



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

**CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE
CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONÍACO COMO REFRIGERANTE**

Fabio René Ordoñez Flores

Asesorado por el MA Ing. Julio César Campos Paiz

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE
CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONÍACO COMO REFRIGERANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FABIO RENÉ ORDOÑEZ FLORES

ASESORADO POR EL MA ING. JULIO CÉSAR CAMPOS PAIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Jorge Chilo Siguerre Rockstroh
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONIACO COMO REFRIGERANTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 09 de agosto de 2006.



Fabio René Ordoñez Flores

Guatemala, 16 de julio del 2013.

MA Ingeniero. Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente:

Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la asesoría del trabajo de graduación "CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONIACO COMO REFRIGERANTE", presentado por el estudiante Fabio René Ordoñez Flores con carne 9012667, de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y objetivos iniciales y considero que llena los requisitos académicos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Vo.Bo. 
M A Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Ingeniero Mecánico Colegiado No. 2701

Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado 2701

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor del trabajo de graduación titulado, **CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONÍACO COMO REFRIGERANTE**, del estudiante **Fabio Rene Ordoñez Flores**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Una firma manuscrita en tinta oscura, que parece ser la del Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, escrita sobre una línea horizontal.



**Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área**

Guatemala, julio de 2013.

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado, **CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONÍACO COMO REFRIGERANTE**, del estudiante **Fabio Rene Ordoñez Flores**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio', written over the printed name of the director.

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, agosto de 2013

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos
de Guatemala

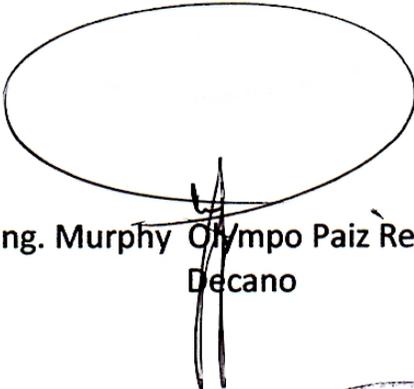


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 528 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TÚNELES DE CONGELADO EN ESPIRAL, USANDO AMONIACO COMO REFRIGERANTE**, presentado por el estudiante universitario: **Fabio René Ordoñez Flores**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 1 de agosto de 2013

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por iluminar mi vida, y ser una fuente inagotable de amor y misericordia, dándome la oportunidad de concluir esta fase de mi vida.
- La Virgen María** Inmaculada, bienaventurada y amadísima madre, que siempre estás conmigo.
- Mis padres** Fabio Ordoñez y Zoila de Ordoñez. Fuente de amor, humildad y sabiduría que con sus acertados consejos y enseñanzas, le dieron dirección a mi vida.
- Mi esposa e hijas** Jenny Aguirre de Ordoñez, Karin Alejandra y María Andrea Ordoñez Aguirre. Que con su amor, ternura y entrega son la inspiración de mi vida y el aliento para superar mis metas cada día.
- Mis hermanos** Manfredo Ordoñez, Rebeca Ordoñez, Leticia Flores, Ana Yapan, Melvin Yapan, Ariel Yapan, por su amor, ayuda y creer en mí.
- Mis suegros** Por su amor, consejos y por haberme recibido en sus vidas como un hijo. En especial a Verónica Contreras y Jorge Huevo.

Mis cuñados	Margarita Ortiz, Pablo Giron, Giovanni Rodas, Ervin Rodas, Emilia Rodas, Juan Yapan, Miriam Salazar por su entusiasmo, amor y ayuda.
Mis sobrinos	María Renné Ordoñez, Pablo José Giron, Manfredo José Ordoñez, María Rebeca Giron, Darlin Paola Yapan.
Mis abuelos	Por su amor y el legado de sus vidas. En especial a Noé Flores y Ana Gutiérrez.
Alguien especial	Ernestina Aguirre (q.e.p.d.), por su ejemplo de abnegación, amor especial y sincero.
Mi familia	Y en especial a Joshua Rodas, Hugo Flores, Danilo Aquino, Estuardo Figueroa, Héctor Aguirre, Lilian Solís, Brenda Klussmann, Rosmery Gómez, Herberth Flores, Pablo Aquino, Alberto Flores, Alejandro Figueroa, Sara Aquino, Helen Figueroa, Álvaro Flores, Hansel Figueroa, Daniela Aquino, Benjamín Figueroa, Kimberley Ramírez, Damaris Ramírez, Raúl Ramírez.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO	1
1.1. El amoniaco y sus propiedades.....	1
1.1.1. Manipulación del amoniaco	3
1.1.2. Beneficio al medio ambiente.....	5
1.2. Descripción del ciclo de refrigeración por amoniaco	6
1.3. Análisis termodinámico del ciclo de refrigeración por amoniaco.....	7
2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MÚLTIPLE	23
2.1. Cómo funciona el sistema de refrigeración por compresión múltiple	23
2.1.1. Diagrama de funcionamiento.....	24
2.1.2. Componentes y dispositivos del sistema	31
2.2. Compresor de tornillo	33
2.3. Evaporador de aire forzado	37
2.4. Condensador evaporativo.....	40
2.5. Sistema de recirculación de líquido	42

2.6.	Tubería de refrigeración, tanques, controles eléctricos e instrumentación.....	45
3.	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL TÚNEL DE CONGELAMIENTO.....	53
3.1.	Cámara de congelación	54
3.1.1.	Forma y construcción de la cámara	54
3.1.2.	Aislamiento.....	55
3.1.3.	Prevención del hielo bajo el piso, por medio de calefacción	59
3.1.4.	Prevención condensación y alta humedad.....	62
3.1.5.	Puertas.....	64
3.2.	Funcionamiento del túnel de congelamiento	65
3.2.1.	Sistema de tracción.....	68
3.2.1.1.	Cadena de tracción, cadena de transporte, rieles.....	68
3.2.1.2.	Reductores de velocidad.....	73
3.2.1.3.	Sistema de lubricación de la cadena de tracción.....	77
3.2.1.3.1.	Bomba de lubricación....	77
3.2.1.4.	Tiempo de residencia del producto	79
3.2.1.5.	Panel de control	81
3.2.2.	Sistema de recirculación de aire	82
3.2.2.1.	Turbinas de aire	83
3.2.2.2.	Características de los motores eléctricos	85
3.2.3.	Sistema de limpieza	85
3.2.3.1.	Descongelamiento del evaporador.....	88
3.2.3.2.	Agua a presión	89

3.2.4.	Sistema de seguridad de descarrilamiento.....	90
4.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL TÚNEL DE CONGELAMIENTO.....	93
4.1.	Mantenimiento de componentes de la cámara de congelación	94
4.1.1.	Mantenimiento de las cajas reductoras	94
4.1.1.1.	Cambio de cojinetes y retenedores	95
4.1.1.2.	Cambio de aceite.....	104
4.1.2.	Mantenimiento al gabinete.....	106
4.1.3.	Enderezar y alinear guías y eslabones de la cadena.....	108
4.1.4.	Mantenimiento a la bomba de lubricación	113
4.1.5.	Mantenimiento de la bomba de lavado a presión .	116
4.1.6.	Mantenimiento al sistema eléctrico.....	116
4.1.6.1.	Mantenimiento al panel eléctrico	117
4.1.6.2.	Mantenimiento a sensores y líneas eléctricas.....	119
4.2.	Mantenimiento de componentes de refrigeración.....	120
4.2.1.	Cambio de acople mecánico entre motor y compresor.....	122
4.2.2.	Cambio de sello mecánico a compresor	126
4.2.3.	Cambio de aceite y filtros	129
4.2.4.	Limpieza de filtro de la succión del compresor	134
4.2.5.	Limpieza de filtros de la línea de líquido.....	137
4.2.6.	Purgas de aceite en el sistema de refrigeración...	140
4.2.7.	Purga de aire del sistema de refrigeración	142
4.2.8.	Mantenimiento a ventiladores.....	146
4.2.9.	Mantenimiento a bomba de agua	150

4.2.10.	Mantenimiento a las válvulas de control de refrigeración	156
4.2.11.	Calibración de sensores y medidores	157
4.2.12.	Mantenimiento a panel eléctrico.....	160
4.2.13.	Carga de refrigerante	163
4.2.14.	Limpieza de aspersores y desincrustación del condensador.....	167
4.3.	Monitoreo y control de la condición de funcionamiento.....	171
4.3.1.	Formato de monitoreo de presiones, nivel de aceite y temperatura.....	176
4.3.2.	Inspección visual y auditiva	179
4.3.3.	Análisis de vibraciones	182
4.3.4.	Análisis de aceite	190
4.3.5.	Análisis termográfico	197
4.4.	Calendarización de actividades.....	200
4.4.1.	Mantenimiento diario	204
4.4.2.	Mantenimiento semanal	204
4.4.3.	Mantenimiento mensual	205
4.4.4.	Mantenimiento semestral	205
4.4.5.	Mantenimiento anual	206
4.4.6.	Elaboración del calendario de actividades	207
CONCLUSIONES.....		213
RECOMENDACIONES		215
BIBLIOGRAFÍA.....		217

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo de refrigeración por compresión de amoníaco	6
2.	Diagrama presión-entalpía	8
3.	Un tanque con líquido saturado en: (a) a baja temperatura, presión y entalpía, y en (b) en alta temperatura, presión y entalpía.	8
4.	Líneas de líquido saturado y vapor saturado en el diagrama presión-entalpía	9
5.	Calor latente en la conversión de vapor saturado a líquido saturado...	10
6.	(a) Vapor sobrecalentado formado por la adición de calor al vapor saturado a presión constante y (b) Líquido subenfriado, formado por calor removido de líquido saturado a presión constante	11
7.	Descripción completa del diagrama presión-entalpía.....	12
8.	Líneas de temperatura constantes en el diagrama presión-entalpía....	13
9.	Diagrama presión-entalpía	16
10.	Ciclo de refrigeración de Carnot.....	17
11.	Ciclo de Carnot se muestra en coordenadas temperatura-entropía.....	18
12.	El área bajo una curva de un proceso de transferencia de calor	19
13.	El ciclo de Carnot se muestra sobre el diagrama presión-entalpía.	20
14.	El ciclo de Carnot que utiliza un refrigerante verdadero confinado dentro del líquido saturado y vapor saturado	21
15.	Ciclo estándar de la compresión de un refrigerante y el diagrama presión-entalpía	25
16.	Sistema de compresión de dos etapas con la eliminación de gas de vaporización instantánea.....	26

17.	Diagrama presión entalpía para el proceso con eliminación de gas de vaporización instantánea	28
18.	Un subenfriador líquido usando un serpentín sumergido en el líquido de un recipiente de presión intermedia	29
19.	Subenfriamiento del líquido con un intercambiador de calor de carcasa y tubo externo con punto de ebullición de refrigerante controlada por una válvula de expansión.....	30
20.	Subenfriamiento del líquido con un intercambiador de calor externo del tipo termosifón.....	31
21.	Rotores del compresor de tornillo: (a) perfil simétrico (b) perfil asimétrico	33
22.	Rotores del compresor de tornillo	34
23.	Vista en explosión de las principales partes del compresor de tornillo	35
24.	Visualización del proceso de succión, compresión y descarga de un compresor de tornillo	36
25.	Evaporador y flujo del proceso de enfriamiento	38
26.	Vista del condensador por evaporación.....	41
27.	Sistema de bombeo de líquido NH ₃ , usando dos bombas.....	43
28.	Bomba para amoniaco, vista y corte seccional.....	44
29.	Válvulas para soldar en línea.....	47
30.	Controlador de temperatura y diagrama de funciones	49
31.	Controlador de capacidad y diagrama de funcionamiento	50
32.	Manómetro para amoniaco con glicerina	51
33.	Presostatos para amoniaco, gases y aceite	52
34.	Vista del túnel de congelado en espiral	55
35.	Comparación de materiales de aislamiento, en su grosor equivalente	56
36.	Forma de aislamiento con paneles de poliuretano.....	57

37.	Forma de montaje de las resistencias bajo el piso del túnel de congelado.....	60
38.	Distancia entre resistencias y ubicación de los termostatos	61
39.	Puerta de cuarto frío con apertura exterior suave e interior de seguridad	64
40.	Túnel de congelamiento en espiral, entrada inferior y salida superior	66
41.	Tramo de cadena de tracción y área de salida del producto congelado.....	69
42.	Base del sistema de tracción del túnel de congelado.....	70
43.	Sistema de contrapeso de la cadena auto soportable	71
44.	Cadena auto sostenible del túnel de congelado.....	72
45.	Motor con reductor de velocidad completo.....	75
46.	Sistema de lubricación de la banda túnel de congelado	78
47.	Ventilación en el túnel de congelado.....	82
48.	Ventilador centrifugo del túnel de congelado	84
49.	Áreas de limpieza en el túnel de congelado.....	86
50.	Colocación de las boquillas de limpieza sobre el evaporador	87
51.	Sensores e interruptores de seguridad en el túnel de congelado	92
52.	Motorreductor paralelo	95
53.	Extracción de rodamientos.....	96
54.	Calentador inductivo para cojinetes	97
55.	Lubricación del cojinete trasero.....	98
56.	Forma en que va montado un retenedor	99
57.	Alojamiento de montaje de un retenedor, imperfecciones a evitarse .	100
58.	Eje de montaje, imperfecciones que deben evitarse	101
59.	Montajes de un retenedor, forma correcta e incorrecta.....	102
60.	Cuidados del montaje del eje en un retenedor.....	103
61.	Nomenclatura de ventilación, nivel de aceite y vaciado de aceite.....	104

62.	Mirilla opcional para ver el nivel de aceite	105
63.	Paneles sellados con silicona	107
64.	Guías de fijación de la banda autosostenible	109
65.	Eslabones de cadena de rodillos	110
66.	Tensor de auxiliar de la cadena autosostenible.....	111
67.	Desglose de la cadena de transporte de producto.....	112
68.	Bomba de engranes de alto bombeo con tanque de reserva	114
69.	Sistema de compresión	121
70.	Acople entre compresor de tornillo y motor eléctrico	123
71.	Bridas para alineación	125
72.	Construcción de un sello mecánico	126
73.	Comprobando la deflexión radial del eje.....	127
74.	Mirilla de nivel de aceite máximo y mínimo.....	130
75.	Filtro de aceite, de uno y dos elementos, un elemento filtrante y el corte transversal de la carcasa del filtro.....	132
76.	Codo de lado de aspiración de un compresor de tornillo.....	135
77.	Montaje del elemento y junta tórica	136
78.	Elemento filtrante del lado de succión, se muestran las capas de <i>mesh</i>	137
79.	Circuito tipo de refrigeración por NH ₃ con evaporadores a diferentes temperaturas.....	138
80.	Elemento filtrante y válvula solenoide.....	139
81.	Equipo de respiración autocontenido.....	140
82.	Tanque de líquido de refrigerante amoniac, con punto de purga.....	143
83.	Purgador automático de aire y no condensables.....	144
84.	Colocación en el sistema de refrigeración, el autopurgador	145
85.	Tunel de congelado en espiral.....	148
86.	Turbina centrífuga industrial	149
87.	Bomba centrífuga.....	150

88.	Ejemplo de una curva característica de una bomba centrífuga.....	152
89.	Explosión de una bomba centrífuga	153
90.	Sección superior del condensador	168
91.	Filtro de succión de la bomba de recirculación	168
92.	Boquillas de aspersion de agua	169
93.	Intervalo P-F (falla potencial, punto de falla)	175
94.	Formato de monitoreo de presiones y nivel de aceite.....	177
95.	Formato de monitoreo de temperaturas	178
96.	Esquema de puntos de análisis de vibraciones	182
97.	Vibraciones en un ciclo de trabajo	183
98.	Colector de datos microlog CMX 450.....	186
99.	Espectros de vibración en el software.....	186
100.	Análisis termográfico de un motor eléctrico.....	199
101.	Orden de mantenimiento.....	202
102.	Calendario de actividades 1	208
103.	Calendario de actividades 2.	209
104.	Calendario de actividades 3.....	210
105.	Calendario de actividades 4.....	211
106.	Calendario de actividades 5.....	212

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
K	Coeficiente de seguridad
COP	Coeficiente de rendimiento de refrigeración
Q	Cantidad de calor, en watts o kilocalorías
C₁	Coeficiente de conductividad térmica de un aislante
C	Conductividad térmica del aislante en W/m°C
Ks	Coeficiente de seguridad
CPVC	Cloruro de polivinilo
Dt	Diferencia de temperatura
Kcal/(h-m-°K)	Dimensional del coeficiente de conductividad térmica
e	Espesor del aislamiento térmico en metros
H	Entalpía
S	Entropía

NH₃	Fórmula del amoniacó
°C	Grados Celsius o Centígrados
°F	Grados Fahrenheit.
°K	Grados Kelvin.
g	Gramo, unidad de masa, fuerza o peso en el SMD.
H	Hidrógeno.
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada.
m³	Metro cúbico.
mm	Milímetros.
N	Nitrógeno.
%	Porcentaje.
“	Pulgadas.
+/-	Rango de aproximación.
rpm	Revoluciones por minuto.
SIU	Sistema internacional de unidades.

T	Temperatura.
tbh	Temperatura de bulbo húmedo.
Tbs	Temperatura de bulbo seco.
Kpa	Unidad de presión del SIU.

GLOSARIO

Amoniaco	Compuesto químico, usado con refrigerante muy nocivo y con fórmula NH_3 .
ANSI	American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estándares).
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).
ASTM	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Prueba de Materiales).
BTU	Es una unidad de energía inglesa. Es la abreviatura de British Thermal Unit.
Calibración	Forma de eliminar la incertidumbre en la medición de un instrumento o dispositivo, eléctrico o mecánico.
Choque térmico	Cambio drástico y brusco de temperatura, que puede fracturar un material.
CPVC	Cloruro de polivinilo clorado, que es un termoplástico producido por la cloración de la resina de policloruro de vinilo, para uso en agua caliente, fría o con químicos.

Despresurizar	Eliminar la presión, lentamente y con seguridad.
Entalpía	Cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
Entropía	Magnitud física, que permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.
Espuma de Poliuretano	Material plástico poroso formado por agregación de burbujas. La reacción química es del polioliol y un isocianato aunque admite variantes según la densidad a elaborar.
Flash-gas	Gas de evaporación, que se produce por evaporación del refrigerante líquido y un cambio de temperatura.
Halógenos	Elementos químicos del grupo 17, de la tabla periódica y lo forman el flúor, cloro, bromo, yodo y ástato.
Intercambiador de calor	Dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que están separados por una barrera, en este caso.
IQF	Individual Quick Freezing (congelación rápida de manera individual). Proceso de congelación realizado en plantas industriales.

<i>Mesh</i>	Malla fina metálica de acero inoxidable usada como colador, viene en diferentes medidas.
Mirilla	Visor por el cual se puede ver: aceite o refrigerante.
Mortero	Mezcla de conglomerados inorgánicos (cemento) áridos y agua, para uso en construcción.
Multietapas	Que es de varias etapas de compresión, en este caso.
Purgador	Pórtico de servicio, regulado por una válvula para poder realizar una purga en un sistema de refrigeración.
Rebaba	Porción de materia sobrante que se acumula en los bordes o en las superficies de un objeto metálico.
Sone	Factor para expresar el nivel de presión del ruido, usada regularmente en ventilación industrial.
Transportador	Que lleva de un lugar a otro una carga si causar daño alguno.

RESUMEN

Debido a la gran importancia que la congelación de alimentos tiene en las empresas, donde se procesan alimentos perecederos de consumo masivo local o muchas veces para exportación. Se realiza el presente trabajo que contiene el desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo para un túnel de congelado que trabaja con amoníaco como refrigerante.

El trabajo debe de ajustarse a las necesidades propias de una planta de proceso, que utilice este tipo de proceso, aunque algunas veces los sistemas pueden variar pero serán similares. Por lo tanto este trabajo es una guía, acompañado de los manuales del fabricante, de un túnel de congelado en específico para llegar a una programación en particular.

Se divide en cuatro partes importantes como lo es el sistema de refrigeración por amoníaco, que encierra parte del manejo del mismo y los cuidados necesarios por parte de los operarios, el sistema de compresión múltiple que regularmente se utiliza para este tipo de sistema de congelado y pueden haber varias configuraciones, la descripción y funcionamiento del túnel en las partes más importantes y por último la programación de las actividades de mantenimiento, con el formato general a utilizar de acuerdo a la necesidad y las horas trabajadas, para crear los espacios necesarios para una debida calendarización del mantenimiento preventivo.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una programación del mantenimiento preventivo de un túnel de congelado, que trabaja con amoníaco y que este se pueda diversificar en su uso.

Específicos

1. Que este trabajo de graduación sea una guía adecuada, para la industria que congela alimentos con un túnel de congelado en espiral.
2. Seguir los principios de funcionamiento y los conceptos técnicos necesarios para un efectivo programa de mantenimiento.
3. Proponer un programa de mantenimiento que sea una herramienta, para el Departamento de Mantenimiento de una planta que congele alimentos a baja temperatura, por supuesto acompañado de los manuales del fabricante y mejoras al sistema.
4. Conocer el mantenimiento de túneles de congelado, ya que en la actualidad se cuenta con poca literatura y la que existe es propia de las marcas de los fabricantes.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, introduce una forma de poder mejorar el mantenimiento de un túnel de congelado en una planta de proceso de alimentos, regularmente perecedero.

Primeramente se analizaran los sistemas de mantenimiento por amoniaco, teniendo en cuenta la seguridad que este implica por lo altamente tóxico que resulta al contacto humano, en seguida se presenta el sistema de refrigeración por compresión múltiple, que se utiliza en estos sistemas, habiendo variaciones en muchos sistemas pero el desarrollo está orientado en un sistema estándar que puede tener ampliaciones o variaciones, de acuerdo al uso.

Luego de esto se describirá cada uno de los componentes tanto de la cámara de congelación como de los componentes y dispositivos que tiene que ver en el funcionamiento, dando lo mas especifico para su entendimiento. En todos los capítulos hay figuras que ayudarán al mejor entendimiento.

Y en el último capítulo, se trata específicamente el mantenimiento preventivo de las partes más importantes del túnel de congelado tanto en su sistema de funcionamiento como en su estructura. Luego se ve una calendarización de las actividades del mantenimiento que están basados en condiciones normales de trabajo. Todo programa de mantenimiento debe acomodarse a las necesidades de la planta en su entorno de trabajo.

1. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO

Los sistemas de refrigeración por amoniaco son ahorrativos pero necesitan un área grande, mayor que lo normal para su instalación, así como cuidados especiales en el manejo de todo el equipo, por la seguridad en el manejo del amoniaco. Los sistemas de refrigeración usando amoniaco como refrigerante especialmente en este caso del túnel de congelado busca bajar a temperaturas de - 40 °C idealmente, para controlar la acción bacteriana y de las enzimas. Los productos alimenticios a congelar tienen un contenido de agua entre el 50% y 95%, cuando se congela agua de un producto siempre se libera una gran cantidad de energía térmica, aproximadamente de 144 BTU/lb que tiene que ser absorbida en el evaporador cuando el refrigerante cambia de estado líquido a gaseoso.

1.1. El amoniaco y sus propiedades

El amoniaco es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo a la fórmula NH_3 . El amoniaco es un gas incoloro de olor muy penetrante. Ocurre naturalmente y es también manufacturado, se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente.

El amoniaco está compuesto por hidrógeno y nitrógeno los cuales se presentan en las siguientes proporciones o más bien la relación en peso se basa en la proporción de 40 partes de nitrógeno por 3 partes de hidrógeno. Esto se puede traducir en 82% de nitrógeno y 18% de hidrógeno.

La utilización del amoníaco como refrigerante se da por las características físicas y químicas, entre las cuales se distingue por una buena capacidad de absorber calor, dentro de la gran variedad de productos químicos que son utilizados como refrigerantes, entre los cuales se pueden mencionar: anhídrido sulfuroso, anhídrido carbónico y freones, son estos los más conocidos y cada uno de ellos ha sido retirado durante el transcurso del tiempo por varias razones, que van desde el costo de las instalaciones para estos, como por el daño que producen al medio ambiente, particularmente a la capa de ozono.

A pesar que el amoníaco para su utilización requiere de equipos bastante costosos (costo de construcción y mantenimiento), pero al tener una larga vida operacional sin perder sus características como refrigerante, lo hace una opción válida para este fin, sin ser el más adecuado tal vez, pues tiene una limitación en su utilización en lo que se refiere a su capacidad de refrigeración, razón por la que su uso no está permitido para crear ambientes o áreas de *confort* en recintos públicos o para uso habitacional. Su capacidad de absorción de calor es utilizada tanto para la mantención y conservación de productos alimenticios, fabricación de hielo y también es usado en otros procesos industriales.

Las características químicas más importantes que se pueden observar de este producto son: el amoníaco es una base fuerte y estable a temperaturas normales. El cual se disocia en N_2 y H_3 entre los 450 °C y 500 °C, aunque esta descomposición puede comenzar a los 350 °C en presencia de metales que actúan como catalizador, tales como el hierro, níquel zinc y otros. El amoníaco se quema en contacto con llamas descomponiéndose en nitrógeno y agua. Reacciona violentamente con los ácidos y con agentes oxidantes fuertes. Con los peróxidos y los que contienen halógeno tienen lugar reacciones violentas y explosivas.

1.1.1. Manipulación del amoniaco

Para manejar el amoniaco debe tenerse cuidados especiales, es delicado de manejar y debe de tenerse cuidado, con el personal de mantenimiento que lo utiliza y se debe tener en cuenta el equipo de protección personal, con que los operarios deben de contar, se debe de considerar:

- En operación:
 - El personal del almacenamiento dispondrá de:
 - Guantes de goma o de similar resistencia al amoniaco anhídrido.
 - Gafas de seguridad con ajuste a la cara.
 - Equipos de protección respiratoria.
 - Durante trabajos de conexión o desconexión de tuberías y mangueras de carga y descarga, y siempre que exista riesgo de contacto con amoniaco anhídrido líquido o gaseoso, el personal del almacenamiento llevará puesto:
 - Guantes de goma o de similar resistencia al amoniaco anhídrido.
 - Traje o mandil impermeable de plástico o similar.
 - Botas resistentes al amoniaco anhídrido.
 - Equipo respiratorio con adaptador facial que cubra toda la cara, de tipo autónomo o de cartucho.

- En emergencia, para entrar en atmósfera concentrada de amoniaco anhídrido se dispondrá, en lugares cercanos y accesibles durante la emergencia, de:
 - Trajes herméticos
 - Equipos respiratorios autónomos
 - Cuerdas salvavidas
 - Cinturones de seguridad

El personal encargado del almacenamiento, en su plan de formación, recibirá instrucciones específicas del titular del almacenamiento sobre:

- Las propiedades del amoniaco anhídrido y su comportamiento en estado líquido y gaseoso.
- La función y uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
- Las consecuencias de un incorrecto funcionamiento o uso de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
- El peligro que puede derivarse de un derrame o fuga de amoniaco anhídrido en estado líquido o gaseoso.
- Las acciones que deben efectuar en caso de derrame o fuga de amoniaco anhídrido en estado líquido o gaseoso.

Cada lugar de almacenamiento tendrá un plan de revisiones propias para comprobar la disponibilidad y buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad y equipo de protección personal.

El plan comprenderá la revisión periódica de:

- Válvulas de seguridad
- Válvulas de cierre
- Indicadores y alarmas
- Aislamiento
- Tomas de tierra
- Antorchas
- Red de agua e hidrantes
- Protección contra incendios
- Duchas y lavaojos
- Equipo de protección personal

Cada lugar de almacenamiento tendrá su plan de emergencia. El plan considerará las emergencias que puedan producirse, la forma de controlarlas por el personal del almacenamiento y la posible contratación de servicios externos. El personal del almacenamiento realizará periódicamente ejercicios prácticos de emergencia.

1.1.2. Beneficio al medio ambiente

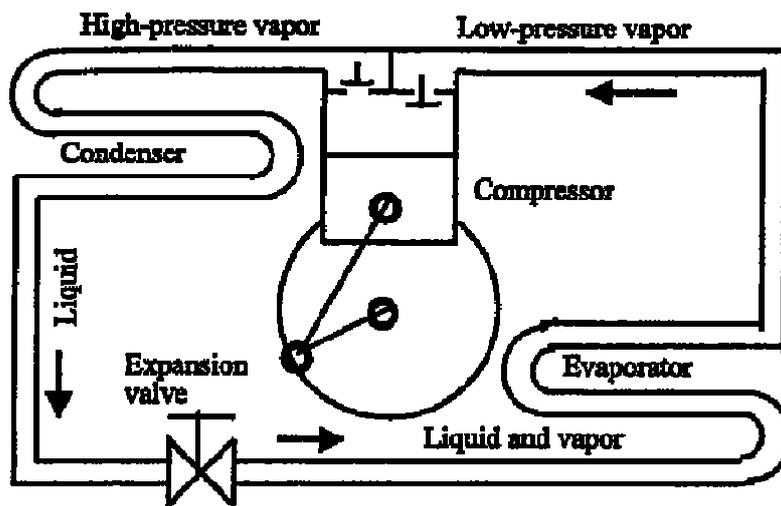
El amoníaco es fácilmente biodegradable las plantas lo absorben con mucha facilidad eliminándolo del medio, de hecho es un nutriente muy importante para su desarrollo. Aunque concentraciones muy altas en el agua, como todo nutriente, puede causar graves daños en un río o estanque, ya que el amoníaco interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina en un ser vivo. El amoníaco ocurre naturalmente y es también manufacturado. Es una fuente importante de nitrógeno que necesitan las plantas y los animales.

Los estudios en animales demuestran efectos similares a los observados en seres humanos. No se sabe si el amoniaco afecta la reproducción en seres humano con mucha certeza.

1.2. Descripción del ciclo de refrigeración por amoniaco

La figura que se observa a continuación, muestra ciclo de refrigeración por compresión usando amoniaco como refrigerante, (ver figura 1) consta de un evaporador, en el que se evapora el refrigerante extrayendo calorías y produciendo frío; un sistema de compresión para transportar el vapor a baja presión del evaporador al condensador a alta presión; y el condensador en el que condensa el refrigerante disipando el calor generalmente mediante torres de refrigeración o condensadores enfriados por agua y ventilación forzada.

Figura 1. Ciclo de refrigeración por compresión de amoniaco



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 23.

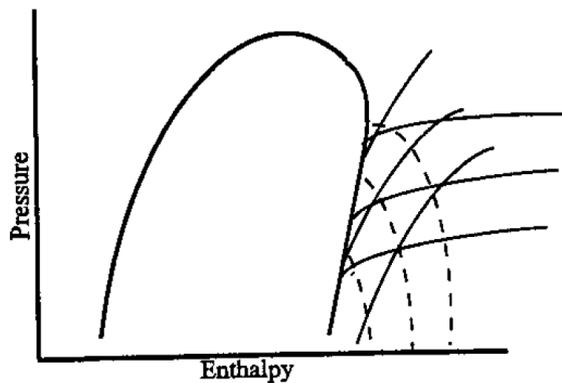
Una variante interesante del uso de amoniaco en refrigeración es la refrigeración por absorción. Esta precisa de un fluido refrigerante y un fluido absorbente. Los pares de fluidos refrigerante/absorbente más usados son el par agua/bromuro de litio y el par amoniaco/agua. En las plantas que usan el primer par, el refrigerante es el agua por lo que estas plantas se usan para aplicaciones a temperaturas por encima de 0 °C, utilizándose principalmente para la climatización.

1.3. Análisis termodinámico del ciclo de refrigeración por amoniaco

El diagrama presión-entalpía: es una invaluable herramienta de valor para análisis de los sistemas de refrigeración. Este diagrama proporciona la información para determinar la magnitud de las diversas propiedades y también es útil para la visualización en los procesos que están teniendo lugar en el sistema de refrigeración. Si bien hay cierta duplicidad de la información proporcionada por las tablas de saturación y el diagrama de presión-entalpía, algunos datos se encuentran en una fuente y no en la otra.

Otra indicación podría haber sido elegir una tabla en la cual se presentan las propiedades del refrigerante. ¿Por qué se eligieron presión y entalpía para las coordenadas? no se sabe a ciencia cierta, pero la presión es un valor medido fácilmente en un sistema de refrigeración y la entalpía es una variable clave en el análisis de la eficacia energética de un sistema de refrigeración. El diagrama de presión-entalpía es particularmente valioso para la búsqueda de propiedades en la región de vapor sobrecalentado. La forma general del diagrama de presión-entalpía se muestra en la figura 2.

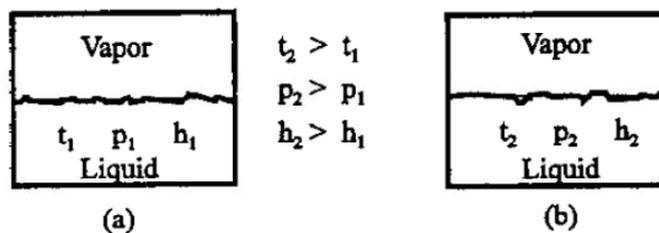
Figura 2. Diagrama presión-entalpía



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 32.

Líquido saturado y líneas de vapor: las principales regiones en el diagrama de presión-entalpía se definen por las líneas de líquido saturado y vapor saturado. Considerando en primer lugar la línea de líquido saturado, la orientación de esta línea se puede predecir, dibujando un recipiente que contiene líquido y vapor como en la figura 3.

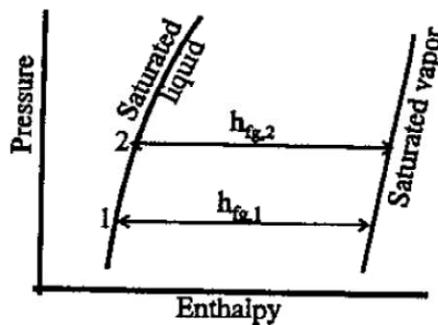
Figura 3. Un tanque con líquido saturado en: (a) a baja temperatura, presión y entalpía, y en (b) en alta temperatura, presión y entalpía.



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 32.

El refrigerante en la figura 3 (a) en el estado 1 es saturado porque tanto líquido y vapor están presentes. Si este líquido se calienta, la temperatura se eleva, y la presión se eleva demasiado. La conversión de un estado 1 es el estado 2 es además, uno donde el contenido de calor o entalpía aumenta. El único propósito de mostrar el proceso es para ilustrar que en un diagrama de presión-entalpía, tal como en la figura 4, la línea representa la línea de líquido saturado se mueve hacia arriba a la derecha.

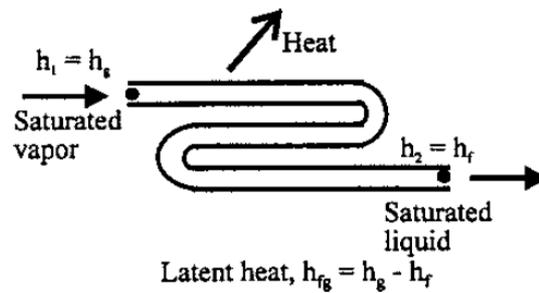
Figura 4. **Líneas de líquido saturado y vapor saturado en el diagrama presión-entalpía**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 33.

El siguiente paso en la construcción del diagrama de presión-entalpía es para mostrar la línea de vapor saturado, que también aparece en la figura 4. La figura 5, presenta una conversión de vapor saturado a líquido saturado en el que el cambio de entalpía se llama el calor latente (H_{fg}). Para cada una de las temperaturas en la figura 4, no es un valor único de (H_{fg}) que permite localizar el punto de la línea de vapor saturado opuesto al punto correspondiente en la línea de líquido saturado.

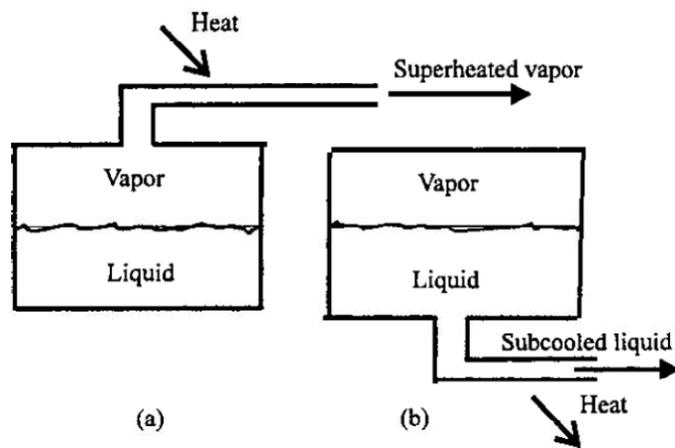
Figura 5. **Calor latente en la conversión de vapor saturado a líquido saturado**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 30.

La descripción completa del diagrama de presión-entalpía se muestra en la figura 7, que define los diversos estados de la existencia del refrigerante: líquido subenfriado, la mezcla de líquido / vapor, y el vapor sobrecalentado. La región a la izquierda de las líneas de líquido saturado es líquido subenfriado, el cual está formado en el proceso de la figura 6 (b). La región a la izquierda de las líneas de líquido saturado representa una mezcla de líneas de vapor de líquido saturado y representan una mezcla de líquido y vapor. Cerca de la línea de líquido saturado la fracción de líquido en la mezcla es alta y cerca de la línea de vapor saturado la fracción de vapor es alta. A la derecha de la línea de vapor saturado se vapor sobrecalentado, que se genera en el proceso ilustrado en la figura 6(a).

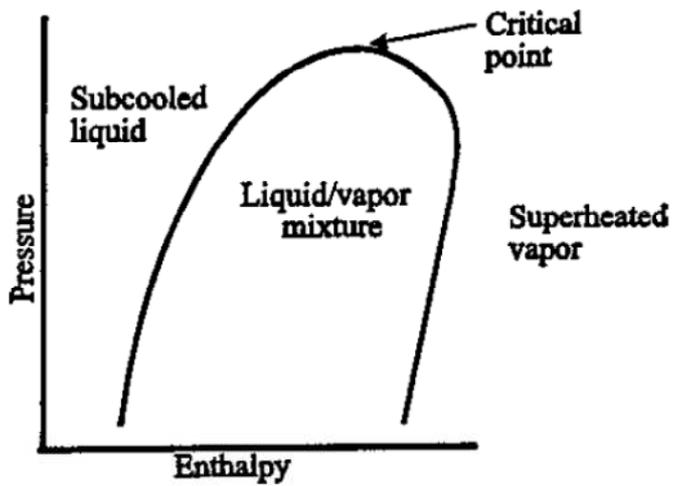
Figura 6. (a) Vapor sobrecalentado formado por la adición de calor al vapor saturado a presión constante y (b) Líquido subenfriado, formado por calor removido de líquido saturado a presión constante



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 31.

Una condición especial es el punto en la parte superior de las curvas de saturación, llamado punto crítico. En este punto, líquido y vapor son indistinguibles. Las magnitudes de la temperatura y presión crítica tienen importancia práctica, ya que los ciclos de refrigeración que operan cerca del punto crítico, no son muy eficientes.

Figura 7. Descripción completa del diagrama presión-entalpía

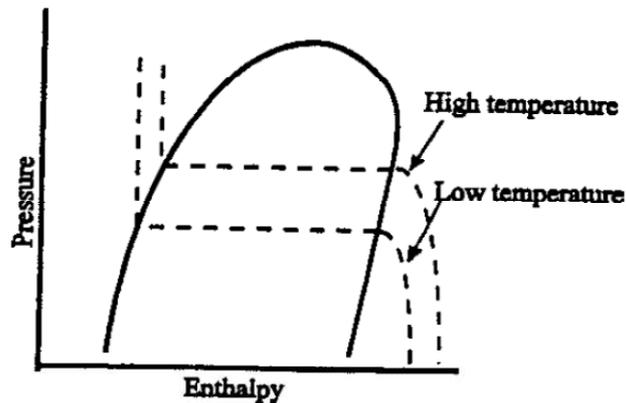


Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 34.

Si la posición de un punto se puede localizar en el diagrama, el valor de la presión se puede determinar moviendo verticalmente a la escala de entalpía.

Líneas de temperatura constante: varias líneas de diferentes temperaturas constantes se muestran en el diagrama de presión-entalpía de la figura 8.

Figura 8. **Líneas de temperatura constantes en el diagrama presión-entalpía**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 35.

Las líneas se muestran en las tres regiones: líquido subenfriado, mezcla de líquido / vapor, y el vapor sobrecalentado. La región de mezcla de las líneas son horizontales, porque hay condiciones de saturación existentes ahí. Por lo tanto, una presión dada, que se describe por una línea horizontal, establece una cierta temperatura. En la región de líquido subenfriado las líneas de temperatura constante son verticales. Esta orientación puede explicarse por reconocer que el líquido es esencialmente incompresible.

Así, si la presión de líquido a una temperatura dada en un cilindro se incrementa mediante la aplicación de una fuerza a través de un pistón, el pistón no se mueve. Dado que con el fin de ejercer el trabajo en el líquido de la fuerza, debe moverse a través de la distancia, pero el pistón permanece inmóvil.

Por lo tanto, el aumento de los cambios en la presión, ni la temperatura, ni la entalpía, y la línea de temperatura constante es vertical. El hecho de que las líneas de temperatura constante son verticales en la región de líquido subenfriado tiene algunas consecuencias que se ilustran en el siguiente ejemplo.

Ejemplo: el amoníaco está a una temperatura de 15 °C (59 °F) y a una presión de 855 kPa (124 psi).

- ¿Cuál es el estado del refrigerante?
- ¿Cuál es la entalpía?
 - A una presión de 855 kPa (124 psi). La temperatura de saturación es de 20 °C (68 °F), donde la temperatura predominante de 15 °C (59 °F) es inferior a la temperatura de saturación, por lo tanto el líquido es subenfriado.
 - Las tablas de saturación pueden ser usadas para buscar la entalpía de líquido y la temperatura existente o la presión existente. La temperatura determina la entalpía del líquido subenfriado que corresponde a 15 °C (59 °F) y la entalpía da como resultado 279.2 kJ/kg (107.7 Btu/lb).

Si bien la figura 8 puede sugerir que las líneas de temperatura constante aparecerán en todas las regiones del diagrama de presión-entalpía, no hay necesidad de mostrar las líneas de la región líquido subenfriado, porque se sabe que las líneas que corresponden son verticales.

Del mismo modo, las líneas de la región mezcla son horizontales, por lo que no hay necesidad de mostrarlas. Las líneas son útiles en la región de sobrecalentamiento, y es aquí que se muestran en los diagramas de presión-entalpía de trabajo.

Ejemplo 2. ¿Cuál es la entalpía del amoníaco existente a una temperatura de 30 °C (86 ° F) y una presión de 500 kPa (72,5 psia)?

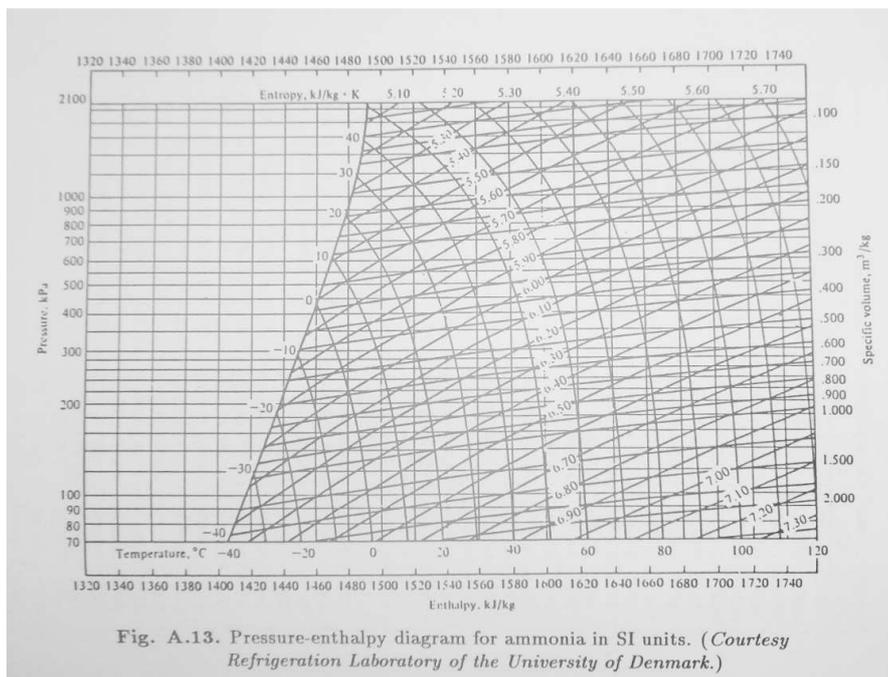
Solución: a una presión de 500 kPa (72,5 psia) la temperatura de saturación es 4,2 °C (39,6 °F). La temperatura actual es más alta que la temperatura saturación, por lo que el refrigerante es sobrecalentado. Las tablas de saturación no se aplican, pero la condición se puede localizar en la región de sobrecalentamiento del diagrama de presión-entalpía. El punto se encuentra en la intersección de la línea horizontal de presión a 500 kPa (72,5 psia) y la línea de temperatura constante de 30 °C (86 °F). Desde este punto de desplazamiento hacia arriba o hacia abajo a la escala de entalpía horizontal para leer 1.532 kJ / kg (650 Btu / lb).

La entropía es una propiedad que en el estudio de la termodinámica proporciona información útil sobre tareas tales como la evaluación de la eficacia de los procesos. En la observación de cualquiera de las tablas de saturación de los refrigerantes, existen tablas que muestran los valores de entropía dada para líquido saturado y vapor saturado. Mientras que es necesario únicamente para un estudio a fondo de la termodinámica el concepto de la entropía, se limitará a dos aplicaciones:

- La compresión de vapor de refrigerante, idealmente está representado por las líneas de entropía constante.

- El uso de la entropía para ayudar a describir un ciclo de refrigeración ideal, ya que se aplicará próximamente.

Figura 9. Diagrama presión-entalpía

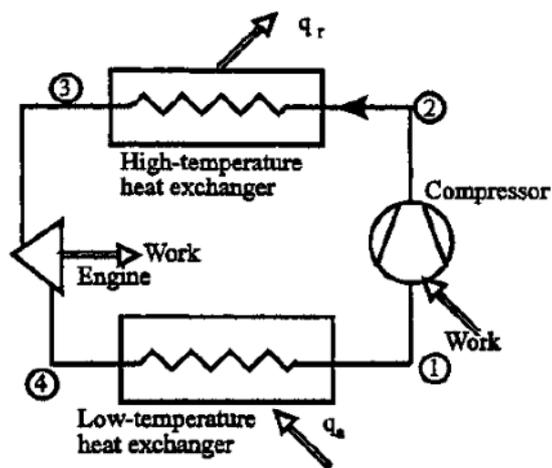


Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 756.

El ciclo de refrigeración ideal. El ciclo de Carnot, dará a partir de ahora el estudio de las propiedades refrigerantes para el examen de los ciclos. Un método para lograr la refrigeración continua es pasar una sustancia de trabajo, llamado un refrigerante, a través de una serie de procesos, se puede extraer el calor a baja temperatura. Uno de los ciclos es el de refrigeración de Carnot, el cual es ideal y el más eficaz entre los niveles de temperatura dados. ¿Por qué considerar un ciclo que es inalcanzable? Hay varias razones.

Una de ellas es que el ciclo de Carnot, ofrece un medio conveniente de mostrar la influencia de las temperaturas de funcionamiento. Otra es que el ciclo de Carnot da una rápida búsqueda en la eficacia y la relación de las tasas de transferencia de calor de un sistema real. Si un cálculo durante un diseño de una planta muestra una eficacia superior a la del ciclo de Carnot, el cálculo será sospechoso. Los componentes del ciclo de refrigeración de Carnot son un compresor, dos intercambiadores de calor, y un motor dispuestos como muestra la figura 10.

Figura 10. Ciclo de refrigeración de Carnot



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 40.

Por otra parte, los procesos deben llevarse a cabo de maneras específicas:

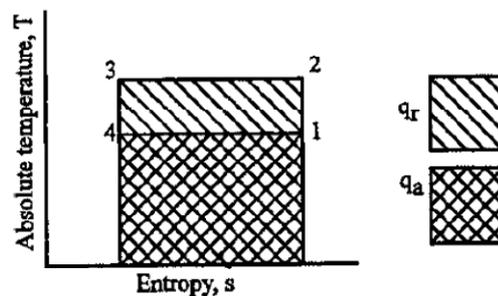
- 1-2 de compresión sin fricción y sin transferencia de calor.

- 2-3 rechazo de calor, mientras que el refrigerante mantiene una temperatura constante.
- 3-4 de expansión en el motor sin fricción y sin transferencia de temperatura.
- 4-1 La absorción de calor mientras que el refrigerante mantiene una temperatura constante.

Porque los procesos 1-2 y 3-4 son sin fricción, son termodinámicamente reversibles. Por otra parte, porque no hay calor, se transfiere a los alrededores, entonces los procesos son adiabáticos.

Procesos adiabáticos reversibles tienen lugar a entropía constante, por lo que el ciclo de Carnot se compone de dos procesos de temperatura constante a entropía constante como se muestra en la figura 11. En las coordenadas de la temperatura absoluta y la entropía.

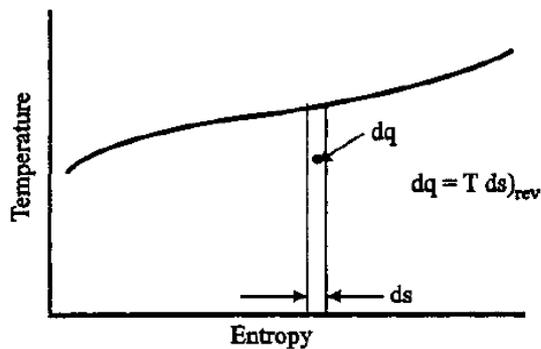
Figura 11. **Ciclo de Carnot se muestra en coordenadas temperatura-entropía**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 41.

Como muestra la figura 12, el área bajo una línea en el diagrama Ts que representa un proceso reversible indica la cantidad de calor transferido. Por lo tanto, el área en la figura 3. Bajo el proceso de 2-3 representan la cantidad de calor rechazado en ese proceso, y el área bajo la línea 4-1 indica la cantidad de calor absorbido en el proceso de refrigeración.

Figura 12. **El área bajo una curva de un proceso de transferencia de calor**

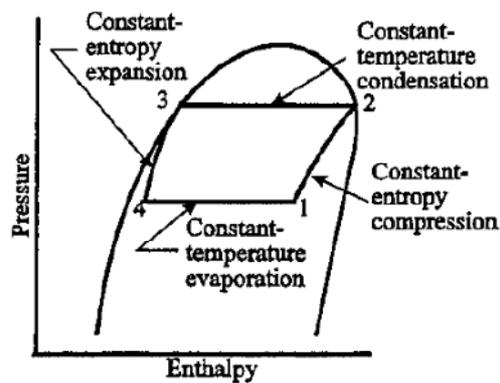


Fuente: STOECKER, Wilbert, Industrial refrigeration Handbook. p. 38.

Lograr el ciclo de Carnot con un refrigerante real: si el ciclo de Carnot de la manera más eficiente posible da dos niveles de temperatura, el objetivo debe ser la reproducción en la práctica. Se reconoce que las compresiones y expansiones sin fricción no son posibles, pero el objetivo de la transferencia de calor a temperatura constante es digno de persecución.

Tal proceso se puede lograr si un refrigerante real, se condensa o se evaporó a presión constante, durante el cual el estado se satura. Una unión de ciclo de Carnot dentro de las líneas de saturación del diagrama de p-H se muestra en la figura 13.

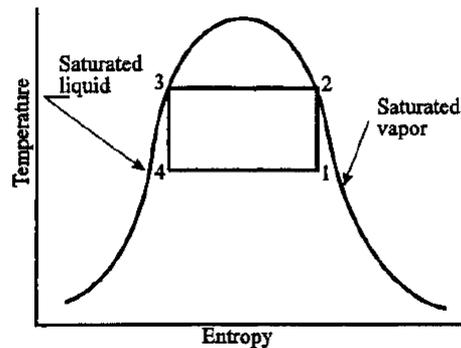
Figura 13. El ciclo de Carnot se muestra sobre el diagrama presión-entalpía



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 42.

Ejes alternativos en el cual el ciclo se puede mostrar, son las coordenadas de temperatura entropía en la figura 14, con el diagrama rectangular del ciclo de Carnot colocado dentro de la campana recoge la descripción del ciclo en el proceso de 4-1, donde el refrigerante se evapora a presión constante. La evaporación termina en el punto 1 con un poco de líquido aún mezclado con el vapor. El punto 1 se coloca de tal manera que, después de una compresión isoentrópica a la alta presión, la posición será el punto 2 en la línea de vapor saturado, o tal vez incluso dentro de la región de mezcla líquido-vapor. El siguiente proceso, 2-3, es una condensación de presión constante termina en líquido saturado, punto 3. La expansión isoentrópica en el motor lleva el proceso en la región de mezcla de nuevo en el punto 4.

Figura 14. El ciclo de Carnot que utiliza un refrigerante verdadero confinado dentro del líquido saturado y vapor saturado



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 42.

La eficiencia de un ciclo de refrigeración es el coeficiente de rendimiento: la eficiencia de los ciclos de generación de energía se define como la relación de la producción de energía a la entrada de energía. Esta definición funciona bien para los ciclos de energía, pero sería ambigua para un ciclo de refrigeración. El empuje de la eficiencia de un ciclo de potencia se puede adaptar para el ciclo de refrigeración, mediante la definición de la eficiencia como la cantidad deseada dividida por lo que se debe pagar para lograr la cantidad deseada. La cantidad deseada es la refrigeración y el gasto es el trabajo en red. Para evitar la confusión que este término no se llama eficiencia, sino que llama el coeficiente de rendimiento, y se abrevia COP.

Coeficiente de rendimiento = COP = Cantidad deseada / Gastos.

Para el ciclo de Carnot, ya partir de la ecuación, usando q_r q_a , la COP es:

$$\begin{aligned} \text{COP carnot} &= (q_a / (q_r - q_a)) \\ &= ((T_1 (S_2 - S_3)) / ((T_2 - T_1)(S_2 - S_3)) = T_1 / (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

2. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MÚLTIPLE

En el mundo globalizado hay una gran cantidad de procesos que implican el uso de la refrigeración a nivel industrial, optimizando los procesos y uno de ellos es la refrigeración por compresión. Hay dos tipos de sistemas que se pueden usar, uno es el de cascada y el otro es el de etapas múltiples. A continuación se verá cómo funciona el de etapas múltiples y los componentes del sistema.

2.1. Cómo funciona el sistema de refrigeración por compresión múltiple

En el ciclo de refrigeración de doble etapa, se requiere la presencia en la instalación dos compresores que marquen y hagan efectiva la función de la doble etapa. Este sistema tiene la ventaja de disminuir el sobrecalentamiento del refrigerante que se está utilizando dentro del sistema de enfriamiento. Al reducir este fenómeno en el proceso de descarga del compresor, la temperatura que ganó el fluido refrigerante en el proceso adiabático de compresión será menor, optimizando así en plenitud el proceso frigorífico.

Para la construcción de la instalación de refrigeración de doble etapa se requieren otros componentes en el cual son propios de este sistema. Uno de ellos es un estanque en el cual se conecta la succión y la descarga de ambos compresores de tal forma, que se mantenga el circuito cerrado de circulación de refrigerante.

De este modo, el compresor proveniente desde la línea de succión del evaporador del sistema descarga el fluido de refrigerante saturado hacia el estanque de tal modo que el otro compresor del sistema descarga el líquido a alta presión dentro del estanque.

Al producirse esta combinación de diferentes presiones dentro del este estanque se produce una mejora en el coeficiente de compresión del sistema ya que los volúmenes que son succionados desde el estanque hacia el compresor son mucho mayores y así generando mucho mas valores máxicos de refrigerante en camino hacia el condensador.

2.1.1. Diagrama de funcionamiento

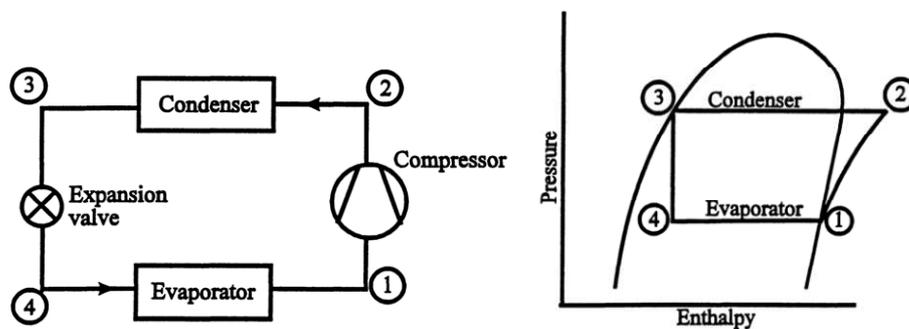
Muchas plantas que utilizan refrigeración industrial operan con una gran diferencia entre las temperaturas de evaporación y condensación, tal vez 50 a 80 °C. Esta gran elevación de temperatura impone ambos problemas y oportunidades para mejorar el sistema. Una oportunidad es utilizar la compresión en varias etapas, que a pesar de aumentar el costo inicial sobre la compresión de una sola etapa, también alivia algunos problemas y se puede ahorrar en la energía total del compresor.

En varias etapas de compresión, el refrigerante fluye básicamente en serie a través de dos o más compresores con procesos especiales realizados por el refrigerante a lo largo de las etapas, concentrándose en la compresión de dos etapas. El uso de la compresión de dos etapas abre la posibilidad de utilizar dos procesos claves, que caracterizan a varias etapas de eliminación de gas de vaporización, uno con el sistema de eliminación de gas de vaporización instantánea y otro por el subenfriamiento de líquido. Se revisarán individualmente, pero en los sistemas reales existen combinados.

El número de evaporadores y el rango de temperatura de los evaporadores en el sistema de refrigeración, dan otras variaciones de la configuración de los sistemas de múltiples etapas.

La pérdida en el proceso de la válvula de expansión, en primer lugar se centra en el proceso que se produce en la válvula de expansión, donde entra líquido y además una mezcla de líquido y vapor. La línea vertical en el diagrama de presión-entalpía, tales como proceso de 3-4 en el ciclo de compresión de vapor estándar de la figura 15, indica un aumento progresivo en la fracción de vapor. Este vapor no es capaz de absorber el calor del evaporador, pero requiere la potencia del compresor para devolverlo a la presión del condensador.

Figura 15. **Ciclo estándar de la compresión de un refrigerante y el diagrama presión-entalpía**



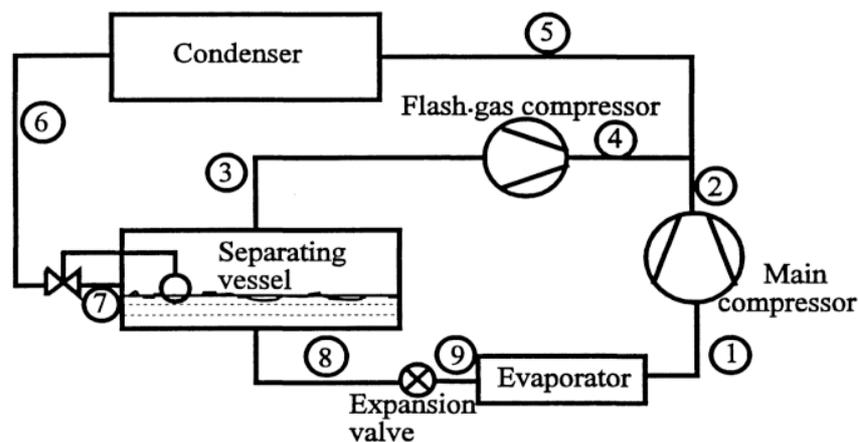
Fuente: STOECKER Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 55.

El propósito de la comparación de las dos técnicas o formas del sistema múltiples etapa, que se verán a continuación para llevar a cabo la expansión eficiente, es centrarse en el gas de evaporación que se desarrolla progresivamente a medida que el refrigerante fluye.

El vapor en el punto 3 viene a ser poco eficiente para la refrigeración, además la expansión continua a la baja presión con una mezcla de vapor, sólo implicaría el gasto de energía para volver a comprimir el refrigerante. La conclusión es que el vapor en el punto 3 se debe eliminar comprimiéndolo de nuevo a la presión de condensación sin disminuir el líquido aun más el lado de baja presión. Este objetivo define la función de eliminación del gas de vaporización instantánea o el subenfriamiento del líquido.

La extracción del gas de vaporización instantánea (*flash-gas*) con el equipo adecuado para expandir parcialmente el refrigerante y luego retirar el gas de evaporación se muestra esquemáticamente en la figura 16.

Figura 16. **Sistema de compresión de dos etapas con la eliminación de gas de vaporización instantánea**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 66.

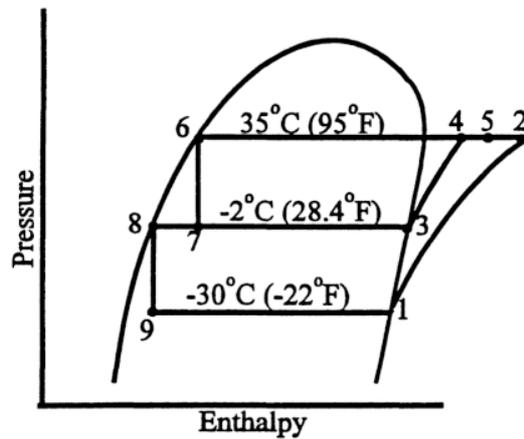
El refrigerante líquido desde el condensador a alta presión pasa a través de una válvula de control de nivel.

El líquido al ser más denso que el vapor, se separa y fluye a la válvula de expansión del evaporador. Un compresor de gas de vaporización instantánea lleva afuera el vapor del tanque de evaporación instantánea o tanque de separación y lo comprime a la presión de condensación donde se une con el vapor del compresor principal. Es importante darse cuenta que la válvula de control de nivel en la figura 16, realiza la función de una válvula de expansión. En el control del nivel de líquido en el recipiente, la válvula se abre más si el nivel de líquido comienza a caer hacia el evaporador.

Del mismo modo, si el nivel de líquido comienza a elevarse, la válvula se cierra un poco más. La presión en el tanque de separación es controlada por la capacidad de bombeo del compresor de gas de evaporación, en relación con la velocidad de flujo de líquido que pasa hacia el evaporador. Para un determinado caudal de líquido que sale del tanque de separación, una capacidad de bombeo baja del compresor de gas de evaporación, da como resultado una presión intermedia alta.

Esto es cierto, porque en el sistema en estado estacionario, se observa que la velocidad de flujo del vapor que se forma en el tanque de separación debe ser igual a la velocidad de eliminación por el compresor. Si esta velocidad de bombeo es baja, el proceso se ajusta mediante la generación de una sola velocidad de flujo de vapor del lado de baja, que se asocia con una pequeña caída en la presión a través de la válvula de entrada al tanque. El diagrama de presión-entalpía que muestra los puntos de estado del refrigerante en el sistema de la figura 16, se muestra en la figura 17.

Figura 17. Diagrama presión entalpía para el proceso con eliminación de gas de vaporización instantánea

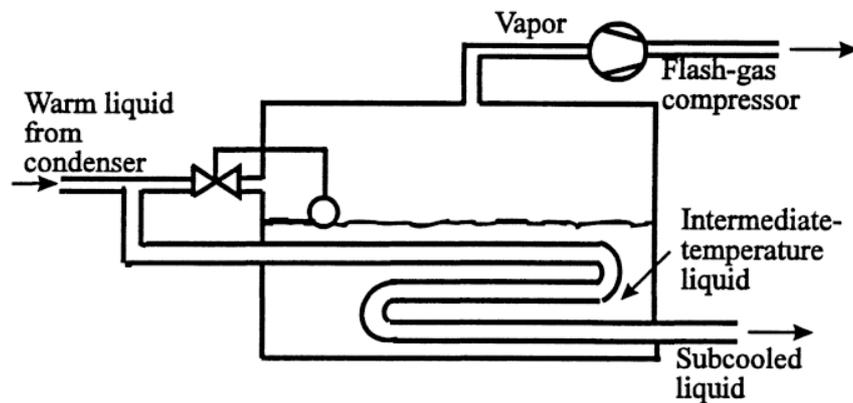


Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 67.

La magnitud de ahorro de remoción del gas de vaporización depende de las propiedades termodinámicas del refrigerante y la magnitud de la elevación de la temperatura del evaporador despejada por el condensador. El porcentaje de ahorro aumenta a medida que baja la temperatura de evaporación, lo que apoya el argumento de que la eliminación gas de vaporización es más eficaz a bajas temperaturas de evaporación.

Subenfriamiento del líquido: un método de subenfriamiento de líquido, se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Un subenfriador líquido usando un serpentín sumergido en el líquido de un recipiente de presión intermedia**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 69.

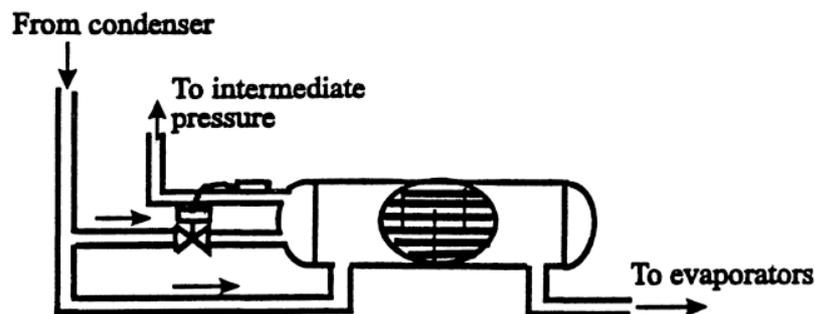
Se sumerge un serpentín de tubos en el líquido del tanque de separación a una presión intermedia. El líquido caliente procedente del condensador entra en el serpentín intercambiador de calor y transfiere calor al líquido de menor temperatura. El subenfriamiento del líquido es una forma de remoción de gas de vaporización, porque algo de líquido en el recipiente se vaporiza y se extrae a presión intermedia. Comparando el gas de vaporización instantáneo, con el del subenfriamiento de líquido. El subenfriador de líquido tiene la ventaja de mantener el líquido a una presión alta. Por lo tanto, el líquido subenfriado puede viajar largas distancias y soportar más pérdidas de carga y sin tanta vaporización de refrigerante.

El líquido que sale de un tanque de expansión directa se satura y se muestra en el vapor cuando la presión cae debido a la fricción o un aumento en

la elevación del nivel. También el líquido enfriado absorberá el calor del ambiente caliente, que también puede causar vaporización.

La desventaja del subenfriador en comparación con el tanque de expansión directa, es que el líquido no se puede enfriar en todo el camino y bajar la temperatura de saturación del líquido, debido a que el intercambiador de calor debe funcionar con una diferencia de temperatura entre el líquido subenfriado dejando el líquido a una temperatura intermedia.

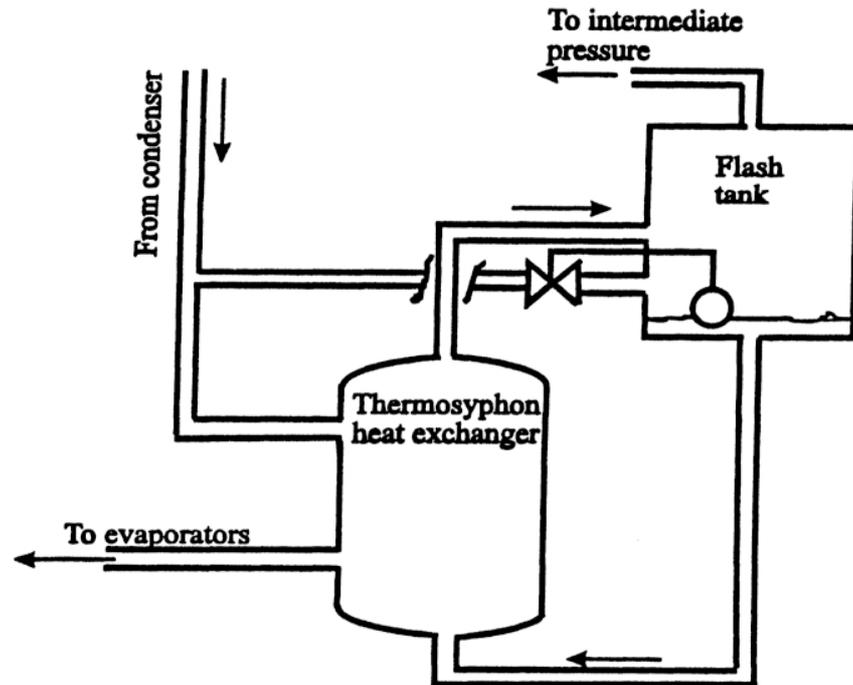
Figura 19. **Subenfriamiento del líquido con un intercambiador de calor de carcasa y tubo externo con punto de ebullición de refrigerante controlada por una válvula de expansión**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 70.

En la figura 19 se puede ver otro tipo de intercambiadores de calor para el subenfriamiento un líquido. En la figura se representa un intercambiador de calor de carcasa y un tubo en el que el líquido en ebullición se regula mediante una válvula de expansión termostática (sobrecalentamiento controlado). El intercambiador de calor en la figura 20 es del tipo termosifón, que está provisto de líquido desde el tanque de evaporación y este líquido se vaporiza parcialmente en los tubos verticales del intercambiador y circula por convección natural.

Figura 20. **Subenfriamiento del líquido con un intercambiador de calor externo del tipo termosifón**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 71.

2.1.2. Componentes y dispositivos del sistema

Como se revisó anteriormente los sistemas de múltiples etapas más conocidos son: el de vaporización instantánea y el de subenfriador, ambos usan componentes y dispositivos que permiten realizar la función adecuada o un tipo de acción. Todo esto coordinado para cumplir una función y acciones que lleven a la armonía de funcionamiento de un sistema. Esto se podría llamar automatización del sistema.

Estas funciones y acciones deben de estar delimitadas para cumplir con los parámetros o restricciones del sistema y así controlar en el caso de un sistema de refrigeración, presiones y temperaturas para obtener la mejor eficiencia del sistema y manejarlas al límite de las regulaciones y no sobre esforzar ningún componente para no incurrir en fallas. En esta descripción se puede mencionar:

- El compresor de tornillo
- Los evaporadores de aire forzado
- Los condensadores de evaporación
- Los sistemas de recirculación de líquido
- Las tuberías de refrigeración
- Los tanques de separación, bombas e intercambiadores de calor
- Los controles eléctricos y la instrumentación

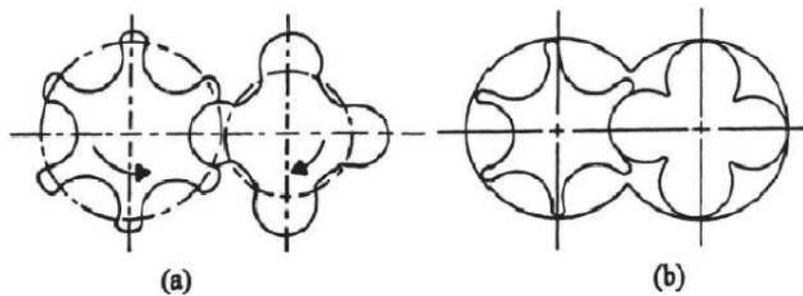
Cada uno de estos dispositivos están construidos con normas internacionales, para usar materiales adecuados debido a que se usa amoniaco como refrigerante y se manejan presiones altas y bajas y esto exponen los materiales a fragilidad o fatiga que debe ser fácilmente soportada por cada uno de estos.

En la sección anterior se vió como cada uno va colocado en los diagramas de refrigeración, según sea su uso y su disposición para hacer eficiente un sistema. La parte de montaje y mantenimiento tiene que ser calificada y saber del manejo del amoniaco y usar el equipo de seguridad adecuado.

2.2. Compresor de tornillo

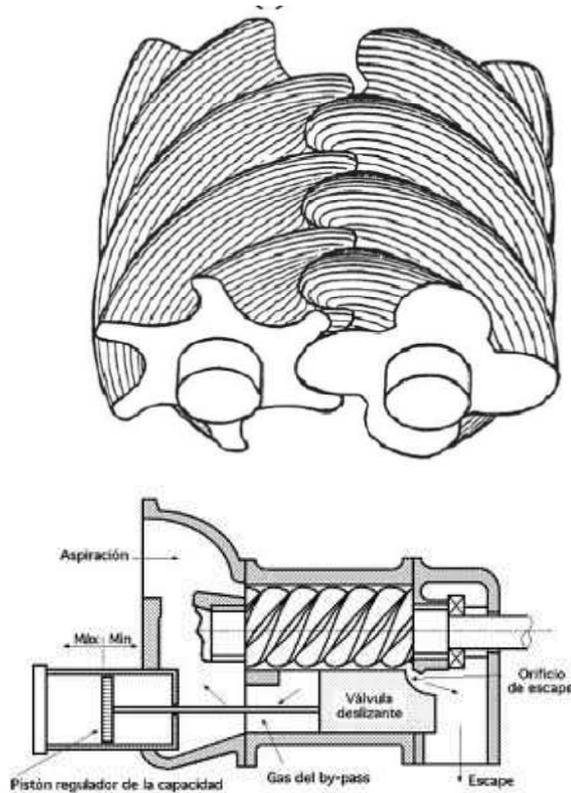
Componente fundamental en los sistemas de refrigeración industrial es el compresor de doble tornillo, ya ampliamente usado en la industria, usándolos en los sistemas tanto en baja presión como en alta presión, dependiendo la disposición y el uso como se vió en los sistemas sencillos o múltiple etapas. Una visualización de corte seccional de dos pares de elementos rotacionales, llamados rotores, del compresor de tornillo con dos perfiles diferentes es mostrada en la figura 20.

Figura 21. **Rotores del compresor de tornillo: (a) perfil simétrico (b) perfil asimétrico**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 127.

Figura 22. **Rotores del compresor de tornillo**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 127

El rotor macho tiene cuatro lóbulos y el rotor hembra que se muestra tiene seis hondonadas, y esta combinación de los números de lóbulo/hondonadas es la más común. Otra visualización de los rotors en tres dimensiones, se muestra en la figura 22. Algunos de los diámetros más usados en los rotors son 125, 160, 200, 250, y 320 milímetros. Los fabricantes ofrecen dos o tres largos de rotor por cada diámetro de rotor, a menudo las proporciones de longitud respecto al diámetro entran en un rango de 1.12 hasta 1.70 generalmente.

Los rotores tienen un revestimiento que se observa en la vista esquemática, como se muestra en la figura 23, que también indica algunos de los elementos principales del compresor.

Figura 23. **Vista en explosión de las principales partes del compresor de tornillo**



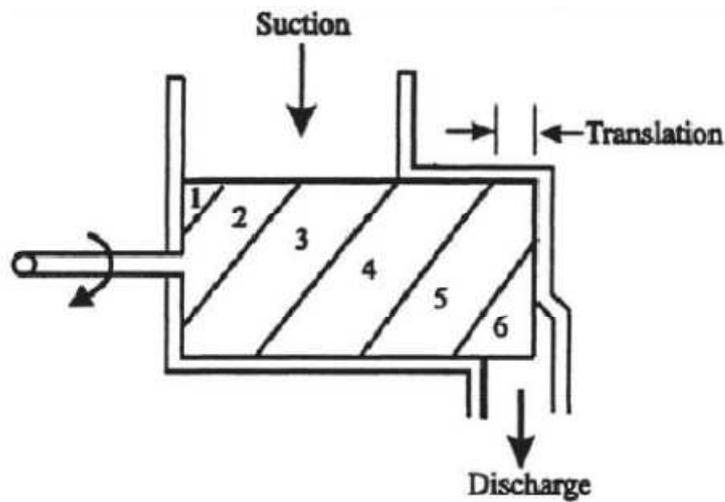
Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 128

Los distintos procesos experimentados por el vapor de paso a través del compresor son: (1) llenar las cavidades con el gas de succión (2) Sellar con gas entre los rotores y la carcasa. (3) Reducir el volumen de la cavidad para llevar a cabo la compresión, y (4) Destapar la descarga, abriendo para expulsar el gas comprimido a la línea de descarga. La dirección en la que se describen estos procesos se observa en una vista de los tornillos, en la figura 24, cuyos hilos se mueven a la derecha cuando los rotores giran.

El vapor succionado entra en la parte de arriba de los rotores, y cuando estos giran la cavidad aparece en 1. La cavidad en 2 se continúa llenando, la cavidad 3 está completamente llena. La cavidad en 4 ha atrapado el gas entre sus hilos y la carcasa, la cavidad 5 está en el proceso de compresión del volumen contra el fondo de la carcasa.

Cuando el rotor alcanza la parte baja, está en 6 y el amoniaco comprimido fluye en la línea hacia abajo. El proceso secuencial se puede ver en la figura 24.

Figura 24. **Visualización del proceso de succión, compresión y descarga de un compresor de tornillo**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 128

El intervalo que ocurre entre el lapso en que la cavidad es cerrada, hasta que la compresión comienza. Este proceso de traslación toma aproximadamente 30 grados de rotación del rotor.

2.3. Evaporador de aire forzado

El evaporador es un componente de la instalación donde se produce el intercambio térmico entre el refrigerante y el medio a enfriar, que en este caso es el aire que recircula en la cámara del túnel de refrigeración. Este es un tipo de evaporador seco, en el cual internamente se produce una mezcla de gas y líquido expandido o pulverizado. La cantidad de calor que absorbe el evaporador depende de la superficie, la diferencia de temperatura (entre el exterior y la temperatura de evaporación) y el coeficiente de transmisión de calor (K) propio del material que se emplea.

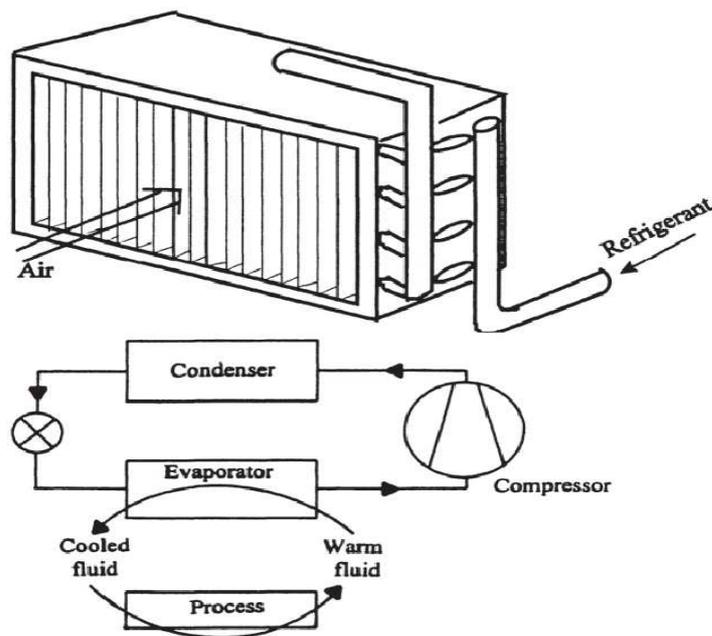
- S= Superficie (m²)
- Dt= Diferencia de temperatura
- K= Coeficiente de transmisión de calor (Kcal/m²/°C; W/m²/°C)
- Q= Cantidad de calor (W, Kcal)

La superficie es siempre constante, puede variar el Dt por la cantidad de ventiladores o la K por la cantidad de hielo en el evaporador, exceso de aceite en el refrigerante, etc. Cuando el líquido entra en el evaporador a través del elemento de expansión una parte se evapora (30%) para enfriarse a sí mismo, el resto va absorbiendo calor del exterior y va evaporándose a medida que atraviesa el evaporador.

La presión y la temperatura se mantienen constantes siempre que por el evaporador circule líquido, en el momento que se haya evaporado todo, si el refrigerante sigue robando calor del exterior se obtendrá gas recalentado o recalentamiento.

Lo ideal sería que el recalentamiento empezara en la llave de aspiración del compresor, de esta manera disminuye la temperatura de descarga del gas e incrementamos capacidad frigorífica, pero resulta complicado ya que se corre el riesgo de que llegue líquido al compresor. En la figura 25 se puede apreciar el evaporador y el flujo de aire en el proceso para realizar el enfriamiento.

Figura 25. **Evaporador y flujo del proceso de enfriamiento**



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 170.

Una vez el refrigerante sale del evaporador se aísla la tubería de aspiración para evitar más recalentamiento. La cantidad de calor que puede absorber el evaporador viene expresado en Kcal/h o W/h. Como ejemplo se puede decir que el aire al tocar el tubo del evaporador enfría el aire y lo pone a 5 °C, al pasar por el segundo tubo se enfría más y se pone a 0 °C. El segundo tubo roba menos calor ya que hay menos Dt. Si se pusiera una sola fila de tubos para conseguir la misma temperatura se necesitaría más espacio, pero se obtendría mejor rendimiento.

La presión en el evaporador no se mantiene constante a causa de las pérdidas de carga. Para evitar estas pérdidas de carga en evaporadores grandes se divide en secciones. Cada parte del evaporador ha de ser de igual longitud y van a parar a un colector. La humedad afecta negativamente en el rendimiento del evaporador, al enfriar el aire de 2 °C (70% de humedad relativa) a -30 °C la humedad pasa a ser del 100% y pasamos de 10 gr de agua por m³ de aire a 3 gr/m³. Los 7 gr/m³ restantes se quedan en el evaporador en forma de escarcha.

Al tocar el aire con el producto se absorbe calor al producto, como al aire le falta agua también se absorbe humedad del producto. La humedad relativa necesaria depende del producto que se tenga que almacenar para no deshidratar el producto. Para evitar la deshidratación del producto, se debe envasar o acortar el Dt. A mayor velocidad de aire mayor Dt se consigue y se enfría más rápido, para conservar alimentos sin envasar se necesita poco Dt para no deshidratarlo.

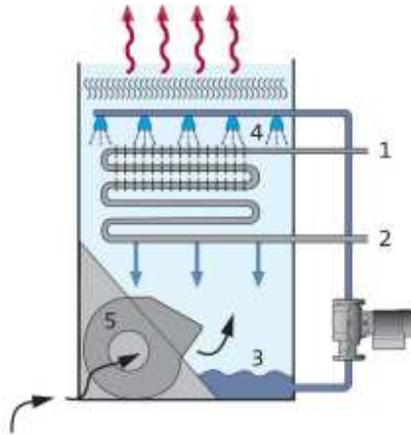
2.4. Condensador evaporativo

El condensador de evaporación es utilizado para eliminar calor al refrigerante por medio de agua saturada, generalmente se construyen de hierro negro y se les adhiere una capa de galvanizado industrial ya que están expuestos al medio ambiente.

Funciona de la siguiente manera: por el interior de los tubos circula el gas que ingresa sobrecalentado al colector que lo distribuye en dos ramales descendentes, hasta un colector inferior, donde prácticamente llegaría el líquido. Por el exterior circula agua a favor de corriente o sea ingresa por la parte superior y cae por gravedad entre los paneles hasta la pileta. El agua se impulsa por bombas centrifugas. En contracorriente al agua, empujado por la turbina lateral como muestra la figura 26.

Teóricamente el aire utilizado es más que nada para enfriar el agua que se utiliza para condensar el amoniaco (NH_3), y mantener constante la temperatura del agua en la pileta. El enfriamiento del agua se realiza por evaporación, al entrar en contacto con el aire y estando pulverizado en finas gotas, facilita el intercambio de calor entre el aire y el agua y la absorción del agua evaporada por parte del aire. El aire debe reunir ciertas condiciones para que el enfriamiento sea eficiente, ya lo principal es que esté lo más seco (bajo porcentaje de humedad) posible, ya que debe absorber el agua evaporada para que esta se enfríe. Es decir que la temperatura de bulbo húmedo (tbh) esté lo más alejada posible de la temperatura de bulbo seco (tbs) para que la humedad relativa ambiente sea baja.

Figura 26. **Vista del condensador por evaporación**



Fuente: Condensador. www.es.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/evaporative-condenser. Consulta: 10 de julio de 2013.

1. Entrada de refrigerante (caliente)
2. Salida de refrigerante frío
3. Agua fría
4. Rociadores de agua fría
5. Ventilador centrífugo

En estas condiciones absorbe parte de calor latente de vaporización del agua. Cuando las temperaturas de bulbo seco y húmedo se acercan, la humedad relativa aumenta. Si la temperatura de bulbo húmedo llega a la de rocío, el aire está totalmente saturado, es decir la humedad relativa es del 100%. En este caso el aire no puede absorber humedad y por lo tanto enfría el agua, si está más frío que ésta, solo por absorción de calor sensible, el cual es muy poco comparado con la capacidad de absorción por calor latente.

Cuanto más frío esté el aire tendrá mayor capacidad de absorber calor sensible. Con estas consideraciones, se puede decir que el aire absorbe mayor cantidad de agua cuando tiene mayor temperatura y está seco. Se puede decir entonces que aun a temperaturas altas, si el aire está seco, el enfriamiento es posible que se haga eficientemente. Cuando el aire esté caliente y húmedo, es imposible enfriar el agua por debajo de la temperatura del aire (cuesta acercarse incluso a la temperatura), esto se puede comprobar en horas de la noche cuando la temperatura es alta y hay rocío.

2.5. Sistema de recirculación de líquido

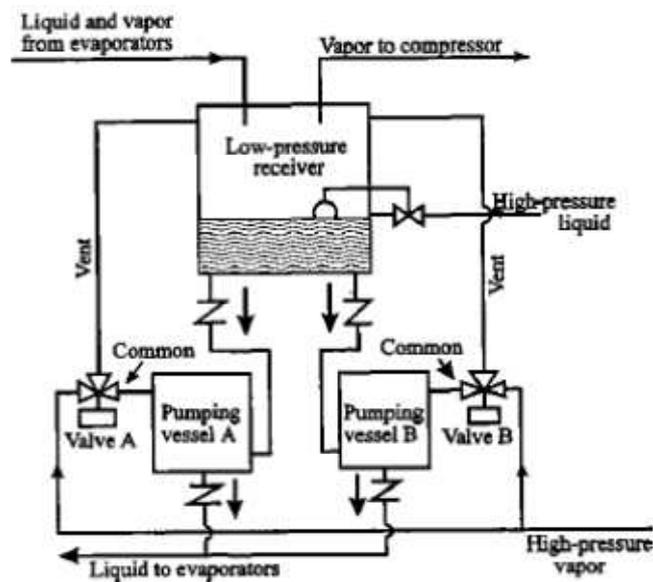
Los sistemas de bombeo para NH_3 consta de dos o cuatro bombas dependiendo del tamaño del sistema, para poder bombear el amoniaco, un sistema de válvulas para controlar el nivel de líquido en el interior del recipiente y una base estructural lista para instalarse en sistemas de refrigeración de líquido circulado, esto se puede apreciar en la figura 27. Cada equipo es diseñado según las necesidades específicas de bombeo y el volumen de líquido requerido por el sistema de refrigeración que se utilice.

Los beneficios del sistema son:

- Protege al compresor en caso de regreso de líquido, además de permitir el deshielo con gas caliente hacia las líneas de succión, facilitando la expulsión de aceite de los evaporadores si tuvieran dentro por arrastre.
- Proporciona una mejor distribución y control de refrigerante hacia los evaporadores.
- Por su diseño reduce los costos de instalación.

- El diseño de la columna de líquido y el control de nivel con flotador eliminan el riesgo de cavitación en las bombas.

Figura 27. Sistema de bombeo de líquido NH₃, usando dos bombas



Fuente: STOECKER, Wilbert. Industrial refrigeration Handbook. p. 327

Las principales componentes en su construcción son:

Tanque acumulador: diseñado y construido de acuerdo a las especificaciones del código ASME regularmente siempre para 250 psi. Este contenedor horizontal, proporciona internamente baja velocidad del gas, y la columna vertical que evita la cavitación de las bombas y una válvula de seguridad calculada de acuerdo al volumen del gas contenido en el recipiente.

Bomba de líquido: dependiendo el volumen de bombeo en el sistema el fabricante lo construye adecuado al sistema de refrigeración y además considerando la mitad de las bombas como reserva en caso que las que están en funcionamiento fallaran, esto como norma de seguridad. Estas bombas están acopladas directamente a motores cerrados que trabajan con revoluciones y voltaje adecuado. En la succión estas bombas poseen una válvula de bola y a la salida de la misma poseen una válvula cheque por el sentido de flujo y no retornos y las correspondientes válvulas de seguridad. En la figura 28 se puede apreciar un corte seccional de una bomba y una vista total.

Figura 28. **Bomba para amoníaco, vista y corte seccional**



Fuente: Registros y controles SRL. Catálogo de bomba de amoníaco. p.4.

Sistema de control de nivel de líquido: el sistema de control de nivel, es una columna de nivel con dos mirillas y dos controles de nivel tipo flotador, uno para controlar la entrada de líquido al acumulador y el otro para la señal de alarma de alto nivel.

Panel de control: monitorea y controla la operación de los motores de las bombas de amoniaco y de la válvula solenoide que controla la alimentación de líquido del sistema. Opera con arrancador e interruptor termo magnético, todo según un voltaje requerido suficiente para el sistema de bombeo de líquido. Existen en el mercado controles de nivel adicionales electrónicos equipados con alarmas visuales y sonoras para el control de nivel de líquido y anomalías en el sistema.

2.6. Tubería de refrigeración, tanques, controles eléctricos e instrumentación

Los materiales adecuados para tuberías y recipientes de los sistemas de baja temperatura incluyen acero al carbono, acero inoxidable usando amoniaco como refrigerante. Para tubos de acero, el código ASME / ANSI B31.5 para tuberías de refrigeración grado 8 indica que la tubería de acero al carbono típica, tales como la Norma ASTM A 333, cuando se utiliza a temperaturas por debajo de $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$, puede ser necesario probarlas por impacto. Por esta razón, suelen escogerse materiales no sujetos a pruebas de impacto a bajas temperaturas, tales como: tipos 304 y 321 de acero inoxidable austenítico.

El código de tuberías también indica que las pruebas de impacto no se requieren para materiales ferrosos utilizados para temperaturas de entre $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Siempre que la tensión de tracción máxima circunferencial o longitudinal resultante de presión coincidente, la contracción térmica, o doblando entre apoyos no exceda del 40% del esfuerzo permisible para los materiales.

Código ASME. B31.5-2001: para las tuberías de refrigeración y componentes para la transferencia de calor. Este código establece los requisitos para los materiales, el diseño, fabricación, montaje, instalación, prueba e inspección de refrigerante, componentes de transferencia de calor, y las tuberías de refrigerante secundario para temperaturas bajas, ya sea erigida en los locales o de montaje en fábrica, excepto lo excluido específicamente en los siguientes párrafos. Este código no se aplicará a:

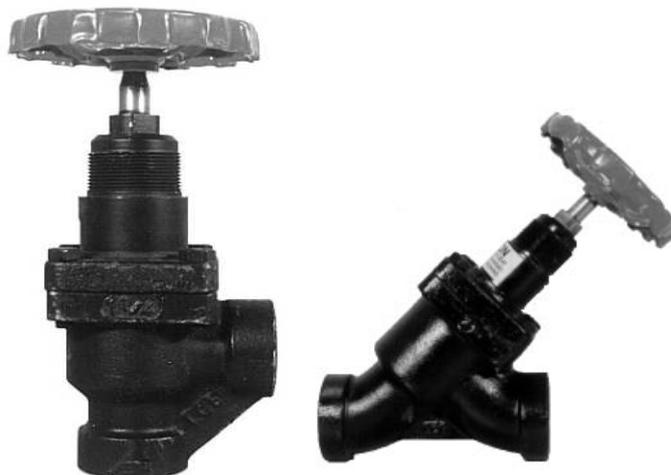
- Los sistemas autónomos o unidad sujetas a los requisitos de pruebas de laboratorio.
- Las tuberías de agua.
- Las tuberías diseñadas para presión relativa externa o interna no exceda de 15 psi sin importar el tamaño.
- Los recipientes a presión, compresores o bombas.

Los tanques receptores de amoníaco: en este caso como ejemplo la marca Frick están disponibles en tamaños estándar con un volumen bruto interno de 4,4 a 329,1 pies cúbicos y una la capacidad de bombeo de 130 a 9.740 libras sobre la base de 80% del volumen interno de refrigerante líquido a 90 ° F. La presión de diseño y temperatura de si los diámetros son de 12" hasta 24" estará para 300 PSI a -20 °F a 200 °F. Si son mayores de 30" estará para 250 PSI a -20 °F a 200 °F. Las presiones de prueba hidrostática deben ser a 1.3 veces el diseño de la presión, de acuerdo al código ASME. Las conexiones y demás reguladas por los mismos códigos de construcción. Este se pinta con imprimación de óxido rojo.

Los accesorios de estos tanques comprenden regularmente: válvulas de entrada y salida roscadas, válvulas para soldar, válvula de seguridad o válvulas dobles de seguridad, válvula de purga y la válvula de igualación, nivel de líquido y la válvula de carga de con rosca.

Las válvulas usadas en la línea: están diseñadas para trabajo pesado en refrigeración. Tienen una construcción robusta, materiales de calidad, y mecanizado preciso garantizar un funcionamiento fiable y eficiente. Con las válvulas soldadas en línea se evitan las bridas, la disminución de peso y simplifica la instalación. Válvulas para uso en refrigeración se pueden ver en la figura 29.

Figura 29. **Válvulas para soldar en línea**



Fuente: Frick. Manual de servicio de válvulas soldadas en línea. p.8.

Puertos grandes y pasajes de fluido amplios permiten plena capacidad de flujo con caída de presión mínima. El anillo de sellado de teflón en el disco ofrece un cierre positivo con apriete a mano también está biselada para proporcionar aumento de la superficie de sellado. Resistencia al máximo a la corrosión, con vástagos de acero inoxidable y tuercas de embalaje proporcionan la máxima resistencia a la corrosión y durabilidad. Facilidad de instalación y mantenimiento. Asentando hacia atrás permite el reemplazo de la empaquetadura del vástago, sellando con hilos permite una pérdida mínima de gas atrapado.

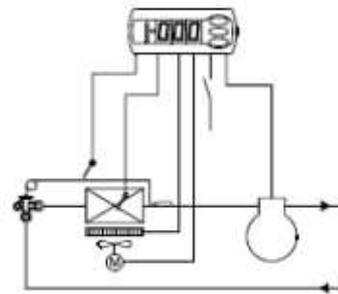
Controles eléctricos e instrumentación: el sistema de refrigeración para poder operar bajo condiciones establecidas de presión y temperatura, necesita de controles y dispositivos eléctricos que ayudarán a poder establecer límites de trabajo. Cabe mencionar que controles eléctricos hay de temperatura y presión digital, los cuales son programados para hacer paros y arranques así como alarmas y prevenciones, hasta poder llegar a parar los sistemas, también existen los análogos que todavía se utilizan pero en un porcentaje menor.

Es importante volver a mencionar que depende el diseño del sistema y la seguridad del mismo, este poseerá según el fabricante o diseñador los controles digitales o análogos necesarios, en primer lugar para hacer funcionar el sistema a la mayor eficiencia y dos para garantizar límites de seguridad industrial en una planta y que este no dañe ningún sistema o equipo ni la condición humana. Para el control del sistema se puede mencionar: manómetros, termómetros, presostatos, sondas de presión y todo tipo de control digital asociado a funciones requeridas por el sistema.

Los controles digitales regularmente cumplen normas internacionales de regulación y control y además, tienen sistemas internos con autocalibración que garantizan su desempeño y buen funcionamiento dentro de los límites de estabilidad y credibilidad de datos obtenidos de estos.

Controlador de temperatura: se puede ver en la figura 30 un controlador de temperatura, el cual realiza varias funciones como regular la temperatura, controlar los deshielos, control de la ventilación de evaporadores, establecimiento de alarmas y puntos de aviso. El monitoreo lo realiza con base en una sonda la cual se colocará en contra corriente con el aire de entrada o salida del evaporador, el deshielo lo puede controlar junto con el mando principal del sistema, colocando una sonda en la parte posterior del evaporador y evaluando con las sondas el diferencial de temperatura. Inclusive puede controlar el sistema de compresión del sistema como una señal principal.

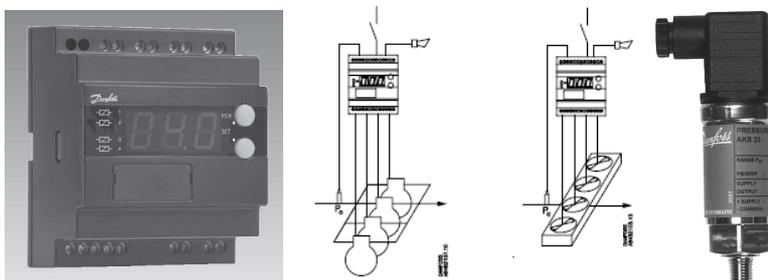
Figura 30. **Controlador de temperatura y diagrama de funciones**



Fuente: Danfoss. Manual del controlador de temperatura EKC 102D. p.1.

Controlador de capacidad: este puede controlar tanto temperaturas como presiones, y muchas funciones por los relés adheridos a las funciones que puede cumplir con una sencilla programación. En la figura 31 se puede ver.

Figura 31. **Controlador de capacidad y diagrama de funcionamiento**



Fuente: Danfoss. Manual control de capacidad ekc33. p. 2.

Manómetros: los manómetros ayudan a medir la presión de los gases en este caso amoniac (ver figura 32), tanto en el lado de alta presión, como en el lado de baja presión. Los manómetros que se usan para amoniac tienen características especiales comparadas con los que se usan para un freón, u otro tipo de gas.

Figura 32. **Manómetro para amoniaco con glicerina**



Fuente: Pakkens. Catálogo de manómetros. p.12.

Este manómetro es diseñado de tal manera que el conducto de prueba, tiene un orificio diminuto para que en caso de haber fuga sea lo menor posible, y antes de este, una válvula de cierre rápido. Se fabrican en acero inoxidable y la carátula flota en glicerina para amortiguar la acción mecánica del manómetro, respecto a los cambios de presión en el refrigerante y esto crea menos fatiga en los componentes del mismo.

Presostatos: son usados para monitorear y controlar la presión de gases o fluidos en el sistema de refrigeración. Al igual que los manómetros son construidos con acero inoxidable y componentes resistentes para evitar fugas inesperadas y cuando así sea, se puedan controlar fácilmente. En la industria los presostatos son catalogados como controladores y limitadores electromecánicos que verifican que la presión de los fluidos se mantenga dentro de un intervalo de presión específico, en la figura 33 se puede apreciar. Todos los sistemas de contacto de las unidades de regulación para amoniaco incorporan un sistema de acción rápida que mantiene la fuerza de contacto hasta que se produce la desconexión del contacto. Algunos todavía usan micro conmutadores pero es menos seguro.

Figura 33. Presostatos para amoniac, gases y aceite



Fuente: Danfoss. Manual de presostatos y controles. p. 5.

Existen en el mercado una gran cantidad de dispositivos controles e instrumentación que se pueden usar para por automatizar y controlar perfectamente un sistema para su conservación y funcionamiento seguro.

3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL TÚNEL DE CONGELAMIENTO

El funcionamiento del túnel de congelado regularmente aplicado a alimentos se le conoce como IQF siendo las siglas de Individual Quick Freezing, o congelación rápida de manera individual. Este proceso de congelación rápida permite que los cristales de hielo que se forman dentro de las células de los tejidos de los alimentos sean de tamaño muy pequeño. De esta forma se evita que las paredes celulares que conforman los tejidos vegetales se rompan. Por lo tanto al descongelar el producto no hay derrame de fluidos celulares, lo cual garantiza una textura, valor nutritivo y sabor igual al de un producto recién cosechado.

La diferencia sustancial entre una congelación IQF y una congelación lenta que no sea en túnel de congelado es el tamaño del micro cristal que se forma. En la segunda el cristal es tan grande que deforma las paredes celulares, permitiendo el derrame de fluidos internos y por ende un deterioro en textura, sabor y valor.

Adicionalmente, el uso de este proceso garantiza que los productos no necesiten de ningún tipo de químicos o conservantes para su almacenamiento. Además es importante recalcar que gracias a las bajadas rápidas de temperatura se reduce de forma importante la presencia de microorganismos. En este capítulo y en la subsección 3.2 específicamente, se describirá el principio de funcionamiento del túnel de congelado.

3.1. Cámara de congelación

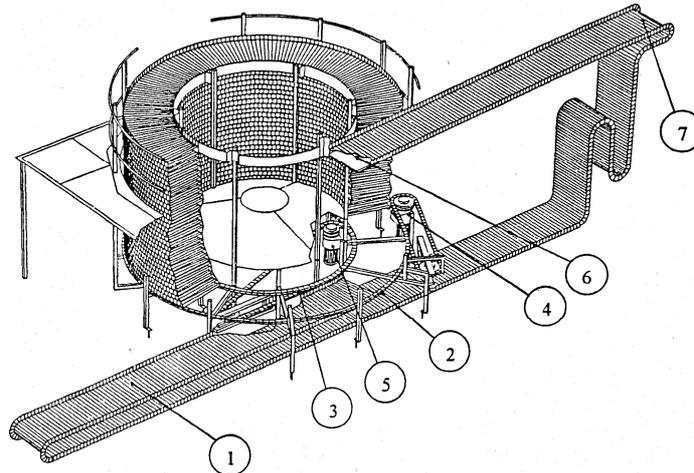
Como cámara de congelación, se refiere a la caja o recinto que constituye en sí el túnel de congelado, el cual en su interior cumplirá con las condiciones de mantener un producto a baja temperatura. En su interior, consta del evaporador, rieles, guías, cadena de espiral, sistema de limpieza, cadena de transmisión, turbinas, moto reductores de movimiento. En su exterior, consta de sistema de lubricación, sistema de refrigeración, panel de control y regularmente el cableado eléctrico, aunque parte de este está en su interior.

3.1.1. Forma y construcción de la cámara

La forma y construcción del túnel, depende del fabricante, en este caso se observará un túnel de marca Frigoscandia en la figura 34, en el cual se muestra una vista.

La descripción inicia con la entrada en la parte baja (1), y salida en la parte alta (7), siendo este caso lineal con una diferencia de alturas que tendrá que ser compensado por el transportador de entrada y el transportador de salida. La construcción de la cámara depende de una base aislada de acero inoxidable, que descansa en el piso, sirviendo estas para formar las paredes, se usan planchas de espuma de poliuretano que van ensambladas una contra la otra de un espesor específico. La banda transportadora (6), se auto sostiene formando una espiral con la cadena (3), que tiene aletas en los lados.

Figura 34. **Vista del túnel de congelado en espiral**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 60.

La estructura de túnel (2) y la firmeza se consigue a través de una estructura de acero inoxidable que sostiene las planchas y sirve de soporte al evaporador, la tracción de la cadena está en la parte baja (5) así como el sistema de ajuste de la tensión de la banda transportadora (4).

3.1.2. **Aislamiento**

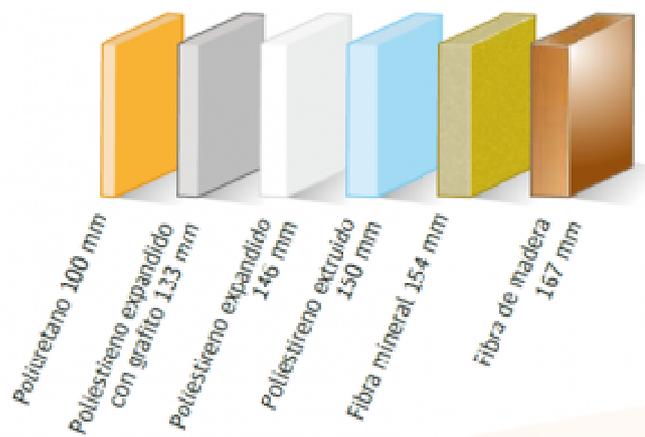
Es fundamental elegir correctamente el aislamiento térmico en la construcción de una cámara frigorífica, prestando atención a los siguientes aspectos.

- Tipo de material aislante
- Espesor del panel frigorífico
- Perdidas de calor a través del panel frigorífico

- Proceso constructivo del aislamiento térmico
- Densidades utilizadas
- Sistemas de unión en juntas
- Corrosión o debilitamiento de la instalación

Obviar estos aspectos en el proceso de compra de su instalación de aislamiento térmico, conlleva una pérdida de dinero a mediano plazo que vendrá reflejada fundamentalmente en el costo energético. En la figura 35, se muestran las equivalentes de otros materiales de aislamiento térmico que cumplirían con los requerimientos de un poliuretano de 100 milímetros.

Figura 35. **Comparación de materiales de aislamiento, en su grosor equivalente**



Fuente: Galvamet. Catálogo de paneles. p. 2.

Es evidente que el panel frigorífico de poliuretano, constituye el mejor aislamiento térmico que se puede encontrar en el mercado y en cuanto a evolución de aislamiento por su peso manejabilidad y otros factores. Como se ve en el grafico el espesor del aislamiento influye notablemente en la capacidad interior del túnel de congelado. En la figura 36, se puede apreciar la forma en que se usa el panel en la construcción de un túnel de congelado.

Figura 36. **Forma de aislamiento con paneles de poliuretano**



Fuente: Fuente: Galvamet. Catálogo de paneles. p. 8.

Otros beneficios del poliuretano:

- Mayor durabilidad, debido a que evita la infiltración de agua y aire, es muy difícil de deteriorar por aplastamiento.
- Poco peso, lo que aporta al panel frigorífico de poliuretano una facilidad logística y de instalación como ningún otro aislamiento térmico.
- El proceso de fabricación del panel de poliuretano inyectado, le confiere una excelente adherencia a las pieles exteriores, comparado con los procesos de pegado que emplean otros materiales aislantes, esto redundará en la durabilidad, la inercia, y la estabilidad del panel frigorífico.

Se puede establecer un sistema de cálculo para el espesor del panel en la cámara frigorífica del túnel de congelación.

$$E = \frac{C_1 (TE - TI)}{F_1} \times 1000$$

E= Espesor de aislante, F_1 = flujo de calor en Kcal/h-m², C_1 = el coeficiente de conductividad térmica en Kcal/(h-m-°K), TE= temperatura exterior en °K, TI= Temperatura interior °K.

Los diferentes coeficientes de conductividad térmica de los materiales de aislamiento para cámaras frigoríficas son:

- Poliuretano inyectado de densidad 40 Kg/m³ = 0,016 Kcal/(h-m-°K)
- Poliuretano= 0,020 Kcal/(h-m-°K)
- Poliestireno= 0,025 Kcal/(h-m-°K)
- Fibra mineral= 0,027 Kcal/(h-m-°K)
- Poliestireno extruido= 0,028 Kcal/(h-m-°K)
- Fibras de madera o corcho= 0,035 Kcal/(h-m-°K)

En cuanto al dato del flujo de calor que puede pasar a través del aislamiento para conseguir un aislamiento energético ideal, se puede establecer en 6 o 7 kcal/h-m² para cámaras frigoríficas de congelación y de 7 u 8 kcal/h-m², para cámaras frigoríficas de refrigeración.

3.1.3. Prevención del hielo bajo el piso, por medio de calefacción

Para evitar la congelación de la base de las cámaras frigoríficas de congelación que se usan en los túneles de congelado específicamente, es necesario el calentamiento por resistencias eléctricas. La potencia necesaria para evitar la congelación es de 20 W / m^2 .

Las pérdidas a través del suelo no deben superar los 20 W / m^2

$$Q = (K_s \times C \times T_i) / e \leq 20 \text{ W/m}^2$$

- Q = Pérdidas en W / m^2 .
- C = Conductividad térmica del aislante en $\text{W / m }^\circ\text{C}$.
- T_i = Temperatura interior de la cámara frigorífica en $^\circ\text{C}$
- e = Espesor del aislamiento térmico en metros.
- K_s = Coeficiente de seguridad = 1,3.

Si $Q > 20 \text{ W / m}^2$. Se debe separar la distancia entre los cables calefactores. En el cálculo de pérdidas se supone que el subsuelo está a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

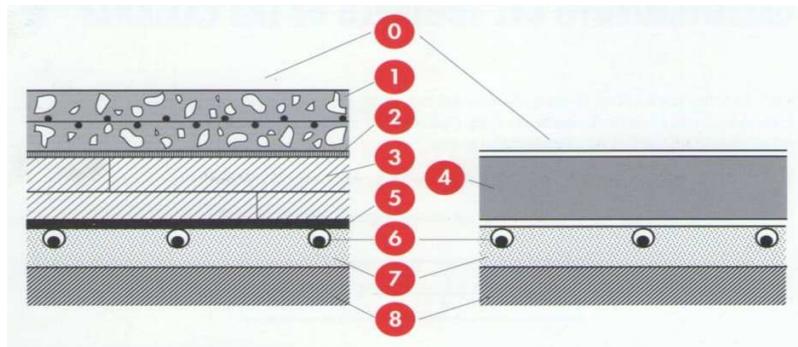
Los coeficientes de conductividad térmica de diferentes tipos de aislamiento térmico, en $\text{W / m }^\circ\text{C}$, son los siguientes:

- Poliuretano inyectado densidad 40 $0.019 \text{ W / m }^\circ\text{C}$
- Poliuretano 0.023 “
- Poliestireno 0.029 “
- Fibra de vidrio 0.031 “

- Styrofoam 0.033 W / m °C
- Corcho 0.041 “

El montaje adecuado de las resistencias se efectúa según la figura 37.

Figura 37. **Forma de montaje de las resistencias bajo el piso del túnel de congelado**



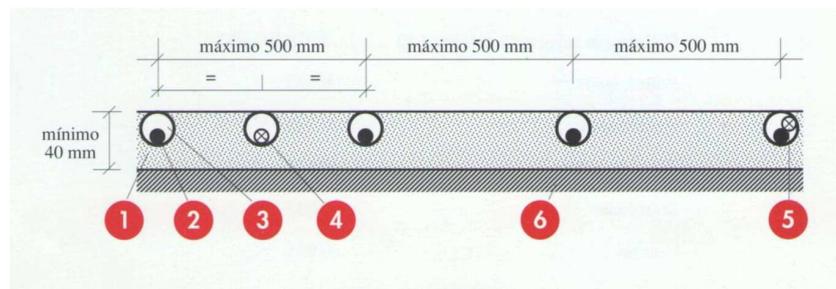
Número de las partes de la figura 37.

0. Interior de la cámara frigorífica
1. Hormigón
2. Impermeabilizante
3. Capa de aislamiento
4. Panel frigorífico de suelo
5. Barrera de vapor
6. Resistencias calefactoras
7. Base de mortero (mínimo 40 mm de espesor)
8. Subsuelo

Fuente: Aislamiento. www.camarasfrigorificas.es. Consulta: 29 de junio de 2013.

Cada instalación deberá llevar 2 termostatos para las resistencias. Uno en el mortero base, para que el mortero esté a 10 °C y su disposición debe estar centrada entre dos resistencias. El otro en contacto con la resistencia para que ésta no sobrepase la temperatura de diseño de la resistencia. La resistencia va dentro de un tubo de CPVC de alta temperatura para su protección mecánica y poder sustituirla en caso de rotura esto se puede ver en la figura 38.

Figura 38. **Distancia entre resistencias y ubicación de los termostatos**



Número de las partes de la figura 38:

1. Base de mortero
2. Resistencia calefactora
3. Tubo de CPVC de alta temperatura
4. Termostato control base
5. Termostato control resistencia
6. Subsuelo

Fuente: Aislamiento. www.camarasfrigorificas.es. Consulta: 29 de junio de 2013.

3.1.4. Prevención condensación y alta humedad

El aire siempre contiene vapor de agua en cantidades variables y su capacidad para hacerlo está relacionada con su propia temperatura. El aire caliente es capaz de soportar en suspensión más agua que el aire frío. El aire está saturado cuando no puede contener más vapor de agua a la temperatura existente; bajo estas condiciones, se dice que tiene una humedad relativa (HR) de 100%.

Si la temperatura del aire cae hasta el punto de saturación se dice que el aire está a una temperatura crítica a la que no puede contener más agua, esta temperatura se conoce como el punto de rocío. Cualquier caída adicional en la temperatura dará lugar a que el vapor de agua se vea obligado a condensarse como agua líquida. La cantidad de vapor de agua de condensación que se producirá será la equivalente a la cantidad de exceso de vapor desde el 100% de humedad relativa del aire a su nueva temperatura.

Por lo tanto, cuando el aire caliente entra en contacto con aire frío o una superficie fría, este aire caliente se enfría, y ya no puede contener todo el vapor de agua soltando algo de este vapor de agua que se desprende como condensación o agua líquida. Cuando se habla de superficie fría se refiere al evaporador del túnel de congelado, el cual atraparé mucha de la humedad, sellando con esta escarcha o hielo el paso del aire lo cual deteriora la eficiencia del sistema de refrigeración.

El control de la humedad del aire puede lograrse con la eliminación de agua en la superficie del producto a congelar antes de que ingrese al túnel de congelado. Es importante si se puede deshumidificar el aire de circulación en el túnel de congelado, cosa casi imposible si está ingresando producto caliente, que fue cocinado, más vale bajar la temperatura o ventilarlo antes del ingreso al túnel de congelado.

Se puede utilizar en algunos casos en los túneles de congelado un sistema de ruedas desecantes, en donde ingresa aire y sale sin humedad eliminando humedad (calor latente) del aire exterior o carga interna. Estas no reducen, por sí solas, la carga de energía. Simplemente reemplazan la carga latente (humedad) con un incremento de carga sensible (temperatura) y eliminan la humedad del aire.

Las espirales refrigeradas y las cajas congeladoras tienen bajo punto de rocío. Cuando la humedad del aire entra en contacto con las cajas refrigeradas, el bajo punto de rocío hace que se produzca la condensación. Esta crea en los evaporadores internos. La escarcha y el hielo formado en las espirales, disminuyen la eficiencia energética y provoca un ciclo de descongelación en el sistema de refrigeración, e incrementa la energía que se debe consumir en funcionamiento y recuperación. La condensación y el hielo formado en cajas, puertas y productos también reducen el potencial de la refrigeración.

3.1.5. Puertas

Históricamente las puertas de los túneles de congelado o cuartos fríos permitirán un acceso rápido y flexibilidad pero con limitada capacidad de sellado, o por el contrario, tenían un buen sellado pero eran lentas para abrirse y se dañaban fácilmente, usaban materiales pesados y fibra de vidrio. Ahora se utilizan puertas livianas y construidas con espuma de poliuretano como aislante y en estos casos abatibles para uso en la cámara del túnel de congelado, como se ve en la figura 39.

Alrededor de estas puertas se colocan resistencias para no permitir que se peguen con la estructura y sea de fácil acceso. Estas resistencias son plásticas con temperatura constante muchas veces a 10 °C.

Figura 39. **Puerta de cuarto frío con apertura exterior suave e interior de seguridad**



Fuente: Catálogo general. www.microcel.com. Consulta: 29 de junio de 2013.

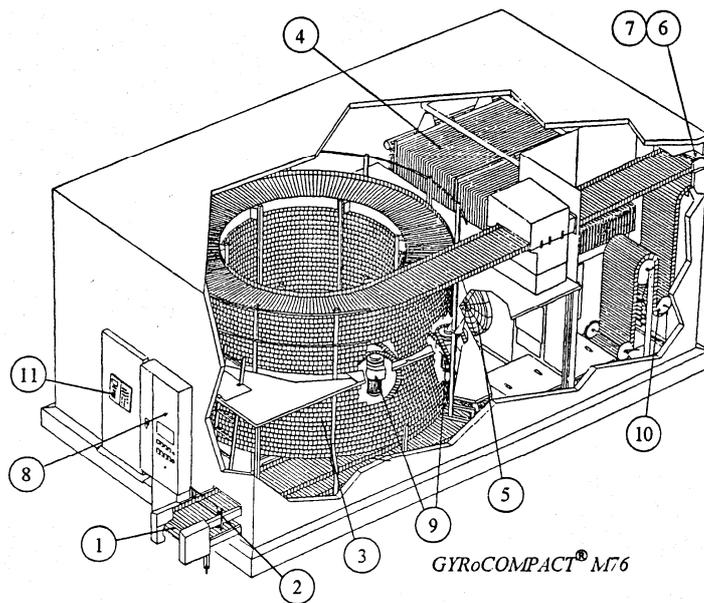
Las características que se pueden ver en la figura 39 son:

- Panel de poliuretano de 4 pulgadas para su fabricación y aislamiento efectivo.
- Sellos perfectos sobre los bordes de descanso regularmente hechos de material sanitario.
- Bisagras de hierro fundido que permiten mayor cantidad de ciclos sin daño.
- Chapa de cierre suave y seguridad interior de empuje en caso de una persona atrapada interiormente.
- Resistencia alrededor del marco, para evitar que se congele.
- Sensor de seguridad instalado para avisar cuando la puerta sea abierta en operación.

3.2. Funcionamiento del túnel de congelamiento

A continuación en la figura 40, se describe los puntos que dan el principio del funcionamiento del túnel de congelado en espiral.

Figura 40. **Túnel de congelamiento en espiral, entrada inferior y salida superior**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 45.

El producto que se va a congelar, es cargado en la banda de acero inoxidable en la entrada del sistema (1). Si los productos sobrepasan el límite de altura, un limitador de altura de producto (2) detiene la banda de acero inoxidable. Los productos son llevados dentro del congelador por la banda de acero inoxidable, que va dando la forma a la espiral, con la propia banda de acero inoxidable (3). Las turbinas de ventilación (5) hacen circular el aire a través del evaporador (4), y pasa por toda la banda de acero inoxidable, y luego regresa al evaporador.

Cuando la banda transportadora de acero inoxidable ha recorrido y sube los productos, estos son devueltos a través del retorno de salida (6). El propósito de la placa de salida (7) es liberar productos que no se desprenden solos. En la salida hay una banda con moto reductor propio, que mueve una banda de salida independiente del túnel, que provee el trabajo necesario para que la banda transportadora de acero inoxidable retorne sin producto congelado, y este sea enviado a la cadena de producción.

La operación es controlada y monitoreada en el panel de control (8). El tiempo de la temperatura de congelación, y las temperaturas de aire y evaporación son indicados sobre visualizaciones en la pantalla de control. El estado del túnel de congelación (como la banda de acero inoxidable y datos de operación) son mostrados sobre la visualización de diagnóstico en la pantalla. La banda de tracción (9) impulsa dos cadenas sobre la cual engrapa y monta la pila que se forma de la banda de acero inoxidable, que lleva consigo el producto a congelar.

La tensión correcta de la banda de acero inoxidable, es mantenida por un tensor que actúa de acuerdo a un contrapeso colocado en el inicio del retorno de la banda de acero inoxidable. (10). Todas las funciones son paradas inmediatamente, cuando alguno de los botones de emergencia, es presionado; estos están ubicados por todas partes la máquina. Regularmente en los tableros se observa una guía operativa (11) que da instrucciones graduales sobre cómo operar la máquina.

3.2.1. Sistema de tracción

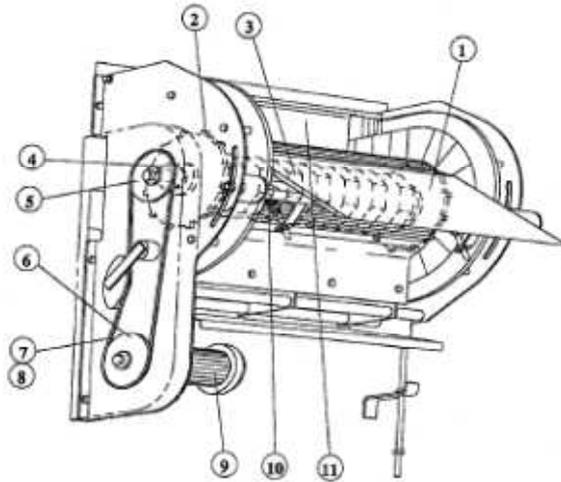
El sistema de tracción del túnel de congelado, principalmente comprende la cadena de tracción, la cadena de transporte, los rieles, los reductores, el armazón de guías de desgaste sobre la cual corre la cadena de transporte auto sostenible. Este sistema es importante para poder mantener la cadena transportadora auto sostenida y nivelando la tensión mientras se abastece de producto ya en funcionamiento, a continuación se verán estos componentes, así como el sistema que la mantiene lubricada a tan bajas temperaturas.

3.2.1.1. Cadena de tracción, cadena de transporte, rieles

La cadena de tracción se nombrará acá como el tramo de la cadena que realiza la tracción de la cadena de transporte auto sostenida, la cual tiene un sistema de tensión por contrapesos para poder ir acomodando o ajustando la tensión de la banda de transporte y de esa manera ajustando la cantidad de la tensión para que la banda pueda correr libremente y no se trabe y descarrile constantemente, en la figura 41 se ve como hace tracción el moto reductor.

Estas piezas están construidas de acero inoxidable, así como la tornillería que sujeta todas las piezas. Las piezas que se utilizan en el desgaste son de materiales termoplásticos que pueden trabar a bajas temperaturas y evitan el deterioro de otra pieza importante. Debe evitarse que producto de proceso quede atrapado en estas aéreas y además tener el debido cuidado siguiendo normas de seguridad personal y alimentaria para manipular el área.

Figura 41. **Tramo de cadena de tracción y área de salida del producto congelado**

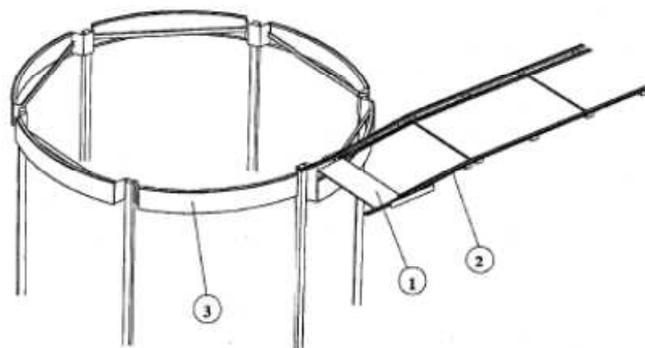


1. Ruedas de tracción interna
2. Ruedas de tracción externa
3. Rodillo o eje de las ruedas de tracción
4. Cojinetes o chumaceras
5. Engrane de cadena de rodillos conducido
6. Engrane de cadena de rodillos de tracción
7. Cadena de rodillos
8. Unión de cadena de rodillos
9. Motorreductor
10. Resorte
11. Cinta de desgaste plástica

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 62.

Debe existir una buena base como se muestra en la figura 42, para que la banda y el sistema de tracción general pueda trabajar y girar perfectamente, esta base está construida de perfil de acero inoxidable sostenida en forma acorde al recorrido circular que la cadena autosostenible tomará y una fijación al piso adecuada para soportar tensiones variables dependiendo el peso de carga principalmente al iniciar o terminar producción. La base tiene guías de termoplástico las cuales deben renovarse, tomando en cuenta el desgaste de las mismas, lo cual se valorará en los mantenimientos preventivos que se realicen a las misma.

Figura 42. **Base del sistema de tracción del túnel de congelado**

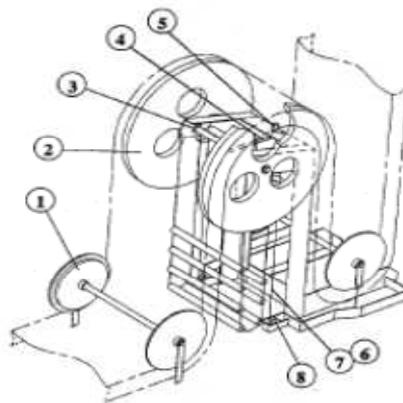


1. Guía de transferencia
2. Guía de descanso
3. Guía de descanso y desgaste

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 56.

Colocado en la base también va parte del sistema de ajuste de tracción de la cadena autosostenible, además de los sensores y dispositivos eléctricos de seguridad. Además es importante mencionar que este sistema para balancear la tracción, usa un sistema de contrapesos el cual balancea de manera alterna la tracción de la banda, claro con una buena lubricación adecuada a los alimentos y de tipo sanitaria para el consumo humano en caso se contamine con el producto. Se puede observar el sistema del contrapeso en la figura 43.

Figura 43. **Sistema de contrapeso de la cadena auto soportable**

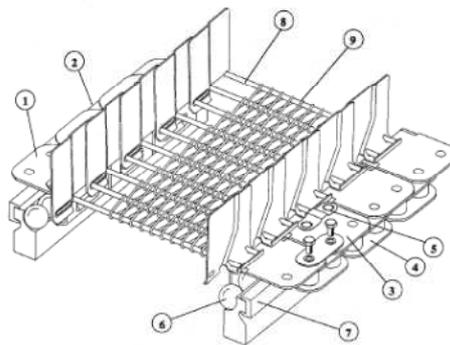


1. Rueda
2. Rueda
3. Cojinete o chumacera
4. Sensor de límite
5. Accionado del sensor
6. Cable de la banda
7. Cerrador de cable
8. Polea

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 67.

El tramo de cadena autosostenible en la figura 44, que es la encargada de llevar el producto en su recorrido, es de acero inoxidable y hace la espiral sobre ella acompañada en el centro de un tambor que se encarga de rotar a una velocidad sincronizada a la de la cadena autosostenible para ayudar en la tracción y balanceándose con el contrapeso. Además, debe existir una buena lubricación para ayudar a no crear fricción innecesaria, este lubricante debe ser dosificado eficientemente por un sistema de bombeo de lubricante que se verá más adelante.

Figura 44. **Cadena auto sostenible del túnel de congelado**



1. Cadena interna
2. Unión de cadena interna
3. Cadena externa
4. Unión de cadena externa
5. Placa de ensamble
6. Bolas de rodamiento
7. Guía de desgaste
8. Rodo
9. Cadena de alambre

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 71.

3.2.1.2. Reductores de velocidad

Se usarán reductores de velocidad en este túnel de congelado, uno para tracción y otro para sincronización con el tambor. Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor. En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten acoplarle motores eléctricos para que ingrese una velocidad al reductor y a la salida de una velocidad más baja.

Los motores eléctricos en general traen velocidades como por ejemplo, a 1 800, 1 600 o 3 600 revoluciones por minuto. La función de reductor es disminuir esta velocidad a (50, 60, 100 rpm) en la salida del reductor y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado potencia motriz con un alto torque.

Al emplear motorreductores como se le ha llamado, se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción de velocidad. Algunos de estos beneficios son:

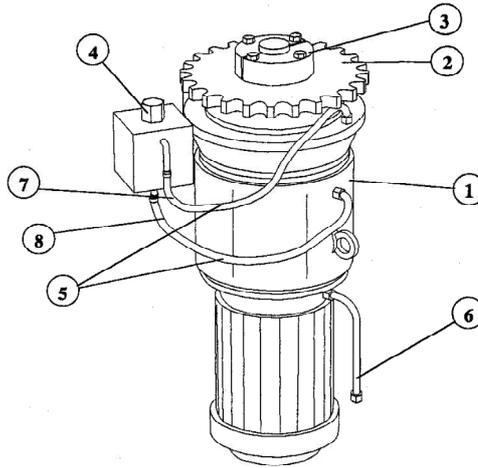
- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.

- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los motorreductores se suministran normalmente acoplando a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, como lo muestra la figura 45, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a la red eléctrica solicitada. Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo motorreductor un guarda motor que limite la intensidad de corriente y un relé térmico de sobrecarga.

Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor. Normalmente los motores empleados responden a la clase de protección IP-44. Bajo pedido se puede mejorar la clase de protección en los motores y unidades de reducción.

Figura 45. **Motor con reductor de velocidad completo**



1. Motorreductor
2. Engrane de tracción
3. Acople
4. Tapón
5. Manguera 1
6. Manguera 2
7. Juego de montaje 1
8. Juego de montaje 2

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 75.

Las características importantes son en cuanto al tamaño y al ambiente como se describe a continuación.

Características por el tamaño:

- Potencia, en HP, de entrada y de salida.
- Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.
- PAR (o torque), a la salida del mismo, en KG/m.
- Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

Condiciones por el ambiente:

- Humedad
- Temperatura
- Ejecución del equipo
- Ejes a 180° o 90°
- Eje de salida horizontal

Los tipos de engranajes que usa la caja reductora en el caso del túnel de congelado, son engranajes rectos que tienen forma cilíndrica y funcionan sobre ejes paralelos, los dientes son rectos y paralelos a los ejes. La cremallera recta es un engranaje recto que tiene dientes rectos los cuales forman ángulos rectos con la dirección del movimiento.

Factor de servicio (F.S.): los reductores son calculados para un factor de servicio igual a 1; es decir, con un funcionamiento libre de choques y un tiempo de funcionamiento de 8 horas a temperatura de ambiente de 30 °C. El factor de servicio, cuantifica la influencia de las condiciones externas sobre el funcionamiento del reductor.

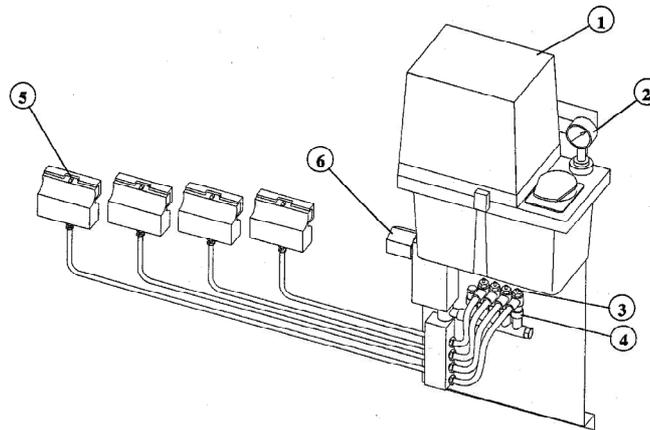
3.2.1.3. Sistema de lubricación de la cadena de tracción

El sistema de lubricación está continuamente lubricando los balines de movimiento de la cadena de transporte, al mismo tiempo lubrica las bandas de desgaste de termoplástico que están colocadas sobre las guías metálicas de la base (ver figura 46). Bombeando pequeñas cantidades de aceite a intervalos regulares, calculadas con base en la rigidez que esta toma respecto al frío y el aumento de fricción, para su debido funcionamiento.

3.2.1.3.1. Bomba de lubricación

La bomba está controlada por un relé de tiempo que da una señal de salida a la bomba cuando la presión alcanza 25 bares, un interruptor de presión se libera, luego bombea en ciertos intervalos de tiempo, cada vez que bombea el lubricante lo hace por 5 segundos en cada tramo de cadena. La bomba mantiene presión en la cámara y es aplicada en las salidas múltiples acomodadas para lubricación, regularmente en la parte baja de la cadena. Cada elemento regulador distribuye una cantidad de lubricante adecuada a los puntos necesarios designados a lubrica, el cual se puede regular. La cantidad de aceite a entregar por salida es de aproximadamente 60 milímetros cúbicos (mm³) de aceite por pulso.

Figura 46. **Sistema de lubricación de la banda túnel de congelado**



1. Bomba de lubricación
2. Manómetro de presión
3. Ajuste de presión
4. Válvula de dosificación
5. Orificio
6. Filtro de aceite

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 80.

La calidad del aceite es recomendada por los fabricantes y regulado por los acuerdos sobre salud de los lubricantes que pueden tener contactos con alimentos. Debe ser aprobados NSF o similar. Una de las características especiales es resistir temperaturas de -40 grados centígrados y mantener la viscosidad para poder lubricar la banda en todo momento.

3.2.1.4. Tiempo de residencia del producto

La predicción de las velocidades de congelación, está asociado con la velocidad de proceso y el tiempo de residencia del producto dentro del túnel de congelado. Esta velocidad no solo establece la estructura del producto congelado sino también el tiempo necesario para la congelación que es otra consideración básica de diseño.

Hay 4 métodos disponibles para describir la velocidad de la congelación:

1. Tiempo-Temperatura
2. Velocidad del frente de hielo
3. Apariencia del espécimen
4. Térmicos

Los métodos más frecuentes empleados con los de Tiempo-Temperatura que incluyen:

- Cambio de temperatura por unidad de tiempo, indicador más apropiado cuando la preocupación principal es la estructura del producto congelado y su influencia resultante en la calidad. Sin embargo, el cambio de temperatura por unidad de tiempo varía significativamente durante la congelación y un valor promedio tiene significado limitado.
- Tiempo para atravesar un rango dado de temperaturas. Es el indicador de velocidad de congelación más apropiado para propósitos de diseño de procesos. El Instituto Internacional de Refrigeración IIR ha propuesto la siguiente definición:

La velocidad de congelación de una masa alimenticia en relación, entre la distancia mínima desde la superficie hasta el centro térmico y el tiempo transcurrido desde que la superficie alcanza 0 °C hasta -5 °C, por debajo de la temperatura de formación inicial de hielo en el centro térmico.

Para profundidad medida en cm y tiempo en horas, la velocidad de congelación se expresará en cm/h. Una variación de la definición de IIR, es conocida como tiempo de detención térmica que representa el tiempo que el punto de enfriamiento más lento requiere para bajar de 0 °C hasta -5 °C. El concepto de tiempo de detención térmica, fue usado para describir la velocidad de congelación en pescado. Sus resultados indicaron que había 2 factores significativos en su uso:

- La posición del sensor de temperatura. Pequeñas desviaciones en la posición respecto del punto más frío, arrojaban errores considerables en la determinación del tiempo de detención térmica para un producto dado.
- La influencia de la temperatura inicial del producto. Un aumento en la temperatura inicial implicaba disminución del tiempo de detención térmica, es decir, el tiempo total de congelación era mayor cuando la temperatura inicial era mayor, pero el tiempo requerido para reducir la temperatura del producto de 0 °C a -5 °C era menor.

Se concluye que los factores que influyen en el tiempo de residencia son:

- La diferencia de temperatura entre el producto y el medio de enfriamiento.
- Los modos de transferencia de calor hacia, desde y en el interior del producto.
- El tamaño, tipo y forma del contenedor del producto.
- Tamaño, forma y propiedades térmicas del producto.

3.2.1.5. Panel de control

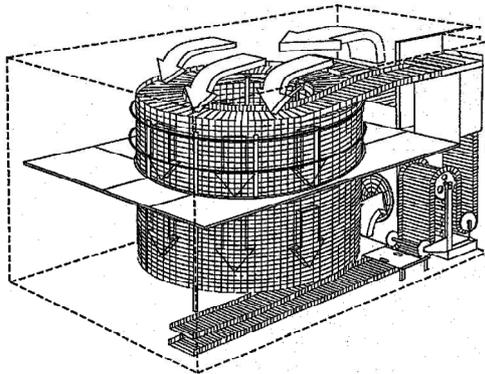
Dentro del panel de control están ubicados todos los dispositivos eléctricos de mando y potencia del túnel de congelado. El panel es alimentado por un voltaje eléctrico de acuerdo a las normas de la planta que lo utiliza. Aquí están localizadas las cajas de contactos, protectores térmicos, relés, indicadores luminosos y sobre todo el panel de control de las funciones del túnel en el cual se definen las funciones, alarmas de descarrilamiento, control de temperatura entrada y salida y algunas otras condiciones internas del sistema.

Este está construido en acero inoxidable y aislado completamente para que el agua no ingrese por salpicadura o en caso de mojarse completamente por el empaque de la puerta. El panel va montado en el exterior y a la altura recomendada para el personal de producción que lo opera y controla. Debe evitarse que ingrese polvo o agua al interior, siendo parte del mantenimiento preventivo esta revisión ocasional de acuerdo a la programación.

3.2.2. Sistema de recirculación de aire

El sistema de recirculación de aire, consta de dos ventiladores centrífugos que crean el flujo de aire dentro del túnel de congelamiento con el objetivo de obtener temperaturas bajas de congelación y mantenerlas uniformes dentro del todo el recinto para que en el tiempo de permanencia, el producto pueda bajar la temperatura deseada. Dependiendo de la marca de los túneles pueden tener varias disposiciones en la colocación de los mismos y en su flujo. En la figura 47, se aprecia un túnel de congelado con el flujo de aire delimitado por las flechas de flujo.

Figura 47. **Ventilación en el túnel de congelado**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 28.

Como se puede apreciar, el aire es succionado por los ventiladores en la parte baja pasando por la cámara de ventilación y a través del ventilador, luego es expulsado en la parte de arriba y cae en flujo descendente hacia la parte baja para volver a repetir el ciclo del flujo de aire. Es importante que el evaporador esté libre de hielo para cumplir con esta condición con un flujo al 100%.

3.2.2.1. Turbinas de aire

En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta.

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodetes:

- álabes curvados hacia adelante
- álabes rectos
- álabes curvados hacia atrás

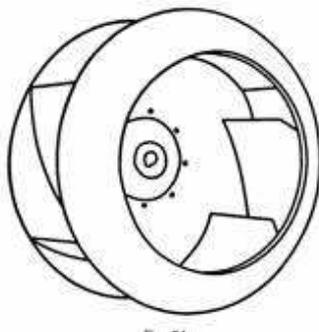
Pueden verse en la figura 48 el radial que es de interés. Para el túnel de congelado, los ventiladores de álabes curvados hacia adelante (también llamados de jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con las álabes curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc.

No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire con algún tipo de polvo o escarcha, ya que las partículas se adhieren a los pequeños álabes curvados y pueden provocar el desequilibro del rodete y un consecuente daño. Estos ventiladores tienen un rendimiento bajo fuera del punto de proyecto.

Además, como su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal, ha de tenerse mucho cuidado con el cálculo de la presión necesaria en la instalación para no sobrecargarlo. En general son bastante inestables funcionando en paralelo vista su característica caudal-presión. Los ventiladores centrífugos radiales tienen el rodete con los álabes dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales. Existen una gran variedad de diseños de rodetes que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto".

La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utiliza en muchos sistemas de extracción localizada de aire sucio o limpio.

Figura 48. **Ventilador centrífugo del túnel de congelado**



Fuente: Catálogo general. www.extractores.com.mx. Consulta: 02 de julio de 2013.

3.2.2.2. Características de los motores eléctricos

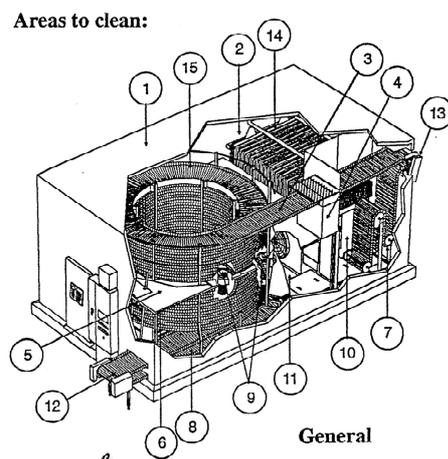
Estos motores son motores trifásicos, con una protección como mínimo IP44 para poder resistir la humedad que se pueda crear dentro del túnel de congelado, debido a los descongelamientos y las limpiezas internas del gabinete como del evaporador. Las conexiones eléctricas deben estar protegidas y la caja de conexión completamente sellada para que los bornes no se dañen o exista corrosión por excesiva humedad.

Las características ya viene dadas por el fabricante, únicamente debe tenerse el cuidado que en los mantenimientos todo esto se mantenga y el perfecto sellado de las conexiones eléctricas y que los dispositivos de control y arranque estén en buen funcionamiento. Cualquier anomalía visual o auditiva debe ser motivo de revisión.

3.2.3. Sistema de limpieza

En los túneles de congelado es sumamente importante la limpieza, ya que el hielo que se forma debe ser eliminado completamente, ya que esto puede absorber jugos o pedazos de producto que causen contaminación por bacterias o contaminación cruzada. Regularmente en el túnel se necesitan limpiar varias áreas que se pueden ver en la figura 49. Estas áreas deben ser eficientemente limpiadas, apoyándose con sistemas de lavado de alta presión.

Figura 49. **Áreas de limpieza en el túnel de congelado**

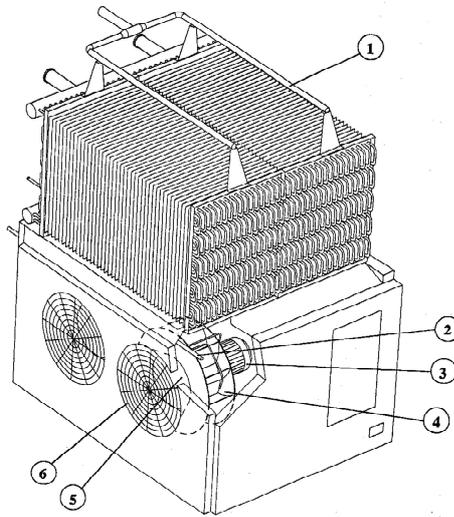


1. Techo y paredes del túnel de congelador
2. Entre el evaporador y la pared
3. Guías de salida con la banda
4. Salida del túnel
5. Entresuelo
6. Techo del entresuelo y paredes del congelador
7. Contrapeso
8. Guías de retorno
9. Sistema de accionamiento y tensores de cadena
10. Cámara del evaporador y ventiladores
11. Pisos y drenajes
12. Unidad de alimentación
13. Unidad de salida
14. Evaporador
15. Parte alta de la banda

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 84.

Antes de la limpieza general debe hacerse un descongelamiento completo y la limpieza debe ser con jabones y bactericidas adecuados para que mantenga una alcalinidad adecuada y cumpla el objetivo.

Figura 50. **Colocación de las boquillas de limpieza sobre el evaporador**



Se describen las partes de este sistema:

1. Tubo de aspersión sobre el evaporador
2. Tubo de aspersión sobre el ventilador
3. Motor
4. Ventilador centrífugo
5. Cono de entrada al ventilador
6. Guarda del ventilador

Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 90.

3.2.3.1. Descongelamiento del evaporador

Es importante el descongelamiento del evaporador, esto puede suceder por dos razones. Una, es descongelamiento por la limpieza diaria o programada cada 24 horas de trabajo o por saturación debida a alta humedad en el evaporador y haber tenido taponamiento y poca circulación de aire dentro de la cámara del túnel de congelado, lo cual produce baja eficiencia y aumento en el tiempo de residencia. En la figura 50, se ve cómo están colocadas las boquillas de alta presión sobre el evaporador.

El procedimiento de descongelamiento se inicia después de haber funcionado el túnel de congelado, se procede a parar y se hace la limpieza iniciando por el descongelamiento. Los pasos sencillos son:

- Paro definitivo del sistema de refrigeración con el procedimiento adecuado para que no quede líquido en el evaporador del túnel de congelado y que no haya producto en su interior.
- Por seguridad y como norma, accionar el paro de emergencia y colocar rótulo de limpieza en el panel principal para evitar accidentes.
- Abrir las puertas, drenajes y ventilas para poder subir la temperatura por lo menos arriba de 0 °C para evitar un choque térmico al proceder a agregarle agua a la bandeja para que escurra sobre el evaporador.
- Aplicar agua a temperatura ambiente teniendo el evaporador la condición descrita anteriormente. Cerciorarse que la bandeja deja caer agua sobre todo el evaporador y el hielo va desprendiendo en el transcurso del tiempo.

- Cerciorarse de lavarlo y que no queden restos de alimentos, ni detergentes en el mismo, para no contaminar producto o dañar el evaporador.

Secar el evaporador, hasta que toda el agua del deshielo y limpieza haya caído para que esta misma no vaya a crear escarcha al iniciar la refrigeración. Este es el fin del proceso del deshielo, luego de esto hay varias opciones como dejarlo parado, mantenimiento o volver a la línea de producción.

3.2.3.2. Agua a presión

Es importante durante la limpieza tener agua a presión, tanto en el sistema de instalado en la parte de arriba del evaporador como en el conducto que baja a limpiar las turbinas, ya que con esto se garantiza que habrá abastecimiento constante y el deshielo se llevará a cabo en el tiempo recomendado. También es importante utilizar una máquina a presión para limpiar el evaporador en su interior, ya que entre las ranuras de ventilación pudo haber quedado hielo o restos de alimentos que pudieron haber ingresado ahí por la presión de aire de ventilación. Debe tenerse el cuidado, cuando se lava el evaporador, regular el chorro a presión y seguir un lavado paralelo a las aletas del evaporador, ya que estas pueden doblarse y ser motivo que baje la capacidad de hacer pasar aire a través de él, porque las mismas se hayan doblado o inclinado.

Adicional a esto cuando se lava y se limpia todo el interior del túnel de congelado, se necesita una o varias máquinas a presión, para poder lavar los espacios más escondidos o con formas geométricas complicadas en donde la mano no puede ingresar, para poder lavar y sacar de ahí restos alimenticios o cualquier otro cosa que hubiera.

Debe cubrirse los dispositivos, motores o cajas eléctricas para no ingresar agua al interior del mismo y causar de esa manera, fallas eléctricas al arranque o fallas después de que haya iniciado a trabajar nuevamente el túnel de congelado.

Luego de terminar de lavar el evaporador con su sistema integrado se debe estar seguro que la válvula que permite que el agua baje a la bandeja, esté completamente cerrada, porque si nó al iniciar la congelación, si el agua siguiera fluyendo el evaporador se llenaría de hielo inmediatamente. Todo esto causando problemas de flujo de aire y luego problemas para poder deshacer el hielo que se hubiera formado. Pudiendo esto llevar más tiempo del programado para una producción.

3.2.4. Sistema de seguridad de descarrilamiento

El sistema de seguridad de descarrilamiento juega un papel importante en la seguridad del equipo ya que evita el descarrilamiento. Ya que un paro en operación por descarrilamiento causa problemas de productividad.

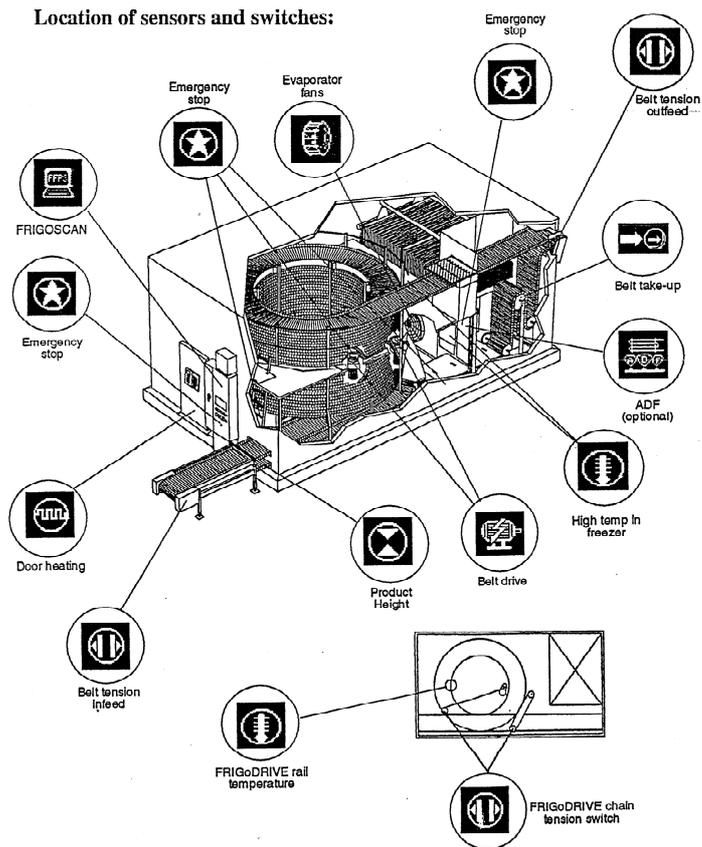
Se iniciará diciendo que como parte del sistema mencionando, en la entrada, en donde inicia el recorrido del producto, hay un interruptor del límite de altura el cual ayuda a controlar el límite máximo de altura de un producto a procesarse dentro del túnel, esto debido a que puede haber aglomeración de producto y entrar en mala posición lo que contribuiría a que el producto se atasque y se trabe en la banda transportadora y se inicie un descarrilamiento.

Durante la operación normal, la altura del producto debe de mantenerse en el límite máximo establecido, esto dependerá del espacio máximo y un porcentaje menos de la altura que resulta entre dos bandas al formar la espiral. Si se incurre en un paro por límite de altura durante la producción, rápidamente revise todo el sistema para verificar que está bien y no sufrirá descarrilamiento, por cantidades de producto que hayan pasado.

Si se ve en la figura 51, se puede ver el diagrama de los sensores e interruptores de seguridad del túnel de congelado, colocados según diseño en varias zonas cada uno tiene una aplicación específica y responde a ciertos parámetros establecidos.

La figura 51 muestra los diferentes sensores y e interruptores de seguridad en el túnel de congelado. Se enfocará principalmente en el descarrilamiento, ya que en operación causaría paros inesperados. La respuesta de un interruptor o sensor accionada en la pantalla de control debe inmediatamente de revisarse, si el problema fue por producto acumulado o si algunas de las aletas de la cadena sufrió daño.

Figura 51. **Sensores e interruptores de seguridad en el túnel de congelado**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 95.

4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL TÚNEL DE CONGELAMIENTO

El Mantenimiento preventivo, es una cantidad de técnicas y sistematización de revisiones periódicas mecánicas eléctricas o mecánicas, que da como resultado de su aplicación, prevenir las averías, hacer revisiones, lubricación y reparaciones a tiempo, dando a la vez un buen funcionamiento. Es conveniente que se involucre tanto al mecánico como a los operadores en la manera cómo se maneja el mantenimiento preventivo. Es importante la implementación o seguimiento del mismo, ya que de esto depende una confiabilidad en la productividad como en lo rentable que será la producción para los inversionistas. Con el mantenimiento preventivo se evitarán defectos, fallas y emergencias. El mantenimiento preventivo también, se conoce como mantenimiento proactivo programado.

Cabe mencionar que muchas empresas que utilizan el mantenimiento preventivo, crean un plan de mantenimiento anual fijo, que reduce el mantenimiento correctivo en un buen porcentaje y a este se le llama Plan Anual de Mantenimiento Programado, el cual es un programa de tareas y procesos de manutención preventiva y predictiva organizado y estructurado sobre la base de unidades técnicas, especificando al detalle las fechas y los tipos de trabajos que se deben realizar a una serie de edificaciones, instalaciones, maquinarias y equipos.

El mantenimiento preventivo, se programa con base en la criticidad de los equipos y de la cantidad de mantenimiento que necesiten para mantenerse óptimos.

Los equipos críticos son aquellos cuyas fallas producen detenciones e interferencias generales, cuellos de botella, daños a otros equipos o instalaciones y retrasos o paradas en las actividades de la producción. Es importante tomar en cuenta en la elaboración de un plan de mantenimiento, una matriz de criticidad global, para que la programación, sean mantenimientos preventivos y aun más, poder superarlo y llegar a mantenimiento predictivo de acuerdo al avance del mantenimiento preventivo.

4.1. Mantenimiento de componentes de la cámara de congelación

La importancia del mantenimiento preventivo como se mencionaron anteriormente es importante para mantener, el equipo e instalaciones físicas en condiciones óptimas de operación, y conservación del mismo tanto en las partes externas como en las internas, a continuación se describirá el mantenimiento de cada una de estas en forma más detallada y así poder hacer rutinas que lleven a una programación sistemática.

4.1.1. Mantenimiento de las cajas reductoras

Para realizar una revisión general, el reductor debe desmontarse por completo. Deben realizarse los trabajos siguientes:

- Limpiar todas las partes del reductor.
- Comprobar que las piezas del reductor no presentan daños.
- Sustituir todas las piezas dañadas.
- Sustituir todos los rodamientos.
- Sustituir los engranes de tracción o transmisión hacia el dispositivo que accione.
- Sustituir todas las juntas, retenes para ejes y anillos de contención.

- Sustituir las piezas de plástico o de elastómero del acoplamiento del motor.

La revisión general debe realizarse en un taller con el equipamiento adecuado y ser efectuada por personal calificado para esta tarea. (ver figura 52)

Figura 52. **Motorreductor paralelo**



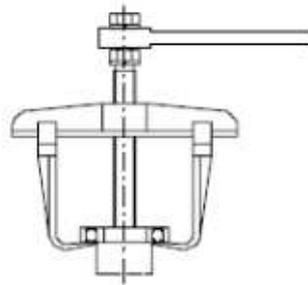
Fuente: Catálogo general. www.transtecno.com. Consulta: 3 de julio de 2013.

4.1.1.1. Cambio de cojinetes y retenedores

La sustitución de los cojinetes y retenedores debe hacerse con las recomendaciones de los fabricantes y tomando en cuentas la calidad de las marcas que venden en el mercado nacional. Con el objetivo de evitar daños a los núcleos, será necesario después de retirar la tapa del soporte, acuñar el rotor en el entrehierro con empaquetadura del espesor correspondiente.

El desmontaje de los rodamientos no es difícil, usando herramientas adecuadas, si se hace con un extractor de rodamientos con 3 garras conforme la figura 53.

Figura 53. **Extracción de rodamientos**



Fuente: WEG. Manual de instalación. p.14.

Las garras del extractor deberán ser aplicadas sobre la fase lateral del anillo a ser desmontada, o sobre una pieza adyacente. Es esencial que el montaje de los rodamientos sea efectuado en condiciones de rigurosa limpieza, para asegurar un buen funcionamiento y evitar daños.

Los rodamientos nuevos solamente deberán ser retirados del embalaje en el momento de ser montados. Antes de la colocación del rodamiento nuevo, será necesario corregir cualquier señal de rebaba o golpes en el asiento del rodamiento del eje. Los rodamientos no pueden recibir golpes directos durante el montaje, se recomienda que sean calentados. La figura 54 muestra un calentador inductivo.

Figura 54. **Calentador inductivo para cojinetes**

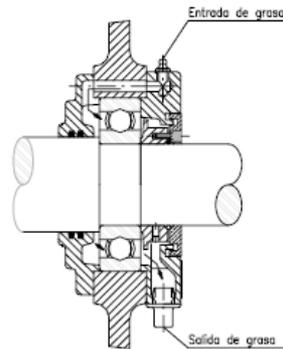


Fuente: Catálogo en línea. www.ntn-snr.com. Consulta: 4 de junio de 2013.

A partir de la dilatación del anillo interno se facilita el montaje. El apoyo para prensar el rodamiento debe ser aplicado sobre la anilla interna. Debe tomarse en cuenta que después del montaje de los cojinetes nuevos deben lubricarse y no olvidar este paso importante, para la caja reductora se tratará el tema más adelante, pero para el cojinete trasero del motor debe hacerse así.

Es importante mantener las graseras limpias antes de la introducción de la grasa como se ve en la figura 55, con el fin de evitar la entrada de materiales extraños en los rodamientos. Para la lubricación, use exclusivamente pistola engrasadora manual con el tipo de grasa adecuado.

Figura 55. **Lubricación del cojinete trasero**

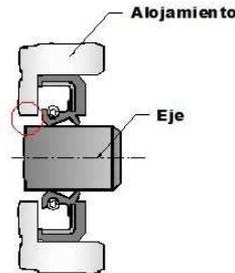


Fuente: WEG. Manual de instalación. p. 17.

Un retenedor para un eje, es un sello que evita o reduce al mínimo el paso de aceite que podría escaparse fácilmente de la holgura existente entre dos piezas de una máquina, que está en movimiento una con respecto a la otra, como por ejemplo un eje rotatorio y la carcasa de una caja reductora. En la figura 56 se puede ver la forma en que va montado el retenedor.

El retenedor trata de lograr un sellado perfecto o lo mayormente cercano posible, debido a que el labio de sello necesita recibir cierta lubricación para no ser destruido por el calor de la fricción. La mayor parte de los retenedores están fabricados en caucho Nitrilo, para aplicaciones generales con máxima vida de servicio a 0 psi de presión. Tienen labio de sello moldeado por compresión, adherido permanentemente al alma metálica.

Figura 56. **Forma en que va montado un retenedor**

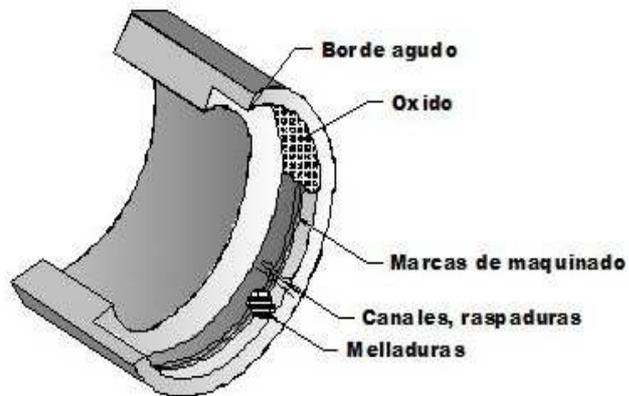


Fuente: Catálogo CRI. www.retenedorescri.com. Consulta: 12 de julio de 2013.

En funcionamiento, la punta afilada del labio de sello hace las veces de una escobilla de goma, limpiando el aceite o el lubricante del eje e impidiendo que se escape. Los retenedores con labio auxiliar o barredor es una protección para el polvo y los de labio sencillo únicamente lo usan internamente. La instalación de un retenedor de aceite debidamente seleccionado requiere cuidado y hay que tomar en cuenta factores que afectan la instalación del retenedor y su posterior funcionamiento. Un inadecuado manejo y almacenamiento pueden ser causa de falla en el retenedor.

El nitrilo se oxida cuando se expone al calor o a la intemperie, si no está en uso por su poca resistencia al ozono, deben mantenerse alejados de equipos de soldadura, luces fluorescentes y luz solar directa. El alojamiento donde se va a instalar el retenedor a presión debe estar libre de irregularidades y bordes agudos como se ve en la figura 57. Debe estar seco y limpio antes de instalarse.

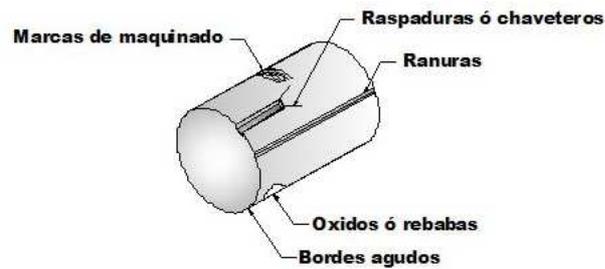
Figura 57. **Alojamiento de montaje de un retenedor, imperfecciones a evitarse**



Fuente: Catálogo CRI. www.retenedorescri.com. Consulta: 12 de julio de 2013.

El eje se debe revisar cuidadosamente, no debe tener imperfecciones que puedan afectar el retenedor y haber conservado su dureza para poder resistir la fricción. En la figura 58, se muestra lo que se debe evitar muchas veces por el manejo y muchas veces por el mal trabajo que han tenido. Las tolerancias de uso deben de tomar en cuenta las dadas por la ISO.

Figura 58. **Eje de montaje, imperfecciones que deben evitarse**



Fuente: Catálogo CRI. www.retenedorescri.com. Consulta: 12 de julio de 2013.

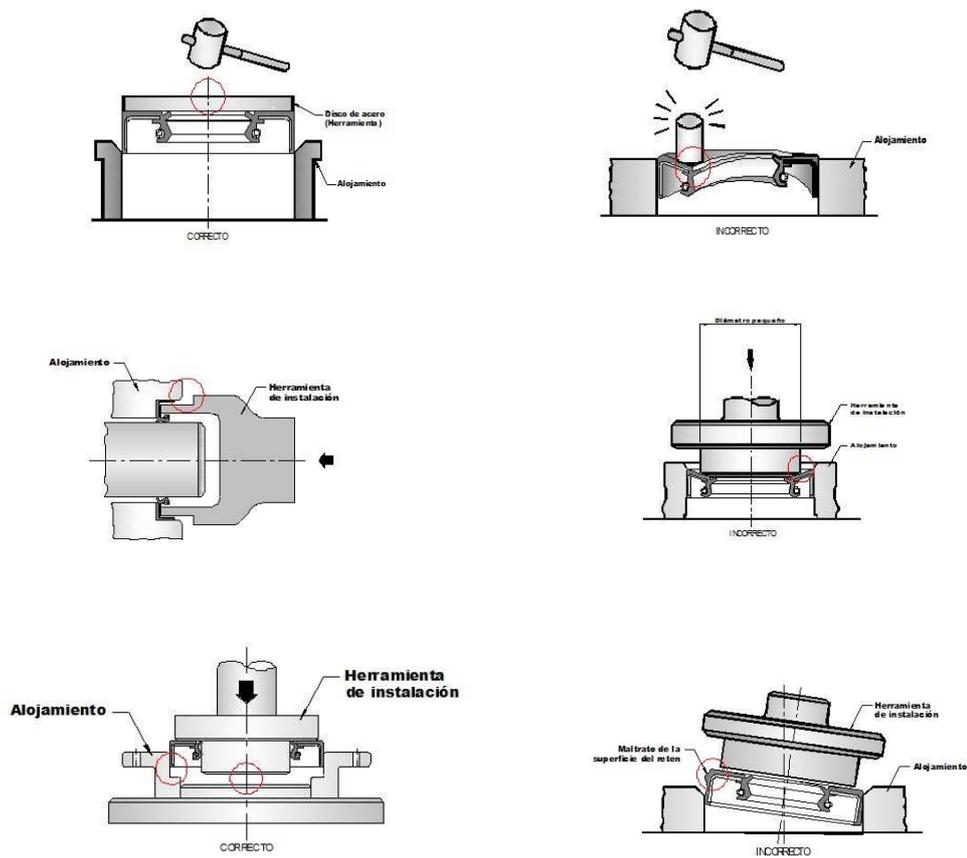
Para facilitar la instalación del retenedor es importante revisar los siguientes aspectos.

- Lubricar el labio del sello para reducir la fricción en las superficies de contacto durante su deslizamiento y además, evitar arranque en seco que lo pueda dañar.
- Siempre debe usarse una herramienta de instalación adecuada. Facilita la instalación y reduce la posibilidad de que el retenedor se vaya de lado, es decir, que no quede perpendicular a la flecha o eje.
- Se recomienda utilizar una prensa hidráulica o neumática para proporcionar la suficiente fuerza al instalar el sello.
- El eje y el alojamiento deben estar completamente alineados. El desalineamiento causa un desgaste rápido en un solo punto del labio de sello.

- Es fundamental comprobar la dirección del retenedor. El nuevo sello debe mirar en la misma dirección que el original, al igual que las estrías del labio de sello.

Se puede ver en las figura 59, los montajes correctos e incorrectos de los retenedores en su alojamiento.

Figura 59. **Montajes de un retenedor, forma correcta e incorrecta**



Fuente: Catálogo CRI. www.retenedorescri.com. Consulta: 12 de julio de 2013.

Cuando se van a instalar flechas o ejes debe colocarse, ante todo, el retenedor sobre el eje y después dentro del alojamiento. Debe tenerse extremo cuidado de no dañar el elemento que hace el sello. Si los ejes tienen chaveteras, ranuras o bordes agudos se debe usar una camisa para proteger el labio de sello.

Cuando el eje debe ser instalado a través del retenedor, hay que centrar las guías para prevenir la deformación del labio y el desplazamiento del resorte. En la medida que sea posible, hay que girar el eje mientras pasa a través del sello para reducir la fricción del desplazamiento como se ve en la figura 60.

Figura 60. **Cuidados del montaje del eje en un retenedor**



Fuente: Catálogo CRI. www.retenedorescri.com. Consulta: 12 de julio de 2013.

4.1.1.2. Cambio de aceite

El cambio de aceite es importante por la lubricación efectiva de todas las partes en movimiento dentro de la caja reductora, alargando la vida de trabajo y paradas inesperadas. Al ya tener una rutina de mantenimiento, si es de revisión se empieza comprobando el nivel de aceite:

- La comprobación del nivel de aceite sólo debe realizarse con los reductores parados y a temperatura ambiente primordialmente.
- Se debe desatornillar el tapón del nivel de aceite correspondiente a la forma constructiva, en este caso es paralelo al eje y se detallará adelante. La primera vez que se realiza la comprobación del nivel de aceite es posible que salga una pequeña cantidad de aceite ya que el nivel puede estar por encima del borde inferior del orificio del nivel de aceite. Esto se puede ver en la figura 61.

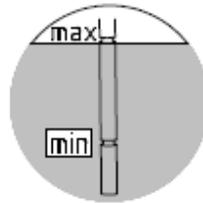
Figura 61. **Nomenclatura de ventilación, nivel de aceite y vaciado de aceite**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 47.

- Los reductores con tapón lateral de nivel de aceite, el nivel de aceite máximo se encuentra en el borde superior del orificio del nivel de aceite y el mínimo marcado en la parte baja de la mirilla. Si el nivel de aceite es demasiado bajo, deberá rellenarse con el tipo de aceite adecuado. En la figura 62 se puede ver la mirilla en donde se revisa el nivel de aceite.

Figura 62. **Mirilla opcional para ver el nivel de aceite**



Fuente: NORD. Manual de reductores. p. 15.

- El tapón del nivel de aceite o el tapón roscado con varilla de nivel y todos los tornillos de nivel de aceite previamente aflojados deben estar de nuevo correctamente atornillados. Comprobar el nivel de aceite con la varilla de medida superior, si posee.

El procedimiento para realizar el cambio del aceite, se hará de la forma siguiente:

- Colocar el recipiente de recogida bajo el tapón de vaciado de aceite;
- Retirar completamente el tapón de nivel de aceite o el tapón roscado con varilla de sonda, si se utiliza un depósito de nivel de aceite, y el tapón de vaciado del aceite;

- Extraer todo el aceite del reductor;
- Si el revestimiento de seguridad de las roscas del tapón de vaciado del aceite o del tapón del nivel de aceite está dañado, se debe utilizar un nuevo tapón del nivel de aceite o se debe limpiar la rosca y humedecerla con pegamento de seguridad, antes de atornillarla. Si la junta de obturación está dañada se debe sustituir por otra nueva;
- Colocar la junta, atornillar el tapón de vaciado del aceite en el orificio y apretarlo;
- Rellenar con aceite nuevo, del mismo tipo, a través del orificio del nivel de aceite, y con un dispositivo de relleno adecuado, hasta que el aceite comience a salir por ese mismo orificio;
- Esperar al menos 15 minutos si se utiliza un depósito de nivel de aceite y como mínimo 30 minutos después de rellenar el aceite, antes de controlar el nivel y así quedar seguros que está en el nivel necesario.

4.1.2. Mantenimiento al gabinete

Los gabinetes del túnel de congelado, están constituidos por paneles, puertas, piso especial, tuberías de agua, y resistencias, pero regularmente se tratará acá las partes del gabinete que mantienen en pie el equipo y sirve como recinto al transportador de cadena para complementar así el túnel de congelado.

El mantenimiento del mismo se puede desglosar de la siguiente manera:

- Cerrar el túnel de congelado completamente, encender los ventiladores y verificar que no hayan fuga de aire por los paneles. Si hubiera fuga habría que marcar y sellar con silicona especial anti hongos hasta eliminar las fugas de aire. En la figura 63 se puede ver una esquina sellada con silicona.

Figura 63. **Paneles sellados con silicona**



Fuente: Catálogo general. www.hiansa.com. Consulta: 25 de junio de 2013.

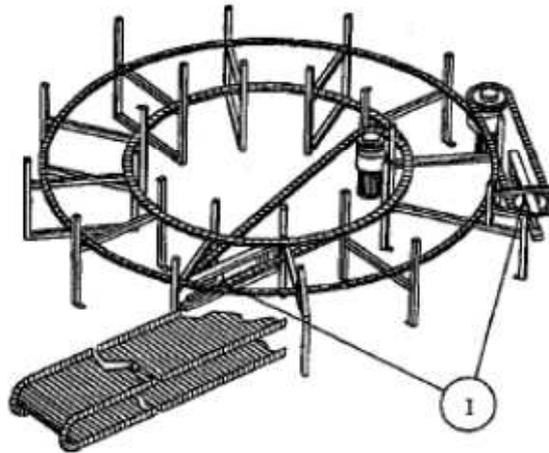
- Revisar que las resistencias colocadas dentro de los marcos de las puertas, mantengan a temperatura ambiente todo el rededor para evitar que las puertas no se adhieran mientras el túnel de congelado esté en funcionamiento.
- Revisar que las resistencias del piso estén funcionando para evitar que el mismo se congele y dañe el piso.

- Interna y externamente debe resellarse los paneles necesarios si la silicona se hubiera dañado, y se aprovecha a remachar y alinear alguna plancha rasgada o dañada, siempre evitando congelación por fuga de aire o que los paneles se humedezcan.
- Revisar las fijaciones internas que sostienen dispositivos y guías que van atornilladas o sostenidas en el panel. Incluye tuberías de agua, guías, tubería eléctrica, tuberías de refrigeración.
- Revisar las fijaciones externas de fijación del túnel, fijación de la puerta, fijaciones de la tubería de agua y refrigeración, todo debe de estar fijado con tornillería, remache o pegado según la condición.

4.1.3. Enderezar y alinear guías y eslabones de la cadena

Se consideran aspectos importantes en la base de movimiento del túnel de congelado, la revisión de las guías sobre las cuales la banda de transporte de producto gira. Estas crean un círculo que sostiene la banda auto sostenible y ancla el sistema auxiliar de tracción como se muestra en la figura 64.

Figura 64. **Guías de fijación de la banda autosostenible**



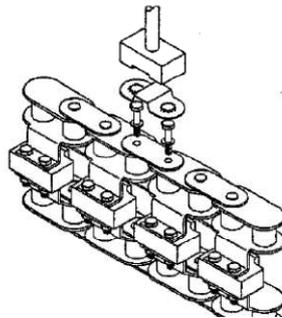
Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 110.

Se debe de verificar lo siguiente:

- Los soportes en el piso, debe estar bien ajustados para mantener un nivel estándar en toda la circunferencia. Se aprovecha a revisar que no hayan deformaciones en el piso resultado de hielo que se pueden formar por no haber mantenido el piso a una temperatura ambiente.
- La tornillería debe estar apretada correctamente, si hubiera algo flojo hay que proceder a atornillar hasta dejar fija la pieza, de igual manera se deben revisar las soldaduras de todas las piezas que conforman la base y se deben revisar también las soldaduras del piso.

- Se revisan los eslabones de la cadena de rodillos que se muestran en la figura 65, que dan tracción auxiliar y de ajuste a la cadena auto sostenible por medio de los reductores instalados como se muestra en la figura 64.

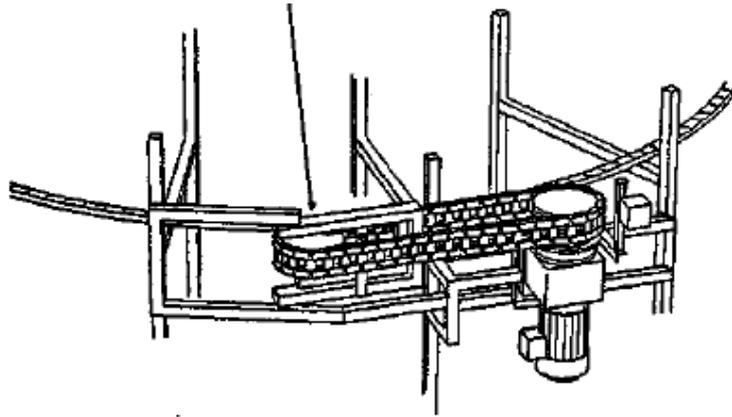
Figura 65. **Eslabones de cadena de rodillos**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 110.

- Como rutina se revisa que no hay fugas o filtraciones de aceite en los reductores instalados. Si se encontraran fugas, tomar otro tipo de consideración para solucionar esto.
- Las guías laterales y de desgaste de material termoplástico deben ajustarse y revisar que estén atornilladas, si el desgaste fuera excesivo habría que proceder a cambiarlas.
- Deben de chequearse los tensores de la banda, que ajusten y no haya holgura excesiva en sus cadenas de rodillos, de ser así, habría que proceder a recortarlas (ver figura 66).

Figura 66. **Tensor de auxiliar de la cadena autosostenible**



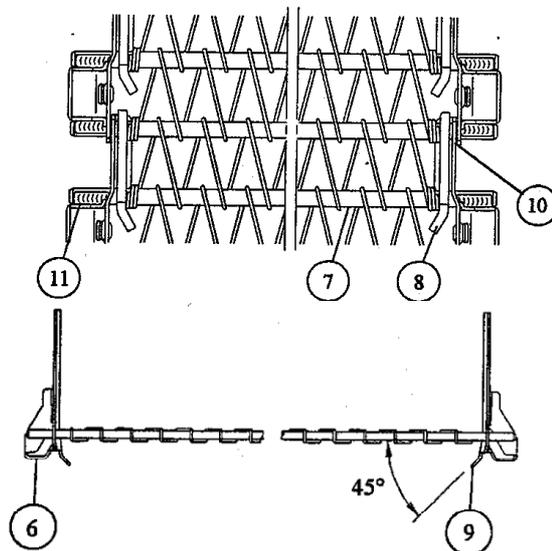
Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 112.

También es importante revisar en si la cadena auto sostenible completamente como se ve en la figura 67, tanto en el sistema de tracción como cada uno de sus eslabones, para que se auto sostenga si problema y no haya atascamientos durante la producción y poder descubrir a tiempo marcas de desgaste por mal alineamiento de las guías. Es necesario hacer lo siguiente:

- Comprobar que la parte inferior de los pies de enlace (6) no muestran signos de desgaste excesivo.
- Comprobar que las varillas (7) están rectas.
- Comprobar que no haya un espacio mayor (máx. 0,5 mm) entre los enlaces de las platinas (10).

- Comprobar que las platinas (9) están en su posición normal, aproximadamente a 45 ° a las varillas transversales como se muestra en el dibujo.
- Comprobar que las platinas de tensión (8) están cerca de las platinas secundarias.
- Comprobar que las soldaduras (11) entre las platinas y los soportes están intactos.
- Reposicionar los guardas en el sistema de alimentación.

Figura 67. **Desglose de la cadena de transporte de producto**



Fuente: Frigoscandia. Manual del túnel de congelado Gyrocompact. p. 114.

4.1.4. Mantenimiento a la bomba de lubricación

Es importante la lubricación del equipo y sobre todo la cadena de transporte de producto, la cual es lubricada por el sistema de lubricación centralizada. En este tipo de aplicación es más eficaz, cuando el lubricante se dispensa en pequeñas cantidades a intervalos de tiempo cortos. El propósito básico del sistema central de lubricación centralizado, es proporcionar un medio controlado y fiable para lubricar múltiples puntos desde una ubicación central con sistemas de flujo proporcional con orificios restrictivos. El sistema de lubricación central, debe ser revisado regularmente para operar a su máxima eficiencia. En el desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo en relación con los sistemas de lubricación centralizada, los principales componentes del sistema deben ser revisados periódicamente.

Los componentes importantes son:

- Estación de bombeo: entrega lubricante para el sistema en el flujo y la presión adecuada. Puede incluir controles de flujo y presión, temporizadores, filtros, manómetros y dispositivos de protección contra sobre-presión.
- Sistemas de distribución de lubricante: entregar el lubricante de la estación de bombeo a las válvulas de dosificación y las válvulas de dosificación para el punto de lubricación.
- Válvulas dosificadoras y accesorios: proporcionan la entrega vigilada de lubricante a los puntos de lubricación específicos, ya sea un flujo pistón tamaño específico o por un orificio de restricción de flujo de tamaño específico.

Figura 68. **Bomba de engranes de alto bombeo con tanque de reserva**



Fuente: Catálogo general. www.interlubesystems.co.uk. Consulta: 13 de julio de 2013.

La mayoría de los sistemas de lubricación centralizados están diseñados con un dispositivos de verificación visual o audible incorporado en el sistema, estos dispositivos también son susceptibles a fallas y deben ser revisadas periódicamente. Un dispositivo de advertencia de bajo nivel en el depósito de lubricante es beneficioso para el sistema.

Es importante el mantenimiento preventivo diario, y una fase es comprobar el nivel de lubricante en el depósito de alimentación (ver figura 68). Esta comprobación debe incluir un examen visual del lubricante para la contaminación en los casos en que el lubricante está abierto a la atmósfera durante la transferencia y la manipulación. El sistema utiliza filtros y pantallas que deben ser revisadas periódicamente para evitar la contaminación, acumulación u obstrucción, y debe de realizarse limpieza o cambio.

En el área de control del sistema, el temporizador se debe comprobar para asegurar que los ajustes de tiempo predeterminados no han sido alterados. Todos los controles eléctricos y terminales deben revisar visualmente la limpieza y conexiones estrechas. Los componentes eléctricos deben estar contenidos dentro de un panel que pueda ser cerrado y asegurado para proporcionar protección frente a condiciones atmosféricas, agua o mala operación y por ende mal funcionamiento del sistema por personal no autorizado. Durante las operaciones manuales del sistema, debe comprobarse la presión del sistema y comparar a las presiones normales de funcionamiento determinadas previamente.

Debe revisarse la entrega de lubricante, pero el solo hecho de ver las tuberías y el funcionamiento, no asegura que el lubricante se está entregando al punto de lubricación. El siguiente paso es comprobar el sistema de distribución. En el túnel de congelado, debido a la limpieza y entrada de operarios diaria al interior pueden causar rupturas, o doblado de tuberías y tubos en cualquier tramo de la tubería. Algunas condiciones pueden conducir a los sistemas de control y dispositivos de advertencia para indicar un rendimiento satisfactorio a través de señales, cuando en realidad, no se están lubricando algunos puntos de la cadena. La mejor manera de asegurar que todos los puntos de lubricación están siendo adecuadamente atendidos es comprobar visualmente cada salida.

Las frecuencias de mantenimiento preventivo son variables, y están determinadas por las condiciones de operación, la complejidad del sistema, la naturaleza crítica del tiempo de operación del túnel de congelado. Controles operacionales básicos del sistema y los controles de suministro de lubricantes se deben de llevar como control para no incurrir en fallas.

Además del desarrollo y la aplicación de los procedimientos de mantenimiento preventivo de los sistemas centrales de lubricación, personal de la planta debe estar capacitado en los aspectos básicos del sistema y el control como herramienta diaria.

4.1.5. Mantenimiento de la bomba de lavado a presión

El mantenimiento a la bomba de lavado a presión se refiere en este apartado, a la bomba que sirve en el inicio de la cadena para aportar agua necesaria para lavar la banda transportadora, requiriendo de un mantenimiento programado y controlado. Con más detalle, por ser una bomba centrífuga el tema se extenderá en la sección 4.2.9 en donde se describirá completamente el mantenimiento por ser un tipo de bomba similar y que trabajan bajo condiciones similares, por lo tanto el mantenimiento no varía y así, no se redundará en el tema.

4.1.6. Mantenimiento al sistema eléctrico

En el mantenimiento del sistema eléctrico general, que deberá de realizarse cada cierto tiempo se debe dar importancia a los siguientes puntos:

- Revisar visualmente las abrazaderas que sostiene las tuberías, revisar las tuberías en toda su extensión, así sean flexibles y o rígidas, tomar en cuenta los recubrimientos o asilamientos que tuvieran para mantenerse en buenas condiciones.
- Las tuercas de aseguramiento de las tuberías y cajas de conexión se deben de atornillar y apretar correctamente. Las cajas de derivación o de registro deben de estar selladas completamente.

- Al destapar las cajas de conexión, conexiones a motores eléctricos, derivación y entradas a los sensores, debe revisarse que no haya agua o humedad excesiva en las mismas. Comprobando al mismo tiempo la textura y apariencia del cableado eléctrico, si presenta grietas o cambio de color fuerte, deben cambiarse para evitar fugas de corriente y cortocircuito a tierra a causa de mal aislamiento.
- Luego de revisar completamente los cableados y tuberías se procede a revisar el panel eléctrico principal y auxiliar, revisando las partes internamente y todos los dispositivos eléctricos de potencia y control del túnel de congelado.

Para los dispositivos eléctricos, debe verse individualmente, pues el mantenimiento muchas veces depende de la calidad y marca que se usa, si es de trabajo pesado y liviano, es importante revisar los manuales del fabricante y así poderlo establecer en la rutina de mantenimiento preventivo.

4.1.6.1. Mantenimiento al panel eléctrico

Dentro del panel de eléctrico principal, está contenido el controlador principal de la mayoría de las funciones de control, que se realizan para mantener el túnel de congelado operando bajo las mejores condiciones. Su distribución se realiza por medio de 4 conductores, tres de fase y uno neutro.

Entre las conducciones de fase se encuentra la máxima tensión y entre estas fases y el neutro, está la tensión mínima; este sistema permite la utilización indistinta del trifásico. Los circuitos están formados por las canalizaciones, los conductores y sus terminales (enchufes o interruptores). Las canalizaciones pueden ser de tipo tubería, metálicas o no metálicas, subterráneas, bandejas porta conductores y en escalerillas porta conductores.

En el mantenimiento, los circuitos eléctricos se controlan desde los tableros de distribución, los que están compuestos por un protector de la alimentación principal y de los protectores de tensión por cada uno de los circuitos. Además, pueden tener protectores diferenciales para los circuitos de distribución. Los protectores tienen definida la posición de activado, de tal modo que es fácil controlar si el sistema está en servicio o no. Si los protectores están desactivados, se debe a la existencia de un cortocircuito por exceso de consumo en el caso de los protectores de tensión, o a una pérdida diferencial del amperaje; en ambas situaciones se debe revisar el circuito para verificar la falla correspondiente.

Un protector diferencial consiste en regular la intensidad de la electricidad para proteger a las personas. De tal modo, si hay una mínima diferencia (por ejemplo: 30 mA o 0,03 A) el sistema se corta para evitar un golpe eléctrico al usuario de algún equipo o como advertencia que el sistema está teniendo pérdida. Todo el sistema se debe revisar que esté aterrizado, con tierra física para evitar daños a personas o componentes eléctricos y electrónicos.

4.1.6.2. Mantenimiento a sensores y líneas eléctricas

El mantenimiento a los sensores, que se refiere acá se toma dentro de los principales componentes eléctricos dentro del túnel de congelado, haciendo referencia de su mantenimiento y calibración en la sección 4.2.11 para una mayor comprensión del tema de los sensores en general. Para las líneas eléctricas se usan conductores eléctricos, que son cables o alambres que permiten el tránsito eléctrico. La corriente eléctrica circula libremente cuando, a través de su fuente, puede alimentar un aparato sin que la conducción plantee problemas u ofrezca resistencia. Los conductores de sección gruesa ofrecen una resistencia más baja que los de sección menor.

Cualquier resistencia a esta circulación provoca un calentamiento en el lugar en que la corriente es obstaculizada. De nada sirve recurrir a conductores gruesos, si las conexiones son demasiado pequeñas; en este punto se calentará el sistema. Por el contrario, si las conexiones son las apropiadas y el cable es muy débil, será éste el que se caliente. Teniendo en cuenta lo anterior, a mayor sección del cable eléctrico es mayor la intensidad de corriente (A) admisible. Los conductores eléctricos se distinguen entre rígidos y flexibles. Los conductores rígidos son alambres, hasta la sección de 4 mm^2 tienen una presentación homogénea, con envoltura aislante; sobre esta sección, los conductores están formados por varios cables rígidos ligeramente retorcidos. Los conductores rígidos o compactos están dentro de canaletas o tuberías y conexiones fijas. Estos conductores no pueden estar sometidos al riesgo de deterioro por repetidos cambios o movimientos.

En el mantenimiento, se tomará en cuenta lo siguiente para determinar si el cable se reemplaza o no.

- El cable debe conservar el color y no presentar grietas en su superficie, debido a que este provocaría fugas de corriente y corto circuitos que dañarían los dispositivos.
- Después de un tiempo los cables pueden presentar sarro en su interior, lo que daña su aislante y además la resistencia por ellos. Se verá afectada la conductividad lo que causaría problemas de calentamiento.
- A las líneas con daño o que visualmente se miren con problemas, se les puede realizar pruebas de aislamiento para ver si no tiene fugas que no son aparentemente vistas.
- Si es necesario debe de hacerse un cambio de conductores usando las tablas correspondientes para su selección, dependiendo en que sean utilizado, porque podrían estar en sensores, dispositivos o motores.

4.2. Mantenimiento de componentes de refrigeración

En las siguientes secciones se tratarán por separado el mantenimiento de los diferentes componentes de refrigeración como son: acoples motores, filtros, sellos, etc. que ayudan a mantener el sistema en perfectas condiciones, tomando en cuenta que cada uno tiene un comportamiento diferente dependiendo las condiciones de uso.

Es recomendable seguir las recomendaciones del fabricante dependiendo el dispositivo, es necesario usar los manuales del fabricante, ya que las especificaciones en cuanto a marcas son diferentes, por los materiales utilizados en la fabricación de cada componente. En la figura 69, se ve un sistema de compresión. Por la criticidad del manejo del amoniaco, al sustituir, cambiar o realizar el mantenimiento es necesario tomar en cuenta las normas de seguridad industrial y seguir los lineamientos en cuanto al manejo del mismo.

Para esto tiene que contarse con el equipo de protección adecuada, teniendo en cuenta ventilación y dos mecánicos para muchas de las operaciones a realizarse. Los equipos de autocontenido deben estar a la mano y estar informados de cómo reaccionar ante una emergencia con amoniaco en un mantenimiento preventivo de un equipo o dispositivo. En la figura 66, se puede ver un sistema de compresión vilter.

Figura 69. **Sistema de compresión**



Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor. p. 1.

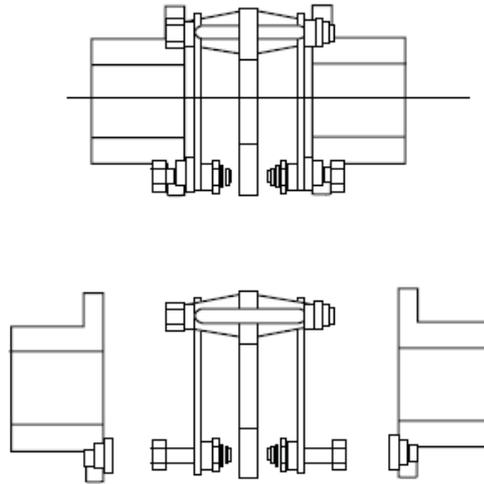
Acá se pueden apreciar algunos de los componentes del sistema de refrigeración que serán descritos a partir de la siguiente sección.

4.2.1. Cambio de acople mecánico entre motor y compresor

En la actividad de mantenimiento de transmisión de potencia es importante el desarmar y armar el acople flexible que los une al motor eléctrico y el compresor. Al desarrollar el tema lo más importante es la alineación del acople, ya que esto permite tener una buena transmisión de potencia a la máxima eficiencia y no dañar cojinetes tanto del compresor como del motor eléctrico.

Además se evitan vibraciones que interfieren en el funcionamiento y fatiga del material de la carcasa y demás partes en movimiento. Hay una condición especial de alineación para no dañar los sellos y cojinetes. La alineación final debe estar dentro de las 0.004" (0.1 mm) de la lectura total del indicador para todas las direcciones, esto en el caso de los compresores vilter VSS y 0.01"(0.25mm) para los modelos VSM que se tomaron como ejemplo y así lo muestra la figura 70. Para otros modelos debe consultarse el manual del fabricante.

Figura 70. **Acople entre compresor de tornillo y motor eléctrico**



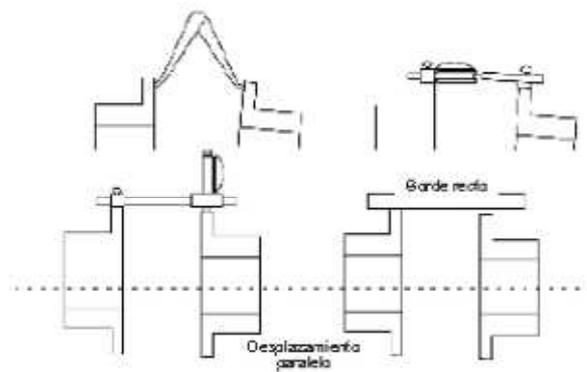
Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor. p. 26.

Es importante tomar en consideración lo siguiente al realizar el montaje:

- Limpieza y revisión de la condición de las piezas: limpiar las piezas y aceitarlas como corresponda para el armado. Las roscas de los tornillos deben de estar lubricadas;
- Revisar las tuercas y contratuercas que no tengan daño visible. Revisar eje y acoples libres de daños o grietas;
- El montaje del núcleo: limpieza de melladuras, rebabas, medir los diámetros internos de los acoples, como de los externos de los ejes, para asegurarse que coincidan perfectamente;

- Si el diámetro interno es recto: si queda muy ajustado el acople respecto al eje, puede calentarse el eje con un método no destructivo para expandir el acople y que engase correctamente;
- Si el diámetro interno es cónico: use un indicador de posición como guía y revise los valores de holgura en los acoples para que coincidan. Un dispositivo de detección axial puede ser utilizado y además, puede apoyarse con un micrómetro de profundidad. Si hay necesidad de expandirlo use un método no destructivo para expandir el acople y que engase correctamente;
- Para alinear se coloca todo en su posición original y se va aproximándolo al ajuste;
- Corregir las patas con desnivel: hay que nivelarlas sobre su base aproximadamente (± 0.002 pulgadas);
- La distancia axial: debe tomarse en cuenta el ancho del acople armado según las medidas que recomiende el fabricante del mismo y a partir de ahí alinear;
- Alineación angular: montar de manera rígida un indicador de cuadrantes sobre el eje, hacerlo girar y verificar la máxima desalineación, debería estar dentro de los 0.002 pulgadas por pulgada de la longitud axial entre los elementos flexibles (ver figura 71);

Figura 71. **Bridas para alineación**



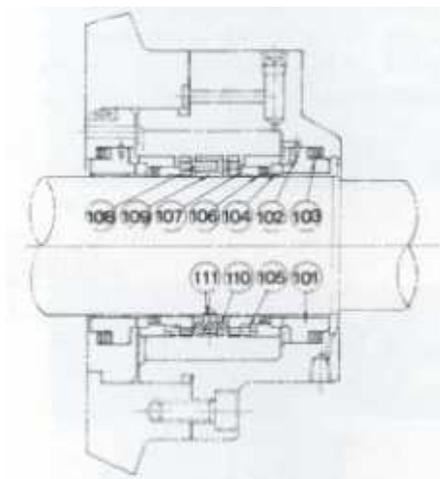
Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor. p. 27.

- Se deberá verificar la alineación de las unidades de las bridas C cuando el compresor o el motor se reemplacen;
- Deberá tomarse en cuenta la alineación lo más cercana a lo recomendado, un acople regularmente soporta cuatro veces la alineación recomendada a buenas condiciones térmicas. Si todo está alineado, los tornillos coincidirán perfectamente y todo quedará bien armado y las pilas de discos de nitrilo y termoplástico quedarán perfectamente montadas;
- Al terminar de armar, vuelva a comprobar la alineación y de ahí depende el arranque de la unidad. El haber dejado todo lubricado, ayudará en el próximo mantenimiento que las piezas se puedan desarmar con facilidad.

4.2.2. Cambio de sello mecánico a compresor

El cuidado y mantenimiento adecuado del sello mecánico, permite que el eje del compresor pueda rotar sin dejar fugar amoníaco hacia el ambiente. La estructura de construcción del cierre mecánico se muestra en la figura 72.

Figura 72. Construcción de un sello mecánico



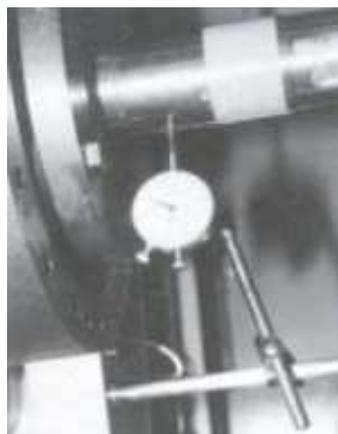
Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor vilter. p. 126.

El cierre mecánico rota en un baño de aceite diseñado para mejorar la refrigeración y el cierre. El cierre cuenta con dos superficies de fricción; el lado del rotor se encuentra sellado por aceite mientras que el lado exterior está en contacto con el aire. Tanto un anillo de morganita (101), como el anillo fijo, se encuentran en el lado exterior del rotor así como el reten (48) el cual se encuentra alojado contra la tapa del cojinete. En el lado de la tapa del cierre mecánico se localiza otro anillo de morganita.

El perímetro se encuentra sellado con juntas de teflón en V. En el lado de rotación se encuentra el anillo de cierre giratorio, el cual se encuentra fijado al eje mediante dos tornillos Allen (111) y cuenta con ejes guía y muelles que pasan por su interior. Las juntas de teflón V así como las juntas de teflón, garantizan la compatibilidad con el amoniaco.

El montaje y desmontaje del sello mecánico, debe realizarse anualmente con el mantenimiento completo al compresor y debe reemplazarse, cuando se hacen inspecciones trimestrales, debe revisarse las caras del sello, si este ha presentado fuga y si es necesario, rectificarlas con un método no destructivo, volver a armar y verificar si funcionó o se necesita un reemplazo por desgaste de las caras. Deben revisarse cuando se tiene duda la deflexión radial del eje como en la figura 73, para no tener los problemas que se mencionan a continuación:

Figura 73. **Comprobando la deflexión radial del eje**



Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor. p. 127.

Regularmente las fugas en el cierre mecánico no solo pueden ser debidas a un defecto en los materiales que componen el cierre mecánico sino también, por un problema en la alineación del motor compresor. También, las vibraciones pueden ser causa de fugas en el cierre mecánico. En el caso de que después de la inspección del cierre mecánico no sean observados daños, proceder a la inspección de otros agentes externos tales como se mencionaron anteriormente.

Procedimiento de montaje:

- Limpiar cuidadosamente las superficies de contacto. Cualquier raya longitudinal que se aprecie en la superficie de contacto, debe ser eliminada empleando papel de lija o pasta de esmeril;
- Fijar la morganita dentro del retén. Asegurarse de montar la junta V en la posición correcta;
- Fijar la morganita dentro de la tapa del cierre. Al realizar el montaje tener cuidado de no dañar la morganita;
- Atornillar una varilla al anillo de cierre fijo y montarlo sobre el cuerpo de cojinetes. Colocar los agujeros de engrase del anillo de cierre fijo en la parte superior y con el pasador encajado en la muesca. Intentar girar hacia izquierda y derecha para confirmar que se encuentra en la posición correcta;

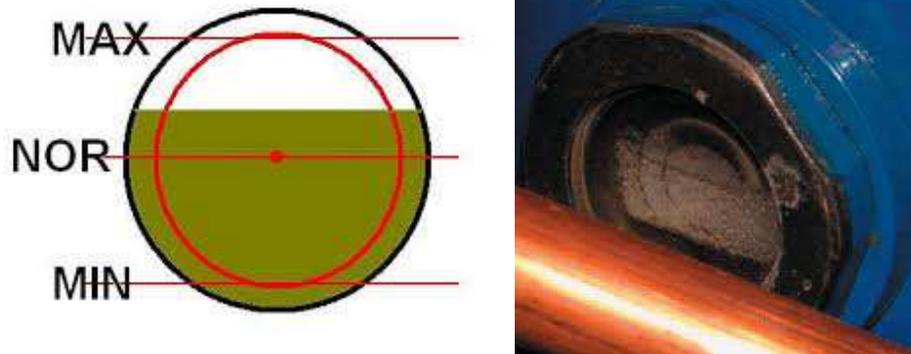
- Aplicar aceite en el cierre mecánico y montarlo en el eje. Empujar el conjunto una vez encajado y atornillado en el collar del cierre mecánico y fijarlo a las muescas del eje con los dos tornillos Allen;
- Apretar el anillo exterior para confirmar movimiento;
- Fijar la junta tórica de la tapa del cierre mecánico;
- Fijar la junta plana de la tapa del cierre mecánico. La muesca deber encajar con la existente en la tapa de cojinetes. Cerrar la tapa con los tornillos Allen y su par de apriete adecuado;
- Girar el rotor para confirmar movimiento.

4.2.3. Cambio de aceite y filtros

Es importante el mantenimiento durante el funcionamiento, mantener el nivel de aceite del separador en el rango operativo normal entre las dos marcas de nivel circular como se muestra en la figura 74. Si el nivel de aceite es visible solo en el indicador de nivel inferior, agregar aceite al compresor en funcionamiento a través de la conexión ubicada en la entrada de succión del compresor.

Inyectar aceite al compresor hasta que el nivel de aceite en el separador se encuentre entre los dos indicadores de nivel circular siguiendo un procedimiento por el amoniaco.

Figura 74. **Mirilla de nivel de aceite máximo y mínimo**



Fuente: Vilter. Catálogo de compresores vss. p. 10.

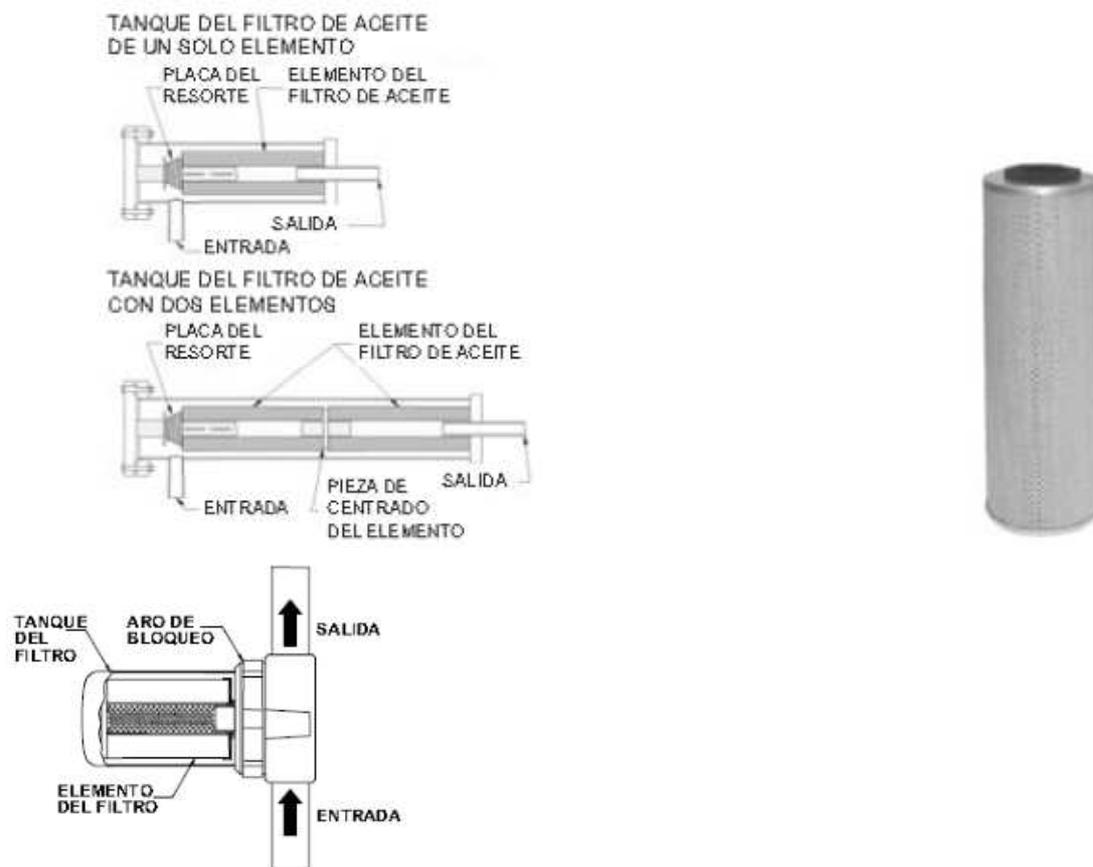
Controlar este nivel atentamente para mantener un funcionamiento adecuado. Nunca permitir que el aceite alcance un nivel por encima del que marca el indicador de nivel máximo, puesto que esto puede perjudicar el funcionamiento y la eficacia del separador de aceite de este recipiente, por saturación. Cambiar el filtro de aceite luego de las primeras 200 horas de funcionamiento cuando un compresor es nuevo o después de una reparación mayor, según lo indique el medidor de horas. Luego, reemplazar el filtro cada seis meses o cuando la caída de presión de aceite en el filtro alcance 45 psi, lo que ocurra primero. La caída de presión en el filtro se lee en el panel del microprocesador o manómetro diferencia de la bomba si tuviera. Verificar la caída de presión y anotarla diariamente como parte del mantenimiento.

Como preparación para quitar el filtro, apagar el compresor. Aíslar la carcasa del filtro adecuadamente. Se debe aislar el filtro que se debe reparar antes que el tanque pueda abrirse para evitar fugas de amoniaco. Procedimiento del cambio del filtro de aceite: liberar la presión de la carcasa del filtro de aceite abriendo las válvulas de purga en la válvula de cierre del conjunto de bloqueo y purga, o en la válvula de purga de la carcasa del filtro de aceite. Asegúrese de cumplir las normas de seguridad industrial sobre el manejo del amoniaco y las precauciones necesarias para no contaminarse.

Drenar la carcasa del filtro en un recipiente adecuado y desechar el aceite en la forma correspondiente por reciclado. Aflojar los tornillos que sostienen la brida de cubierta del tanque. Quitar la brida de cubierta y la placa del resorte. Tirar de las partes del filtro. Antes de volver a ensamblar, limpiar en profundidad el tanque y la placa del resorte para extender la vida útil de los elementos del filtro. En la figura 75 se puede ver el filtro. Luego cargar el aceite al sistema completando el aceite al nivel normal, y luego del arranque revisar que el nivel se mantenga, si baja agregar aceite para completar el nivel normal.

Deberá accionarse el calentador de aceite, el cual mantendrá el mismo a una temperatura de arranque normal, cuando el compresor se para por reparaciones o falta de uso así en los arranques optimizará los mismos ayudando a mantener una viscosidad adecuada.

Figura 75. Filtro de aceite, de uno y dos elementos, un elemento filtrante y el corte transversal de la carcasa del filtro



Fuente: Vilter. Manual de instalación de un compresor. p. 38.

El aceite para refrigeración debería de cumplir con las siguientes características:

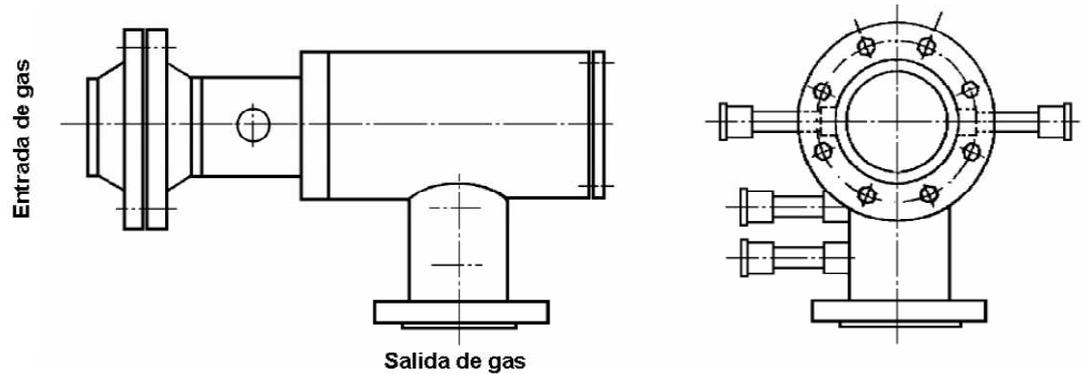
- Baja volatilidad: la alta volatilidad en los lubricantes convencionales aumenta su consumo, ocasionando depósitos de residuos.
- Baja solubilidad del amoníaco: son seleccionados y combinados a fin de minimizar el índice de mezcla con el refrigerante, lográndose finalmente la reducción en el volumen de la descarga de aceite desde el compresor, el que generalmente deberá ser eliminado del circuito de tubería de Amoníaco.
- Alto índice de viscosidad para lograr una mayor estabilidad térmica: los lubricantes se vuelven más espesos a medida que la temperatura disminuye y más ligeros al aumentarse. Manteniéndose en el rango de viscosidad requerida por las especificaciones del compresor.
- Una viscosidad consistente sobre el tiempo: los aceites se vaporizan a mayores temperaturas, evitándose un aumento en la viscosidad y manteniéndose la viscosidad requerida por miles de horas más que los aceites a base de solventes refinados. Esta ventaja aumenta la vida útil del compresor, así como los intervalos de drenaje. No deben ser miscibles con agua, evitando la formación de emulsiones. Esto aumenta la vida útil del aceite y mantiene la capa protectora en el espesor requerido a bajo nivel de volatilidad.

- Mínima o ninguna formación de espuma: las características de baja formación de espuma en los lubricantes para sistemas de refrigeración a base de amoníaco, garantizan una rápida separación entre el amoníaco y el lubricante. Estas características permiten un mejor desempeño del lubricante, un mayor índice de enfriamiento y sellado entre los rotores en compresores de tornillo y otros.
- Inhibición del proceso de oxidación: los lubricantes para sistemas de refrigeración de amoníaco, poseen aditivos que mejoran la protección natural de sus componentes básicos, a fin de evitar la formación de herrumbre dentro del compresor y otros elementos metálicos del sistema.

4.2.4. Limpieza de filtro de la succión del compresor

El filtro de aspiración o de succión está montado en el lado aspiración del compresor, para proteger al sistema contra la entrada de las partículas metálicas, o de empaquetaduras y evitar una posible rotura interior o desgaste mecánico del compresor de tornillo como en la figura 76. El material del elemento filtrante es de acero inoxidable. El elemento consiste en tres capas: malla de 30 *mesh*, malla de 200 *mesh* y de 24 *mesh* desde interior hacia el exterior. La dirección de flujo de gas, es desde el interior, hacia el exterior del elemento. El tamaño máximo de las partículas que pueden pasar es de 75 micras. Esto puede verse en la figura 78.

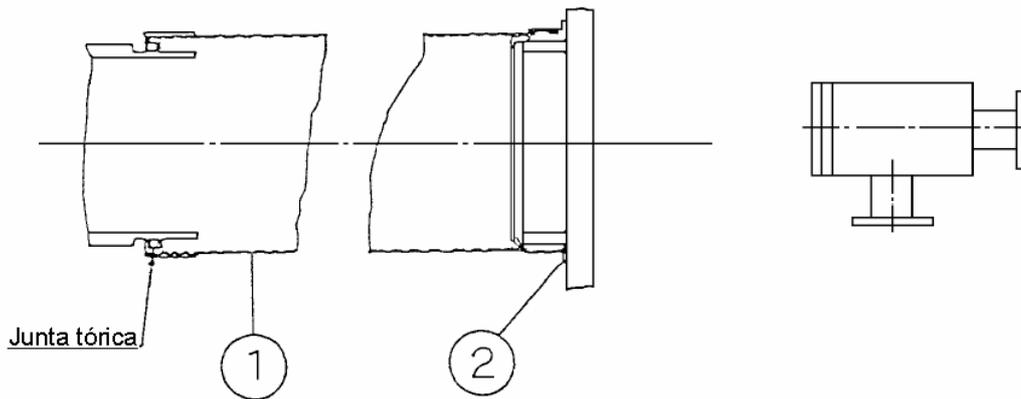
Figura 76. **Codo de lado de aspiración de un compresor de tornillo**



Fuente: Frick. Manual de compresor vss. p. 58.

Forma de limpiar o reemplazar el elemento filtrante: debe pararse el compresor y aplicar todas las normas de seguridad requeridas para esta acción de mantenimiento preventivo, cerrar las válvulas de cierre en la aspiración y la descarga y despresurizar la unidad. Quitar la tapa del filtro, desmontar el filtro y proceder a limpiarlo con un solvente y verificar que no tenga daño en las capas y que todas las partículas atrapadas, sean removidas adecuadamente. Si es necesario o el filtro tuviera defecto que ponga el peligro su función, proceder a cambiarlo por otro elemento exactamente igual. Luego armar al inverso. Es importante en la limpieza o en el cambio, revisar que siempre esté la junta tórica como en la figura 77.

Figura 77. **Montaje del elemento y junta tórica**



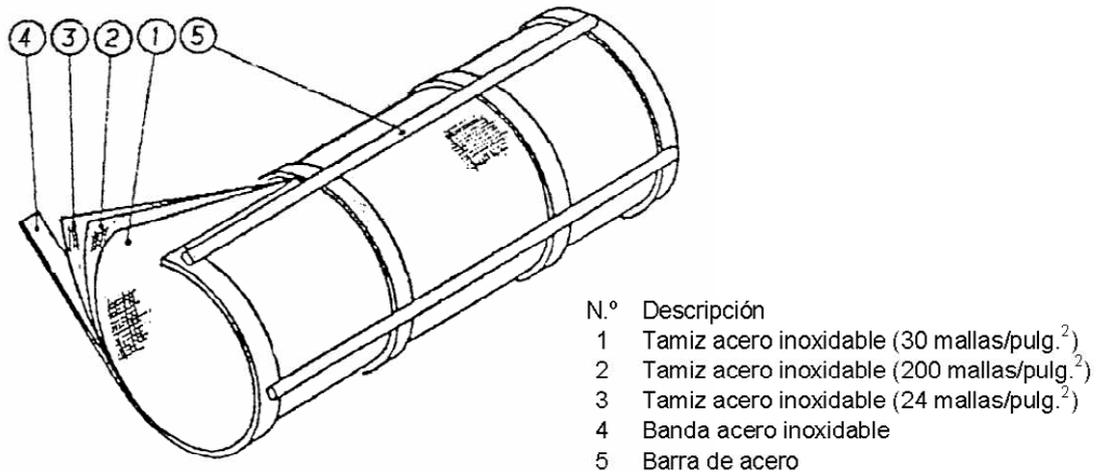
Fuente: Frick. Manual de compresor vss. p. 58.

Las partes del filtro son:

- Brida/contra brida de aspiración (1).
- Cuerpo (2).

Se puede apreciar la forma de construcción del filtro y cómo va el montaje, y al igual que cualquier elemento deben de tenerse los cuidados especiales de montaje y desmontaje.

Figura 78. **Elemento filtrante del lado de succión, se muestran las capas de mesh**



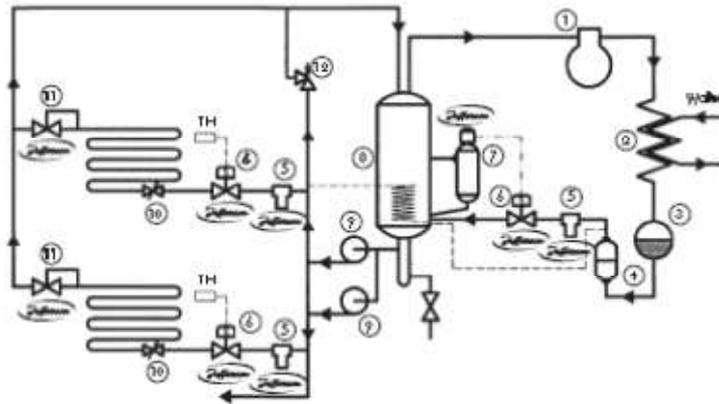
Fuente: Frick. Manual de compresor vss. p. 59.

4.2.5. Limpieza de filtros de la línea de líquido

En la línea de líquido, antes de entrar a la válvula de expansión en este caso para amoníaco, existe un filtro que retendrá las partículas de hasta 100 micrones, que puede retener residuos de empaquetaduras del sistema o restos metálicos del sistema.

La posición del filtro en la línea de líquido respecto a la válvula se puede apreciar en la figura 79. Con dos evaporadores a diferentes temperaturas.

Figura 79. **Circuito tipo de refrigeración por NH₃ con evaporadores a diferentes temperaturas**



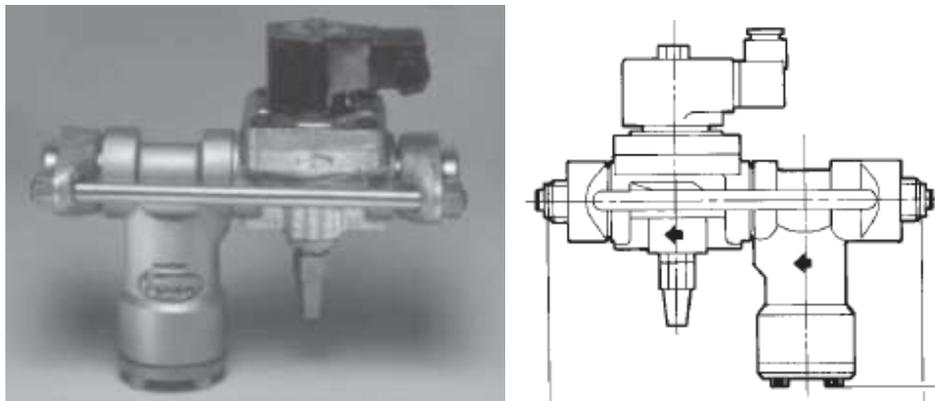
- Compresor (1)
- Condensador (2)
- Recibidor (3)
- Filtro secador (4)
- Filtro (5)
- Válvula solenoide (6)
- Interruptor magnético del nivel (7)
- Tanque separador (8)
- Estación de bombeo (9)
- Válvula de estrangulamiento (10)
- Válvula reguladora de presión (11)
- Válvula de alivio (12)

Fuente: Jefferson. Manual de válvulas Jefferson, p. 8.

En el mantenimiento es importante en el desmontar del elemento filtrante de acero inoxidable siguiendo todas las normas de seguridad, primeramente hay que desatornillar los pernos como se muestra en la figura 80, en la parte baja del cuerpo habiendo aislado la línea de líquido y el sistema parado.

Luego de despresurizar, desmontar el elemento filtrante y proceder a soplarlo con aire a presión, y si es necesario por el aceite y contaminación, limpiarlo con un tipo de solvente, en este momento se puede revisar si solo requiere limpieza o reemplazo. Luego volver a rearmar, vaciar el sistema de aire y humedad y volverlo a presurizar para arrancar el sistema y probar que no haya fugas en el sistema.

Figura 80. **Elemento filtrante y válvula solenoide**



Fuente: Jefferson. Manual de válvulas. p. 9.

4.2.6. Purgas de aceite en el sistema de refrigeración

La presencia excesiva de aceite en el sistema puede ser detectada si se mantiene un registro de las cantidades o volumen de aceite cargado o retirado del sistema. El drenar aceite del sistema es una de las tareas que conlleva el riesgo de fugas de amoníaco, por lo cual se deben desarrollar procedimientos escritos para retirar, cargar o hacer cambios de aceite. Entre las medidas de seguridad que estos deben contemplar se recomiendan las siguientes para el drenado de aceite.

- Nunca se debe retirar aceite del sistema sin primero detener las bombas y aislar apropiadamente el sector o componente donde se realizará la tarea. De ser necesario si el lugar no es ventilado, colocarse un equipo de respiración auto contenido ya regulado como se ve en la figura 78.

Figura 81. **Equipo de respiración autocontenido**



Fuente: Catálogo de seguridad industrial. www.msasafety.com. Consulta: 15 de junio de 2013.

- En todos los puntos de drenaje instalar adicionalmente una válvula de globo de cierre rápido de $\frac{1}{4}$ de vuelta, idealmente de cierre automático con resorte que funcione deteniendo la salida de aceite en caso que el operador tenga algún problema o deba abandonar su puesto frente a una emergencia. Esta válvula se debe considerar como una “válvula de parada de emergencia”.
- Si no se utiliza una válvula de cierre automático, es necesario que en la tarea participen por lo menos dos personas, que utilicen equipos de protección personal.
- Independiente del uso de una válvula de cierre automático, el operador no debe desatender la tarea mientras dure el drenaje.
- Mientras se realiza la tarea, si corresponde, mantener el sistema de ventilación en funcionamiento.

El aceite drenado deberá llevarse a un estanque o vasija cubierta conteniendo agua. Es recomendable que esto se haga a través de una manguera transparente para observar el paso del aceite.

4.2.7. Purga de aire del sistema de refrigeración

Por malas prácticas en la carga del refrigerante, a un sistema de refrigeración por amoníaco la cual podría haber sido un mal vaciado de la tubería por medio de la bomba de vacío o también, debido a orificios o fugas en el lado de baja presión, suele entrar aire al sistema de refrigeración por amoníaco, siendo este un gas no condensable y que causa problemas en el sistema. El aire, es la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre. El aire es esencial para la vida en el planeta, pero dañino dentro de un sistema de refrigeración. Aproximadamente está compuesto por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), vapor de agua (0-7%), ozono, dióxido de carbono y gases nobles como kriptón y argón; es decir un 1% de otras sustancias.

Para la remoción de los no condensables, Los puntos de purga deben estar localizados donde el refrigerante esté en estado de vapor y su velocidad sea baja. La necesidad de purgar el condensador puede establecerse midiendo la temperatura del líquido, si la presión es más alta que la correspondiente a la temperatura de saturación, debe entonces purgarse (ver figura 82).

Figura 82. **Tanque de líquido de refrigerante amoniacaco, con punto de purga**



Fuente: BURITICA, Ismael. Manual mejores prácticas de los sistemas refrigeración por amoniacaco en la industria cervecera. p. 38.

Los tres conceptos principales de purgar aire son:

- Purga directa de la mezcla refrigerante-aire.
- Compresión de la mezcla, condensación del refrigerante y venteo de la mezcla.
- Condensación del refrigerante en la mezcla con alto contenido de aire, esto puede hacerse en el condensador, en la parte más alta después de haber esperado 5 minutos de haber apagado el sistema. Además, en la parte baja del tanque se puede remover el agua que el sistema tenga.

La contaminación con agua durante el arranque inicial, o algún tipo de mantenimiento largo puede y debe ser evitada así:

- Usando amoniaco anhidro puro en la carga.
- Aplicar procedimientos apropiados en las pruebas de presión.

Toda el agua que entre al sistema permanece allí y la concentración se incrementará todo el tiempo si no se evacua. Deben de purgarse los tanques. Si no se dispone de tiempo para el cuidado de esta operación o personal capacitado y los sistemas son grandes, puede optarse por un purgador automático de algún fabricante, como el de la figura 83, que cumpla la función de remover agua y de eliminar aire del sistema.

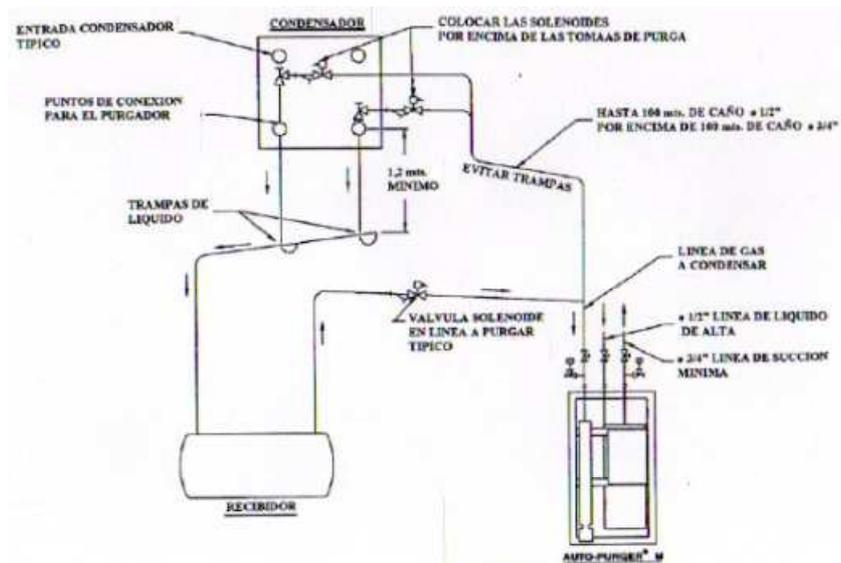
Figura 83. **Purgador automático de aire y no condensables**



Fuente: HANSEN. Manual de instalación y manejo de purgador M. p. 12.

Este un purgador totalmente automático, controlando electrónicamente los gases no condensables (aire) y el agua, reduciendo los costos del consumo de energía de la instalación. Incluye un burbujeador de agua automático; válvula de alivio y un paquete de válvulas Solenoides con filtro y de paso para el servicio. Se muestra la forma de instalación del sistema en la figura 84.

Figura 84. Colocación en el sistema de refrigeración, el autopurgador



Fuente: HANSEN. Manual de instalación y manejo del purgador M. p. 16.

El aire y el agua son perjudiciales para el correcto funcionamiento de los sistemas de refrigeración de amoníaco. El aire en el sistema se acumula en el condensador, obstruyendo la transferencia de calor, y por lo tanto resulta ser mucho más alta la presión de condensación. El agua en el amoníaco, eleva el punto de ebullición del refrigerante, requiriendo bajar más la presión de succión, para mantener la temperatura correcta de evaporación del refrigerante.

Este dispositivo ayuda a mantener automáticamente baja la condensación y la temperatura de succión en condiciones casi óptimas, ya que tanto el aire como el agua son removidos al exterior; el mantenimiento, y el consumo de energía se reducen al máximo necesario. Además, la operación es muy fácil.

4.2.8. Mantenimiento a ventiladores

Los ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás, tienen un rodete con las álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento, con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo no sobre cargable. En un ventilador no sobre cargable, el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo, de forma que cualquier cambio a partir de este punto, debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor. La forma de los álabes condiciona la acumulación de materiales sobre ellas, de forma que el uso de estos ventiladores debe limitarse como se indica a continuación:

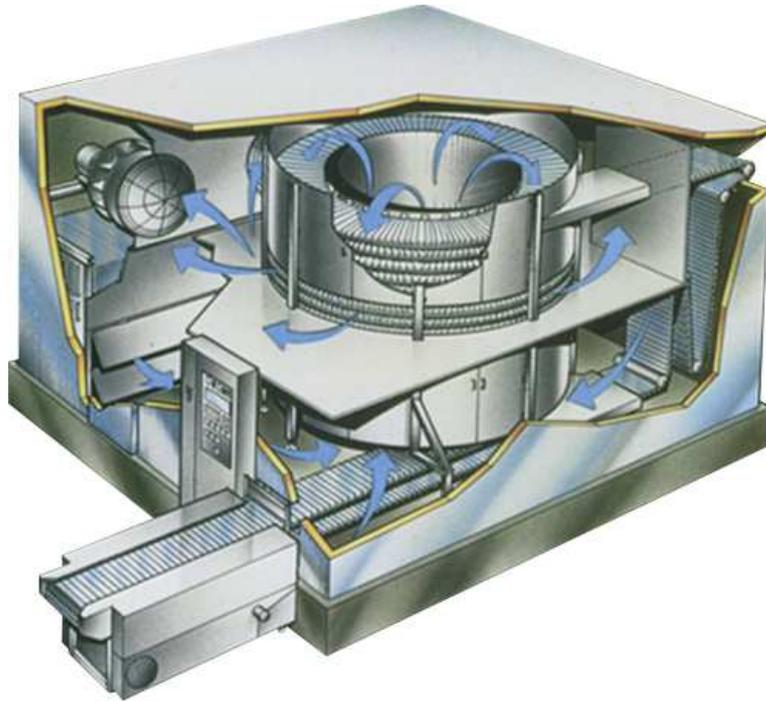
- **Álabes de espesor uniforme:** los álabes macizos permiten el trabajo con aire ligeramente sucio o húmedo. No debe emplearse con aire conteniendo materiales sólidos ya que tienen tendencia a acumularse en la parte posterior de los álabes.

- **Álabes de ala portante:** los álabes de ala portante permiten mayores rendimientos y una operación más silenciosa. Los álabes huecos se erosionan rápidamente y se pueden llenar de líquido, si la humedad es alta, por ello su uso queda limitado a aplicaciones en las que se manipule aire limpio.

Niveles de ruido: en muchos casos, el ruido generado por un ventilador, debe ser considerado. En la industria de la ventilación, se utiliza un factor común para expresar el nivel de la presión del ruido, el *sones*. En términos prácticos, la intensidad de un *sones* es equivalente a la tranquilidad de un refrigerador a una distancia de 5 pies. El *sones* es una medida lineal de los niveles de la presión del ruido. Por ejemplo, el nivel de ruido de 10 *sones* es dos veces más fuerte que el de 5 *sones*.

Es importante verificar que al funcionamiento del tunel de congelado, el flujo de aire es constante y continuo cada vez, pudiéndose registrar en una hoja de control, porque así se diferencia alguna variación que dará un indicio anticipado a la programación del mantenimiento preventivo, o de una necesidad de una reparación. Se puede crear un registro del flujo en dos o tres puntos, medidos con un anemómetro. Este caso se puede también, utilizar como referencia durante un congelado si hubiera problemas con saturación de hielo sobre el evaporador, se notará que el flujo de aire baja.

Figura 85. **Túnel de congelado en espiral**

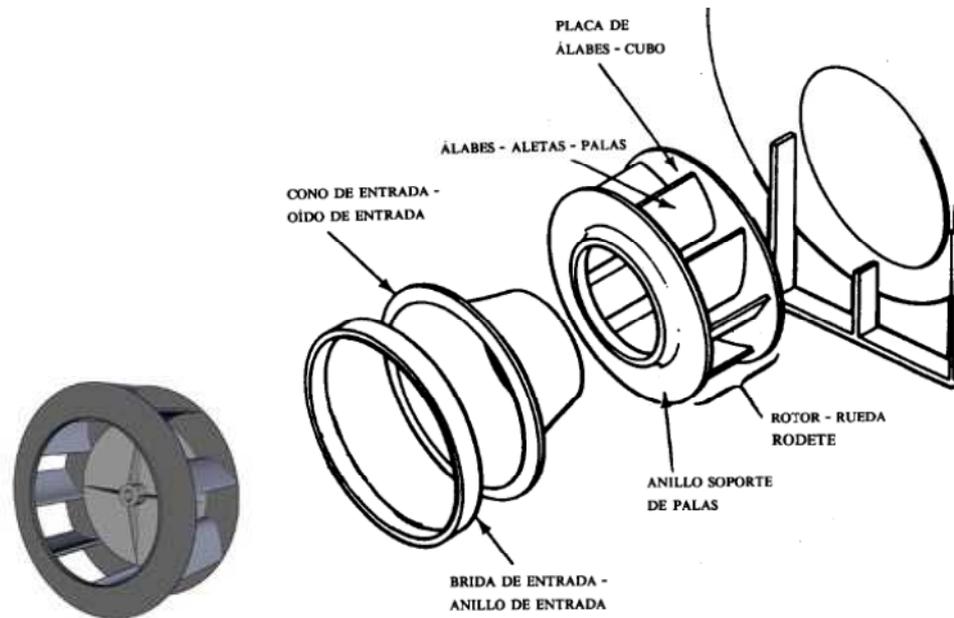


Fuente: Frigoscandia. Catálogo general. p. 21.

En la figura 85, se puede apreciar la forma en que el flujo atraviesa un túnel de congelado, llegando a la temperatura requerida del producto a congelar.

Luego se puede ver individualmente el difusor y el cono y la disposición sobre la parte de montaje en la figura 86. En el mantenimiento se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: realizar constantemente con el plan de mantenimiento una inspección visual, en la cual se pueda apreciar el movimiento de la turbina y su relación con el cono. Debe de evitarse el desgaste y daño. La inspección visual incluye revisar las soldaduras de los alabes de la turbina y si es necesario soldar.

Figura 86. Turbina centrífuga industrial



Fuente: Catálogo general. www.ventilacionindustrialifm.com.mx. Consulta: 8 de junio de 2013.

Debe escuchar la relación del ruido y escuchar los cojinetes con un medidor para establecer el buen funcionamiento del mismo. Ocasionalmente, realizar una medición de vibración en algunos puntos del motor y la turbina si fuera necesario, por desalineación de la misma o de la flecha del motor. Es importante medir las revoluciones del motor según se recomienda, por fatiga del embobinado o arrastre de piezas mecánicas que interfieran en su funcionamiento. Los embobinados y la parte eléctrica, deben ser revisados para verificar el aislamiento de la bobina y el aislamiento y estado de los cables conductores de corriente.

4.2.9. Mantenimiento a bomba de agua

En las bombas centrífugas es importante verificar, ruidos operativos y condiciones de goteo y presión de la misma. Se muestra una bomba centrífuga usada para el lavado a presión o recirculación de agua en la figura 87.

Figura 87. **Bomba centrífuga**



Fuente: Fristam Pumps. Manual de bombas. p. 1.

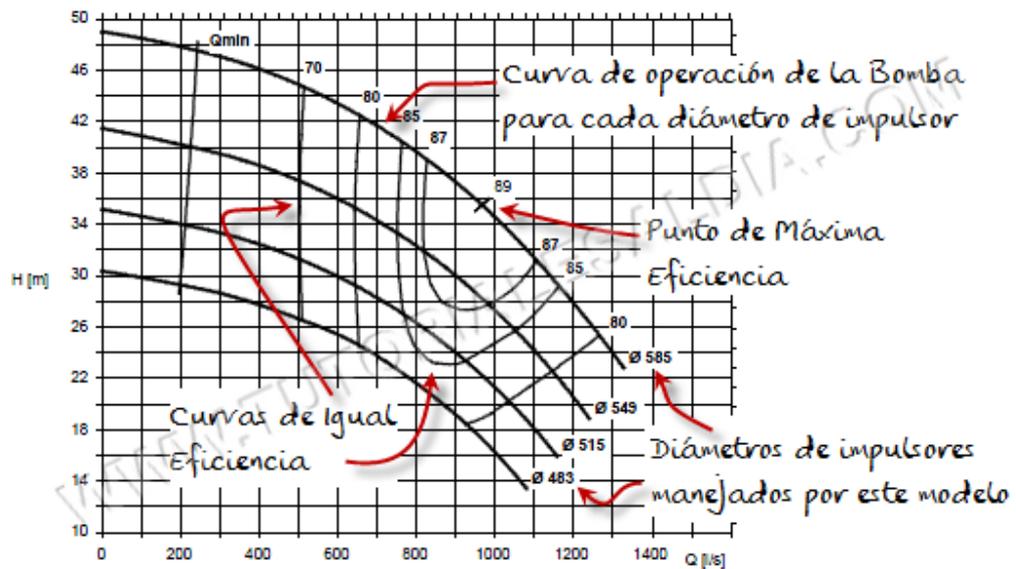
La característica principal de la bomba centrífuga, es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor), primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión. El rol de una bomba es el aporte de energía al líquido bombeado (energía transformada luego en caudal y altura de elevación), según las características constructivas de la bomba misma y en relación con las necesidades específicas de la instalación.

El funcionamiento es simple: dichas bombas usan el efecto centrífugo para mover el líquido y aumentar su presión. Dentro de una cámara hermética dotada de entrada y salida (tornillo sin fin o voluta) gira una rueda con paleta (rodete), el verdadero corazón de la bomba. El rodete es el elemento rodante de la bomba que convierte la energía del motor en energía cinética (la parte estática de la bomba, o sea la voluta, convierte, en cambio, la energía cinética en energía de presión).

El rodete está, a su vez, fijado al eje bomba, ensamblado directamente al eje de transmisión del motor o acoplado a él por medio de acoplado rígido. Las prestaciones de una bomba, y en especial de las bombas roto dinámicas, están ilustradas con una curva tal que evidencia perfectamente la relación entre el líquido en movimiento por unidad de tiempo y el aumento de la presión. Pero las curvas referidas a las distintas categorías de bombas tienen características muy diferentes.

Por ejemplo, las bombas volumétricas presentan un volumen de caudal independiente de la diferencia de presión (y la curva respectiva es, casi siempre, una línea vertical), mientras que las bombas centrífugas tienen una curva de prestación que, como ya se ha visto, aumentando la altura de elevación opone la disminución del caudal y viceversa. La curva de las bombas periféricas, en cambio, tienen una marcha entre estas dos categorías de bombas. Una regla general para comprender las fuerzas desarrolladas por una bomba centrífuga es la siguiente: una bomba no crea presión sino que aporta sólo caudal. La presión es nada más que la medida de la resistencia del caudal, todo esto se aprecia en la figura 88.

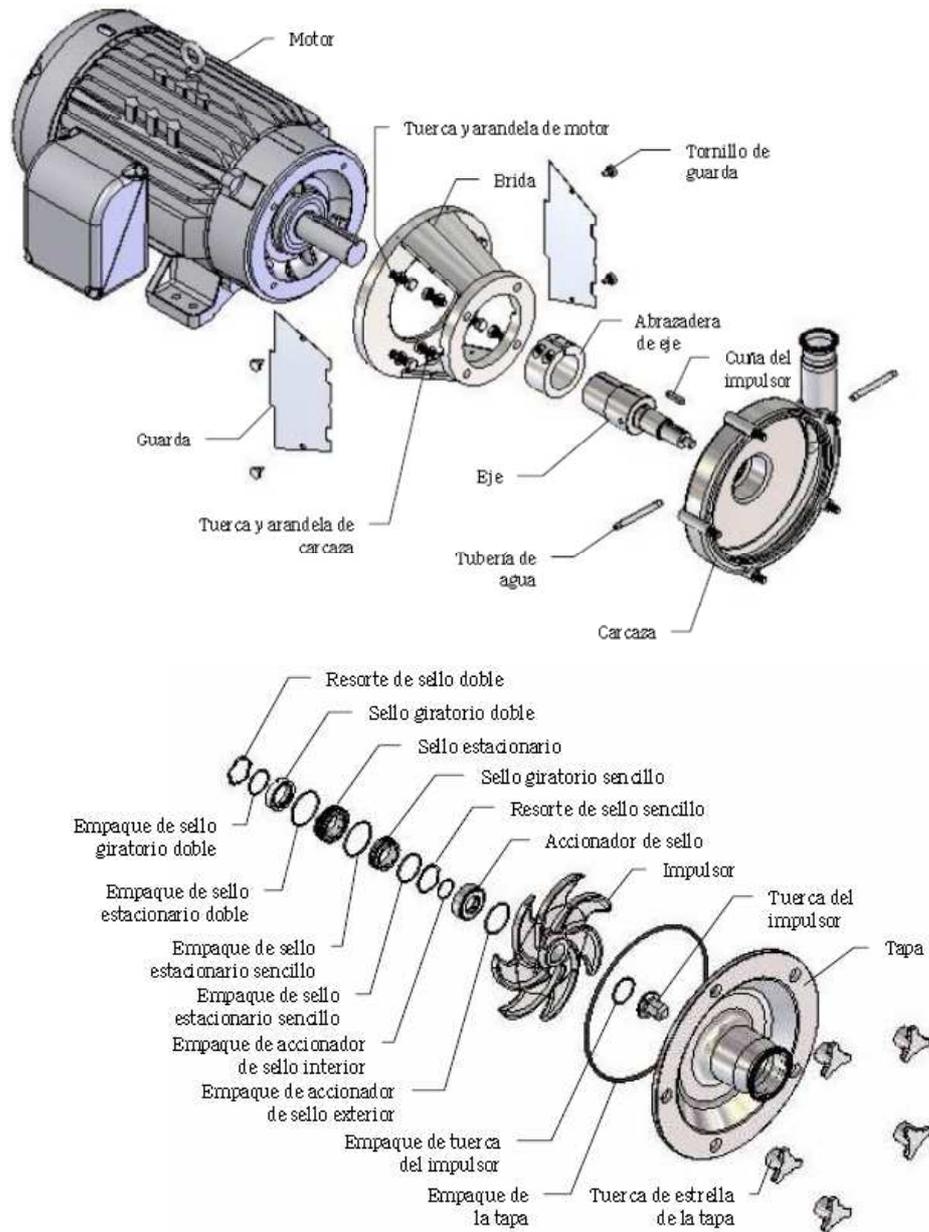
Figura 88. **Ejemplo de una curva característica de una bomba centrífuga**



Fuente: Catálogo 1. www.ingenieriacivil.tutorialesaldia.com. Consulta: 13 de mayo de 2013.

El mantenimiento de una bomba centrífuga empieza por revisiones visuales del funcionamiento de la misma y luego cualquier ruido que da indicio de falla, esto después de la programación que se siga según el calendario maestro de actividades del mantenimiento preventivo. Se puede apreciar en la figura 89, como está conformada una bomba centrífuga internamente.

Figura 89. Explosión de una bomba centrífuga



Fuente: Fristam Pumps. Manual de bombas. p. 17.

El procedimiento de desarme de la bomba debería ser:

- Quitar la guarda de la brida;
- Quitar las tuercas de estrella de la tapa usando un martillo de cara suave;
- Quitar la tapa y desechar el empaque de la tapa;
- Colocar una varilla de 3/8" o un destornillador de estrella en el agujero del eje;
- Usar un cubo con trinquete para quitar la tuerca del impulsor;
- Deseche el empaque de la tuerca del impulsor;
- Quitar el impulsor y desechar el empaque del impulsor;
- Quitar la guía cuña;
- Quitar el conjunto que acciona del sello y el sello giratorio;
- Desechar el sello giratorio, los empaques y el resorte;
- Quitar y desechar el sello estacionario;
- Quitar el sello giratorio doble y el resorte doble y deséchelos;
- Instalar el resorte detrás de los postes del eje;

- Colocar el empaque en el sello giratorio doble y lubricarla;
- Presionar el sello contra el eje para asegurar que las muescas queden alineadas con los postes;
- Instalar los empaques del sello estacionario doble y lubricarla;
- Instalar el sello estacionario en la carcasa, asegurándose de alinear las partes planas del sello con las partes planas de la carcasa;
- Instalar el resorte detrás de los postes del sello, dentro del que acciona el sello;
- Instalar el empaque giratorio y lubricarla, con grasa sanitaria;
- Volver a alinear, colocar el impulsor y armar las piezas de la carcasa de nuevo. Importante: revisar el ajuste entre el impulsor y la carcasa.

4.2.10. Mantenimiento a las válvulas de control de refrigeración

Todas las válvulas de refrigeración industrial ya instaladas, se deben de mantener el perfecto funcionamiento, quiere decir que a la válvula se le debe de hacer lo siguiente:

En primer lugar revisar, la forma de acople que puede ser por bridas, soldadas o roscadas muy escasamente. No debe haber fugas de refrigerante y si en caso hubiera, habría que proceder a desmontarla y sellar la fuga que se puede remediar con un cambio de empaque, un tipo de sellador si es rosca o con soldar el área que tuviera fuga por una mala instalación o algo similar.

Luego en la parte superior tiene un presa estopa, el cual se afloja al movimiento y se aprieta cuando la válvula está estacionaria, debe sellar perfectamente y no dejar fugas, si nó habría que cambiar la estopa o empaque, vaciando de refrigerante la línea por donde esta válvula se encuentra localizada. Luego hacer el proceso inverso para verificar que no hay fugas.

A todo lo largo del vástago debe aplicarse una grasa, preferiblemente sanitaria para mantenerlo lubricado y así en cualquier momento poder cerrarla o abrirla con facilidad por necesidades del sistema. Si es necesario pintar la válvula para evitar la corrosión.

4.2.11. Calibración de sensores y medidores

Este paso es importante, aunque la calibración más certera es mejor realizarla conforme el manual del fabricante, ya que se requiere información en cuanto al manejo y uso de la pantalla, y la forma de programación de la misma que regularmente está relegada al operador del túnel de congelado. A continuación se detallará la forma de hacerlo. Temperatura de aspiración del evaporador: al igual que con todos los parámetros, los datos de dos puntos de lectura deben ser introducidos en la calibración para que sea exacta. Esto significa que se tendrá que tomar una serie de lecturas: una cuando el congelador este frío y uno cuando está a temperatura cálida.

En la práctica, esto puede ser difícil y requiere mucho tiempo si el congelador ya está en producción. Se tendría que hacer una serie de lecturas, mientras está en producción y luego esperar hasta que pare la producción para tomar otra lectura, una vez que el congelador esté cálido. Teniendo en mente que a veces la producción no para, hay dos procedimientos distintos que se pueden realizar para calibrar los sensores, el método rápido y el método preferido.

El método preferido se realiza de la siguiente forma:

- Paso 1. Con el congelador cálido, se toma la temperatura con un termómetro digital, inmediatamente alrededor de la sonda de temperatura de aspiración del evaporador (o en un tubo de aspiración expuesta en la parte superior del serpentín del evaporador). En este mismo momento, (o lo más rápido posible) tomar nota de la misma temperatura del evaporador en la pantalla y anotar ambas lecturas.

- Paso 2. Realizar el paso # 1 cuando el túnel de congelado está enfriando. Anotar el dato. Los pasos # 1 y # 2 se pueden realizar en cualquier orden, según convenga.
- Acceder a la pantalla de calibración e ingresar los cuatro valores tomados en los pasos 1 y 2. De esta manera quedará calibrada la sonda.

Método rápido se realiza de la siguiente forma:

Este método se puede utilizar cuando se está realizando una calibración del equipo que se encuentra en producción y sería imposible o inconveniente poner parar el congelador para que tomar las lecturas. Para este método, es "engañar" el control principal introduciendo puntos de datos superiores falsos (esto lo consigue cuando el congelador está caliente). Al hacer esto, la sonda será más probable que sea inexacta para temperaturas cálidas. Ya que interesa principalmente en bajas temperaturas, esto no es un gran inconveniente, pero tampoco la mejor solución.

- Paso 1. Con el congelador a baja temperatura, tomar una medición de la temperatura del metal cerca de la sonda de temperatura de succión del evaporador. También tener en cuenta el valor que la pantalla de control está mostrando en este parámetro y anotar esto.
- Paso 2. En los puntos de las temperaturas coloque los valores: visto en pantalla 200 °F y el real es 200 °F.
- Ingresar los cuatro valores en la pantalla de control como se indica.

Temperatura del carril de metal: al igual que con todos los parámetros, datos de dos puntos deben ser introducidos en la calibración que es exacta. Esto significa que se tomarán dos tipos de lecturas: una cuando el congelador se enfríe y una cuando esté cálido. En la práctica, esto puede ser difícil si el congelador está caliente. Si la producción está alta y no se para, es difícil la calibración porque se tiene en mente, que hay dos procedimientos diferentes que puede realizar para calibrar los sensores, el método rápido y el método preferido.

Método preferido, se realiza de la siguiente forma:

- Paso 1. Con el congelador cálido, tomar la temperatura con un termómetro digital en la guía de metal inmediatamente alrededor de la sonda de temperatura del metal. En este mismo momento (o lo más rápido posible) tomar nota de la lectura de la pantalla y tomar el parámetro de temperatura de succión del evaporador y anotar los dos datos.
- Paso 2. Realizar el paso # 1. Cuando el congelador está frío y anotar los datos. Los pasos # 1 y # 2 se pueden realizar en cualquier orden según convenga.
- Acceder a la pantalla de calibración (véase la página 1 de esta sección) e introducir los cuatro valores tomados en los pasos 1 y 2 anteriores.

Método rápido se realiza de la siguiente forma:

Este método se puede utilizar, cuando se está realizando una calibración en el equipo que está en producción y cuando es imposible o hay inconvenientes para calentar el congelador hasta que tome una serie de lecturas. Para este método, es engañar la pantalla de control, introduciendo puntos de datos superiores falsos (los que se obtendría si el congelador está caliente). Al hacer esto, la sonda será más probable que sea más inexacta para temperaturas cálidas. Dado que interesa principalmente en bajas temperaturas, esto no es un gran inconveniente.

- Paso 1. Con túnel de congelado frío, tomar una medición de la temperatura del metal cerca de la sonda de temperatura del metal. También tener en cuenta el valor que la pantalla está mostrando en este parámetro y anotar estos datos.
- Paso 2. En los puntos de las temperaturas colocar los valores: Visto en pantalla 200 °F y el real es 200 °F.
- Escribir los cuatro valores en la pantalla de control.

4.2.12. Mantenimiento a panel eléctrico

Es de vital importancia el mantenimiento preventivo del panel eléctrico, ya que allí están instalados los dispositivos de control y potencia del túnel de congelado. Deberán inspeccionarse periódicamente todos los dispositivos, haciendo ciertas tareas que se definirán. Pero es importante la inspección visual, auditiva u olfativa en un tablero.

Las ventajas objetivas de este mantenimiento son:

- Distribución de energía eléctrica de calidad hacia los demás componentes o dispositivos instalados.
- Incremento de la productividad llevando los fallos a cero.
- Reducción de las reparaciones en producción o fallas ocultas.
- Reducción de costos por no incurrir en paros o cambiar a tiempo un dispositivo que pudiera dañar otro más.
- Incremento de la vida útil de los dispositivos, por el mantenimiento realizado.

La intensidad del mantenimiento preventivo, estará dada por el estado de conservación o antigüedad de algunos dispositivos. Es importante tomar en cuenta, que los dispositivos cada día van mejorando y parte del mantenimiento es reemplazar, antes de dañar si estuviera en la posibilidad económica de hacerlo.

El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

- Observar que no presente daños visibles, piezas flojas o sueltas, mientras esté energizado el tablero, se debe de comprobar que no exista interruptores y cables que estén disipando más calor del debido, es decir que no estén recalentando;

- Retirar el polvo asentado y acumulado entre el tablero, los cables y los interruptores con la ayuda de una brocha o un soplete;
- Reajustar las borneras de conexión de los interruptores y dispositivos existentes, poniendo especial atención en cada componente que se está reapretando para detectar si este tiene rastros de calentamiento. Si está presente algún rastro anotarlo y posteriormente desconectarlo y/o desarmarlo para definir la causa del calentamiento (hay elementos de potencia que deben ser visualizados con detenimiento que los de control);
- Verificar que los cables conductores de tierra estén bien asegurados, correctamente conectados y que exista continuidad eléctrica entre los cables y la estructura del tablero;
- Si hay elementos de potencia para conmutación (contactores para arranque de motores) desarmarlos y ver el estado de los platinos (contactos), así como limpiar el núcleo de la bobina de accionamiento, nunca lijar, ni platinos, ni núcleo, si los platinos están gastados es mejor cambiar el componente o los platinos completos;
- Verificar que los conductores a tierra estén bien apretados y que además, tengan continuidad eléctrica con la estructura del tablero;
- Limpiar el gabinete con algún solvente noble para retirar polvo o rastros de humo (calentamiento), algunas veces es normal que los rastros de humo estén presentes no significando que exista un sobrecalentamiento;
- Limpiar las entradas naturales de ventilación (si hubieran);

- En caso de ventilación forzada, verificar que las aspas giren libremente y limpiarlo;
- En ambientes corrosivos se puede soplar con aire el tablero y sus componentes con dieléctrico, cuidando de secar con aire los excesos de dieléctrico;
- Energizar el tablero y poner a funcionar la máquina en condiciones normales. Medir la corriente que circulan por los elementos que presentan rastros de calentamiento, comparar su corriente nominal con lo que consume.

4.2.13. Carga de refrigerante

El tanque de almacenamiento de amoníaco líquido es usado en los sistemas de refrigeración, para ajustar y estabilizar la carga de circulación del tanque de almacenamiento de amoníaco líquido, como se puede ver en la figura 79. Este puede también ser usado como almacenador de amoníaco líquido.

En los sistemas de refrigeración hay varios diseños y posibles componentes del sistema. El diseño del sistema y la presencia o ausencia de ciertos componentes, no sólo influye en el comportamiento del sistema durante la operación, sino que también puede tener gran influencia durante el proceso de carga. Un procedimiento de carga inapropiado, puede causarle daños al compresor de varias maneras: como excesiva diferencia de presión Alta/Baja, golpes de líquido u operación en vacío, todo esto debe ser controlado. El sistema de carga de refrigerante está fuertemente recomendado para reducir estos riesgos.

Preparaciones previas a la carga inicial:

- Preparar el equipo de seguridad industrial necesario y por seguridad dos operarios para la realización del proceso;
- Previo a la carga del refrigerante, debe llevarse a cabo el procedimiento de puesta del sistema en vacío y remoción de humedad;
- Siempre usar una escala para medir la carga de refrigerante actual. Recordar la carga del mismo cuando esté completa. Y no exceder del 75% de la capacidad del tanque;
- El refrigerante debe ser cargado en la fase líquida;
- El refrigerante debe ser cargado en el lado del líquido del circuito. El mejor lugar de carga es la válvula de cierre de servicio en la salida del recibidor de líquido. Cuando no hay líquido en el recibidor o la carga estuviera baja, la carga de refrigerante debe hacerse en la línea de líquido;
- La válvula solenoide en la línea de líquido, debe ser cerrada y el punto de carga debe ser antes de la misma a la salida del recibidor de líquido del sistema. Esta válvula debe de accionarse al llenar el tramo de la línea de líquido y luego abrirla para que deje pasar al evaporador y así sucesivamente, por seguridad usando lapsos en la recarga;

- Deben controlarse las presiones en todo momento, si no se sabe exactamente la cantidad de carga del sistema, se pone a trabajar y se va revisando en nivel en el tanque receptor de líquido para dejarlo al nivel adecuado;
- Para esta operación se utilizan los manómetros del sistema y la carga se realiza del tanque de líquido al pódico del receptor de líquido del sistema, por una manguera de alta presión recomendada para amoníaco con una válvula de cierre rápido por seguridad;
- En la carga o recarga debe de evitarse, entrar aire o agua al sistema siguiendo las buenas prácticas de refrigeración para carga de amoníaco. Este ya debe estar previamente certificado en su pureza.

Carga inicial:

- El compresor debe estar apagado y se debe prevenir que arranque automáticamente o de imprevisto, cuando ya se tiene un estimado de la carga de refrigerante, según la medición que se realizó o se observó en el tanque receptor de líquido;
- Esperar que el sistema nivele y luego cargarle al sistema refrigerante, cerrando la válvula de cierre de servicio en la línea de líquido, poner esta en la posición cerrada para alimentar el tanque;
- Abrir la válvula de conexión del manómetro e introducir líquido refrigerante, hasta que la suba el nivel del líquido, en el sistema en el lado de alta. Estar pendiente y verificar la carga;

- Vigilar presiones en el sistema, eventualmente prender los ventiladores del condensador o calentar el cilindro de refrigerante, para ayudar a la transferencia de líquido dentro el sistema; y así, ir verificando la carga y que no se desproporcione la presión en algún lado del sistema. Tener cuidado especial, en no llenar la carcasa del compresor con líquido refrigerante, a través del evaporador y la línea de succión;
- Al realizar la carga, encender el compresor. Permitir al sistema operar por breves períodos de tiempo mientras se monitorea la rápida transferencia de refrigerante directamente en la línea de líquido;
- Una vez que la mayoría de la carga de refrigerante estimada ha sido cargada, discontinuar la carga de líquido. Cerrar la válvula de conexión del cilindro de refrigerante y abrir totalmente la válvula de cierre de servicio de la línea de líquido, para que el sistema trabaje normalmente;
- Permitir al sistema operar hasta que se haya llegado, a la temperatura operativa de diseño, antes de hacer los ajustes finales de carga de refrigerante, si fuera necesario;
- Continuar monitoreando de cerca el sistema a través de todo el período inicial de trabajo, observar todas las presiones y temperaturas operativas del sistema y hacer cualquier otro ajuste del sistema. Mientras esto sucede, el nivel de aceite del compresor, debe mantenerse dentro del visor de líquido.

Servicio del sistema:

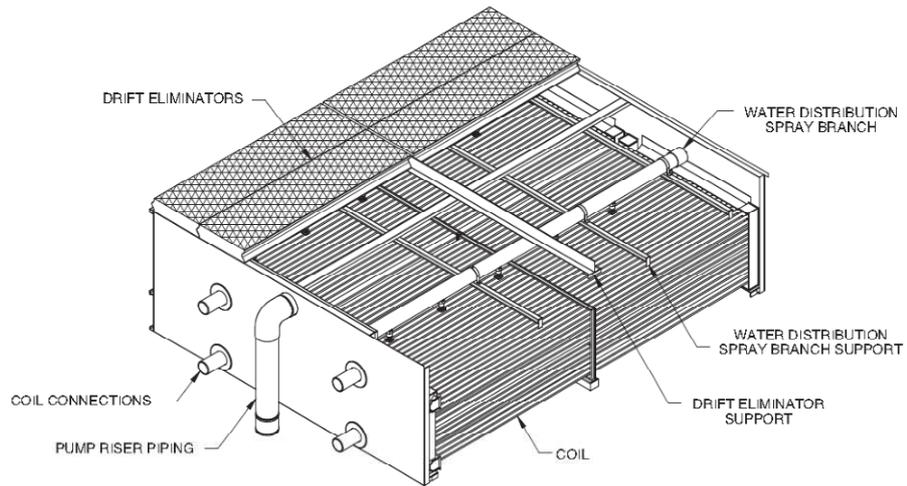
En la mayoría de las situaciones, la recarga de refrigerante es posible usando el mismo método anterior, siempre verificando que no haya entrada agua o aire al sistema y siguiendo las buenas prácticas de manufactura.

4.2.14. Limpieza de aspersores y desincrustación del condensador

La limpieza de los aspersores: requiere que se revise el sistema de distribución de agua mensualmente, para asegurarse que está funcionando correctamente. Siempre revisar el sistema de aspersión con la bomba encendida y apagada el ventilador. Como es por aire forzado, quitar una o dos secciones del separador de gotas de la parte superior de la unidad y observar el funcionamiento del sistema de distribución de agua como se observa en la figura 90.

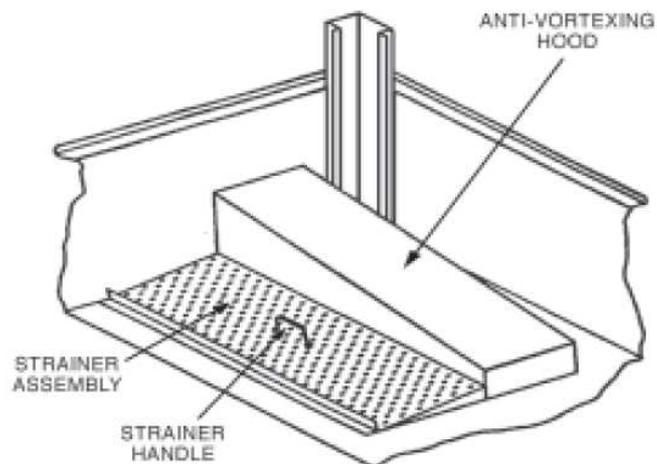
Los separadores de gotas, se pueden quitar fácilmente de la parte de arriba y así poder observar el sistema de distribución. Los difusores rara vez necesita limpieza o mantenimiento. Si los difusores de agua no funcionan correctamente, es una señal de que sistema de filtrado no ha estado funcionando correctamente y que algunas materias extrañas o la suciedad se ha acumulado en las tuberías de distribución de agua han estado obstruyendo. En la figura 91 se muestra el filtro en la parte baja del evaporador, de donde toma agua la bomba de recirculación.

Figura 90. **Sección superior del condensador**



Fuente: Evapco. Manual de operación y mantenimiento. p. 44.

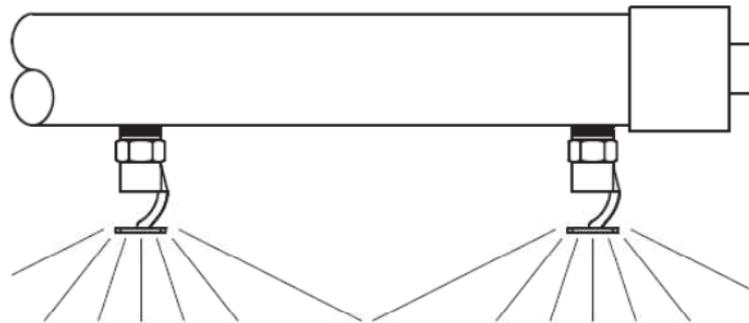
Figura 91. **Filtro de succión de la bomba de recirculación**



Fuente: Evapco. Manual de operación y mantenimiento. p. 52.

Revisar el filtro de la bandeja, para asegurarse que está en buen estado y la posición correcta de manera que no se produce la cavitación o el aire de arrastre hacia la bomba. Las boquillas se pueden desmontar mediante un desenroscado o con un giro a de media vuelta, esta se aprecian en la figura 92. Si se produce una extrema acumulación de suciedad o materias extrañas, retirar la tapa en cada tubo de distribución para eliminar la suciedad, pero sólo si es necesario. Y se pueden limpiar con un cepillo largo de espiral en la parte interior.

Figura 92. **Boquillas de aspersion de agua**



Fuente: Evapco. Manual de operación y mantenimiento. p. 18.

La desincrustación del condensador: no debería ser necesaria o recurrir a una pasivación antes de la corrosión blanca, es un fallo prematuro de la capa protectora de zinc por inmersión, en caliente o en acero galvanizado que puede ocurrir como resultado de un control de tratamiento de agua inadecuado durante la puesta en marcha de nuevos equipos de galvanizado o aun estando ya en funcionamiento.

La primera puesta en marcha y pasivación del agua es importante al inicio o en funcionamiento de un condensador. El protocolo del tratamiento de agua recomienda incluir un procedimiento de pasivación, teniendo ya detallado la química del agua, además de cualquier producto químico necesario, e inspecciones visuales durante las primeras seis a doce semanas de operación. Durante este período de pasivación, el pH del agua de recirculación debe ser mantenido por encima de 7,0 y por debajo de 8,0 en todo momento, dado que las temperaturas elevadas tienen un efecto perjudicial sobre el proceso de pasivación.

La siguiente composición química del agua promueve la formación de óxido blanco y debe ser evitado durante el período de pasivación:

- Valores de pH en el agua de recirculación mayor que 8,3.
- La dureza de calcio (como CaCO_3) menos de 50 ppm en el agua de recirculación.
- Los aniones de cloruros o sulfatos superiores a 250 ppm en el agua de recirculación.
- La alcalinidad superior a 300 ppm en el agua de recirculación, independientemente del valor de pH.

Los cambios en el control de la química del agua pueden ser considerados, después que el proceso de pasivación se completa como se evidencia, porque las superficies de galvanizado toman un color gris mate.

Cualquier cambio en el programa de tratamiento o de los límites de control deben hacerse lentamente, por etapas, mientras que hay que documentar el impacto de los cambios en las superficies pasivadas.

Se debe tener cuidado con lo siguiente:

- El funcionamiento de equipos de enfriamiento galvanizado con un pH del agua por debajo de 6.0 para cualquier período, puede causar la eliminación de la protección del recubrimiento de zinc.
- El funcionamiento de equipos de enfriamiento galvanizado con un pH del agua por encima de 9,0 para cualquier período, puede desestabilizar el recubrimiento de la superficie y crear óxido blanco.
- La repasivación puede ser requerida en cualquier momento de la vida útil del equipo, si se produce una condición de malestar o inicio de óxido blanco que desestabiliza la superficie de zinc pasivado.

4.3. Monitoreo y control de la condición de funcionamiento

Acá se tratará parte de las estrategias de mantenimiento, las distintas técnicas de monitoreo de condición del equipo, su campo de aplicación, así como también los aspectos más importantes a tener en cuenta para diseñar una estrategia de mantenimiento y una calendarizando las actividades de mantenimiento. La definición exacta de la función deseada en el equipo, determinará los objetivos de mantenimiento, en cuanto a confiabilidad y disponibilidad requerida para el mismo, y en esta medida también determinará las estrategias de mantenimiento a aplicar, para alcanzar dichos objetivos.

Dos equipos iguales, no necesariamente requerirán el mismo plan de mantenimiento, como puede llegar a suceder, en el caso de que operen en condiciones operativas muy diferentes o bajo regímenes operacionales muy distintos. El modo de falla es un evento que causa una falla funcional o pérdida de la función. Una vez que se ha identificado el modo de falla, se debe analizar qué pasa cuando éste ocurre, es decir qué efectos o síntomas se manifiestan en el equipo, y decidir de acuerdo a las consecuencias que presenta éste modo de falla, qué acciones se tomarán, ya sea para anticipar y prevenir, corregir o detectar la falla, según resulte más conveniente, o en última instancia rediseñar el equipo.

Puede suceder que diferentes modos de falla generen iguales efectos en el equipo, esto dificulta el diagnóstico y detección de la causa de falla, debiendo tener que aplicar métodos estructurados para búsqueda de falla, tales como el Análisis de Causa Raíz. De acuerdo a las consecuencias de la falla, se tendrá que incorporar un sistema o un equipo nuevo para evitar tener consecuencias intolerables sobre:

- La seguridad de las personas
- El impacto en el medioambiente
- La seguridad de los equipos y/o instalaciones

De acuerdo al tiempo para la falla característico de cada uno éstos componentes, se tendrá que dimensionar la frecuencia de las inspecciones para detectar lo llamado comúnmente, mantenimiento predictivo.

El Monitoreo de Condición: de forma similar que el Mantenimiento Predictivo, se enfoca también a los efectos o síntomas de las fallas, utilizando distintas técnicas para monitorear el “performance” de un equipo, a través de la medida y seguimiento de determinados parámetros físicos, para lograr anticiparse a la falla:

- Inspecciones de la maquinaria con los sentidos:
 - Inspección visual
 - Olor
 - Ruidos anormales
 - Vibraciones
 - Temperatura

- Inspecciones de la maquinaria a través de Ensayos No Destructivos:
 - Inspección visual
 - Inspección por ultrasonido
 - Partículas magnéticas
 - Radiografías y tinta penetrantes

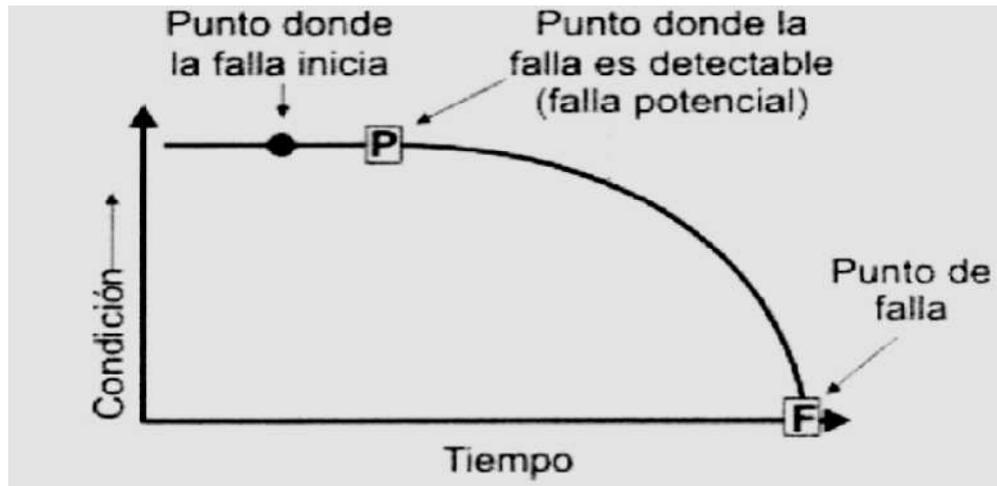
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria: vibraciones
- Monitoreo de la temperatura
- Inspección mediante tomografía infrarroja
- Monitoreo de espesores, mediante ultrasonido
- Monitoreo de partículas de desgaste en los aceites
- Monitoreo de la condición del lubricante
- Análisis de corriente en máquinas eléctricas

- Medición del desempeño de equipos:
 - Presión
 - Caudal
 - Potencia entregada
 - Consumo eléctrico
 - Consumo de combustible

El mayor beneficio, es lograr una alerta temprana, pudiéndolo en muchas casos analizar por gráficas, como se muestra en la figura 93, a manera de programar una intervención de mantenimiento, lo cual genera una disminución de las fallas que dañan el equipo, y un aumento de la disponibilidad, y reducción de costos de reparación.

Período P-F: es el intervalo de tiempo entre la detección de la falla potencial y su conversión en una falla funcional. Ante una misma falla, cada técnica de monitoreo posee su intervalo P-F característico, y que determinará la frecuencia óptima de inspección, como un tercio del intervalo P-F. Cada técnica posee su campo de aplicación, donde es mayor su poder de detección, así como también la aplicación combinada de varias técnicas, puede potenciar y complementar su eficacia. Por ejemplo, en el caso de cajas de engranajes, tanto se podría aplicar el monitoreo de condición, a través de análisis de vibraciones, como por análisis de aceite. Pero indudablemente el análisis de aceite permitirá detectar, una falla en forma más temprana, ya que el aumento en la tendencia de contenidos de desgaste se pondrá de manifiesto, antes de que se produzca un incremento en los niveles de vibración del equipo.

Figura 93. Intervalo P-F (falla potencial, punto de falla)



Fuente: TABARES, Augusto. Manual de mantenimiento preventivo. p. 86.

Para cada caso, hay que seleccionar la técnica más apropiada que posea el intervalo P-F más conveniente, y diseñar la frecuencia de monitoreo de forma adecuada, de manera que exista un intervalo de tiempo tal, que cuando es detectada una falla potencial, siempre sea posible programar y ejecutar una intervención correctiva, de otra forma no tiene sentido aplicar el Monitoreo de Condición.

4.3.1. Formato de monitoreo de presiones, nivel de aceite y temperatura

A continuación se ve el formato usado para control de presiones y nivel de aceite, (ver figura 94) preferentemente para el sistema de compresión, este debe de acomodarse a los requerimientos en el catálogo del fabricante. Luego en la figura 95, se ve el de control de temperas. Para ser efectivo el control deberá llenarse completamente cada uno en el caso del formato de monitoreo de presiones y temperaturas llenar.

- Fecha del día que es ejecutada.
- El área al que pertenece para tenerlo en el calendario maestro.
- La clasificación de la orden: si es preventivo correctivo o emergencia.
- El tipo: si es mecánica, eléctrica o de lubricación.
- La frecuencia con que debe de realizarse.
- La descripción de la tarea.
- El responsable del turno, colocar el nombre para saber quien la realizó.
- Las anotaciones: si hubiera necesidad de reportar un incidente o algún cambio necesario de piezas o demás.

Figura 94. Formato de monitoreo de presiones y nivel de aceite

logo	Monitoreo de presiones y nivel de aceite						Código
							Versión

Fecha:

Área:

Equipo:

Código:

Prioridad: Normal

Clasificación de la orden: Preventivo

Tipo: Mecánica

Lubricación

Frecuencia: Diaria

Nivel de aceite

alto
 normal
 bajo

Descripción de Tareas :

Hora				Hora			
	P. de baja	P. de alta	Nivel de aceite		P. de baja	P. de alta	Nivel de aceite
06:00				18:00			
07:00				19:00			
08:00				20:00			
09:00				21:00			
10:00				22:00			
11:00				23:00			
12:00				00:00			
13:00				01:00			
14:00				02:00			
15:00				03:00			
16:00				04:00			
17:00				05:00			
18:00				06:00			

Responsable:

de finalizar turno

Anotaciones:

F. _____ F. _____ F. _____

Programa Ejecuto Jefe de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

Figura 95. Formato de monitoreo de temperaturas

logo	Monitoreo de temperatura del túnel de congelado	Código
		Versión

Fecha:

Area:

Equipo:

Código:

Prioridad: Normal

Clasificación de la orden: Preventivo

Tipo: Control

Frecuencia: Diaria

Descripción de Tareas :

Hora	Temperaturas			Hora	Temperaturas		
	T. interna	T. externa			T. interna	T. externa	
06:00				18:00			
07:00				19:00			
08:00				20:00			
09:00				21:00			
10:00				22:00			
11:00				23:00			
12:00				00:00			
13:00				01:00			
14:00				02:00			
15:00				03:00			
16:00				04:00			
17:00				05:00			
18:00				06:00			

Responsable:

de finalizar turno

Anotaciones:

F. _____ Programa F. _____ Ejecuto F. _____ Jefe de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Inspección visual y auditiva

El monitoreo de la condición, actividad principal de la estrategia de mantenimiento preventivo, identifica ya sea las causas raíces o los síntomas de las condiciones adversas para una máquina. En esta sección lo importante son los sentidos, como: ojos, oídos y olfato, pueden ser herramientas de monitoreo de la condición de un valor distinto a otros instrumentos, que requieren poco entrenamiento para ser usados efectivamente. Muchos de los operadores y técnicos están familiarizados con el mantenimiento u operación, y consecuentemente están en conocimiento de los sonidos y movimientos normales de la máquina, convirtiéndolos en calificados para identificar condiciones inusuales.

Inspección visual es una de las inspecciones sensoriales, y chequear el nivel del aceite es una de las más comunes. Numerosas fallas potenciales de la máquina son prevenidas, atendiendo al individuo que notifica el bajo o inexistente nivel de aceite. Otras funciones valiosas, también, pueden ser ejecutadas como parte de la inspección visual. Asuntos relacionados con el lubricante tal vez contaminado con agua u otros materiales, degradado u oxidado, y excesiva espuma y también, otras condiciones de la máquina que incluye excesiva vibración, correas y cadenas sueltas o faltantes y protecciones, tapas, sujetadores faltantes, son ejemplos de lo que se puede controlar y documentar en las rutinas de inspección visual.

La inspección auditiva es otra categoría de inspecciones sensoriales. En algunos casos, el sonido puede dar más información que el monitoreo visual. Mientras que la inspección visual es bastante más fácil, la inspección audible puede requerir algún grado de experiencia o entrenamiento para interpretar la condición.

Sin embargo, es probable que aún un operador no entrenado o sin experiencia en el escuchar, pueda notar el cambio del sonido con referencia a lo normal que escucha diariamente y reportar esa situación, aún si el problema no está identificado.

La inspección olfativa es un extra, pero es otro método de inspección o sentido es el olfato. Este sentido humano es poderoso y puede ser usado para identificar varias condiciones adversas en los equipos y problemas en los lubricantes. Entre los aspectos comunes de un lubricante detectables por el olor, están ciertos tipos de contaminantes tales como solventes, combustibles, refrigerantes y otros químicos. Adicionalmente, un aceite que está altamente oxidado tiene un olor distintivo que una vez ubicado es fácilmente identificable. Algunas condiciones de las máquinas también son detectables por el olor. Correas que resbalan, componentes recalentados, escape de fluidos a menudo presentarán un olor distintivo que demandará una investigación.

Las inspecciones sensoriales proveen una gran oportunidad para mejorar la eficiencia. La característica principal de esta clase de actividad, es que puede ser ejecutada en conjunto con otras tareas de mantenimiento. Cualquier actividad que coloca al técnico cerca de la máquina es una gran oportunidad para aplicar el monitoreo sensorial. Existen problemas fácilmente observables por un sensor humano entrenado, que de otra manera llegarán a convertirse en fallas muy dañinas. Es muy común que el número de esas condiciones que son observadas y no son reportadas, o bien son reportadas pero no se actúa sobre ellas, esto no es un caso típico de apatía, sino más bien la falta de un mecanismo o proceso para capturar y utilizar ese dato o información importante. Entonces, es importante documentar y programar estas simples tareas y crear una lista de verificación o chequeo diario y reportar mecanismos con acciones definidas de análisis para direccionar la identificación de problemas.

Otro beneficio de este tipo de monitoreo de la condición es que la mayoría puede realizarlo, tanto el personal de mantenimiento como los operadores. Esto puede ser una ventaja cuando el equipo de mantenimiento está ocupado realizando tareas de mantenimiento correctivo.

A veces acciones tan simples como detectar fuga de aceite o una caja de engranajes que emite un sonido áspero puede a menudo conducir a la prevención de una falla dañina. Se es proactivo cuando se tiene la habilidad de controlar su entorno, antes de que éste controle, es poder decidir sobre la respuesta a los estímulos, condiciones y circunstancias.

Los buenos hábitos como ayuda en las inspecciones sensoriales son:

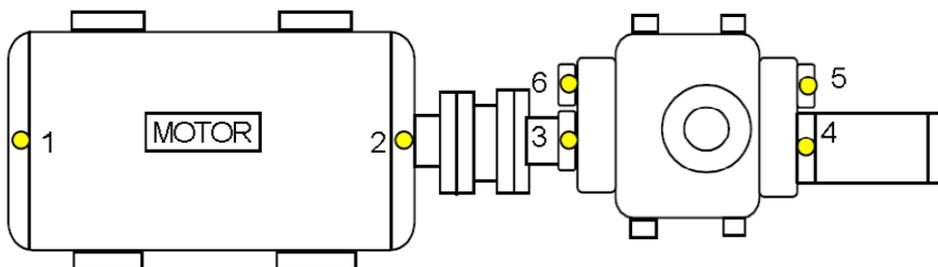
- Investigar primero para entender el problema, entonces será entendido.
- Diagnosticar primero luego prescriba, lo cual es esencial para mantener relaciones positivas entre los operadores y el personal de mantenimiento. Este hábito está relacionado con comunicarse y escuchar al cliente: en este caso, operadores, supervisores y administradores.
- La confianza mutua es mucho más productiva en todos los sentidos, dentro de una organización, que una confrontación de poder por atender o establecer un mantenimiento preventivo de una máquina o poder llegar a la renovación de acuerdo a antecedentes de monitoreo de condición.

En estos casos, cuando una indicación por reparación parece ser sin sentido tratar primero de investigar cual es la causa raíz de esta demanda o si se necesita solicitar detención para servicio, indicar con antecedentes cuantitativos, las causas que le llevan a esta solicitud.

4.3.3. Análisis de vibraciones

La incorporación de nuevas tecnologías que optimizan la operación es importante en el mantenimiento. En este caso, se refería a los equipos rotativos a tornillos para refrigeración. En análisis de vibraciones a compresores de tornillo, cada vez se hacen más frecuente el uso de analizadores de tiempo real (RTA) para uso en análisis de vibración y ruido en compresores a tornillo. Estos instrumentos son excelentes herramientas de diagnóstico. Sin embargo, son solamente herramientas y no sustituto de un técnico especializado que conoce lo que está buscando. En la figura 96, se puede observar los puntos a valuar en este conjunto.

Figura 96. Esquema de puntos de análisis de vibraciones



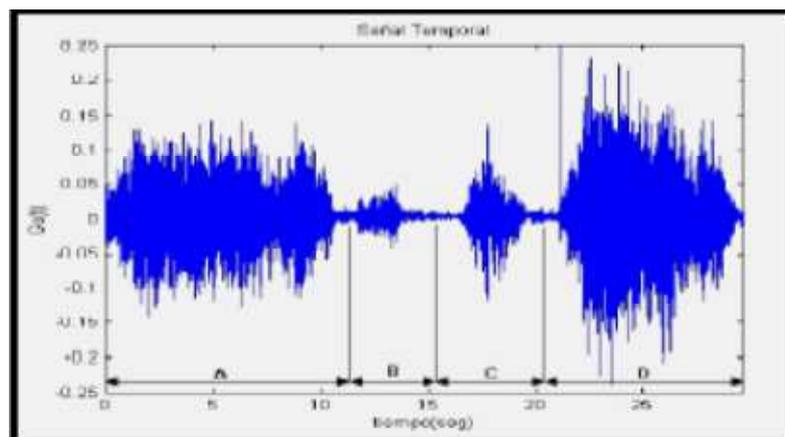
Fuente: Boletín de noticias mantenimiento predictivo/proactivo. No. 24 abril 2006. p. 6.

Hay dos razones básicas para tomar datos de vibración:

- Análisis de equipo nuevo
- Monitoreo de las condiciones de la máquina

En el análisis de un equipo nuevo, el análisis de vibración se hace generalmente en equipos recién instalados para determinar la causa del alto ruido o de las vibraciones. Si los niveles parecen excesivos para oyentes experimentados, el análisis de vibración puede dar algunas claves de donde buscar, o ayuda para determinar si los niveles son suficientemente altos como para que se justifique una corrección. Sostenga algo metálico en su mano y toque todos los componentes del equipo para determinar si existen lugares que tienen niveles más altos que otros. En la figura 97 se puede apreciar las vibraciones de un ciclo de trabajo.

Figura 97. **Vibraciones en un ciclo de trabajo**



Fuente: Espol. Revista tecnológica. Vol XX, p. 3.

Una vez que se hayan encontrado las zonas de vibración más alta, usar el medidor de aceleración e instrumentos para determinar frecuencia y la amplitud. Si los niveles son mayores en las cañerías o en el separador de aceite que en el compresor o en el motor, la vibración es probablemente resultado de las pulsaciones de gas refrigerante o resonancia y no un problema mecánico en los elementos rotantes. Evitar los medidores que solo dan niveles de vibración pico o promedio, ya que la información más importante es cuál es el componente que está dando la mayor lectura.

- Asumiendo para este caso un motor y un compresor con un tornillo que tiene un rotor macho de 4 lóbulos. Los niveles pico en Hz pueden indicar un desbalance del rotor macho, motor o acople. También puede indicar una desalineación o una mala instalación del acople.
- Revisar siempre estado y posición de las chavetas del acople. Estas deben estar opuestas 180°, para evitar vibraciones.
- Revisar el motor y el compresor para determinar cual tiene mayor amplitud de vibración. Una lectura mayor en cualquiera de los componentes puede indicar un eje desbalanceado o una Torcedura.
- Revisar la alineación del acople ya que una alineación mal es una de las causas más comunes en la obtención de lecturas de vibración altas.

- Una señal de cambio en la revoluciones puede indicar una pata floja en el motor o en el compresor. Esto puede visualizarse en alguna parte que se mueva hacia atrás y hacia delante mientras gira el eje. Para revisar si hay alguna pata floja, aflojar uno a la vez, los bulones de montaje y ver mediante un comparador magnético montado sobre la base si la pata del compresor sube más de algunas milésimas de pulgadas y colocar los suplementos necesarios y realinear el equipo nuevamente.
- El estrés impuesto a la succión del compresor por las cañerías puede causar altas vibraciones. Esto puede llevar a que el compresor pierda alineación, mientras que las cañerías se calientan y se enfrían. Un estrés de las cañerías excesivo puede distorsionar la carcasa del compresor. Si la distorsión es lo suficientemente grande como para que el rotor entre en contacto con esta. Si se sospecha de un estrés debido a las cañerías, sacar la línea de succión. Si se mueve cuando se quita el caño, los soportes deberán arreglarse para eliminar las cargas en las conexiones del compresor.

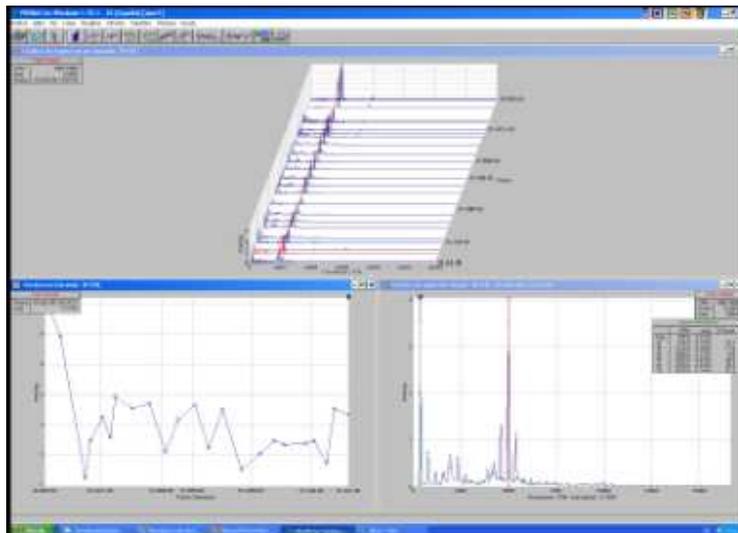
Monitoreo de las condiciones de la máquina: el monitoreo de la condición de las maquinarias es el proceso de inspeccionar un equipo instalado exitosamente y revisar si existe algún cambio, y detectar un problema en sus primeros pasos antes de que se haga más grave de solucionar. La inspección puede ser continua o periódica. Se puede usar un medidor manual como el que se observa en la figura 98.

Figura 98. **Colector de datos microlog CMX 450**



Fuente: Espol. Revista tecnológica. Volumen XX. p. 3.

Figura 99. **Espectros de vibración en el software**



Fuente: Espol. Revista tecnológica. Volumen XX. p. 6.

- Establecer un espectro de vibración base, una vez que el equipo está funcionando en las condiciones de diseño y todas las alineaciones y calibraciones se han hecho. Las lecturas deben ser tomadas radialmente sobre cada posición de los cojinetes en el compresor y en el motor. Estos valores se dan en el software desde la computadora que da el colector manual de datos, esto se puede ver en la figura 99. Es deseable tomar también mediciones axiales. Es muy importante tomar las mediciones con el compresor funcionando en una condición estable. Se recomienda una posición de la válvula deslizante 100% (carga completa) y una relación de volumen óptima. Todas las presiones de operación y toda la información del panel de control del compresor deben guardarse para que se puedan hacer las comparaciones de las condiciones de operación lo más parecida posible.
- El equipo debe marcar claramente la posición del medidor de aceleración. Asegurarse de que los lugares de montaje estén limpios y lisos, sin dar ninguna flexibilidad al medidor.
- Si es posible tomar las mediciones en los mismos lugares sobre la carcasa, misma posición de la válvula deslizante, y mismo parámetro de relación de volumen.
- Comparar las lecturas tomadas con las del espectro base y mirar los cambios. Si hay diferencias significativas, tratar de determinar que componente o condición provoco el incremento en el nivel de la frecuencia.

- Si se notan cambios significativos, juntar la mayor información posible para ayudar a aislar el problema.
 - ¿Alguien notó el cambio?
 - ¿Se agregaron o cambiaron componentes al sistema recientemente?
 - ¿Se cambió el acople y posiblemente no se alineó correctamente o se instaló un motor nuevo?
 - ¿Se aflojó alguna de las patas de alguno de los componentes?

Vibraciones debido a las Frecuencias de paso del Lóbulo: la Frecuencia del paso del lóbulo o su primer armónica producirá normalmente la mayor amplitud de vibración en un compresor a tornillo. Esto será entre 200 Hz a 400 Hz. Aprox. (esto dependerá directamente de las RPM de entrada). Un cierto nivel de vibración a esta frecuencia es normal y debe ser esperado. Cada vez que el gas refrigerante atrapado en el compresor sale a la puerta de descarga se produce una pulsación.

Si no está calibrada correctamente la relación de volumen, esta frecuencia producirá amplitudes mayores. Una presión alta puede producir pulsaciones muy fuertes de 200 Hz., una baja presurización puede producir pulsaciones muy fuertes a 400 Hz. Si la amplitud de la señal de 200 Hz. Excede aproximadamente los 0.4 in/seg. (10.16 m.m/seg.), o los niveles de ruidos son inaceptables, se requerirá una investigación más profunda. Resonancia, frecuencia natural, o velocidad crítica se refieren todas aproximadamente al mismo fenómeno, una campana.

Si se golpea o se excita por algo externo, toda estructura tenderá a vibrar a una cierta frecuencia fija. Un paquete compresor a Tornillo con su base y sus cañerías crean una red compleja de muy diversas estructuras, las cuales tienen cada una, una cierta frecuencia de resonancia. Si algunas de estas frecuencias de resonancia se encuentran entre 200 Hz. a 400 Hz. Se producirá una vibración excesiva, ya que las pulsaciones de descarga excitarán la estructura resonante a estas frecuencias.

La condición de monitoreo continuo es la más deseada, es la que posee los medidores de aceleración montados permanentemente en el equipo, los cuales están conectados a un sistema de monitoreo permanente. Un sistema de este tipo puede ser calibrado para una condición base de la máquina y que busque un incremento en la amplitud de forma tal que se dispare una alarma. Probablemente el sistema más efectivo para un compresor a tornillo deberá buscar en los rangos de frecuencia más alto donde las fallas en los rodamientos son difíciles de detectar.

El beneficio de un monitoreo continuo es que salvará al compresor de fallas catastróficas, por ejemplo de la inundación de líquido, de algo suelto que encuentre su camino hacia los rotores. Una parada instantánea bajo condiciones catastróficas, puede prevenir a menudo un daño mayor en el compresor y puede hacerse solamente con un sistema especial.

4.3.4. Análisis de aceite

Para disponer de un efectivo sistema de mantenimiento, es necesario evaluar el estado técnico de cada uno de los elementos que componen la máquina, para tomar medidas dirigidas no a un conjunto de elementos, sino a cada uno en particular. Para lograr lo anterior se ha desarrollado una rama de la ciencia, que se dedica al estudio y determinación del estado técnico de cada artículo en explotación con un enfoque individual, para restablecer sus requisitos de funcionamiento, que se ha denominado Diagnóstico Técnico.

El análisis de aceite es una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a:

- La salud del lubricante
- Contaminación del lubricante
- Desgaste de la maquinaria

El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste de los equipos, detectar fallas incipientes, sino también, establecer un programa de lubricación basado en condición.

La contaminación es la principal razón de la disminución de la vida útil de los aceites y de fallas en los equipos. Para la mayoría de los equipos, la contaminación por sólidos es la causa número uno de fallas originadas por desgaste. Existen además otros contaminantes como humedad y partículas que contribuyen al deterioro del aceite. En estos análisis, los tipos y niveles de partículas pueden indicar la fuente de la contaminación, ayudando a identificar el problema del equipo, reduciendo de esta manera los costos de reparación.

Los aceites sufren un mecanismo de envejecimiento natural que va alterando sus propiedades físicas: la densidad, la viscosidad, y las propiedades químicas, que disminuye su vida útil, a través los siguientes mecanismos:

- Oxidación
- Polimerización
- Ruptura
- Evaporación

Al disminuir la contaminación con agua, con aire, con partículas, con calor, no sólo se estará disminuyendo el desgaste de la maquinaria, sino también extendiendo la vida útil del aceite. El agua puede afectar la viscosidad del aceite, acelerar la velocidad de oxidación y formar emulsiones que repercutirán en fallas en los componentes del equipo (cojinetes, engranajes, etc.), en casos muy extremos, la formación de emulsiones viscosas pueden bloquear los filtros y los separadores, causando falta de lubricante en componentes vitales de los equipos.

Pruebas de contaminación por materiales sólidos o insolubles: los insolubles están constituidos por todos aquellos materiales sólidos capaces de contaminar un aceite lubricante en uso. Por ejemplo, partículas carbonosas, partículas metálicas, polvo y productos resultantes de la degradación del propio lubricante.

Nivel de contaminación: los niveles de contaminación se refieren a la cantidad de material sólido contaminante presente en la muestra de aceite usado.

La metodología que se utiliza para clasificar y cuantificar las partículas de acuerdo al tamaño de las mismas, se basa en el código de clasificación ISO 4406 y la norma americana U.S. National Aerospace Standard 1638. El código ISO 4406 especifica dos o tres tamaños en los niveles de limpieza, donde el número se refiere a la cantidad de partículas presentes en un mililitro de muestra por cada tamaño establecido.

En el caso del código de dos tamaños el primer número se refiere a partículas mayores de 5 micrones y el segundo a las mayores de 15 micrones. Sin embargo en el código de tres tamaños, el primer número se refiere al cantidad de partículas > de 2 micrones, el segundo a partículas > de 5 micrones y el tercero a partículas > de 15 micrones. Existe diversidad de metodologías para el conteo de partículas. Existen diferentes metodologías espectrofotométricas y electromagnéticas para determinar cualitativamente y cuantitativamente los metales presentes en el aceite usado, algunas de las cuales se describen a continuación:

La ferrografía directa: consiste en una medición cuantitativa de la concentración de las partículas ferrosas en una muestra de fluido, a través de la precipitación de esas partículas en un tubo de vidrio sometido a un fuerte campo magnético. Dos rayos de luz transportados por fibra óptica, impactan sobre el tubo en dos posiciones correspondientes a la localización en la cual las partículas grandes y las pequeñas serán depositadas por el campo magnético. La luz es reducida en relación a las partículas depositadas en el tubo de vidrio y ésta reducción es monitoreada y medida electrónicamente.

Dos tipos de lecturas son obtenidas, una de partículas grandes y una de partículas pequeñas (partículas por encima de 5 micras y partículas por debajo de 5 micras). Por lo general más de 20 000 partículas mayores de 5 micras indican una alerta de seguimiento y más de 40 000 son excesivas e indican problemas de desgaste en componentes ferrosos de la máquina.

Espectrometría: la técnica consiste en excitar una muestra de aceite con un arco eléctrico para que emita radiación luminosa. El haz luminoso se hace pasar por un prisma para su descomposición en ondas simples que, al pasar por un colimador (rendija) son captadas por un detector y transformadas en señal eléctrica para ser medidas. Cada onda simple tiene una longitud de onda (período) característica del elemento químico que la produce, mientras que la amplitud de la onda, está relacionada con la concentración del elemento en la muestra. En otras palabras, con un espectrómetro se logra obtener un espectro de longitudes de ondas (elementos químicos presentes en la muestra) y la amplitud de cada una de las ondas (concentración de cada elemento químico en la muestra analizada).

El principio de la ferrografía analítica: consiste en separar sistemáticamente el material en partículas suspendido en el lubricante, sobre una plaqueta de vidrio. La plaqueta es examinada bajo el microscopio para distinguir tamaño, concentración, composición, morfología y condición superficial de las partículas ferrosas y no ferrosas que caracterizan el desgaste. El examen detallado descubre los misterios de las condiciones de desgaste anormal apuntándolo hacia el componente fuente, con un excelente acercamiento a la causa raíz del problema. A pesar de sus capacidades es frecuentemente excluida de los programas de análisis de aceites, debido a que, comparativamente, es bastante costosa.

Además, es una prueba que requiere tiempo, paciencia y alta habilidad (muy buen ojo) por parte del analista. Por lo tanto, este análisis representa costos significativos que no se presentan en otros análisis de aceites. Por otra parte, los beneficios de la ferrografía analítica son muy representativos, al lograr una clara identificación de modos de falla que ningún otro análisis provee.

Otros ensayos utilizados para evaluar las condiciones del lubricante durante su desempeño en el equipo son:

Inspección de olor y color: las primeras propiedades a evaluar en una muestra de aceite usado son su apariencia, su color y su olor. Éstas pueden decir mucho acerca de las condiciones del lubricante, la máquina y acerca de la eficiencia del método de purificación. Pueden ser evaluadas diariamente, semanalmente y mensualmente, dependiendo de los requerimientos del caso.

Analizando la apariencia de la muestra, es decir, si la misma está clara o turbia, esta puede dar indicio de contaminación con agua. Además, se puede inspeccionar la presencia de partículas sólidas suspendidas, confirmando la contaminación del producto. El principal significado del color es indicar cambios con el tiempo, un oscurecimiento notable de la muestra en períodos de tiempo cortos, indica contaminación o comienzo de la oxidación del aceite. Un oscurecimiento sin ningún cambio en la acidez o la viscosidad usualmente indica contaminación por material externo al sistema. Otro ensayo comparativo es el olor que ofrece la muestra. Los aceites usados tienen normalmente un olor a grasa, los aceites oxidados presentan un olor a quemado que es más fuerte según el grado de oxidación o contaminación.

Análisis de viscosidad: la viscosidad es una de las propiedades más importantes de medir en un programa de análisis de aceites usados, la cual puede definirse como su resistencia a fluir. Los lubricantes deben poseer características de fluidez apropiada, para asegurar una correcta lubricación de las piezas a diferentes temperaturas de operación. Existen diversas metodologías para la determinación de la viscosidad. Sin embargo, el método más empleado para aceites lubricantes es la evaluación de la viscosidad cinemática, de acuerdo a lo indicado en el ensayo ASTM-D-445. En éste se determina el tiempo que tarda en pasar un volumen de muestra a través de un tubo capilar, bajo acción de la gravedad a una temperatura dada.

Con la finalidad de establecer un mismo lenguaje, los fabricantes de equipos y suministradores de aceites desarrollaron un sistema de clasificación de viscosidad de lubricantes industriales denominado ISO, basado en la viscosidad cinemática medida a 40 °C. Una disminución de la viscosidad usualmente indica, que un producto de baja viscosidad ha sido adicionado como relleno o que el sistema ha sido contaminado con algún solvente. Por el contrario, un incremento en la viscosidad normalmente se debe a la contaminación con productos de alto peso molecular y, en la mayoría de los casos, debido a productos de la oxidación del aceite. Un incremento de la viscosidad de 10 a 20 % es considerado severo, en la mayoría de las aplicaciones.

Acidez y alcalinidad: el número ácido total (TAN) es una medida de la acidez total presente en el aceite y en muestras de aceite usado, es una medida de su grado de degradación por oxidación y su interpretación requiere el conocimiento de las características del aceite nuevo.

Para la mayoría de los lubricantes industriales el TAN inicial es relativamente bajo y el mismo comienza a incrementarse, debido a la presencia de ácidos débiles que se derivan de la oxidación del aceite. La presencia de una cantidad apreciable de ácidos en el sistema puede ocasionar problemas como fallas en los rodamientos y excesivo desgaste en muchos componentes del sistema.

Punto de inflamación: este parámetro es de gran utilidad para identificar componentes volátiles, aceites de baja viscosidad o degradación térmica de aceite por altas temperaturas. Si la contaminación ocurre con gas, kerosene, diesel o gasolina, la disminución del punto de inflamación estará acompañada por una disminución de la viscosidad. Por el contrario, una contaminación por aceite combustible pesado puede causar disminución en el punto de inflamación pero no en la viscosidad.

Resistencia a la oxidación: una de las propiedades más relevantes para determinar el tiempo de vida útil de un aceite es su estabilidad a la oxidación. Cuando este proceso ocurre se forman lacas, lodos y productos ácidos que, además de incrementar la viscosidad, causan aceleración en el proceso de oxidación. Otros parámetros como las altas temperaturas, la presencia de aire, agua y algunos metales como el cobre catalizan la reacción. En análisis de aceite regularmente se mandan a realizar los análisis correspondientes a una compañía certificada, que tenga los aparatos especiales y necesarios para dichos análisis.

4.3.5. Análisis termográfico

El análisis de termografía es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

El análisis termográfico se basa en la obtención de la distribución superficial de temperatura de una tubería, pieza, máquina o envolvente. Por el que se obtiene un mapa de temperaturas por medio de una termografía o termograma, en donde se visualizan puntos fríos o calientes, debido a las anomalías que se pudieran encontrar en el aislamiento. Con la realización del estudio termográfico completo, se puede realizar comprobación en envolventes como en máquinas y sistemas de distribución con lo que se puede conseguir:

- Un mayor conocimiento en cuanto al estado térmico de la instalación.
- Conocimiento de las pérdidas existentes (fugas) y por lo tanto posibles puntos de actuación.
- Ahorro debido a una mayor eficiencia energética de los sistemas evaluados.

El estudio de los sistemas de distribución puede alertar de las pérdidas energéticas que se producen por un mal aislamiento, alguna rotura o mal engranaje.

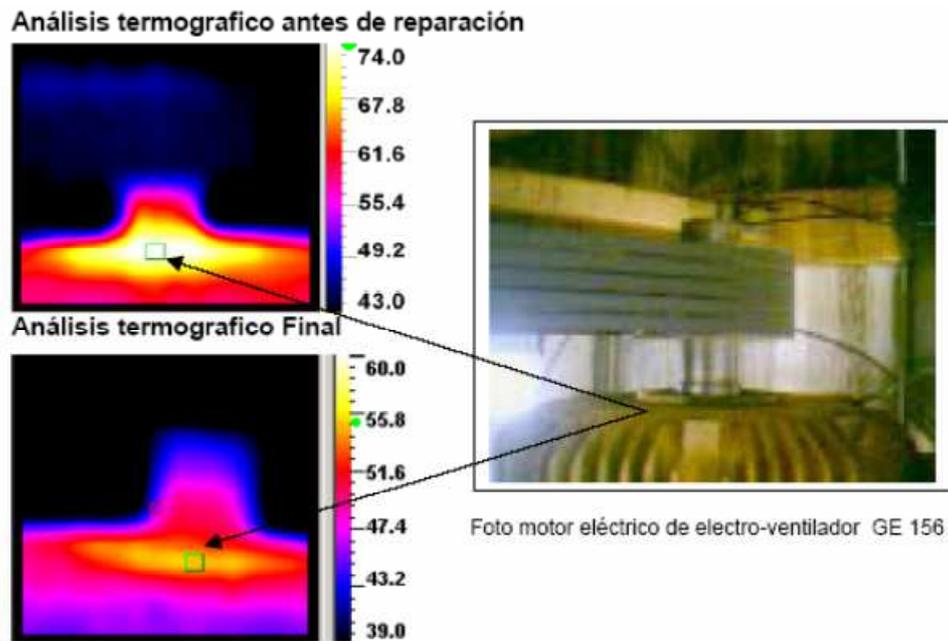
Medición de temperatura en componentes eléctricos: para estas inspecciones termográficas de instalaciones eléctricas, se utiliza un método especial, el cual está basado en la comparación de diferentes objetos, llamada medición con referencia, es decir una medición comparativa entre diferentes fases de la estación. Este método necesita de una exploración sistemática de las tres fases, para calcular si un punto difiere del patrón normal de temperatura. Un patrón normal de temperatura significa que los componentes transportadores de corriente tiene una temperatura de operación dada, como un tono gris en la pantalla, el cual es usualmente idéntico para las tres fases bajo carga simétrica.

Un área o un punto caliente detectado en un componente eléctrico revelado en un termograma, podría se causado por una o más de las siguientes razones: reflexiones solares, una resistencia aumentada, calentamiento inductivo, variación de carga, variación de emisión. Los componentes eléctricos inspeccionados pueden ser: corta circuitos de corriente, transformadores de corriente, cajas de fusibles, aisladores, transformadores de potencia, banco de capacitores. Los factores de disturbios en inspecciones termográficos pueden ser: viento, lluvia, campos magnéticos.

En los componentes mecánicos: en un compresor de refrigeración igual pueden tomarse los puntos de calor a lo largo del compresor y cada uno de sus componentes, moviendo la envolvente y así pudiendo detectar puntos calientes o muy fríos como un retorno de líquido al compresor, que por supuesto causaría un daño enorme.

El motor eléctrico también debe ser analizado y principalmente en los cojinetes trasero y delantero. En la figura 100, se puede ver un análisis termográfico inicial de un motor eléctrico y a continuación un análisis termográfico final después de la reparación.

Figura 100. **Análisis termográfico de un motor eléctrico**



Fuente: Boletín de noticias mantenimiento predictivo/Proactivo. No. 24 abril 2006.

Este tipo de mantenimiento en una empresa, regularmente es realizado por personas que se dedican al mantenimiento externo y tiene el equipo necesario para poder realizar varias mediciones y comparaciones.

4.4. Calendarización de actividades

Es la forma como se distribuirán las diferentes actividades de mantenimientos de cada uno los componentes o dispositivos, esto con base en los beneficios que esto traerá dentro de los cuales se podría mencionar:

- Reducir fallas y tiempos muertos incrementando la disponibilidad.
- Incrementar la vida de los equipos e instalaciones.
- Mejorar la utilización de los recursos.
- Reduce los niveles de inventario y distribución de presupuesto.
- Ahorros consistentes.
- Control de mano de obra.

Para hacer efectiva la calendarización, se debe hacer un modelo en base a diferencias significativas de ahorro, teniendo en cuenta la estructura de organización y políticas para estar acorde a la productividad, dentro de estos pasos se puede ver:

- Determinar metas y objetivos.
- Establecer los requerimientos del mantenimiento preventivo.
- Maquinaria y equipos a incluir.

- Áreas de operación a incluir.
- Incluir disciplinas adicionales al mantenimiento preventivo (ruta de lubricación).
- Crear una base de datos en base a todo lo anterior.

Para el registro del la calendarización de mantenimiento, se hará por medio de la orden de mantenimiento, que puede verse en la figura 101. La cual lleva los datos más importantes para crear los registros necesarios. La orden de mantenimiento tiene que ser elaborada para cada componte o dispositivo o instalación, dependiendo el calendario de actividades general. La orden de mantenimiento principalmente cuenta con los siguientes datos:

- Código: se colocará al formato en base al sistema de codificación de planta.
- Versión: se registrará las veces que sea modificada la orden de mantenimiento.
- Fecha: el día que se programa.
- Área: se colocará el área a la que pertenece.
- Equipo: se colocará el nombre del equipo y su código de equipo.
- Prioridad: si es urgente o normal.

- Clasificación de la orden: qué tipo de mantenimiento, en este caso es preventivo.
- Tipo: si es mecánica, eléctrica, servicio, refrigeración, lubricación.
- Frecuencia: se coloca si va a ser realizada diaria, semanal, etc.
- Descripción de tarea: se coloca el trabajo de mantenimiento preventivo.
- Responsable: es la persona que realizó la orden de mantenimiento preventivo.
- El tiempo de ejecución: se programa un tiempo y el operador coloca el tiempo real.
- Materiales utilizados: para control de inventario.
- Firma/programó: firma de quien programó.
- Firma/ejecutó: firma de quien fue el responsable de la ejecución.
- Firma/jefe de mantenimiento: firma del jefe de mantenimiento.

Este mantenimiento debe llevar el control manual en carpetas y si se cuenta con un sistema automático de mantenimiento debe de ingresarse los datos para control y estadística.

4.4.1. Mantenimiento diario

Diariamente debe realizarse mantenimiento preventivo, el cual lleva como objetivo el seguimiento de actividades que no se pueden dejar de realizar, muchas pueden ser realizadas por operarios calificados para el puesto o el técnico de turno, por ser diaria, se pueden considerar como inspecciones visuales y auditivas y se puede decir que incluso la olfativa.

En este tipo de mantenimiento se aprovecha para sacar datos estadísticos de control como los contadores eléctricos, contadores de agua, aire. Que sirven para el control estadístico de los mismos. Todo este mantenimiento será almacenado en una carpeta y con las firmas correspondientes para que tenga veracidad y no se incurra en fallas, por la falta de mantenimiento y así poder programar la del siguiente día. La orden de mantenimiento diaria muchas veces se puede realizar dos veces por día, si interesa tener un mejor control por turno y así convertirla en dos o tres órdenes dependiendo si el turno es de 12 o 8 horas.

4.4.2. Mantenimiento semanal

El mantenimiento semanal, se realizará cada 7 días calendario y muchas de estas órdenes se realizarán en los diferentes días de la semana, cuando no hay producción en algún intervalo de tiempo, pero principalmente enfocado a realizarlo en fin de semana, cuando operación está detenido debido a que en muchas ordenes de este tipo hay que profundizar en la inspección de piezas internas o que lleva un tiempo considerable en la revisión.

Las ordenes de mantenimiento son distribuidos con base en calendario maestro y regularmente, se hacen revisiones para ampliar en mayor tiempo, por motivos de ahorros, pero sin descuidar el mantenimiento muchas veces estos tiempos se pueden extender y convertirlo en un mantenimiento quincenal. Pero si no es factible se sigue evaluando sin descuidar nada.

4.4.3. Mantenimiento mensual

La calendarización del mantenimiento mensual, es regularmente utilizado para tareas de ajustes y control de paneles o guías de desgaste, aunque alguna programación mensual puede reducirse a quincenal, dependiendo como va a avanzando el mantenimiento o si hubiera algún retraso, calentamiento o desgaste excesivo por falta de revisión se hará lo anteriormente recomendado. Esta orden de mantenimiento debe realizarse y compararla estadísticamente cada mes, y que la programación sea buena y esté sirviendo, si hubiera problemas repetitivos se puede ampliar o reducir en el tiempo.

De esta orden y del control y la estadística del mantenimiento se puede reducir a quincenal o si todo funciona cambiarlo a bimestral, controlando en los cambios el 100% de la efectividad para tomar la decisión.

4.4.4. Mantenimiento semestral

Muchas máquinas vienen programadas para realizarle mantenimiento por horas, en este caso del túnel de congelado, muchas veces, estas horas van en relación con 6 meses o mantenimiento semestral, que regularmente programa cambios de aceite, filtros y mantenimiento a dispositivos grandes o acumulación de mantenimientos mensuales con programación de recambios a los 6 meses.

Las ordenes de mantenimiento semestral igual que las anteriores, llevan los controles y registros y se valúa si se aumenta o se reduce el tiempo de ejecución de las misma. Al realizar este mantenimiento, debería ser un técnico especializado que anteriormente haya tenido esta experiencia, por la consideración de las observaciones al realizar este mantenimiento preventivo.

4.4.5. Mantenimiento anual

Anualmente muchas de las tares de mantenimiento continuo programado a lo largo del año, requieren cambios de dispositivos o piezas que los fabricantes garantizan para un tiempo cerrado y que además, están instaladas en ciertas aéreas en donde el acceso es difícil o en todo el año es definitivamente parar.

Para este mantenimiento regularmente se toma un tiempo anualmente, de 1 o 2 días para poder hacer estos recambios o si las piezas van a reparación que haya el tiempo necesario. Este mantenimiento se registra y se controla ya que hay piezas que pueden estar bien todavía o algunas con un desgaste o deterioro excesivo, por lo tanto el mantenimiento podría ampliarse o reducirse dependiendo la consideración, esto tratando de mejorar los tiempo y velar por los ahorros, sin descuidar el objetivo del mantenimiento.

El mantenimiento anual definitivamente conlleva un presupuesto anual, o muchas veces se conoce como plan de mantenimiento anual, en donde incluye una programación extendida y una logística diferente para obtener mayor cantidad de piezas de recambio y mantenimiento de piezas más grandes que hubiera que desmontar.

4.4.6. Elaboración del calendario de actividades

Se muestra a continuación una calendarización de mantenimiento preventivo, el cual es una recomendación, ya que dependiendo de los tiempos de producción, este puede variar, incluso desglosarlo aun mas y poder incluir algunos otros dispositivos, se pueden alargar o recortar los tiempos.

Esto dependerá de la experiencia con el mantenimiento que se haya tenido y debe revisarse la calendarización aproximadamente cada 6 meses. A continuación se presentan las figuras, 102, 104, 104,105 y 106 que presentan una forma de calendarización.

Figura 102. Calendario de actividades 1

CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL M.P. PARA EL TÚNEL DE CONGELADO.		Frecuencias					
		D	S	M	S	A	H.H
Elaborado por: Departamento de mantenimiento		Revisado por:		1/5			
Código:							
Versión:							
Componente	Descripción Actividad	D	S	M	S	A	H.H
AUXILIARES							
Bomba de agua externa	Inspección visual, auditiva de funcionamiento	x					
	Toma de lectura de presión manométrica	x					
	Mediciones en el panel eléctrico.(amps, V.)		x				
	Apriete de tornillería y fijación			x			
	Revisión de sello mecánico y componentes				x		
	Cambio de cojinetes al motor eléctrico					x	
	Cambio de sello mecánico					x	
	Mantenimiento a bobinas eléctricas del motor					x	
	Engrase de los cojinetes del motor eléctrico			x			
Acometida eléctrica	Inspección visual y auditiva de funcionamiento	x					
	Apriete de bomeras a circuitos			x			
	Revisión de tuberías y cableados			x			
	Limpieza de platinos a disyuntor				x		
	Cambio de platinos y componentes					x	
	Medición de la condición de tierra física				x		
Techos que alberga al túnel	Revisión de goteras sobre el techo						
	Revisión del ventilador de extracción de calor (si hubiera).			x			
	Revisión de la iluminación para inspecciones nocturnas			x			

Fuente: elaboración propia.

Figura 103. **Calendario de actividades 2**

CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL M.P. PARA EL TÚNEL DE CONGELADO.							Código:
							Versión:
Elaborado por:		Revisado por:					2/5
Departamento de mantenimiento							
		Frecuencias					
Componente	Descripción Actividad	D	S	M	S	A	H.H
CÁMARA DE CONGELACIÓN							
Mantenimiento cajas reductoras	Inspección visual y auditiva	x					
	Revisión de nivel de aceite		x				
	Revisión de conexiones eléctricas		x				
	Medición eléctrica al motor		x				
	Cambio de cojinetes y retenedores					x	
	Mantenimiento a bobinas eléctricas del motor					x	
	Cambio de aceite al reductor					x	
Mantenimiento al gabinete	Revisar el sello de los paneles			x			
	Revisar el piso de los paneles		x				
	Revisar el funcionamiento de las resistencias de piso						
	Revisar las resistencias de las puertas (al tacto)	x					
	Revisar que funcione la chapa de cierre por adentro	x					
	Revisar las cortinas vínicas en la entrada y salida		x				
	Resellar panales y golpes en panelería					x	
	Revisar Iluminación interna			x			
	Apriete de tornillería y piezas base					x	
	Revisar del funcionamiento de alarma interna		x				
Mantenimiento a ventiladores completo		x					
Mantenimiento a motor eléctrico			x				

Fuente: elaboración propia.

Figura 104. Calendario de actividades 3

CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL M.P. PARA EL TÚNEL DE CONGELADO.							Código:
							Versión:
Elaborado por:		Revisado por:					3/5
Departamento de mantenimiento							
							Frecuencias
Componente	Descripción Actividad	D	S	M	S	A	H.H
Base del autosostenible	Revisar las fijación de las patas guías		X				
	Revisión de desgaste de las guías		X				
	Revisar apriete de la estructura base			X			
	Ajustar posicionamiento del reductor			X			
	Revisar conexiones eléctricas anidadas			X			
	Revisión de sensores e interruptores		X				
	Revisión de los eslabones de la cadena de rodillos			X			
	Revisión de los eslabones de la cadena transportadora			X			
	Enderezar los eslabones de la cadena transportadora		X				
	Revisión de los balines de rodaje				X		
Sistema de lavado	Inspección visual y auditiva						
	Revisión de las bombas de lavado arriba						
	Revisión de sello mecánico, y componentes				X		
	Cambio de cojinetes al motor eléctrico					X	
	Cambio de sello mecánico					X	
	Mantenimiento a bobinas eléctricas del motor					X	
	Engrase de los cojinetes del motor eléctrico			X			
	Limpieza y revisión de la boquillas de lavado arriba						
	Limpieza y revisión de la boquillas de lavado entrada						
	Apriete de tornillería de fijación						

Fuente: elaboración propia.

Figura 105. Calendario de actividades 4

CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL M.P. PARA EL TÚNEL DE CONGELADO.							Código:
							Versión:
Elaborado por: Departamento de mantenimiento			Revisado por:			4/5	
							Frecuencias
Componente	Descripción Actividad	D	S	M	S	A	H.H
	Revisión de la bomba de lavado entrada						
	Revisión de sello mecánico, y componentes				x		
	Cambio de cojinetes al motor eléctrico					x	
	Cambio de sello mecánico					x	
	Mantenimiento a bobinas eléctricas del motor					x	
	Engrase de los cojinetes del motor eléctrico			x			
Mantenimiento al panel eléctrico	Apriete de tomillería de contactos eléctricos		x				
	Cambio de contactos eléctricos				x		
	Cambio de fusibles					x	
	Revisión de cables y tuberías			x			
	Medición de la tierra física				x		
	Verificar que la puerta selle al cerrar	x					
	Revisión de sensores y líneas eléctricas			x			
	Calibración de sensores de temperatura	x					
COMPONENTES DE REFRIGERACIÓN							
Paquete de compresión	Revisión de acople entre motor y compresor		x				
	Cambio de acople entre motor y compresor				x		
	Lubricación del motor eléctrico				x		
	Cambio de sello mecánico al compresor					x	
	Cambio de aceite y filtros				x		
	Limpieza de filtro de succión				x		
	Purga de aceite en el acumulador		x				

Fuente: elaboración propia

Figura 106. Calendario de actividades 5

CALENDARIO DE ACTIVIDADES DEL M.P. PARA EL TÚNEL DE CONGELADO.		Frecuencias					
		D	S	M	S	A	H.H
Elaborado por: Departamento de mantenimiento		Revisado por:		5/5			
Componente	Descripción Actividad						
	Purga de aire al sistema			X			
	Lubricación de vástagos de las válvulas de refrigeración			X			
	Revisión del nivel de refrigerante	X					
	Ajuste de refrigerante		X				
Condensador	Revisión de las bombas de circulación						
	Revisión de sello mecánico, y componentes				X		
	Cambio de cojinetes al motor eléctrico					X	
	Cambio de sello mecánico					X	
	Mantenimiento a bobinas eléctricas del motor					X	
	Engrase de los cojinetes del motor eléctrico			X			
	Revisión de las boquillas de aspersion	X					
	Limpieza del filtro de recirculación		X				
	Limpieza de los filtros de goteo			X			
Evaporador	Revisión de alineamiento de las aletas		X				
	Apriete de tornillería de fijación			X			
	Revisar accionamiento de las válvulas solenoide				X		
	Revisar que no existan fugas en todo el sistema			X			
Mantenimiento proactivo	Análisis de aceite				X		
	Análisis de vibraciones					X	
	Análisis termográfico					X	

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

1. Con el programa de mantenimiento propuesto se pretende informar sobre los túneles de congelado en espiral, usando amoníaco como refrigerante, debiendo tener en cuenta que las recomendaciones pueden variar dependiendo de las marcas o cambios de componentes y marcas disponibles en el mercado.
2. En los sistemas de múltiples etapas hay varias disposiciones que se pueden adoptar para los sistemas en refrigeración que trabajan a bajas temperaturas, adaptando estos de acuerdo a la necesidad del proceso productivo y la inversión que se quiera realizar para colocarle más controles.
3. Es importante que cuando se utiliza amoníaco como refrigerante deben seguirse ciertos lineamientos o protocolos para el manejo del mismo, incluyendo la carga y ajuste al sistema ya que personal no capacitado, puede causarse daño o causarle daño al demás personal de mantenimiento o de operaciones.
4. Se puede establecer que la refrigeración por amoníaco es barata y de mucho uso en la industria, ya que los gastos iniciales son altos, pero a futuro bajan por la alta eficiencia del sistema de refrigeración.

RECOMENDACIONES

A la Facultad de Ingeniería:

1. Incluir un laboratorio en el curso de Refrigeración y Aire Acondicionado sobre refrigeración por amoníaco, en donde se haga práctica con los dispositivos de refrigeración por amoníaco más comunes y programar visitas a plantas en cada semestre.

A la industria:

2. Capacitar a todo el personal de mantenimiento para que sepan el uso y las consecuencias del manejo del amoníaco. Así como, el uso de los sistemas de ventilación rápido que deberían tener, cuando hay alguna fuga no controlada.
3. Contar con el equipo necesario para reaccionar ante fugas de amoníaco, que puedan dañar la integridad física del personal de planta, ya que al haber una fuga es difícil que alguien esté presente y no sufra las consecuencias de intoxicarse.
4. Revisar constantemente la calendarización del mantenimiento preventivo y compararlo con la información recopilada para saber cómo está el equipo y así, a corto plazo evitar fallo o parada inesperada aumentando su productividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. DEL VALLE ALBUREZ, Mario Estuardo. *Ampliación del sistema de refrigeración por amoníaco en la Embotelladora del Pacífico, S.A.* / Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 142 p.
2. FRIGOSCANDIA. *Manual del túnel de congelado*. USA: Gyrocompact, 2003. 250 p.
3. STOECKER, Wilbert F. *Industrial refrigeration*. Handbook. 2a ed. USA: McGraw-Hill, 1998. 782 p.
4. TRICOMI, Ernest. *ABC del aire acondicionado*. México: Alfaomega, 1996. 144 p.
5. WARK, Kenneth Jr. *Termodinámica*. 5a ed. México. McGraw-Hill, 1995. 432 p.

