que añadir las aproximaciones correspondientes al intercambiador de calor y a la torre de refrigeración.
5. Las temperaturas finales dependen de la meteorología local (datos válidos para las condiciones climáticas que son normales en Europa central: 21°/30°C de temperatura de bulbo húmedo/seco y 15°C de temperatura máxima del agua)
6. Capacidad de las unidades pequeñas: con varias unidades o con sistemas de construcción especial, pueden alcanzarse mayores capacidades.
7. Si se utiliza un sistema indirecto o se aplica también la convección, la aproximación aumenta en este ejemplo de 3 a 5 K, con lo que aumenta la temperatura de proceso.

2.3.2 Tipos de refrigeración

2.3.2.1 Sistema de refrigeración por compresión

El sistema convencional de refrigeración y el más utilizado en el aire acondicionado, es el sistema de refrigeración por compresión. Mediante energía mecánica se comprime un gas refrigerante. Al condensar, este gas emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior. Para mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de la electricidad, este proceso de refrigeración es muy costoso. Por otro lado, tomando en cuenta la eficiencia de las plantas termoeléctricas, solamente una tercera parte de la energía primaria es utilizada en el proceso. Además, los refrigerantes empleados hoy en día pertenecen al grupo de los fluoroclorocarbonos, que por un lado dañan la capa de ozono y por otro lado contribuyen al efecto invernadero.

Ilustración I- 1 Sistema de refrigeración por compresión



Fuente: *Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción*

Un ciclo simple frigorífico comprende cuatro procesos fundamentales:

➤ La regulación

El ciclo de regulación ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través del regulador.

La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será en este lugar donde se enfría.

Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.

➤ La evaporación

En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporiza completamente en el evaporador, y se recalienta al final del evaporador.

Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante.

Aunque el vapor absorbe el calor del aire alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración, estos detalles no se tienen en cuenta cuando uno explica el funcionamiento de un ciclo de refrigeración normal.

➤ La compresión

Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta considerablemente gracias a la compresión, entonces al vapor a alta temperatura y a alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

➤ La condensación

El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado.

El líquido enfriado llega al regulador y está listo para un nuevo ciclo.

2.3.2.2 Sistema de refrigeración por absorción

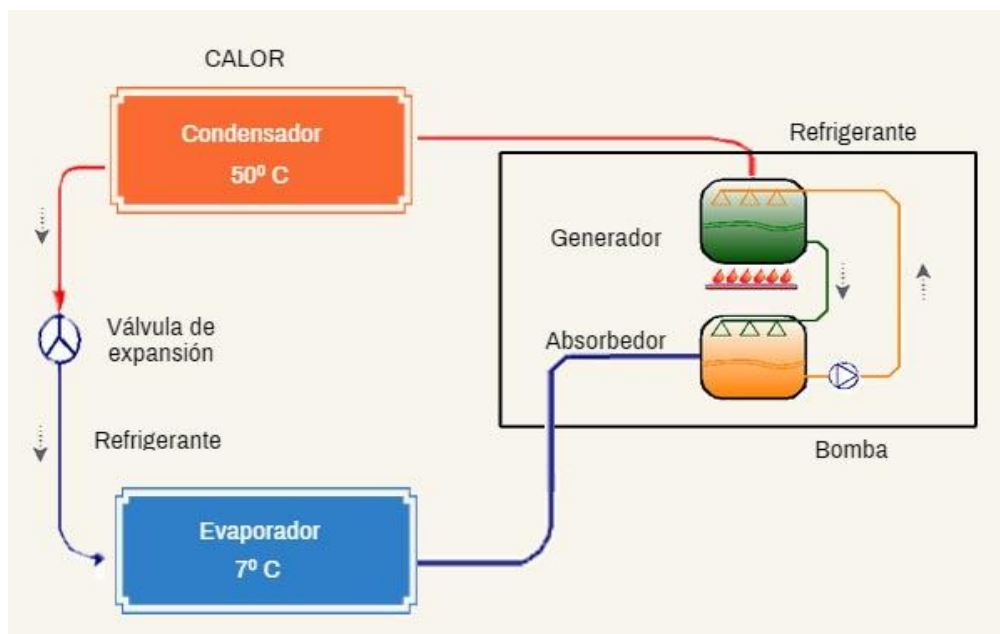
Un método alternativo de refrigeración es por absorción. Sin embargo, este método por absorción solo se suele utilizar cuando hay una fuente de calor residual o barata, por lo que la producción de frío es mucho más económica y ecológica, aunque su rendimiento es bastante menor. En estos sistemas la energía suministrada es, en primer lugar, energía térmica. El refrigerante no es comprimido mecánicamente, sino absorbido por un líquido solvente en un proceso exotérmico y transferido a un nivel de presión superior mediante una simple bomba. La energía necesaria para aumentar la presión de un líquido mediante una bomba es despreciable en comparación con la energía necesaria para comprimir un gas en un compresor.

A una presión superior, el refrigerante es evaporado o sorbido del líquido solvente en un proceso endotérmico, o sea mediante calor. A partir de este punto, el proceso de refrigeración es igual al de un sistema de refrigeración por compresión. Por esto, al sistema de absorción y desorción se le denomina también "compresor térmico".

En este sistema de refrigeración por absorción, al igual que en el de compresión se aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. En el caso de los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad de absorber calor que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el bromuro de litio, al disolver, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente.

Más en detalle, el refrigerante se evapora en un intercambiador de calor, llamado evaporador, el cual enfría un fluido secundario, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de las componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continua.

Ilustración I- 2 Sistema de refrigeración por absorción



Fuente: *Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción*

En los sistemas de refrigeración por absorción se diferencia entre dos circuitos, el circuito del refrigerante entre compresor térmico, condensador y evaporador, y el circuito del solvente entre el absorbedor y el separador. Una ventaja notable de los sistemas de absorción es que el refrigerante no es un fluoroclorocarbonos. La mezcla de refrigerante y solvente en aplicaciones de aire acondicionado y para temperaturas mayores a 0°C es agua y bromuro de litio (LiBr). En aplicaciones para temperaturas hasta -60°C es amoníaco (NH₃) y agua. Hasta hoy no se han encontrado otras mezclas apropiadas para estas aplicaciones, aunque se están desarrollando sistemas de adsorción, en los que el refrigerante es absorbido en matrices sólidas de zeolitos.

2.4 Sistema frigorífico

Los denominados sistemas frigoríficos o sistemas de refrigeración corresponden a arreglos mecánicos que utilizan las propiedades termodinámicas de la materia para trasladar energía térmica en forma de calor entre dos o más focos, conforme se requiera. Están diseñados primordialmente para disminuir la temperatura del producto almacenado en cámaras frigoríficas o cámaras de refrigeración, las cuales pueden contener una variedad de alimentos o compuestos químicos, conforme especificaciones.

➤ El Condensador

Recibe el gas refrigerante a presión y disminuye su temperatura para convertirlo en líquido.

Dependiendo el proyecto, su finalidad y las condiciones de la industria, existen diferentes tipos de condensadores en la refrigeración industrial, los más usados son:

- Condensador Evaporativo.

- Condensador Remoto.

- Unidades Condensadoras (Condensador + Motor de ventilación + Compresor).

➤ Sistema de expansión

Se encarga de convertir el refrigerante líquido en pequeñas partículas líquidas a baja presión (similar a como funciona un atomizador). Esas pequeñas partículas absorben el calor del ambiente y se evaporan. El sistema de expansión está formado principalmente por válvulas, es el equipo que controla el flujo de refrigerante líquido que entra al evaporador de expansión directa, manteniendo constante el recalentamiento del vapor de refrigerante en la salida del evaporador.

Básicamente su misión, en los equipos de expansión directa (o seca), se restringe a dos funciones: la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este.

2.4.1 Existen diferentes tipos de válvulas:

- Válvulas de expansión termostáticas

Las válvulas de expansión termostáticas controlan el flujo de refrigerante líquido que entra al evaporador de expansión directa, manteniendo constante el recalentamiento del vapor de refrigerante en la salida del evaporador.

Ilustración I- 3 Válvulas de expansión termostáticas



Fuente: *Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial*

- Válvulas solenoides

La finalidad principal de una válvula solenoide operada eléctricamente, es de controlar automáticamente el flujo de fluidos, líquido o gas.

- Válvulas de bola

Estas válvulas de bola controlan la dirección del flujo y permiten el cierre, con configuraciones de puerto que admiten una amplia gama de requisitos del sistema.

Ilustración I- 4 Válvulas solenoides



Fuente: *Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial*

- Válvulas de presión del cárter

Las válvulas reguladoras de presión del cárter están diseñadas para evitar la sobrecarga del motor del compresor, limitando la presión del cárter a un valor máximo previamente determinado, durante y después del ciclo de desescarche o de un período de apagado normal.

➤ Válvulas reguladoras de presión del evaporador

La línea de válvulas reguladoras de presión de evaporador controla la temperatura del evaporador indirectamente controlando la presión del evaporador.

Ilustración I- 5 Válvulas reguladoras de presión del evaporador



Fuente: *Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial*

➤ Válvulas reguladoras de presión del condensador

Las válvulas reguladoras de presión del condensador son utilizadas para el control de la presión de sistemas con condensadores enfriados por aire.

2.4.2 El sistema de evaporación absorbe el calor al evaporar el líquido refrigerante.

Receptor (Depósito): Su función consiste en proporcionar el almacenamiento para el líquido procedente del condensador para que haya un suministro constante de líquido para el evaporador, según las necesidades de este.

Línea de Líquido: Su función consiste en llevar el refrigerante líquido desde el receptor hacia el control de flujo de refrigerante.

Control de Flujo de Refrigerante: Sus funciones consisten en medir la cantidad adecuada de refrigerante que va hacia el evaporador y en reducir la presión del líquido que entra en el evaporador, para que así el líquido se evapore a la temperatura baja deseada.

Línea de Aspiración: Su función consiste en llevar el vapor de presión baja desde el evaporador hacia la entrada de aspiración del compresor

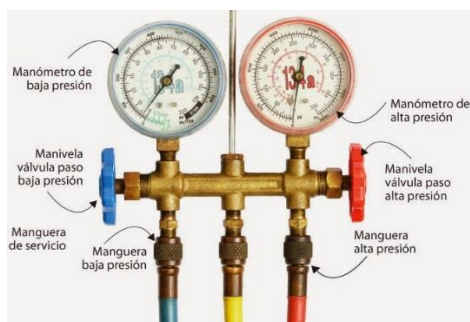
Línea de Descarga: Su función es entregar el vapor a presión alta y temperatura alta desde el compresor hasta el condensador.

Lado de Alta y Baja presión: Un sistema de refrigeración se divide en dos partes según la presión que el refrigerante ejerce en estas dos partes.

Lado de Baja: La parte de baja presión del sistema se compone del control de flujo de refrigerante, el evaporador y la línea de aspiración. La presión que ejerce el refrigerante en estas partes es la presión baja necesaria para que el refrigerante se evapore en el evaporador. Esta presión se conoce como “presión baja”, “presión del lado baja”, “presión de aspiración” o “presión de evaporación”.

Lado de Alta: Se compone del compresor, la línea de descarga, el condensador, el receptor y la línea de líquido. La presión que ejerce el refrigerante en esta parte del sistema es la presión alta necesaria para la condensación del refrigerante en el condensador. Esta presión se llama “presión alta”, “presión de descarga” o “presión de condensación”.

Ilustración I- 6 *El sistema de evaporación absorbe el calor al evaporar el líquido refrigerante.*



Fuente: *Elementos Principales Del Sistema De Refrigeración*

Existen también elementos secundarios que ayudan a su funcionamiento como:

Filtro deshidratador.

Separador de aceite.

Indicador de humedad y líquido.

Presostato de baja presión.

Presostato de alta presión.

Acumulador de líquido.

Válvula de solenoide.

2.4.3 Calificación de los instaladores y mantenedores de sistemas y equipos de refrigeración y climatización

A - Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de refrigeración doméstico y comercial hasta 50 kW (43 000 kcal/h - aprox. 14,2 TR).

B - Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de refrigeración industrial mayores que 50 kW (43 000 kcal/h - aprox. 14,2 TR).

C - Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de climatización doméstico y comercial hasta 100 kW (86 000 kcal/h - aprox. 28,4 TR). D - Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de climatización industrial mayores que 100 kW (86 000 kcal/h - aprox. 28,4 TR).

2.4.4 Conocimiento de una instalación

Cuando el mantenedor de sistemas o equipos de refrigeración deba revisar o intervenir una instalación desconocida, debe estudiar previamente la distribución de cañerías, sus componentes, equipos y controles, de manera de interiorizarse cabalmente del sistema y el criterio con la que fue proyectada.

Para la revisión del estado de funcionamiento de una instalación se deben usar instrumentos de medición debidamente calibrados, de rango apropiado para el sistema a revisar. Entre otros se pueden mencionar manómetros, termómetros. Voltímetros, amperímetros y balanzas.

La instalación debe contar con planos, catálogos de componentes, instrucciones de operación y mantenimiento del sistema.

En toda inspección de una instalación se debe usar los elementos de protección personal pertinentes, las herramientas correctas para la aplicación y los procedimientos de seguridad correspondientes, para así evitar daños a más personas y a las instalaciones.

2.4.5 Mantenimiento detección de fugas.

Las fugas en un sistema de refrigeración pueden ser hacia dentro o hacia fuera dependiendo de si la presión del sistema en el punto de la fuga sea mayor o menor que la presión atmosférica. Cuando la presión del sistema es mayor que la atmosférica, el refrigerante se fugará del sistema al exterior. Por otra parte, cuando la presión sea menor que la atmosférica, no se fugara el refrigerante hacia el exterior, sino que el aire y humedad serán arrastrados hacia adentro del sistema. En cualquiera de los casos, el sistema quedará fuera de operación por un periodo corto de tiempo. Sin embargo, como regla general, las fugas hacia afuera son menos seria que la que se van hacia adentro, generalmente solo se requiere que la fuga sea localizada y reparada y que el sistema hacia recargado con la cantidad adecuada de refrigerante. En el caso de fugas hacia dentro, el aire y la humedad serán arrastrados hacia dentro del sistema, aumentarán la presión y temperatura en la descarga y aceleran la rapidez de la corrosión. La presencia de humedad en el sistema puede también causar congelamiento en la válvula de control del refrigerante. Además, después que la fuga ha sido localizada y reparada, el sistema deberá ser completamente evacuado y deshidratado antes que se ponga en operación. Se debe instalar un secador en el sistema.

La necesidad de que un sistema se mantenga libre de fugas exige un método adecuado de revisión de fugas en los sistemas nuevos y de revisión de las fugas que ocurre en los sistemas que están en funcionamiento. Debe hacerse una revisión de fugas en los sistemas nuevo tanto para los sistemas de vacío como para los de presión.

Un método de detección de fugas universalmente usado con todos los refrigerantes emplea una solución de jabón relativamente viscosa, la cual está relativamente libres de burbujas.

La solución de jabón se aplica primero en la Junta del tubo o en alguna área sospechosa, después es examinada con la ayuda de una luz fuerte. La formación de burbujas en la solución de jabón indica la presencia de una fuga. Para que resulte adecuada la prueba con la solución de jabón, la presión del sistema deberá ser de 50 lb/plg² o mayor.

El hecho de que el azufre y los vapores de amoníaco produzcan humo denso blanco (sulfito de amoníaco) cuando están en contacto, constituye un medio adecuado para detectar fugas en sistemas de amoníaco. Para verificar las fugas en un sistema de amoníaco, se acerca una vela de azufre, sin hacer contacto con las juntas de los tubos o con las áreas sospechosas. Se detecta fuga cuando la vela produce un humo blanco. También puede usarse papel de fenolftaleína humedecido, el cual cuando está con vapor de amoníaco cambia su color a rojo.

Se emplea a veces una antorcha haluro para detectar las fugas en los sistemas que se usan refrigerantes halocarburos. La antorcha consiste en un elemento de cobre el cual es calentado por una flama. La presencia de un vapor halo carburo es detectada cuando la flama a cambio de su color normal a un verde brillante o morado. La antorcha debe manejarse solo en espacios bien ventilados.

Para el dióxido de carbono y la serie de hidrocarburos, el único método para detectar fugas es la solución de jabón previamente mencionada.

Para toda operación de mantenimiento se debe contar con los instrumentos, herramientas y equipos necesarios para realizar una reparación correcta y segura, los cuales deben estar en buen estado de mantenimiento y operación.

2.4.5 Mantenimiento a Sistema de refrigeración

2.4.6 Mantenimiento correctivo

➤ Fallas típicas

Realizar el mantenimiento correctivo de los componentes mecánicos de los sistemas de refrigeración de acuerdo con las especificaciones técnicas dadas por el fabricante en los instructivos de operación para proceder a la búsqueda sistemática de averías en cualquier área, se necesita tener alguna idea de cuáles deben ser las condiciones de trabajo. En refrigeración comercial se ha de tratar con la temperatura interior en la cámara o mueble y la temperatura exterior existente en el condensador. Es preciso saber también el amperaje consumido por los motores, el compresor y los ventiladores. Y a este rompecabezas debe añadirse la presión en el interior del sistema. Son muchas las condiciones de trabajo que se reflejan sobre el sistema, tanto desde el exterior como en el interior de este. No debe olvidarse que cuando un componente del equipo ha estado funcionando correctamente durante un período de tiempo sin problemas notables, puede ocurrir que un solo problema acarree una secuencia de dificultades grandes a ser solventadas.

➤ Compresor

El compresor se considera el corazón de un sistema de refrigeración. Es una bomba, al igual que el corazón en el sistema circulatorio del cuerpo humano. Sin embargo, el compresor solo bombea vapor. El compresor en realidad hace subir (aumenta) la presión en el sistema desde el nivel de la presión de aspiración hasta el nivel de la presión de descarga. La tasa de compresión es la expresión de la presión absoluta del lado del alta dividida por la presión absoluta del lado de baja. La tasa de compresión se expresa en presiones absolutas.

Existen cinco grandes grupos o tipos de compresores utilizados en la industria de refrigeración y acondicionamiento de aire. Son los compresores de tipo recíproco, de tornillo, rotativos, de espira y centrífugos. El de acción recíproca es el tipo de compresor que se emplea más frecuentemente en los sistemas de refrigeración comercial, por ejemplo; es de pequeña capacidad. El de tipo tornillo se aplica en sistemas comerciales e industriales de gran capacidad. El compresor de tipo rotativo y el de espira junto con el de acción recíproca, se utilizan en aplicaciones a sistemas de aire acondicionado de orden comercial ligero y residencial. Los compresores centrífugos se utilizan de manera extensa en las instalaciones de aire acondicionado en grandes edificios. El funcionamiento de un compresor ineficaz puede ser una de las funciones más difíciles de encontrar. Cuando un compresor no funciona, es evidente que existe un problema. Cuando un compresor comprime ligeramente por debajo de su capacidad, es un problema difícil de determinar. Para ayudar sobre este punto hemos de recordar que un compresor es una bomba de

vapor. Debe ser capaz de crear una presión desde el lado de baja presión del sistema al lado de alta presión de este, bajo las condiciones en que ha sido diseñado y funcionar bajo la potencia requerida.

➤ Condensador

El condensador es un intercambiador de temperatura similar al evaporador que expulsa del sistema el calor absorbido por el evaporador. Este calor se encuentra en forma de gas caliente que se enfría hasta el punto en que se condensa. Cuando el calor era absorbido por el sistema, en este punto en que el refrigerante efectuaba el cambio del líquido a vapor, era donde se absorbía la mayor cantidad de calor. La misma función, a la inversa, se hace realidad en el condensador. El punto donde se efectúa el cambio de estado (de vapor a líquido) es donde se expulsa la mayor cantidad de calor y aparte el condensador trabaja a temperaturas y presiones más altas que el evaporador y se localiza normalmente en el exterior. Se aplican las mismas leyes, respecto al intercambio de temperatura, en el condensador que en el evaporador. Los materiales bajo los cuales está construido el condensador y el medio de condensación empleado para la transferencia del calor, constituyen la diferencia en eficacia de este intercambiador. Los condensadores pueden ser enfriados por aire, enfriados por agua o enfriados por evaporación. Los refrigeradores domésticos generalmente tienen un condensador enfriado por aire, el cual depende del flujo de gravedad del aire que circula a través de él. Otras unidades selladas por ahí usan ventiladores para sacar o extraer grandes volúmenes de aire a través de los serpentines del condensador. Los condensadores enfriados por aire son construidos en forma similar a otros tipos de intercambiadores de calor, con serpentines de cobre o aluminio equipados con aletas. El evaporador es generalmente tiene filtros antes, para reducir obstrucciones por polvo u otras materias, pero los condensadores no están equipados así y deben ser limpiados frecuentemente para evitar la reducción de su capacidad.

➤ Evaporador

El evaporador de refrigeración es el componente que absorbe calor del sistema. Este calor debe ser expulsado del sistema a través del condensador. El evaporador puede considerarse como la esponja del sistema. Responde al intercambio de calor entre el espacio acondicionado, o el producto a refrigerar, y el refrigerante en el interior del sistema. Algunos evaporadores absorben calor con mayor eficacia que otros. Las condiciones que regulan el intercambio de calor son las siguientes:

El material empleado en la construcción del evaporador al que debe transferirse el calor. Los evaporadores pueden ser de cobre, acero, latón, acero inoxidable, o aluminio. La corrosión es el factor que determina el material a emplear. El medio al que se transfiere el calor. Un ejemplo es el paso del calor del aire al refrigerante. El mejor

intercambio de calor se efectúa entre dos líquidos, tal como el paso del agua al refrigerante líquido. Sin embargo, ello no es siempre posible ya que más frecuentemente el intercambio debe realizarse entre el aire y el refrigerante en estado de vapor. El factor película. Es la relación entre el medio que expulsa o absorbe calor y la superficie del intercambiador de calor. El factor película se refiere a la velocidad de paso del medio sobre la superficie del intercambiador de calor. Existen numerosos tipos de evaporadores, de los que cada uno tiene su finalidad.

Los primeros evaporadores para el enfriamiento del aire fueron los serpentines de tubo con convección natural de aire. Este tipo de evaporador que se empleó primeramente en las cámaras frigoríficas, con el consiguiente acceso a su interior, iba montado en lo alto junto al techo. Se basaba en el principio de que el aire enfriado baja hacia el suelo de la cámara y establece una corriente natural de aire. El empleo de un ventilador para forzar o inducir el aire a través del evaporador aumenta la eficacia del intercambio de calor. La expansión de la superficie del evaporador a una superficie mayor que la del tubo en sí ofrece un intercambio de calor más eficiente. Los evaporadores estampados son el resultado de la búsqueda de superficies superiores a las del tubo intrínseco. Se trata de dos placas estampadas con un tubo impreso a través de estas. El serpentín de tubo con aletas anexas, conocido como evaporador de aletas, se emplea hoy día mucho más que ningún otro tipo de intercambiador entre el aire y el refrigerante. Este tipo de intercambiador es muy eficiente, ya que las aletas se encuentran en perfecto contacto con el tubo que conduce el refrigerante.

El evaporador-para el enfriamiento de líquido o fabricación de hielo funciona bajo las mismas normas que el destinado a enfriamiento de aire, aunque es el diseño diferente. Un evaporador ineficaz no absorbe el calor del sistema y tiene por ello una presión de aspiración reducida. La tubería de aspiración puede presentar humedad o escarcharse en su camino al compresor. Esta situación puede estar motivada por la existencia de la suciedad en el evaporador, por girar a poca velocidad el ventilador, por no alimentar debidamente la válvula expansión al evaporador, por existir aire recirculado, por la formación de hielo o por la interferencia del género que bloquea a las corrientes de aire. Todos estos puntos pueden comprobarse efectuando un buen examen del evaporador. Esta comprobación puede llevarse a cabo asegurándose que el evaporador posee la carga correcta de refrigerante y el recalentamiento debido. La superficie de intercambio en el evaporador debe estar bien limpia. Los ventiladores deben impulsar el suficiente aire, no recirculando el mismo desde la descarga a la entrada en el evaporador. La temperatura de ebullición del refrigerante no debería ser más fría de 11.1°C (20°F) que la entrada de aire en un evaporador con circulación de aire. Un serpentín enfriador de agua no debería tener una diferencia superior a 5.5°C (10°F) entre la temperatura de ebullición

del refrigerante y el agua que sale enfriada. Cuando la relación entre el refrigerante en la ebullición con el medio que se enfría empieza a aumentar, disminuye el intercambio de calor. La válvula de expansión termostática (VET) controla el refrigerante que pasa al evaporador por medio de un elemento térmico sensible (bulbo) que regula el recalentamiento.

➤ Componentes auxiliares

El ciclo frigorífico por compresión, además de poseer los cuatro componentes básicos: el compresor, el condensador, el evaporador y el dispositivo de expansión, cuenta con muchos otros elementos y componentes que contribuyan a mejorar el rendimiento y fiabilidad de un sistema frigorífico. Algunos de estos elementos protegen los componentes y otros mejoran la fiabilidad en condiciones diversas. Algunos de esos elementos, y las principales fallas que pueden presentar, se describen a continuación.

➤ Separador de aceite.

La función del separador de aceite es minimizar la cantidad de aceite que entra al sistema, separándolo del refrigerante con el que se mezcla. De esta manera, el aceite es recuperado y enviado de nuevo al compresor. Sin embargo, existen factores relacionados con este dispositivo que pueden provocar fallos en la correcta distribución de aceite, y son: Cuando el nivel de aceite en el cárter del compresor es demasiado bajo, puede deberse a un mal retorno del flujo de aceite provocado por una obstrucción total o parcial del separador de aceite. En este caso es necesario limpiar o cambiar la línea de retorno de aceite, o en su caso, todo el separador de aceite. Puede darse el caso también de que haya demasiada absorción de líquido refrigerante en el aceite del separador durante la parada. Esto se debe a que el separador de aceite se encuentra demasiado frío durante la parada. Para solucionarlo es preciso montar un elemento calefactor controlado por termostato o una válvula solenoide con retardo en la línea de retorno de aceite. También hay que considerar la colocación una válvula de retorno en la línea de descarga después del separador de aceite.

En ocasiones, el aceite puede presentar ebullición durante el funcionamiento del compresor. Esto es provocado por un cierre deficiente de la válvula de flotador que suele acompañar a los separadores de aceite. La solución entraña el cambio de la válvula propiamente dicha, o de todo el separador de aceite.

En caso de fuga del separador de aceite lo más recomendable es su sustitución.

Recibidor de líquido: Un recibidor, receptor o recipiente de líquido desempeña las siguientes funciones: Almacena el refrigerante no usado que regresa del condensador. Almacena el refrigerante que va a ser evaporado por la válvula de expansión. Almacena el exceso de refrigerante en el sistema. Proporciona un lugar para almacenar refrigerante cuando se vacía el evaporador durante las operaciones de mantenimiento. El receptor debe

tener una línea de retorno del condensador, una válvula de alivio y una línea igualadora a la parte superior del condensador. Esta línea de ventilación iguala la presión en el condensador y en el receptor, de modo que el refrigerante condensado fluya del condensador al receptor. La línea de líquido se extiende dentro del receptor unas cuantas pulgadas arriba del fondo, de manera que no recoja mugre ni el aceite que se asienta. Una mirilla de vidrio muestra el nivel de líquido en todo momento. Un dren de aceite en el fondo del receptor sirve para sacar el aceite que es arrastrado por el refrigerante. Las fallas posibles de un receptor de líquido se deben a fuga de refrigerante por daño estructural, o a las consecuencias de una excesiva presión o temperatura. Generalmente se toman medidas de seguridad en prevención de estas situaciones: los receptores o recipientes de líquido cuentan con válvulas de alivio de presión, usualmente cargadas con resorte, que se abrirán si se genera demasiada presión dentro del recipiente. Una válvula de alivio del tipo tapón-fusible, puede también encontrarse; es diseñada para fundirse a una temperatura preseleccionada y así liberar el refrigerante si, por cualquier razón se alcanza esa temperatura dentro del recipiente.

➤ Acumulador de succión.

Entre las características adecuadas que un acumulador de succión debe presentar para su correcta selección e instalación se encuentran las siguientes: Debe tener una adecuada capacidad de almacenamiento de refrigerante líquido con relación a la carga de refrigerante del sistema. Dicha carga puede variar con cada tipo de sistema de refrigeración. La capacidad de almacenamiento del acumulador de succión no debe ser menor que el 50% de la carga del sistema. Cuidar que no ocasione caídas de presión mayores a una diferencia de temperatura equivalente a $1/2^{\circ}\text{C}$. Debe tener la capacidad de retornar líquido y aceite en un rango apropiado bajo un cierto rango de condiciones de carga térmica. No necesariamente el acumulador de succión se selecciona por el diámetro de sus conexiones; esto podría ser perjudicial bajo ciertas condiciones. Hay que seleccionarlo por su capacidad.

Para aplicaciones cuyas temperaturas del líquido en el acumulador de succión sean inferiores a -18°C , deberá proporcionarse calentamiento, para un seguro retorno de aceite al compresor. Es preciso utilizar los acumuladores de succión solamente dentro de las condiciones recomendadas. Importante es el ubicar el acumulador de succión tan cerca del compresor como sea posible. En sistemas de ciclo reversible, el acumulador de succión debe ser instalado entre la válvula reversible y el compresor. Debe observarse la entrada (del evaporador) y la salida (al compresor) apropiados. El acumulador de succión debe ser instalado verticalmente. Asegurarse de conectarlo en relación con sus conexiones de entrada y salida. No al revés. Fijar lo mecánicamente por medio de su tornillo fijo de anclaje. Una de las causas que provoca fallas en un

acumulador de succión está relacionada con una instalación defectuosa. Además de ello, sus prestaciones deben verse de acuerdo con el tipo de sistema al cual ha de acoplarse. Si el acumulador de succión no rinde de acuerdo con lo esperado es muy probable que se necesite instalar un acumulador más apropiado. Es importante considerar también el desgaste mecánico, obstrucciones y desgaste químico que pueda sufrir el acumulador de succión, los cuales pueden llegar al grado de requerir una sustitución del dispositivo mismo.

➤ Presostato.

Una de las fallas que puede presentar el sistema de refrigeración, y que se encuentra relacionada con una avería en el presostato es una presión de aspiración demasiado baja, aun teniendo un funcionamiento constante. Esto se debe a que el presostato de baja presión está mal ajustado, o se encuentra en condiciones defectuosas. En este caso, lo que se debe ser es ajustarlo, o cambiar el presostato por uno en buenas condiciones. Sin embargo, también puede darse el caso de que este problema se deba a una carga baja en la instalación. Esto puede solucionarse regulando la capacidad de carga del sistema, o aumentando el diferencial del presostato de baja presión. Uno de los síntomas de fallo el sistema de refrigeración es la excesiva temperatura en la cámara frigorífica. Esto es originado, entre otras causas, por fallo en el control del presostato: se encuentra ajustado a una presión de corte demasiado alta. En este caso, es necesario ajustar el presostato a su valor correcto de presión de corte, y para ello es necesario usar un manómetro. El compresor puede llegar a fallar en ocasiones, manifestándose en desconexión por el presostato de alta presión. Esto se debe a falla en el presostato, y puede solucionarse cambiándolo por un presostato en estado. El funcionamiento irregular que puede llegar a presentar el compresor puede deberse también a que el presostato de alta presión está ajustado a una presión de corte demasiado baja. Para remediar esta situación, debe ajustarse el presostato a su valor correcto usando un manómetro. También es muy recomendable, para evitar este tipo de problemas, hacer uso de un presostato de alta presión con rearme manual.

➤ Termostato.

Se ha dicho que una de las causas por las que en ocasiones suele presentarse una excesiva temperatura en la cámara frigorífica es una falla en el ajuste del presostato. Sin embargo, en ocasiones, este problema puede deberse a falla en el termostato de ambiente en la cámara. Si este termostato falla, no hay retroalimentación de la temperatura predominante en la cámara. En este caso, es necesario revisar el termostato: si se encuentra en condiciones de desajuste es preciso corregir ese defecto. Si presenta falla inherente a su funcionamiento, será necesario reemplazarlo. Puede darse el caso contrario: que la temperatura en la cámara frigorífica sea demasiado baja. Nuevamente, el

termostato de la cámara es el responsable; su falla ha provocado este problema. Esto sucedido debido a que su temperatura de corte está ajustada a un valor demasiado bajo, lo que provoca que el sistema de refrigeración enfríe la cámara más allá de su temperatura mínima. Es necesario ajustar el termostato, o en su defecto, cambiarlo, y de visitar el correcto funcionamiento del termostato una vez que se ha llevado a cabo esta reparación. Cuando esta temperatura es extremadamente baja, y el ajuste del termostato no muestra un funcionamiento mejor, es necesario establecer un calentamiento eléctrico controlado por termostato, lo que compensará en cierta forma el descenso de temperatura, equilibrando el estado térmico de la cámara aun valor adecuado.

➤ Válvula de alivio.

Dado que la válvula de alivio es un dispositivo de seguridad presente en el receptor de líquido, es necesario que la misma se encuentre en buenas condiciones para liberar la presión que puede llegar a acumularse en el mismo. Por lo tanto, esta válvula debe estar libre de obstrucciones, y debe poder liberarse en cuanto la presión dentro del receptor sobrepase la presión máxima de seguridad. La falla más común que puede presentar esta válvula es no abrirse para liberar a la presión debido a defectos en su instalación, fabricación o que el tipo de válvula usado no sea el indicado. En este caso, lo recomendable es sustituir la válvula por una en buen estado.

➤ Válvula solenoide.

La válvula solenoide es el componente es utilizada más a menudo para controlar el flujo de refrigerante. En esta válvula posee una bobina magnética que, cuando tiene corriente, levanta el émbolo de su interior. Estas válvulas pueden ser del tipo con normalidad abierto o normalmente cerrado. La primera no abre hasta que recibe corriente, y la de ti un normalmente abierto se halla siempre así, y no cierra hasta que llega a corriente a la misma. Este tipo de válvula puede emplearse para controlar corrientes del líquido o de vapor. La válvula solenoide es la responsable el cierre o apertura del flujo de fluido. La válvula se encuentra instalada en la debida dirección cuando el fluido ayuda a cerrar la válvula. Si la presión de alta si encuentra bajo el asiento de la válvula, ésta tendrá tendencia a levantarse de su asiento. Este tipo de válvula lleva siempre grabada una flecha para indicar la dirección del flujo de refrigerante. Aparte de colocar la válvula solenoide en la dirección correcta, debe considerarse la posición en que se instala la misma. La mayoría de estas válvulas tiene un pesado émbolo que se alza para abrir la válvula. Cuando no está magnetizado el émbolo, el peso de este cierra la válvula su asiento. Si la válvula se instala con la parte superior el lado o hacia abajo, la válvula permanecerá en la posición magnetizada, realmente no lo está. La válvula solenoide debe fijarse en la línea de refrigerante, a fin de que no se produzcan fugas de refrigerante. Puede fijarse por medio de racores de conexión, de pletinas o bien con

racores soldados. Mucha de estas válvulas requiere alguna atención de servicio de vez en cuando. Las válvulas que se encuentran soldadas pueden atenderse fácilmente si pueden desmontarse.

➤ Válvula de retención.

Dado que la válvula de retención protege al motor el compresor contra la sobrecarga causada por cargas aumentan repentinamente, su falla incide de manera negativa en el desempeño de este. Si esta válvula presenta defectos, como falta de hermeticidad, permitirá el paso en una mayor cantidad de flujo del gas refrigerante el compresor, lo que puede dañarlo. Otros defectos en la misma puede ser el desgaste de sus partes o que la válvula se encuentre "agarrotada", es decir, que presente problemas a la hora de abrir o cerrar. Esto causará una falla importante en el flujo de refrigerante hacia el compresor. Cuando se presentan estas averías en la válvula de retención, es preciso sustituirla y ajustarla de forma apropiada.

➤ Válvula de servicio

Existen dos tipos de válvula de servicio: la válvula de servicio de aspiración va incorporada generalmente en el compresor y es, por consiguiente, común en todos los equipos empleados en refrigeración. La válvula de servicio de aspiración nunca puede estar totalmente cerrada debido al diseño de su asiento. Cuando se menciona una válvula de servicio, se utilizan los términos de cierre hacia atrás, en medio y adelante. La válvula de servicio de descarga es igual a la de aspiración, salvo que se halla localizada en la línea de descarga. Esta válvula puede emplearse para la: Conexión de los manómetros, Regulación del paso de vapor refrigerante al compresor, Separar el compresor el evaporador, cuando ha de atenderse a la reparación de aquel. Las principales fallas relacionadas con las válvulas deservicio son las siguientes: Cuando las válvulas de aspiración no asientan de forma correcta, el compresor no podrá entrar en vacío al momento de cerrar las válvulas de servicio. En este caso, es recomendable revisar y ajustar de manera correcta tales válvulas; si las válvulas necesitan reemplazo habrá que sustituirlas.

➤ Válvula de paso manual.

Las válvulas llamadas de paso son normalmente válvulas especiales accionadas a mano y empleadas para cuestiones de servicio. Estas válvulas pueden encontrarse en cualquier línea que debe interrumpirse por alguna razón. Son de dos tipos: la de diafragma y la de bola. La válvula de paso de diafragma posee el mismo sistema de flujo de refrigerante que cualquier otra válvula. El fluido tiene que traspasar un asiento determinado. Existe una caída de presión, que puede medirse, a través de este tipo de válvula. La válvula puede accionarse, apretando fuertemente a mano, para hacer regresar la presión de alta. La válvula de paso tipo bola es una válvula de paso recta con poca caída de presión. Los

defectos mecánicos que estas válvulas presentan son: desgaste, atascamiento, rotura de componentes, desunión del circuito por soldadura deficiente, y defectos de fabricación que pueden llevar a fallas en el flujo de refrigerante a través del circuito. El ajuste, una correcta instalación o la sustitución son las soluciones para este tipo de averías.

2.4.7 Mantenimiento preventivo

➤ Detector de fugas

Los detectores de fugas no sirven para identificar el tipo de gas que se encuentra en un sistema o recipiente, estos únicamente permiten descubrir o identificar las fugas de gas en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Existen diferentes tipos de equipos y procedimientos para descubrir o detectar las fugas en un sistema:

Método del agua –jabón: es un procedimiento económico y eficaz a la hora de detectar fugas y es el método más empleado por los técnicos en Colombia. Consiste simplemente en preparar una mezcla de agua y jabón y aplicarla en los componentes o uniones de los sistemas donde se presume pueden estar las fugas; en el lugar donde se encuentre la fuga se forman burbujas que se pueden detectar a simple vista.

Detectores por contraste de luz UV: existen en el mercado productos para la detección de fugas de gases refrigerantes que utilizan aditamentos con tintes UV o fluorescentes. Estos aditamentos se incorporan en el sistema para que circulen junto con el gas refrigerante, y a través de una lámpara de luz ultravioleta o a simple vista, se inspecciona la tubería y componentes del equipo detectando las fugas gracias al brillo fluorescente que emite el aditamento. En la actualidad algunos fabricantes ofrecen refrigerantes que ya tienen incluido el aditamento para permitir a simple vista o con la ayuda de lámparas la identificación de las fugas.

Detectores de llama: este procedimiento funciona utilizando un dispositivo que desprende una llama constante de color azul (producida por la quema de gas propano o butano). El dispositivo se pasa a lo largo de la tubería del sistema de refrigeración y cuando se encuentra una fuga de gas, la llama se torna de color verde indicando la ubicación del punto de fuga.

Detectores electrónicos: en el mercado se encuentra gran diversidad de modelos y fabricantes de estos equipos, con capacidad para detectar cualquier tipo de gas refrigerante CFC, HCFC, HFC y mezclas como el 404A. Por lo general, cuentan con una sonda flexible que permite su manipulación en ubicaciones difíciles y un sensor electrónico para la detección. Según el modelo y el fabricante, pueden variar desde equipos muy sencillos hasta detectores de diez escalas de sensibilidad y diferentes alarmas visuales y auditivas para identificar las fugas más pequeñas.

➤ Aceite

Hay una gran variedad de aceites, pero para refrigeración se deben usar los que sean altamente miscibles con el refrigerante. Por tanto, deben ser de origen mineral, específicamente los que tienen bases nafticas.

Factores que causan degradación de los aceites: Cuando existen contaminantes en el sistema de refrigeración tales como aire y humedad, en una cantidad apreciable, se desarrollan todo tipo de reacciones químicas, entonces el aceite lubricante puede entrar en descomposición, perdiendo sus propiedades lubricantes y formando ácidos corrosivos y sedimentos en las superficies de cobre y/o corrosión ligera en superficies metálicas. Las temperaturas altas en la descarga del compresor, por lo general aceleran estos procesos. Los siguientes son los principales factores que degradan los aceites utilizados en refrigeración:

➤ Calor excesivo:

Todos los aceites para refrigeración pueden ser descompuestos por el calor, cuando esto sucede, queda un residuo de carbón. Un buen aceite para refrigeración no debe carbonizarse al entrar en contacto con superficies calientes en el sistema, durante su funcionamiento normal. Así mismo, dentro de un sistema de refrigeración, las reacciones entre el aceite y el refrigerante a altas temperaturas pueden causar problemas tales como: formación de lodos, ácidos, gomas, lacas, barnices y chorizado. Estos depósitos afectan las válvulas de descarga, aceleran el desgaste, tapan los conductos del aceite y en los compresores herméticos, interfieren con la operación del motor.

➤ Humedad:

El agua es uno de los contaminantes que más incide en la reducción de la vida de los lubricantes, y, por lo tanto, de los elementos lubricados. La presencia de agua en el aceite es crítica en cualquiera de sus formas: libre, diluida o emulsionada, ya que afecta el espesor de la película lubricante, disminuyéndola. Esto causa que las superficies de los elementos mecánicos que se encuentran en movimiento relativo pierdan la protección y refrigeración que ofrecen los lubricantes. Además de dificultar y/o impedir la lubricación, acelera el proceso de degradación del aceite, mediante la oxidación de este. Un aceite debe ser tan seco, como sea posible, es decir, la cantidad de humedad que contiene un aceite, expresada en partes por millón (ppm), no debe afectar al sistema de refrigeración. Cuando un aceite para refrigeración sale de la fábrica, normalmente, tiene como máximo 30 ppm de agua. Esta cantidad puede incrementarse durante el envasado, traslado y almacenamiento, por lo que se deben tomar todo tipo de precauciones para no dejar el aceite expuesto al medio ambiente ya que los aceites son higroscópicos, esto significa, que tienen la habilidad de absorber la humedad del aire. Un almacenamiento deficiente permitirá que el agua penetre por las tapas de los envases de aceite, o incluso por condensación dentro del propio envase, cuando este está medio vacío y sufre variaciones de temperatura.

➤ Oxidación acelerada:

La estabilidad a la oxidación es la capacidad de un aceite para refrigeración a permanecer estable en presencia de oxígeno. La combinación de aire, humedad y aceite, con las altas temperaturas del compresor, producirá ácidos y lodos. Si el aceite tiene un número alto de oxidación acelerada, es casi seguro que formará lentamente estos contaminantes y perderá progresivamente sus propiedades lubricantes. La oxidación es un fenómeno que reduce la vida el aceite porque provoca aumento de la viscosidad, pudiendo llegar a ser doble incluso triple que le del aceite nuevo; oscurecimiento del aceite, pasando del tono translucido original a ser totalmente opaco; formación de depósitos carbonosos, aunque esto ocurre en fases avanzadas de la oxidación; aumento de la acidez del aceite, debido a los productos ácidos que se forman. Dada la naturaleza química de los productos de la oxidación, la mayor parte de estos no pueden ser eliminados mediante el filtrado simple del aceite. Sólo con métodos avanzados pueden eliminarse estas sustancias: los ácidos y otras sustancias polares insolubles (como el barniz) pueden eliminarse mediante separadores electrostáticos, resinas de intercambio de iones y alúmina activada; los absorbentes de alta densidad, tales como la celulosa comprimida, son efectivos para eliminar lodos y otras sustancias insolubles. Al ser algunas de estas sustancias catalizadores, su eliminación contribuye a prologar la vida del aceite.

➤ Compresor Cada seis meses:

Apretar todas las conexiones eléctricas, Comprobar el desgarrado del aislamiento en los cables y alambres de la instalación eléctrica y las terminales corroídas. Reemplazar los alambres dañados, Hacer una cierta revisión del apriete en todas las conexiones, Comprobar todos los componentes eléctricos, Los contactores eléctricos deben inspeccionarse de cerca para el desgaste y picado en los puntos de contacto. Los puntos deben limpiarse y pulirse. Examinar cualquier decoloración en los conductores, lo cual puede indicar una pérdida del material del alambre o una condición de sobre corriente peligrosa. Cualquier material extraño que se encuentre en el contactor debe removerse. Inspeccionar el motor del reloj de deshielo, Limpiar los puntos de contacto y lubricarlos engranes del reloj. Asegurarse de que el mecanismo completo del reloj gire libremente, Comprobar todos los relevadores en sus contactos y reemplazar el relevador si es necesario, Examinar las conexiones eléctricas dentro de la caja de conexiones eléctricas del compresor.

Verificar la operación del sistema de control. Examinar en todos los controles de presión que su funcionamiento y ajuste sean los adecuados. Deben seguirse las recomendaciones del fabricante. Comprobar los controles de seguridad. Asegurarse que los controles de seguridad del aceite y de alta presión estén funcionando. Asegurarse de la operación del termostato de temperatura del cuarto. Asegurarse que la válvula solenoide de líquido cierre completamente, que cuando se ocurra el ciclo de bombeo el compresor pare enseguida. Revisar el nivel de aceite del compresor. El nivel de aceite debe estar entre $1/3$ y $2/3$ de la mirilla de cristal. Comprobar la operación del calentador del cárter.

Comprobar la operación de los controles del deshielo Bajo la mayoría de las condiciones, el reloj debe iniciar el deshielo. Asegurarse de que las resistencias de deshielo limpien completamente la escarcha del serpentín del evaporador. El control de temperatura de la terminación del deshielo debe detener el ciclo de deshielo y mantener los ventiladores del evaporador parados aproximadamente dos minutos antes de volver a operar.

Examinar las condiciones del aislamiento de la línea de refrigerante. El aislante húmedo, abierto o deteriorado proporciona pobres beneficios al sistema. Si el aislamiento está en condiciones deplorables, reemplazarlo de inmediato.

Revisar que el nivel de refrigerante en el sistema sea el apropiado. La mirilla de cristal en la línea de líquido debe estar visible y llena de líquido refrigerante durante una operación normal. Si no, encontrar y reparar la fuga para cargar suficiente refrigerante al sistema para mantener visible la mirilla de cristal. □ Examinar el sobrecalentamiento del sistema en la unidad condensadora.

El sobrecalentamiento de succión debe verificarse en el compresor, como se indica a continuación: A. Medir la presión de succión en la válvula de servicio del compresor y determinar la temperatura de saturación correspondiente a esta presión en la tabla “Presión-Temperatura”. B. Medir la temperatura de succión sobre la línea de succión aproximadamente a un pie (ft) (30.5 cm) antes del compresor usando un termómetro de precisión. Restar la temperatura saturada de la temperatura actual de la línea de succión. La diferencia es el sobrecalentamiento.

El sobrecalentamiento en la succión demasiado bajo puede dar como resultado el retorno de líquido al compresor. Esto puede causar disolución del aceite y, eventualmente, fallas en los cojinetes, anillos o, tal vez, fallas en la válvula.

Un sobrecalentamiento muy elevado en la succión dará como resultado temperaturas de descarga excesivas, las cuales pueden provocar que el aceite se degrade y provoque un desgaste en los anillos del pistón, daños al pistón y a las paredes del cilindro.

Para la máxima capacidad del sistema, el sobrecalentamiento de succión debe mantenerse tan bajo como práctico sea. Frigos Vohn recomienda que el sobrecalentamiento en el compresor no sea menor de 30 °F (6.6 °C). Si el sobrecalentamiento en la línea de succión requiere de ajustes, la válvula de expansión en el evaporador debe ajustarse. Sígase las recomendaciones del fabricante.

Verificar todos los capilares y las líneas con mangueras especiales. Asegurarse de que todos los capilares y las líneas con mangueras especiales sean seguros, y que no tengan roce contra objetos pues pueden provocarse fugas de refrigerante.

Reemplazar todos los tapones perdidos de las válvulas y las cubiertas de la unidad.

➤ Condensador

Cada seis meses o antes si las condiciones locales provocan la obstrucción o ensuciamiento de los pasos de aire a través de la superficie aletada—efectuar lo siguiente: El serpentín del condensador debe limpiarse y lavarse. Limpiarlo periódicamente con un cepillo, aspiradora, agua presurizada o una solución jabonosa limpiadora de serpentines comercial. Si se usa una solución jabonosa limpiadora, ésta no debe ser de base ácida. Seguir las instrucciones en la etiqueta del limpiador adecuado.

Verificar la operación de los ventiladores del condensador.

Comprobar que cada ventilador gire libremente, Apretar todos los tornillos que sujetan el ventilador, Examinar las aspas del ventilador para cualquier señal de fatiga u otras características de desgaste. Si cualquier desgaste anormal es observado, cambiarlas aspas, Lubricar los motores si es pertinente. (La mayoría de los motores de los condensadores está permanentemente sellada y no requiere de lubricación). Reemplazar cualquier motor que esté dañado.

➤ Evaporador

Revisar los evaporadores mensualmente para mantener un deshielo apropiado. La acumulación de hielo sobre el serpentín del evaporador puede causar ineficiencias en la operación del sistema y perjudicar la superficie del serpentín por sí sola. Cada seis meses: Apretar todas las conexiones eléctricas del panel, Examinar el desgarramiento del aislamiento en los cables y alambres de la instalación eléctrica y hacer una cierta revisión de apriete a todas las conexiones, Comprobar los motores de los ventiladores y las aspas. ¿Giran libremente las aspas? Verificar las aspas ante cualquier trayectoria de giro inusual o fracturas por fatiga. Mantener los motores con la lubricación apropiada; aplicar el lubricante correcto. Reemplazar cualquier motor que presente problemas de giro o que tenga los baleros dañados.

Verificar todas las resistencias de deshielo, Asegurarse de que las resistencias estén en posición correcta para máxima transferencia de calor en el serpentín del evaporador. Sígase las recomendaciones del fabricante, Comprobar cada resistencia para un correcto amperaje, Verificar el voltaje en cada terminal de la resistencia, Asegurarse de que las terminales de la resistencia estén en buenas condiciones.

Limpiar la charola de drenado y verificar que tenga un drenado apropiado.

Todas las materias extrañas deben removerse de la charola de drenado. El drenado de la charola debe estar libre de cualquier obstáculo, la línea de drenado debe estar libre de obstáculos y tener una inclinación visible alejándose del evaporador, Comprobar la línea de la resistencia del tubo dren en aplicaciones de baja temperatura o de congelación.

➤ Limpieza de la superficie del serpentín del evaporador.

El serpentín debe lavarse periódicamente para remover el polvo y otros materiales extraños, los cuales pueden llegar a quedar atrapados entre las aletas. Puede usarse un limpiador de espuma de cierto grado. Sígase las instrucciones para una limpieza apropiada y nunca usar un limpiador de base ácida para limpiar los serpentines de refrigerante.

2.4.8 Mantenimiento predictivo

➤ Ultrasonidos

Los ultrasonidos son ondas a frecuencia más alta que el umbral superior de audibilidad humana, en torno a los 20 kHz. Es el método más común para detectar grietas y otras discontinuidades (fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación del material) en materiales gruesos, donde la inspección por rayos X se muestra insuficiente al ser absorbidos, en parte, por el material.

El ultrasonido se genera y detecta mediante fenómenos de piezoelectricidad y magnetostricción. Son ondas elásticas de la misma naturaleza que el sonido con frecuencias que alcanzan los 10⁹ Hz. Su propagación en los materiales sigue casi las leyes

de la óptica geométrica. Midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión de la señal y la recepción de su eco se puede determinar la distancia del defecto, ya que la velocidad de propagación del ultrasonido en el material es conocida. Tiene la ventaja adicional de que además de indicar la existencia de grietas en el material, permite estimar su tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución del defecto. También se está utilizando esta técnica para identificar fugas localizadas en procesos tales como sistemas de vapor, aire o gas por detección de los componentes ultrasónicos presentes en el flujo altamente turbulentos que se generan en fugas (válvulas de corte, válvulas de seguridad, purgadores de vapor, etc.).

➤ Análisis de lubricantes

El aceite lubricante juega un papel determinante en el buen funcionamiento de cualquier máquina. Al disminuir o desaparecer la lubricación se produce una disminución de la película de lubricante interpuesto entre los elementos mecánicos dotados de movimiento relativo entre sí, lo que provoca un desgaste, aumento de las fuerzas de rozamiento, aumento de temperatura, provocando dilataciones e incluso fusión de materiales y bloqueos de piezas móviles. Por tanto, el propio nivel de lubricante puede ser un parámetro de control funcional. Pero incluso manteniendo un nivel correcto el aceite en servicio está sujeto a una degradación de sus propiedades lubricantes y a contaminación, tanto externa (polvo, agua, etc.) como interna (partículas de desgaste, formación de lodos, gomas y lacas). El control de estado mediante análisis fisicoquímicos de muestras de aceite en servicio y el análisis de partículas de desgaste contenidas en el aceite (cerografía) pueden alertar de fallos incipientes en los órganos lubricados.

➤ Análisis de vibraciones:

Todas las máquinas en uso presentan un cierto nivel de vibraciones como consecuencia de holguras, pequeños desequilibrios, rozamientos, etc. El nivel vibratorio se incrementa si, además, existe algún defecto como desalineación, desequilibrio mecánico, holguras inadecuadas, cojinetes defectuosos. Por tal motivo el nivel vibratorio puede ser usado como parámetro de control funcional para el mantenimiento predictivo de máquinas, estableciendo un nivel de alerta y otro inadmisibles a partir del cual la fatiga generada por los esfuerzos alternantes provoca el fallo inminente de los órganos afectados. Se usa la medida del nivel vibratorio como indicador de la severidad del fallo y el análisis espectral para el diagnóstico del tipo de fallo.

➤ Termografía

La termografía es una técnica que utiliza la fotografía de rayos infrarrojos para detectar zonas calientes en dispositivos electromecánicos. Mediante la termografía se crean imágenes térmicas cartográficas que pueden ayudar a localizar fuentes de calor anómalas. Así se usa para el control de líneas eléctricas (detección de puntos calientes por efecto Joule), de cuadros eléctricos, motores, máquinas y equipos de proceso en los que se detectan zonas calientes anómalas bien por defectos del propio material o por defecto de aislamiento o calorifugación. Para ello es preciso hacer un seguimiento que nos permita comparar periódicamente la imagen térmica actual con la normal de referencia.

2.5 Identificación de modo de fallas compresor y condensador

Tabla II- 1 *Análisis de modos de fallas y efecto FMEA*

Funciones	Falla funcional	Modo de falla	
Comprimir gas refrigerante, para cambio de estado	Incapaz de comprimir gas refrigerante	Motor eléctrico quemado	
		Bobina quemada de válvula solenoide	
		Válvula de admisión pegada en posición cerrada	
		Fugas en tubos de control	
		Fuga en válvula de descarga	
		Correa cortada	
		Pistones rotos	
		Golpe de liquido	
		Filtro obstruido	
		Arranque inundado	
Gas comprimido fuera de tolerancia de presión y temperatura	Gas comprimido fuera de tolerancia de presión y temperatura	Fuga en red de suministro	
		Regreso de liquido	
		Asiento de válvula fisurado o picado	
		Anillo de pistón o cilindro gastados	
		Electroventiladores quemados	
Realizar el intercambio térmico para cambio de estado de vapor a liquido	No disponible para intercambio de calor	Rotura de serpentín	
		Válvula bloqueada	
		Fuga en serpentín	
	Intercambiador de calor con problemas	Intercambiador de calor con problemas	Condensador sucio
			Gas no condensable
			Rotura de rodamiento

Fuente: *Elaboración en base entregada por la Empresa Ingemetal.*

2.5.1 Identificación de modos de fallas Válvula de expansión y Evaporador

Tabla II- 2 Identificación de modos de fallas a válvula de expansión

Acumular líquido refrigerante, filtrarlo, controlar su paso y cambiar estado a vapor saturado	Incapacitado para cambiar estado	Filtro deshidratado bloqueado
		Obstrucción en válvula de expansión
		Línea de líquido deformada o aplastada
	Acumulación defectuosa de liquido	Rotura en capilar de bulbo sensor
		Fuga en empaque de válvula
		Válvula de alivio rota
	Control de paso ineficiente	Fuga en acumulador
		Bulbo sensor de válvula de expansión desgastado
		Vástago interno de válvula de expansión picado
		Membrana interna de válvula de expansión rota
Filtrado imperfecto	Filtro secante semi-tapado	
Realizar el intercambio térmico para el cambio de estado de vapor saturado a vapor sobrecalentado	Imposibilitado para producir cambio de fase	Electroventiladores quemados
		Fusibles fundidos
		Rotura serpentín
	Cambio de fase incompleto	Rotura de calefactores de deshielo
		Mala regulación de la válvula de expansión
		Evaporador sucio o congelado
		Rotura de rodamiento
	Rotura de calefactores de deshielo	

Fuente: *Elaboración en base entregada por la Empresa Ingemetal.*

2.6 Informe de inspección de equipos asociados al tablero de distribución eléctrica

Tabla II- 3 Inspección de equipos asociados a tablero de distribución Eléctrica

Inspección anual

<ul style="list-style-type: none">• Paneles de distribución <p>-Limpieza. -Revisa cableado. -Inspección de aislamiento del panel.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Interruptores desconectores <p>-Revise superficies de contactos -Revise el estado del aislamiento -Lubricar según instrucciones del fabricante.</p>
<ul style="list-style-type: none">• Barra y conexiones expuestas <p>-Limpiar y revisar porcelanas. -Inspeccionar aisladores por grietas y astillas. -Revisar y apretar las conexiones.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Fusibles y portafusibles <p>-Revise superficie de contactos. -Lubricar según instrucciones del fabricante.</p>
<ul style="list-style-type: none">• Inspeccionar mufas por filtraciones <p>-Revisar por peligros ambientales. -Probar aislamiento (megaohmios).</p>	<ul style="list-style-type: none">• Medidores e instrumentos <p>-Revise funcionamiento. -Pruebe medidores según estándar de ingeniería. -Pruebe relés según instrucciones de fabricante.</p>
<ul style="list-style-type: none">• Envoltentes con revestimiento metálico <p>-Limpiar. -Revisar aberturas por si permiten la entrada de suciedad, humedad y roedores.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Enclavamientos y seguridad <p>-Revise que funcionen correctamente. -Revise apartarrayos. -Revise detectores de fuga a tierra. -Revise las puestas a tierra de los equipos.</p>
<ul style="list-style-type: none">• Revisar materiales por oxido o corrosión <p>-Estado de la pintura.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Barra con envoltente metálico y conexiones <p>-Limpiar aisladores y soportes. -Revisar y apretar conexiones. -Revisar por rastro de corona.</p>

Fuente: *Elaboración en base entregada por la Empresa Ingemetal.*

2.9 Inspección de moto generador según norma NFPA 70B

- Cambio de aceite y filtro
- Retirar aceite no utilizado
- Cambio de elementos de combustión
- Servicio del respiradero del cárter
- Inspeccionar el elemento de filtrado del aire, limpiar si es necesario. Si se requiere el reemplazo, el elemento(s) se facturará por separado, el precio del elemento(s) no se incluye en el precio del contrato
- Revisar el nivel de líquido refrigerante y mantenerlo en el grado seguro de protección. Solo radiadores montados en el motor
- Radiadores remotos torres de enfriamientos e intercambiadores de calor son atendidos a petición del usuario en base al tiempo y materiales disponibles
- Revisar los colectores soportes, elementos de montajes y conexiones flexibles
- Inspeccionar las correas del ventilador, ajustar si es necesario
- Revisar la cubeta de la polea y rodamiento, lubrique si es necesario
- Revisar el funcionamiento de la bomba de agua o el motor del ventilador
- Revisar el funcionamiento de rejillas automáticas
- Reparar las fugas menores de combustibles refrigerantes y aceites lubricantes
- Revisar el funcionamiento de calentadores de agua de la camisa
- Inspeccionar el generador, realizar cualquier mantenimiento de rutina mientras sea necesario, resistencia de aislamiento
- Revisar el varillaje del regulador activador
- Revisar el nivel de electrolitos de la batería y mantener para incluir, temperatura, gravedad específica, tensión
- Revisar el funcionamiento del cargador y/o alternador
- Inspeccionar el sistema de suministro de combustible en busca de fuga o bajo nivel. Informar al propietario si hay alguna discrepancia
- Vaciar la condensación del tanque de día y revisar si hay algún tipo de contaminación solamente si el tanque de día está equipado con una válvula de drenaje
- Revisar el funcionamiento de la bomba de transferencia
- Verificar la correcta tensión y frecuencia de salida de generador, ajuste si es necesario
- Revisar el funcionamiento de la instrumentación del control de generador, volts, amperes etc...

- Revisarías las lámparas de fallas y reemplazar las bombillas, paneles con luces, indicadores de pruebas únicamente
- Muestreo de aceite del cárter, informar al propietario si hay alguna discrepancia
- Remitir informe al propietario
- Arranque automático de prueba

Capítulo III: Análisis de Sistema Frigorífico

3.1 Análisis de criticidad a los Sistemas de Refrigeración

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Para esto usaremos el FMECA hace un análisis que cumple los requisitos de un FMEA (Análisis de Modo y Efectos de Falla), pero además identifica la causa raíz del modo de falla, su criticidad (riesgo) y una tarea para reducir o eliminar el riesgo, todo bajo un ambiente de priorización basada en riesgo.

3.1.1 Matriz cualitativa de riesgo

La metodología escogida para jerarquizar los equipos será la denominada matriz cualitativa de riesgo, esta herramienta permite evaluar los equipos según sus fallas a través de dos factores importantes, el primero de ellos es la frecuencia de estas y por otro lado la consecuencia, que a su vez está definida por distintas variables importantes definidas a continuación.

$$\text{Riesgo: } FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$$

Donde:

FF: frecuencia de fallas (escala 1-6, de acuerdo con el mínimo y máximo de eventos ocurridos en un año)

1: frecuente: mayor a 5 eventos al año

2: promedio: 3 y 5 eventos al año

3: bueno: entre 2 y 3 evento al año

4: excelente: menos de 2 eventos al año.

Tabla III- 4 *Matriz cualitativa de riesgo*

Frecuencia	Falla
1	6
2	4
3	3
4	2

Fuente: *Análisis de criticidad de los equipos datos propios*

Factores de consecuencias

IO: Impacto operacional (escala 1-3, de acuerdo con el mínimo y máximo de eventos ocurridos en un año)

- 1: pérdidas de producción superiores a 75%
- 2: pérdidas de producción entre 50% y 74%
- 3: pérdidas de producción entre 25% y 49%
- 4: pérdidas de producción entre 10% y 24%
- 5: pérdidas de producción menor al 10%

Tabla III-2: Factores de consecuencias

Frecuencia	Falla
1	1
2	2
3	2
4	3
5	3

Fuente: *Análisis de criticidad al sistema de refrigeración*

FO: impacto por flexibilidad operacional (escala 1-4, de acuerdo con el mínimo y máximo de eventos ocurridos en un año)

- 3: no se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
- 2: se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logísticas intermedios,
- 1: se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

Tabla III- 5 Impacto por flexibilidad operacional

Frecuencia	Falla
3	1
2	3
1	4

Fuente: *Análisis de criticidad al sistema de refrigeración*

CM: impacto en costos de mantenimiento (escala 1-4, de acuerdo con el mínimo y máximo de eventos ocurridos en un año)

- 1: costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
- 2: Costos de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares

Tabla III- 6 Impacto en costes de mantenimiento

Frecuencia	Falla
1	1
2	4

Fuente: *Análisis de criticidad al sistema de refrigeración*

SHA: impacto en seguridad, higiene y ambiente (escala 1-6, de acuerdo con el mínimo y máximo de eventos ocurridos en un año)

1: riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos

2: riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración

3: riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas

4: no existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

Tabla III- 7 Impacto en seguridad, higiene y ambiente

Frecuencia	Falla
1	2
2	1
3	6
4	1

Fuente: *Análisis de criticidad al sistema de refrigeración*

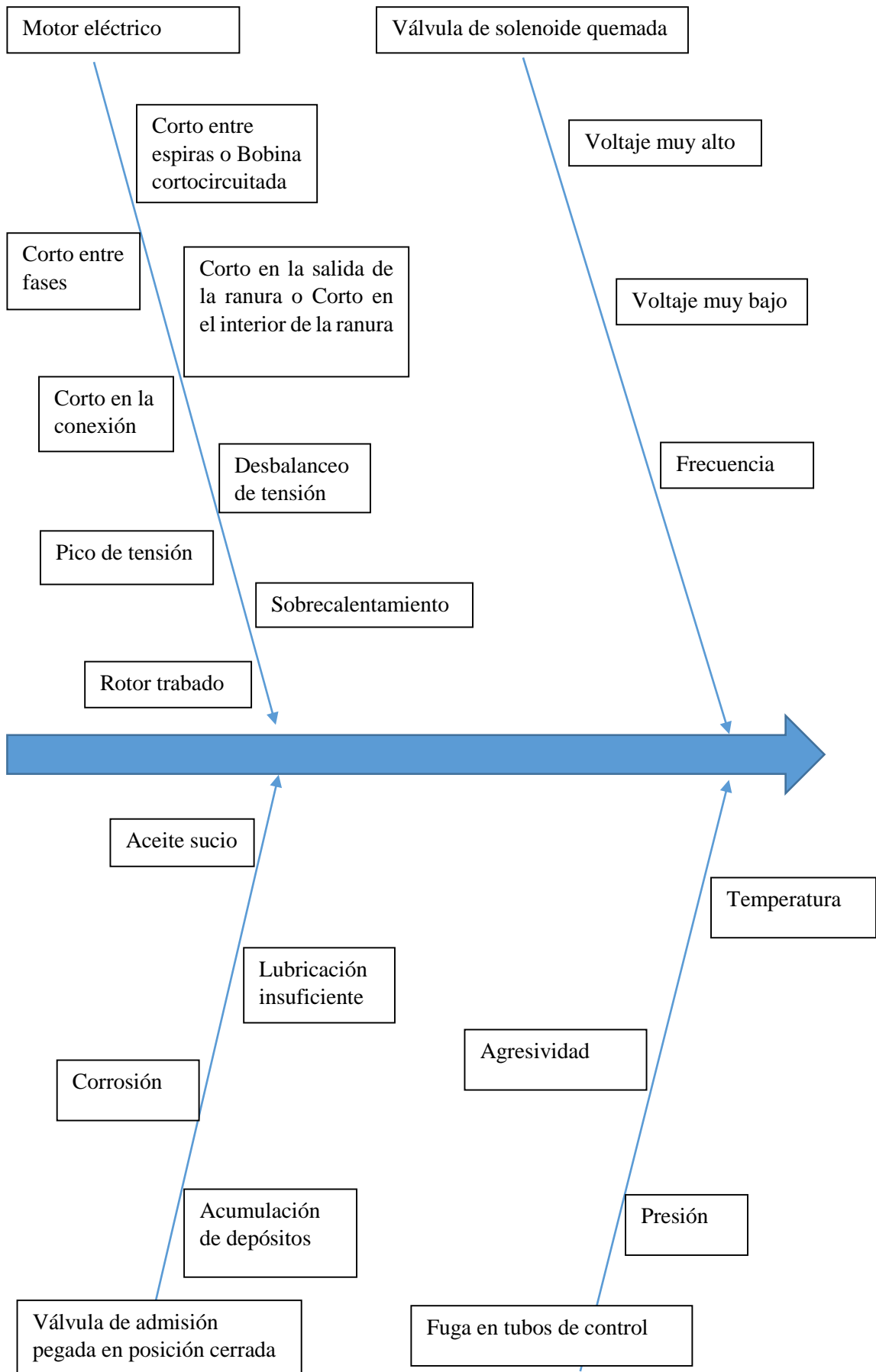
3.1.2 Análisis de modos de fallas y efecto FMEA

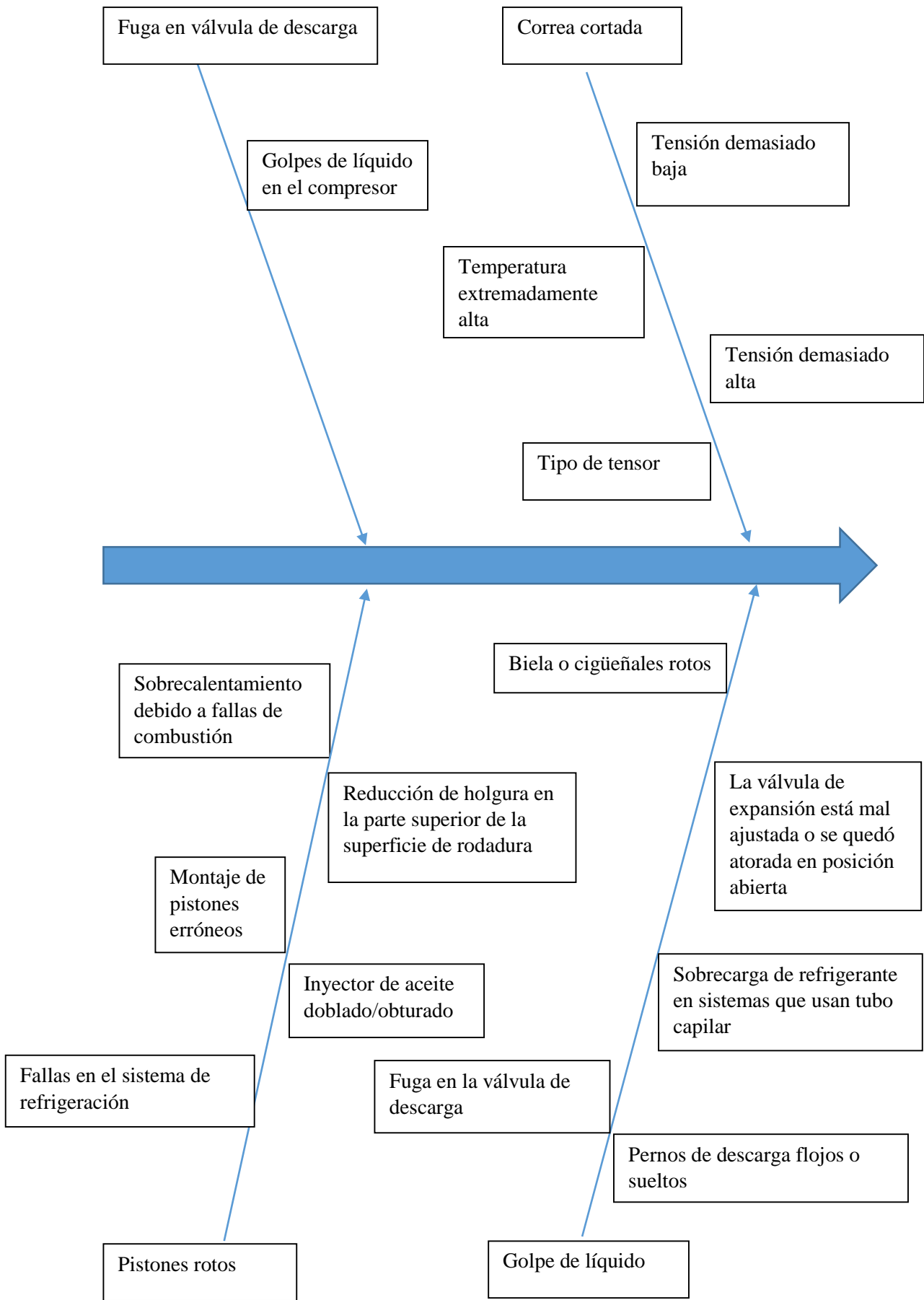
El análisis de modos de fallas y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es un método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso (refrigeración) mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizaran para inhibir las fallas.

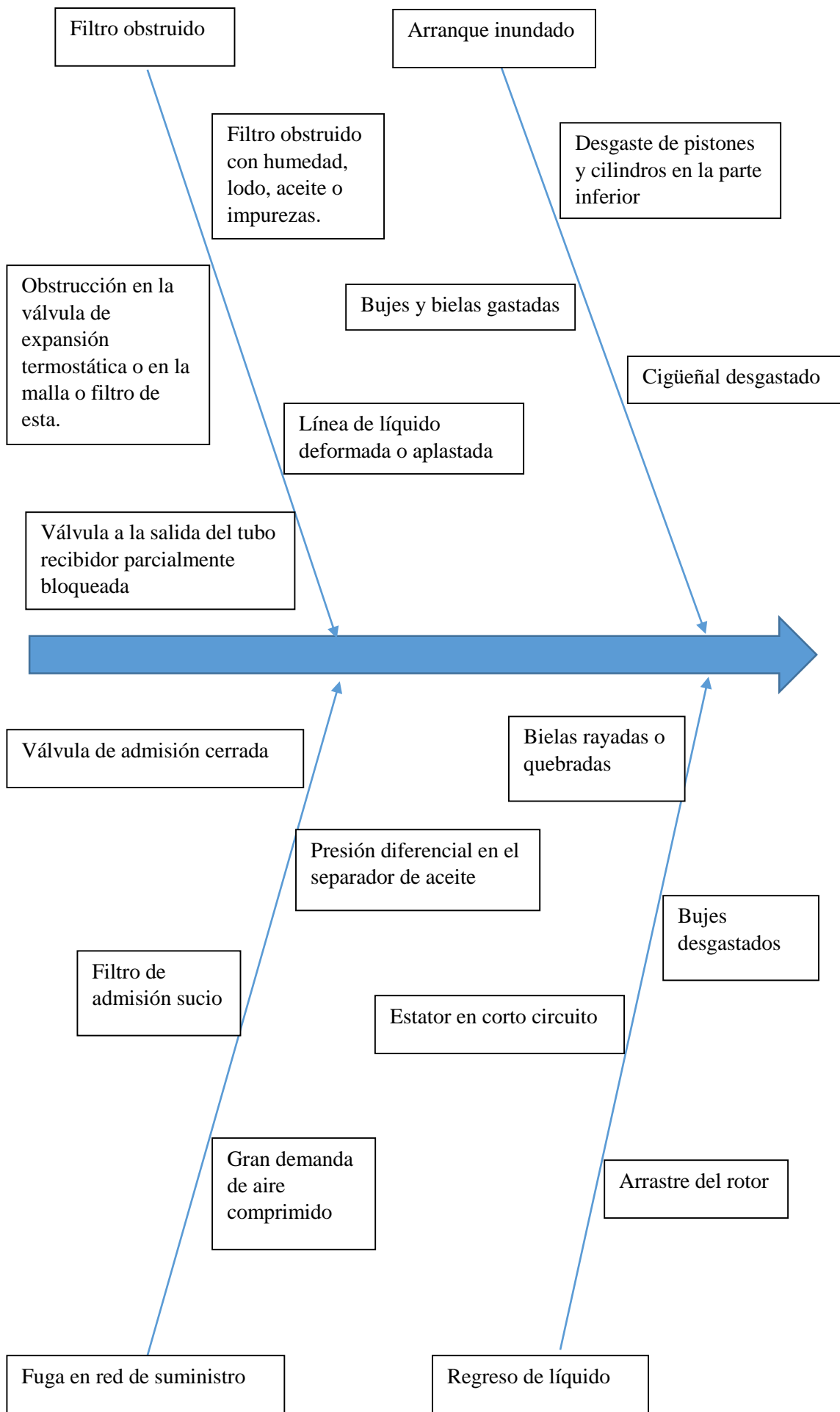
El modo de fallas está relacionado con el hecho de como un proceso puede ser llevado a operar de manera deficiente y estar compuesto por tres elementos: Efecto, causa y detección. El efecto es la consecuencia de lo que la falla puede causar al cliente; la causa es lo que indica la razón por la que se produjo el error y la detección es la forma utilizada en el control del proceso para evitar las posibles fallas.

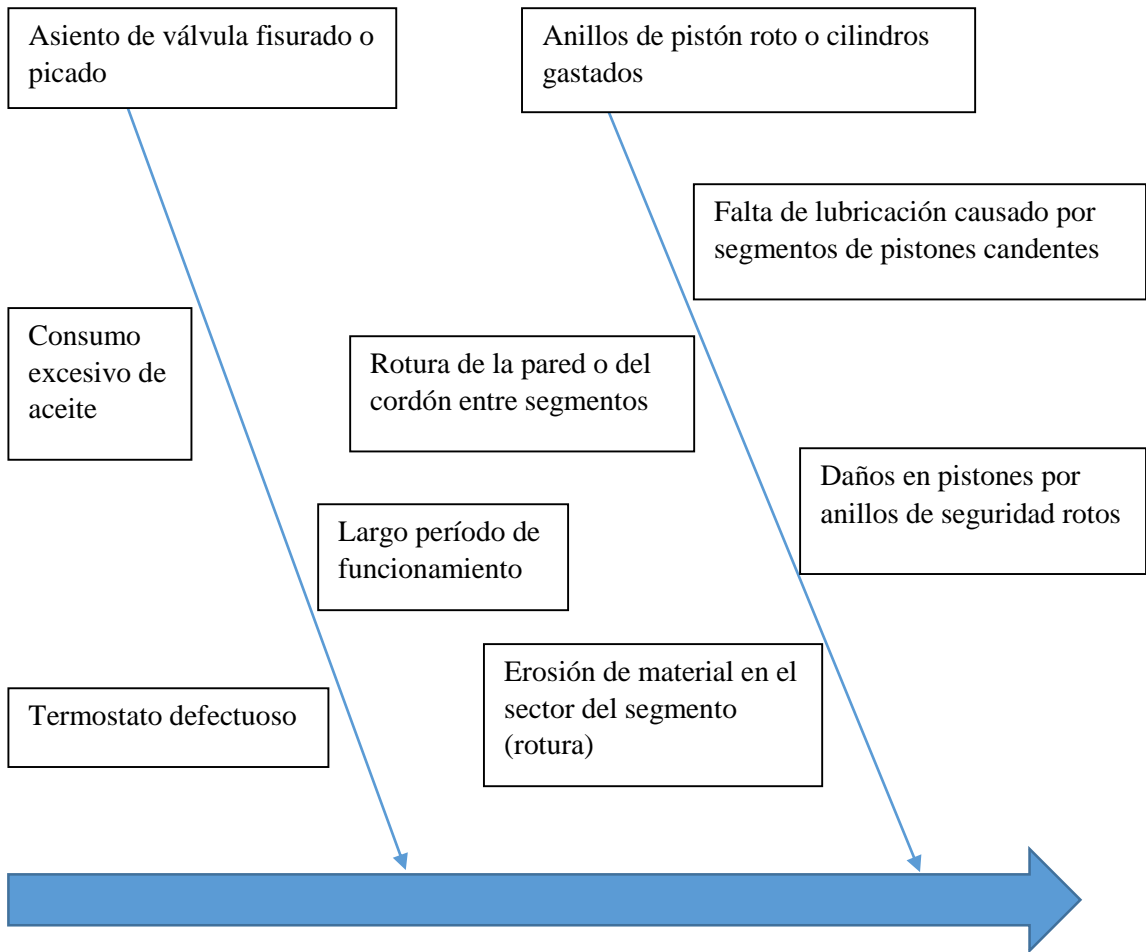
3.2 Diagramas causa y Efecto

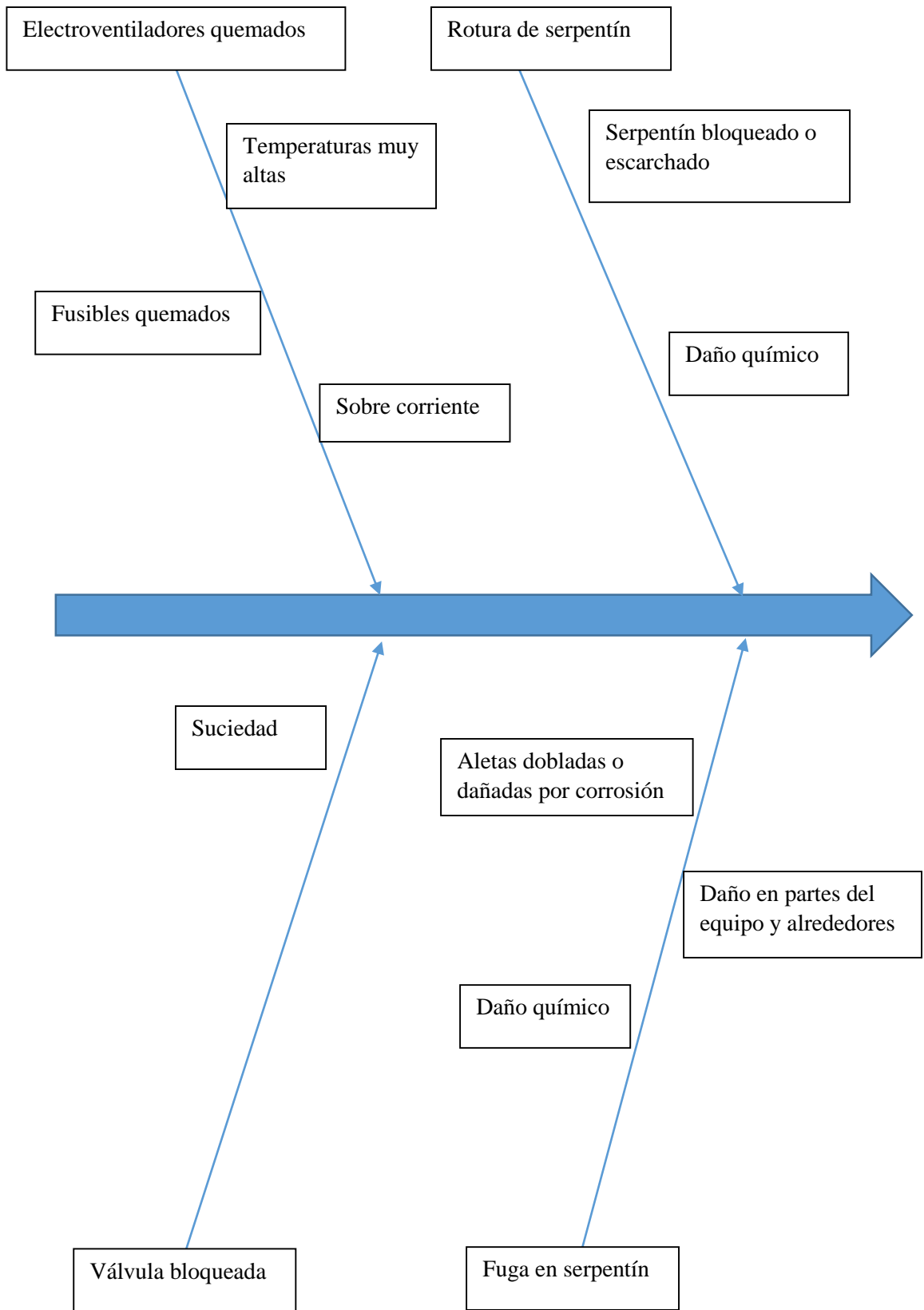
3.2.1 Identificación de modos de fallas Compresor y Condensador

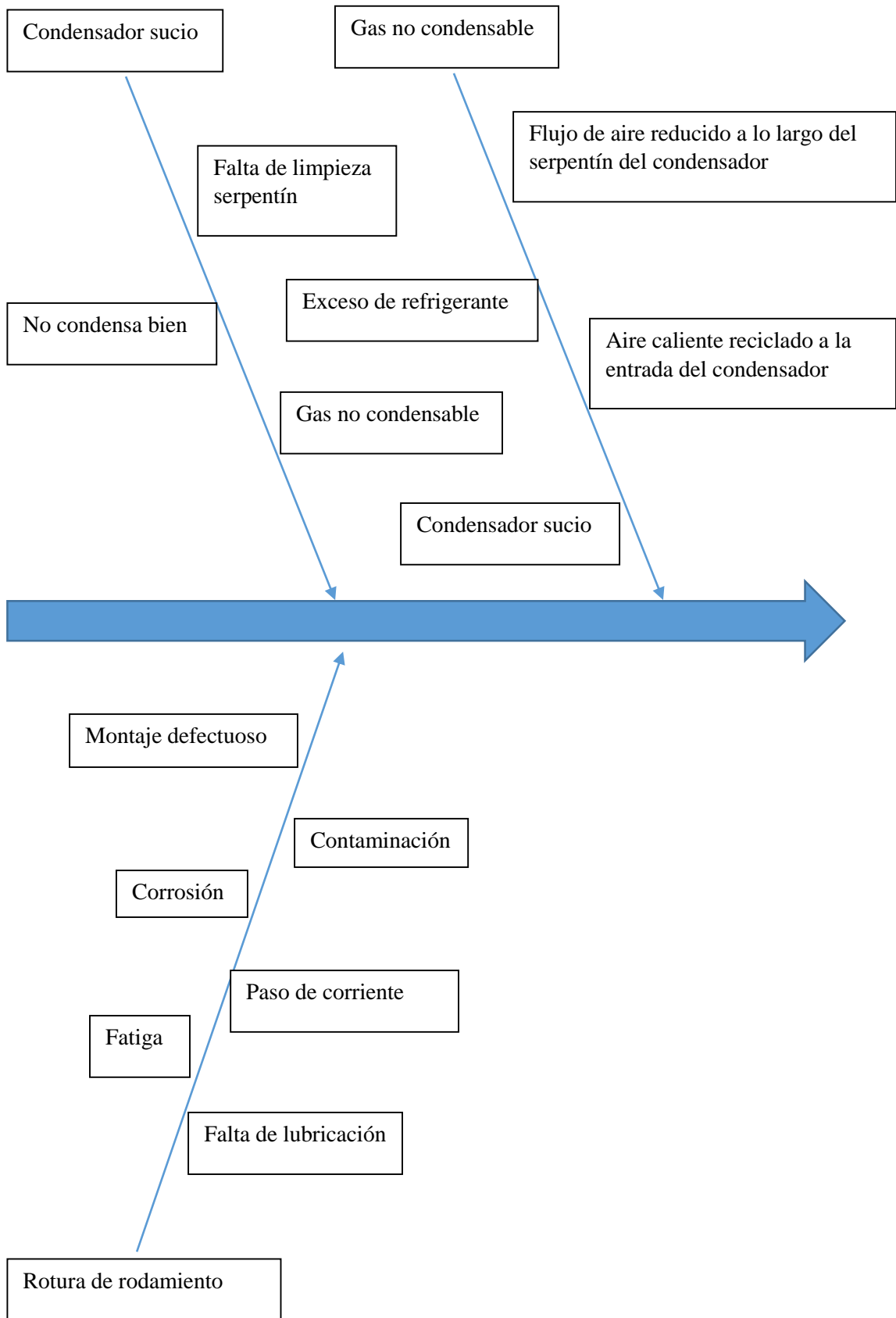




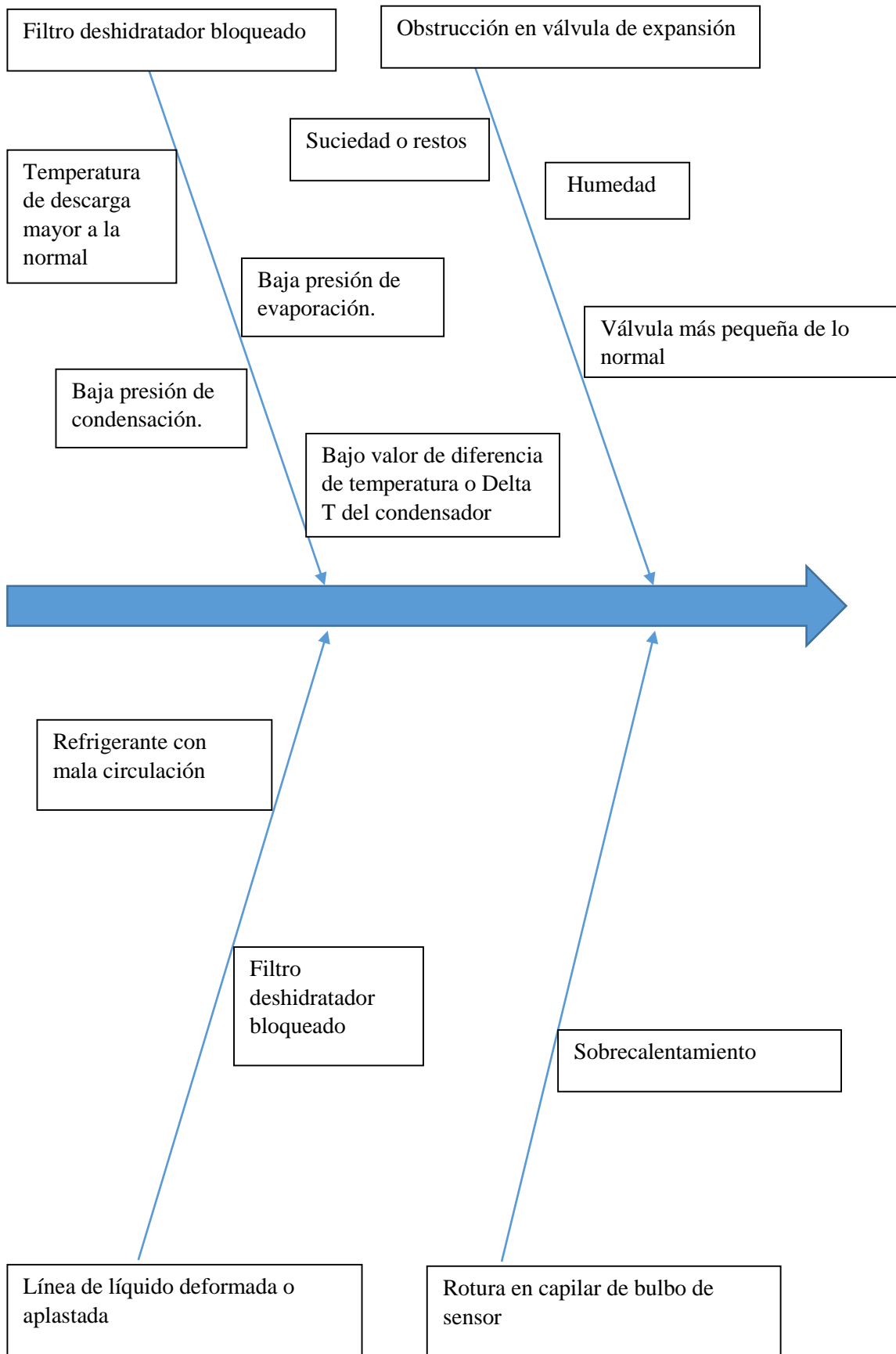


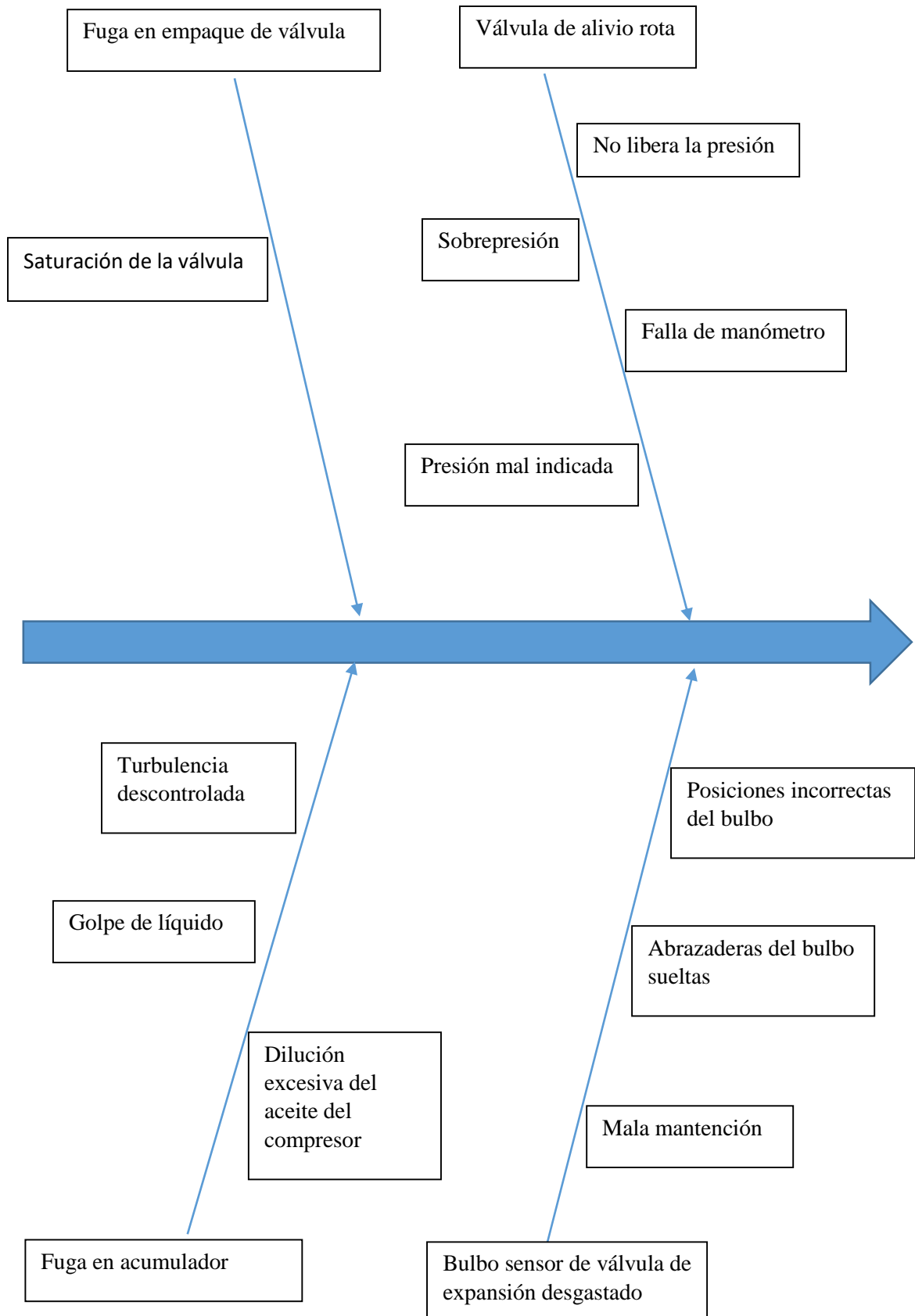


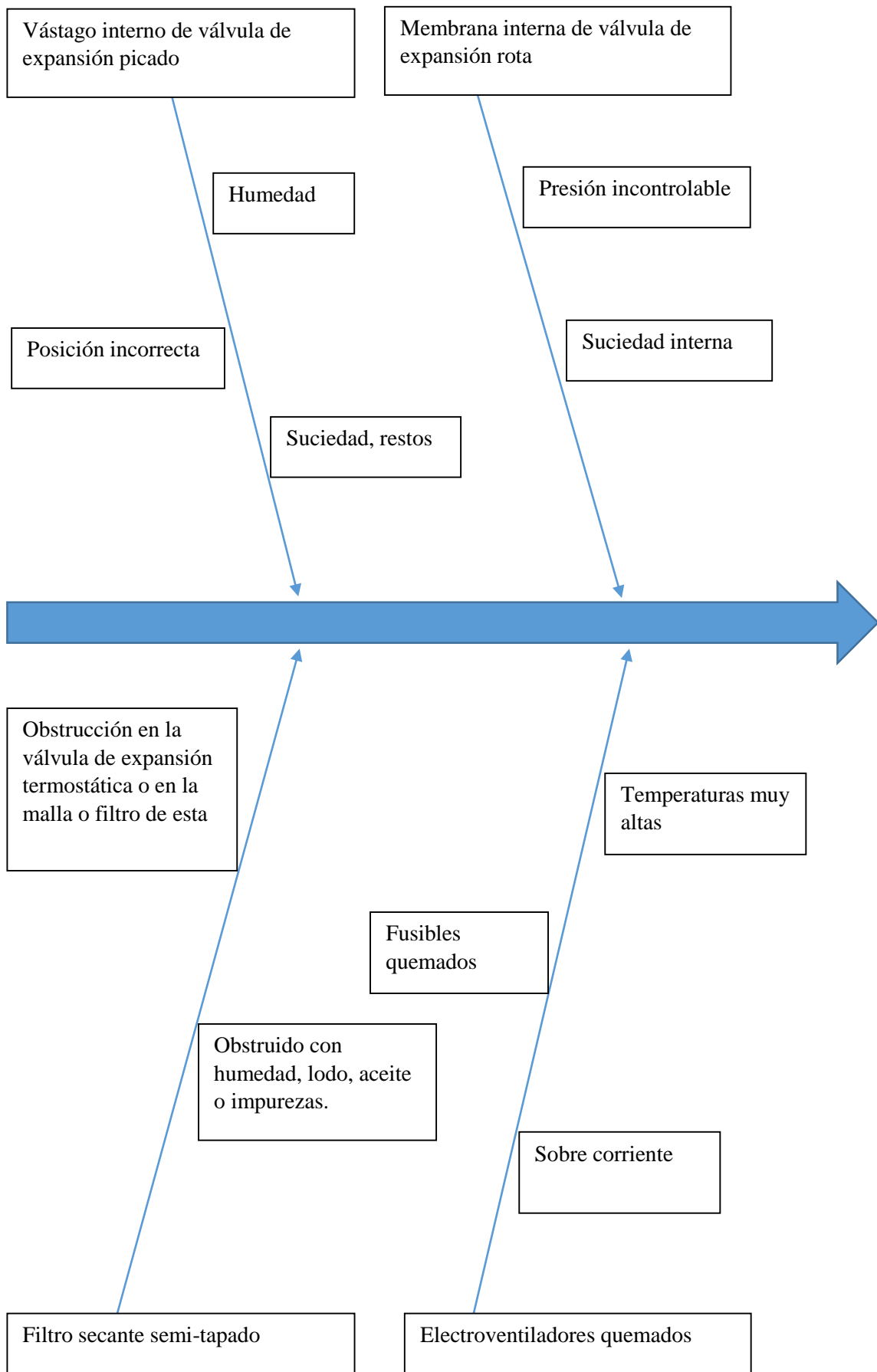


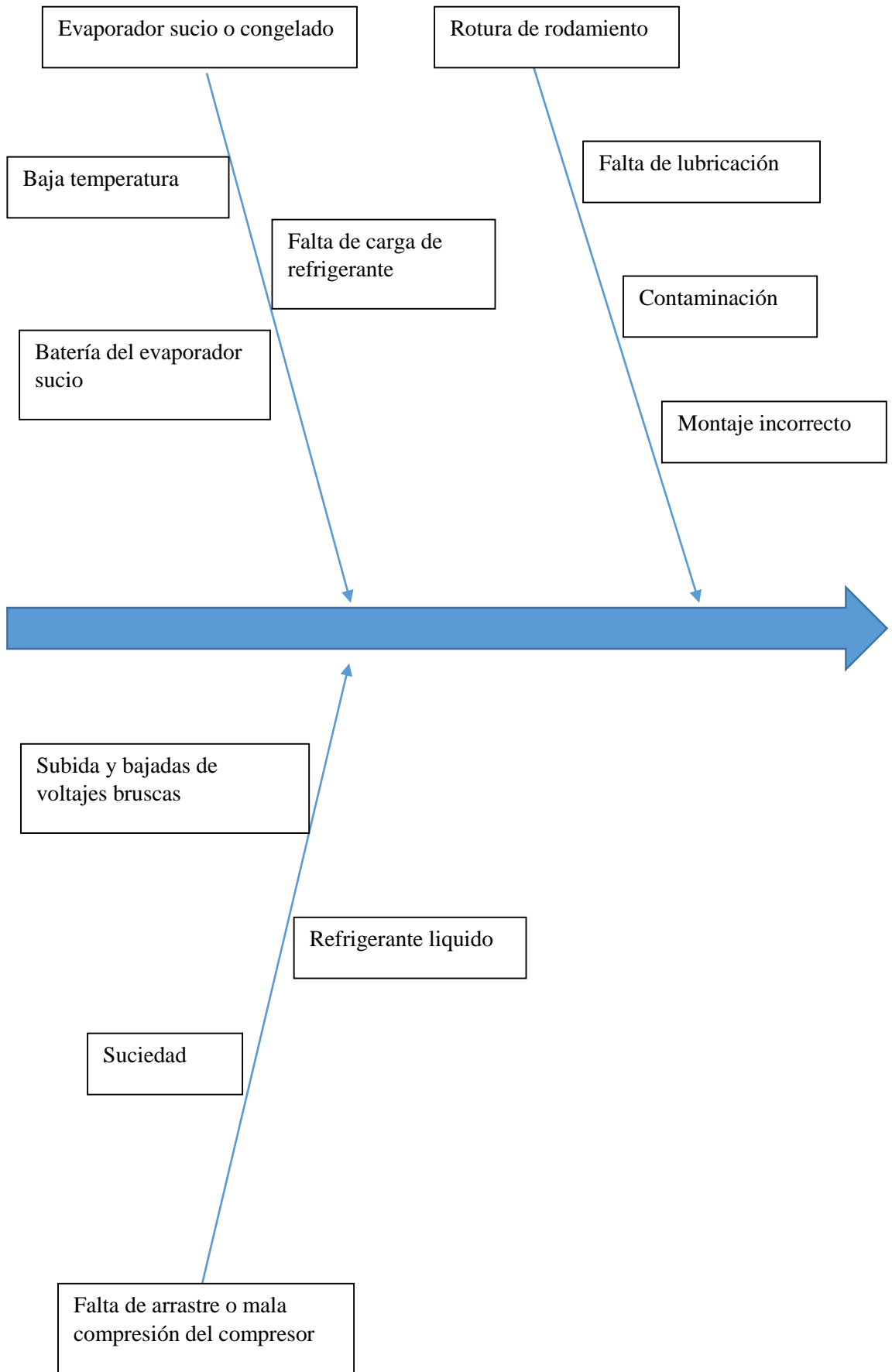


3.2.2 Identificación de modos de fallas Válvula de expansión y Evaporador









Capítulo IV: Conclusiones

El trabajo está basado en un plan de mantenimiento utilizado por la empresa Ingemetal Ltda., con el cual se desarrolló un diagrama de causa efecto llamado Ishikawa para realizar un análisis a equipos del sistema de refrigeración, señalando las posibles causas de falla para cada equipo.

Todo plan de mantenimiento está sujeto y está realizado en función de los factores que pueden influenciar una planta o un equipo en particular, no obstante, aquello, es sabido que el factor humano tiene fallas inherentes. La propuesta elaborada si fuera aplicada y obviando la posible falla humana caería en una perfección.

La refrigeración es el pilar fundamental para cualquier proceso de producción industrial alimenticio ya que estará encargado de mantener los productos en las condiciones adecuadas para posterior entrega.

Este trabajo como se menciona anteriormente fue basado en un plan de mantenimiento, en el cual se evalúa cada equipo de refrigeración para así poder evitar posibles fallas de instrumentos en el cual se hace una revisión de criticidad de los sistemas mencionados. Como objetivo fue hacer una actualización al plan de mantención en el cual en el avance del trabajo surgieron preguntas, ya que el avance de la tecnología en el país no nos permite aun tener equipos más avanzados para visualizar problemas u fallas con mayor rapidez o simplemente poder evitar alguno de estos, entonces se hizo un diagrama de causa y efecto, donde se puede visualizar un problema que sería el equipo y la posibles causas que pueden provocar el mal funcionamiento de este.

Para finalizar cada empresa, requiere o se recomienda ocupar este diagrama de Ishikawa para los sistemas de refrigeración. La utilidad de este diagrama va desde realizar evaluaciones semanales, mensuales, anuales etc...

Bibliografía

Roy, J. Dossat (1980). Principios de refrigeración. Décima Novena Reimpresión 1999(México)

Carlos Sierra (2012). Refrigeración industrial, montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas. 1° Edición

Linkografía

1. E. García Ortiz. Análisis comparativo de las características básicas de los fluidos refrigerantes más utilizados [en línea]. <<http://acustica.unileon.es/wp-content/uploads/2012/05/AN%3%81LISIS-COMPARATIVO-DE-LAS-CARACTER%3%8DSTICAS-B%3%81SICAS-DE-LOS-FLU%3%8DDOS-REFRIGERANTES-M%3%81S-UTILIZADOS.pdf>> [consulta: 15 Abril 2019].
2. Indubel. <<http://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf>> [consulta: 23 Abril 2019].
3. Mundohvacr. Los refrigerantes y sus propiedades químicas [en línea]. <<https://www.mundohvacr.com.mx/2007/02/los-refrigerantes-y-sus-propiedades/>> [consulta: 05 Mayo 2019].
4. Idoia Arnabat. Sistema de refrigeración por absorción [en línea]. <<https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistema-de-refrigeracion-por-absorcion.html>> [consulta: 15 Mayo 2019].
5. Idoia Arnabat. Sistema de refrigeración por compresión [en línea]. <<https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistema-de-refrigeracion-por-compresion.html>> [consulta: 25 Mayo 2019].
6. Gildardo Yáñez. Ciclo básico de refrigeración por compresión - ciclo frigorífico [en línea]. <<https://www.gildardoyanez.com/tips/ciclo-de-refrigeracion/>> [consulta: 8 Junio 2019].
7. Samantha Gómez. Mantenimiento a un sistema de refrigeración [en línea]. <<https://www.andira.org.mx/2017/01/18/mantenimiento-a-un-sistema-de-refrigeracion/>> [consulta: 15 Julio 2019].