

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ARRANQUE Y
ESTABILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMPRESIÓN
EN EMPACADORA TOLEDO, S.A.**

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
WERNER JOSÉ PORTILLO GARCÍA**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ARRANQUE Y
ESTABILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMPRESIÓN
EN EMPACADORA TOLEDO, S.A.**

POR

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
WERNER JOSÉ PORTILLO GARCÍA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi estudio especial de graduación titulado:

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ARRANQUE Y ESTABILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMPRESIÓN EN EMPACADORA TOLEDO, S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, el 17 de febrero de 2007.

Ing. Werner José Portillo García

ÍNDICE DE CONTENIDO:

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS	IV
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. Aspectos generales	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Alcance	4
2. Revisión bibliográfica	5
3. Marco Teórico	6
3.1 Compresores recíprocos	6
3.2 Evaporadores	8
3.3 Válvulas de expansión	9
3.4 Tanques recirculadores	13
4. Investigación propuesta	15
4.1 Caracterización del sitio	15
4.2 Información disponible	15
4.3 Metodología.....	19
4.4 Resultados	24
4.5 Discusión de resultados	26
4.6 Análisis económico	30
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
ANEXOS	35

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.1	Instalación de compresores sabroe	2
Figura 3.1	Relaciones entre presión y volumen en un compresor Reciprocante	6
Figura 3.2	Foto de compresor sabroe instalado en Empacadora Toledo	7
Figura 3.3	Evaporador Frick	8
Figura 3.4	Válvula de expansión tipo recta con tipo de conexión bajo norma ANSI B 16.11	10
Figura 3.5	Válvula de expansión en ángulo marca danfoss, con conexión bajo norma ANSI B 16.11	10
Figura 3.6	Porcentaje de apertura de válvula de expansión	12
Figura 3.7	Ilustración del mecanismo de accionamiento de las válvulas de expansión danfoss	13
Figura 3.8	Bomba frigostrella modelo ZM-1	13
Figura 3.9	Tanque recirculador de cámara de producto terminado	14
Figura 4.1	Tanque recirculador de alta temperatura marca Frost Frio	17
Figura 4.2	Tanque recirculador de baja temperatura marca Frost Frio	18
Figura 4.3	Formato de entrevista con técnico de York	19
Figura 4.4	Entrevista con técnico de York.	22

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1.1	Algunos tipos de válvulas de expansión marca danfoss.....	11
Tabla 4.1	Formato de recolección de parámetros de compresores.....	16
Tabla: 4.2	Muestra de parámetros obtenidos en los compresores durante la operación	24
Tabla 4.3	Parámetros de los compresores.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS:

Documentación de válvulas danfoss	35
Gráfica de Presiones y temperaturas... ..	37

GLOSARIO:

Válvula de expansión.	Dispositivo que regula el paso de un fluido, en este caso NH_3 , (Amoniaco).
Tanque recirculador.	Tanque que recibe el amoniaco, lo capta y lo envía al evaporador, por medio de una bomba de amoniaco.
Cámara de enfriamiento.	Cuarto frío donde se almacena y/o procesa producto.
Succión.	Tubería que proviene del evaporador de la cámara, el cual ingresa al tanque recirculador y es aspirado por el compresor.
Descarga.	Lado de alta temperatura que es donde expulsa la compresión el compresor.
Evaporador.	Equipo que se encarga de intercambiar calor de la cámara de enfriado y lo extrae por medio del amoniaco en forma de gas.
Compresor de refrigeración.	Mecanismo que se encarga de comprimir el amoniaco gaseoso y expulsarlo en forma de gas a alta temperatura.
ANSI	Norma que en sus siglas en ingles dicen American National Standards Institute.
Refrigerante R 717	Amoniaco NH_3 .
bar.	Presión equivalente a 0.987 atm ó 14.5 lb/pulg ² .
PSI.	Unidad de medida de presión en libra / pulg ² . equivale a 0.068 atm.
ASTME.	American Society for Testing and Materials por sus siglas en ingles.
TIG.	Soldadura que se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio, acompañada con una protección de un gas como el argón.

Recalentamiento de Succión.	Temperaturas de succión del compresor.
Recalentamiento de descarga	Temperatura de la descarga del compresor.
Termoking	Furgón que se utiliza para enfriar o mantener a cierta temperatura los productos alimenticios.

RESUMEN:

Los sistemas de refrigeración son esenciales en las empresas de productos alimenticios de carácter perecedero, en Empacadora Toledo, se cuenta con varios de sistemas de refrigeración, en su mayoría es utilizado como refrigerante amoniaco NH_3 , ya que por sus propiedades resulta ser el más eficiente.

Actualmente Empacadora Toledo, ha expandido sus líneas de procesamiento lo cual a conllevado la instalación de equipos de refrigeración para cubrir las nuevas cámaras. Dentro de los equipos instalados se tienen compresores reciprocantes marca Sabroe, los cuales se instalaron con todos sus equipos auxiliares como, evaporadores, condensador, tanques de recirculación, tanque receptor, válvulas de expansión y tuberías entre otros.

Durante el arranque del sistema de refrigeración se presentaron problemas en la estabilización de los compresores, por tal razón se decidió hacer un procedimiento para el arranque y calibración de las válvulas de expansión, permitiendo una operación fácil y con ello mejorar la calidad de las temperaturas en las cámaras refrigeradas y prolongar la vida útil de los equipos.

Parte del estudio realizado se explica la forma de calibración de las válvulas de expansión, ya que este pequeño dispositivo resulta ser clave en el funcionamiento del sistema frigorífico se obtiene su ajuste mediante tablas en función de las temperaturas requeridas y las dimensiones de la válvula.

La baja disponibilidad de los equipos de refrigeración representa un costo alto ya que implica la búsqueda de otros medios de almacenamiento de producto y cuando no se cuenta con espacio en las instalaciones normalmente se opta por alquilar furgones refrigerados que resulta ser una opción con un costo alto. Es por esto que este procedimiento representa un soporte técnico para optimizar el funcionamiento de los equipos instalados.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un procedimiento para el arranque de los sistemas de refrigeración, de manera que se logre mejorar las temperaturas de los cuartos fríos, un mejor desempeño de los compresores, una estabilización adecuada y funcionamiento apropiado de los equipos.

ESPECÍFICOS

- 1) Definir un procedimiento práctico para el arranque de los sistemas de refrigeración.
- 2) Estudiar los sistemas de refrigeración, para obtener mejores temperaturas de enfriamiento en las cámaras de refrigeración.
- 3) Obtener una mayor vida útil y desempeño de los compresores, a partir de la disminución de paros, estabilización adecuada y funcionamiento apropiado.
- 4) Realizar un análisis de costos, para definir los costos incurridos por problemas en el sistema de refrigeración.

INTRODUCCIÓN

En Empacadora Toledo, se cuenta con varios sistemas de refrigeración los cuales se utilizan para el proceso de enfriamiento de los cuartos fríos, esto con el fin de mantener los productos (materias primas, producto en proceso y producto terminado) en las condiciones apropiadas para conservarlos adecuadamente.

Los equipos de refrigeración se deben mantener operando eficientemente para brindar las temperaturas de los cuartos fríos, cuando existe algún problema en algún compresor de refrigeración este repercute directamente en la temperatura del cuarto que depende de él. Por esta razón se deben conservar las características de funcionamiento apropiadas.

Actualmente en Empacadora Toledo, se han instalado nuevos sistemas de refrigeración para las cámaras de frizado y producto terminado de salchichas, dichos sistemas cuentan con compresores reciprocantes marca Sabroe. Durante el proceso de instalación se incluyeron todos los equipos auxiliares como tanques recirculadores, condensador, tanque receptor, bombas de refrigerante, y los evaporadores para las cámaras.

Después de todo el proceso de instalación y a la hora del arranque de los equipos, se tuvieron varios problemas que conllevan ciertos inconvenientes más que todo por la estabilización en la temperatura de las cámaras y esto representa el no poder utilizar dichas cámaras para el almacenaje de los productos.

En el presente trabajo se brindara un procedimiento claro para el arranque de los sistemas de refrigeración de manera que se logre mejorar el desempeño de los compresores y tener un funcionamiento apropiado de los equipos, con esto también se beneficiara a los técnicos en refrigeración ya que podrán hacer su trabajo de una manera más técnica y eficiente.

También basados en el procediendo de arranque de los sistemas de refrigeración se obtendrá una mayor vida útil y desempeño de los compresores, a partir de la disminución de paros, estabilización adecuada y funcionamiento apropiado.

1. ASPECTOS GENERALES:

1.1 GENERALIDADES

Empacadora Toledo, S.A. surge en septiembre de 1972, dentro del grupo de Avícola Villalobos, dedicada a la producción de cerdos y proyectada a satisfacer la demanda local e internacional. Inicia su operación fabricando embutidos y carnes ahumadas.

Opera con granjas altamente tecnificadas y de genética superior que producen cerdos de alto nivel internacional. De allí que la materia prima cárnica trasladada al procesamiento industrial y los productos derivados puedan ostentar orgullosamente el calificativo de calidad desde su origen.

Al final de la década de los 90's, Empacadora Toledo S.A. logró consolidarse en el mercado guatemalteco como la "marca líder" abarcando los siguientes segmentos:

- Ruta Popular
- Supermercados
- Departamentos
- Exportaciones a Honduras y El Salvador

Actualmente el incremento de la demanda de los productos procesados ha llevado a la expansión del proceso productivo ampliando las instalaciones y consolidando y centralizando las dos plantas de procesamiento industrial en Amatitlán con un alto nivel de calidad. Esta ampliación también requiere de instalaciones nuevas dentro de las cuales se tienen los requerimientos de energía frigorífica.

Como punto de partida se instalaron 3 compresores recíprocos marca Sabroe con sus equipos auxiliares entre ellos, tanques recirculadores, condensador, tanque receptor y evaporadores etc., los cuales se instalaron para refrigerar las cámaras de enfriado intensivo y de producto terminado de salchichas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Después de todo el proceso de instalación del sistema de refrigeración, que consta de dos sub-sistemas de compresión, se tenía el problema que se arrancaba un compresor se estabilizaba y al momento de arrancar el otro compresor, se disparaba el primero, esto correspondía a problemas de baja temperatura en la succión de cualquiera de los compresores y otro problema era la alta temperatura en la descarga de los compresores.

Figura 1.1 Instalación de compresores sabroe.



La figura 1.1, muestra la instalación de los compresores sabroe, los constantes paros provocando que no se puedan utilizar las cámaras de refrigeración teniendo inconvenientes para almacenar el producto, ocasionando costos extras en el alquiler de furgones con termokines, los cuales su costo es elevado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se eligió este tema porque es importante establecer el procedimiento para estabilizar los sistemas de compresión en los equipos de refrigeración debido a que se a observando este problema y la dificultad que tiene la estabilización de los sistemas de refrigeración cuando son equipos nuevos o bien los equipos que ya están instalados.

JUSTIFICACIÓN TÉCNICA:

Este proceso se definirá especialmente en los equipos Sabroe, ya que estos equipos e instalaciones son nuevos, pudiendo brindar una ayuda a todas aquellas personas que de alguna manera tienen que ver con el funcionamiento y mantenimiento de dichos equipos.

Actualmente se regulan y calibran los sistemas al cálculo, y han dado buen resultado pero es necesario establecer los parámetros técnicos para su ajuste.

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA:

Teniendo en cuenta que las cámaras de refrigeración sufren un aumento en la temperatura cuando se presentan paros en los compresores, y normalmente se tiene que trasladar el producto a otra cámara fría o bien cuando no hay disponibilidad por falta de espacio se tiene que recurrir a la contratación contenedores fríos para preservar los productos, representando un costo muy alto ya que cada contenedor es alquilado por \$. 125.00 x día, siendo el costo de cada paro o tiempo de estabilización alto.

Con el diseño del procedimiento de arranque y estabilización se mejoraran las temperaturas de las cámaras de refrigeración, se evitaran paros de los equipos y se aumentara la vida útil de los mismos.

1.4 ALCANCE

Basados en el principio de optimizar las temperaturas de refrigeración y evitar costos por alquiler de equipos externos, se decide elaborar un procedimiento para estabilizar los equipos de refrigeración con el cual se definirán los aspectos técnicos para calibración y ajuste de todos los dispositivos que afectan el comportamiento de los equipos.

Para esto se definen las unidades de análisis y actores:

- 1) Entrevistas con el experto de refrigeración para determinar las mejores técnicas de estabilización. A partir de sus experiencias, lograr consolidar información que al final se cotejara con las otras opciones y establecer la mejor para nuestros sistemas de refrigeración.
- 2) Técnicos de refrigeración con experiencia, que brindaran sus experiencias con respecto a las calibraciones de las válvulas de expansión y sus vinculaciones con las temperaturas de los sistemas.
- 3) Los proveedores de los equipos, tanto de los compresores como de los accesorios como válvulas de expansión y tanques recirculadotes.
- 4) Bibliografía acerca de sistemas de expansión y refrigeración para complementar y buscar mejores técnicas que la actual. Obteniendo con esto mayor campo de acción y comparación para dicho procedimiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cuando hablamos de un procedimiento para estabilización de los equipos de refrigeración, es muy difícil encontrar un procedimiento específico para cada una de las instalaciones, esto debido a que cada instalación es diferente y es afectada considerablemente por cualquier de cambio ya sea propiamente en diseño, o equipos auxiliares que se coloquen.

Manuales de compresores:

Dentro de la información que se cuenta tenemos el manual del compresor Sabroe, donde se brinda la información necesaria a cerca del arranque de los compresores, información muy importante ya que identifica los parámetros a controlar tales como presiones, temperaturas, alarmas, etc.

Manuales de Válvulas:

Las válvulas que se utilizaron en la instalación son marca danfoss, dichas válvulas cuentan con sus respectivos documentos sobre la instalación, cada válvula cuenta con sus especificaciones, tal es el caso de las válvulas de expansión, las cuales traen información importante sobre su graduación para la estabilización.

Libros de refrigeración Industrial:

Existe gran cantidad de documentos sobre refrigeración, los cuales orientan sobre como mantener un equipo de refrigeración pero son muy generalizados y muchas veces no son aplicables a un sistema específico.

Bibliografía solicitada en Internet sobre los equipos auxiliares en páginas como “danfoss.com”, “Yorkcold.com”, “Sabroe.com”

Como recursos, se elaboro un check list para el control de los parámetros marcados por los compresores durante su funcionamiento para observar sus comportamientos.

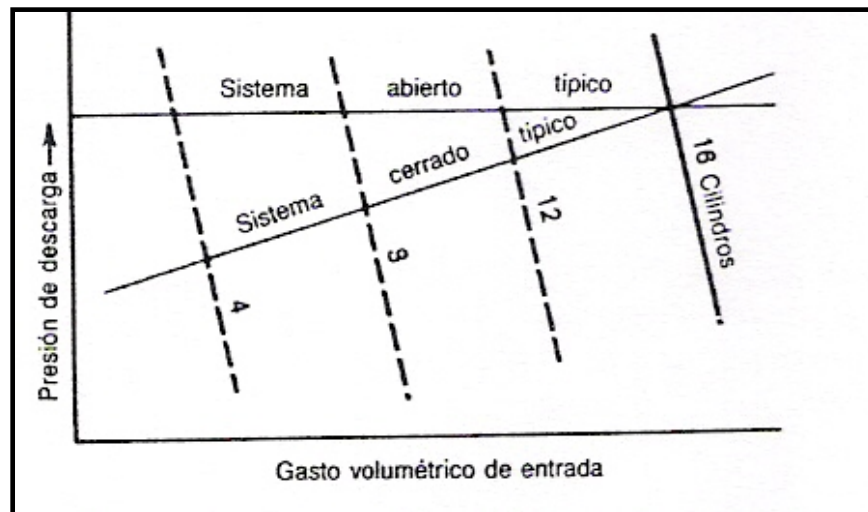
3. MARCO TEÓRICO

3.1 COMPRESORES RECIPROCANTES:

Para aplicaciones de compresión y refrigeración en procesos pueden emplearse compresores de movimiento alternativo (pistones), de tornillo o centrífugos, solos o en combinaciones en paralelo y en serie.

Los modernos compresores de movimiento alternativo o reciprocantes y alta velocidad con desplazamientos hasta de 0.283 a 0.472 m³/s (de 600 a 1000 pie³/min.) por lo general están limitados a una relación de compresión de aproximadamente 9. El compresor de movimiento recíprocante es básicamente una máquina de presión hidrostática variable y volumen constante. Maneja distintas presiones de descarga con cambios relativamente pequeños en el flujo volumétrico de entrada, como lo muestra la línea de la figura siguiente.

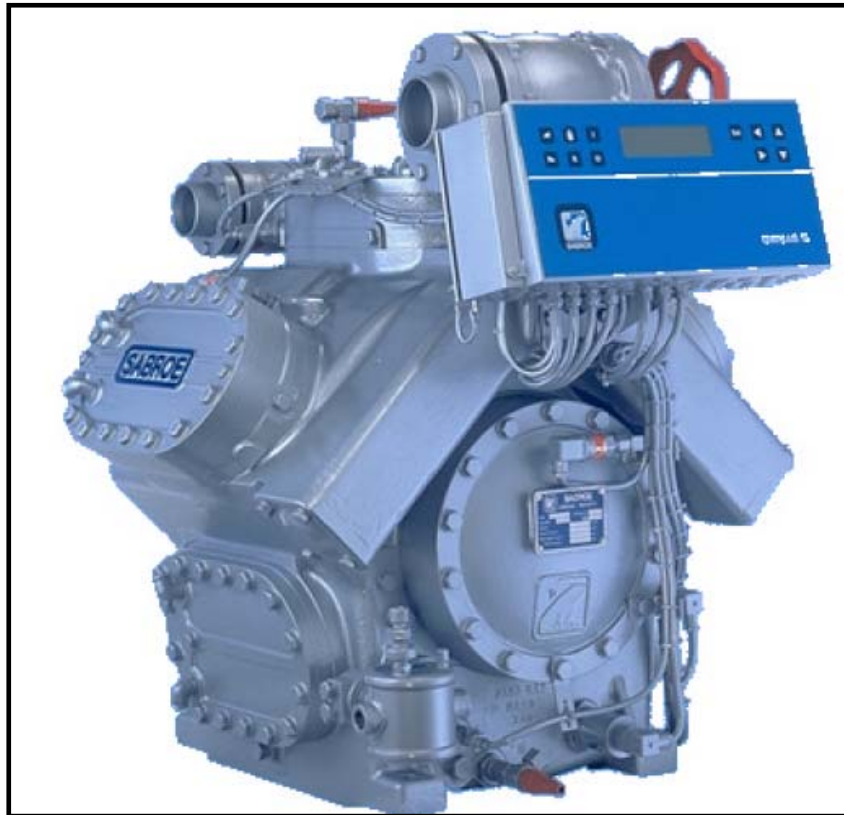
Figura 3.1 Relaciones entre presión y volumen en un compresor recíprocante



Los sistemas abiertos, y muchos procesos, requieren niveles casi fijos de presión de descarga y de aspiración del compresor. Esta característica de carga mecánica está representada por la línea horizontal para un sistema abierto típico de la figura anterior. En contraste, la operación del condensador en muchos sistemas cerrados se relaciona con las condiciones ambientales, por ejemplo, a través de las torres de enfriamiento, de modo que en los días más fríos puede reducirse la presión del condensador. Cuando la carga frigorífica es más baja, se requiere menor circulación de refrigerante. La característica resultante de carga la representa la línea típica para un sistema cerrado de la figura mostrada anteriormente.

El compresor debe ser capaz de satisfacer los requerimientos de presión y flujo impuestos por el sistema en el que opera. El compresor recíprocante alcanza la presión de descarga impuesta a cualquier nivel hasta el límite de su relación de compresión. Las condiciones de flujo variable pueden satisfacerse por medio de dispositivos que descargan cilindros individuales o múltiples. Esta descarga se efectúa bloqueando las válvulas de aspiración o descarga, que se abren manual o automáticamente. También puede usarse el control de la velocidad para efectuar cambios en la capacidad.

Figura 3.2 Foto de compresor sabroe instalado en Empacadora Toledo



La mayor parte de los compresores recíprocantes son de diseño con lubricación. Durante el funcionamiento se bombea aceite dentro del sistema frigorífico, de modo que para devolver el aceite al cárter del compresor, los sistemas deben diseñarse con cuidado a fin de producir una lubricación continua y evitar la contaminación de las superficies del cambiador de calor. A temperaturas muy bajas (alrededor de -50°C . o menores, dependiendo de los refrigerantes empleados) el aceite se hace demasiado viscoso para regresar, y deben tomarse medidas para la suspensión del servicio y el calentamiento periódicos de la planta a fin de permitir la transferencia manual del aceite.

Usualmente los compresores se diseñan para arrancar sin carga, de modo que los motores de par normal son adecuados para el arranque. Cuando se usan motores de gas para accionar compresores recíprocos, es imprescindible realizar un cuidadoso análisis del par de rotación.

3.2 EVAPORADORES

En el caso de los evaporadores usados para servicio de refrigeración existen requerimientos especiales que no siempre se dan con otros tipos de diseño de intercambiadores de calor. Lo anterior incluye problemas de retorno de aceite, distribución de gas de transvaporación, separadores de gas y líquido, y efectos de sumersión.

Retorno de aceite: Cuando el evaporador se usa con equipo de compresión recíproca, es necesario asegurar el retorno adecuado del aceite desde el evaporador. Si el aceite no regresara en el flujo de refrigerante, es necesario dotar al sistema de un depósito de aceite para el equipo de compresión y extraer regularmente el aceite depositado. Los evaporadores utilizados con compresores centrífugos no suelen requerir retorno de aceite desde el evaporador, ya que los compresores bombean muy poco aceite al sistema. Pero aun con equipo centrífugo, al paso del tiempo los evaporadores de baja temperatura se contaminan con aceite, que debe recuperarse.

Figura 3.3 Evaporador Frick



Distribución del gas de transvaporación: Como regla general, los refrigerantes se introducen en el evaporador expandiendo líquido desde una presión alta. En el proceso de expansión una cantidad significativa de refrigerante se convierte en gas por transvaporación (vaporización por reducción de presión). Este gas debe introducirse en el evaporador de manera apropiada para que el rendimiento sea satisfactorio. La distribución inadecuada del gas de transvaporación puede causar un arrastre de líquido hacia el compresor, así como daño a los tubos del cambiador por erosión o vibraciones.

Separación de gas y líquido: El gas de aspiración que sale del evaporador debe estar seco para evitar que dañe al compresor. El diseño debe asignar un espacio de separación adecuado o bien incluir eliminadores de neblina. El arrastre de líquido es una de las principales fuentes de problemas en los sistemas de refrigeración.

3.3 Válvulas de expansión:

Los dispositivos de expansión, más conocidos como válvulas de expansión, son el cuarto elemento necesario para que funcione el ciclo de compresión de refrigeración. Este dispositivo no es tan visible como el evaporador, el condensador o el compresor. Generalmente, se encuentra como una válvula en la tubería de líquido arriba del evaporador o bien antes de entrar al tanque recirculador.

La válvula de expansión es una de las líneas que dividen los lados de alta y de baja presión del sistema. La válvula de expansión es la responsable de la cantidad debida de refrigerante que entra en el evaporador, ya que el evaporador rinde mejor cuando está lleno de refrigerante líquido hasta el máximo sin que éste salga por la línea succión (aspiración).

Todo el sistema de valvulería utilizado en el sistema frigorífico es marca Danfoss, el cual fue proporcionado por el proveedor YORK, entre éstas se encuentra las válvulas de expansión, teniendo las siguientes especificaciones:

Válvulas reguladoras Danfoss

Las válvulas reguladoras pueden ser de vía recta o en ángulo, son normalmente cerradas. Las válvulas danfoss son fabricadas bajo un estricto control de calidad para los requerimientos de las instalaciones de refrigeración bajo estándares internacionales.

Las válvulas reguladoras están equipadas con sellos especiales entre la abertura y el vástago, el cual se debe reemplazar cuando baja la presión.

Características de una válvula.

Refrigerantes: R717 (NH₃) y otros refrigerantes no inflamables y no corrosivos.

Gases/líquidos. No es recomendado para hidrocarburos

Rango de temperatura: -50, + 150°C

Rango de temperatura ambiente: -20, + 60°C

Presión de trabajo máxima = 40 bar.

Figura 3.4 Válvula de expansión tipo recta con tipo de conexión bajo norma ANSI B 16.11

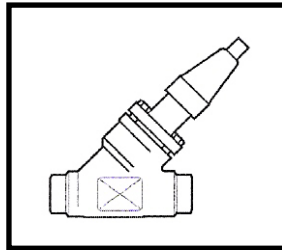


Figura 3.5 Válvula de expansión en ángulo marca danfoss, con conexión bajo norma ANSI B 16.11

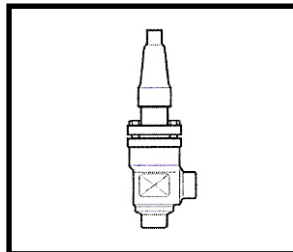


Tabla 1.1 Algunos tipos de válvulas de expansión marca danfoss.

Código No.	Tipo	Conexión norma	Medida de Conexión. [mm]	Medida de Conexión [in]	Max. Capacidad [m³/h]	Cono
148G3316	REG 15 SOC STR CONE#4	ANSI B 16.11	15 mm	1/2 in	1.6	4
148G3317	REG 15 SOC STR CONE#5	ANSI B 16.11	15 mm	1/2 in	2.3	5
148G3318	REG 15 SOC STR CONE#6	ANSI B 16.11	15 mm	1/2 in	4.5	6
148G3319	REG 15 SOC STR CONE#7	ANSI B 16.11	15 mm	1/2 in	6.8	7
148G3326	REG 20 SOC STR CONE#4	ANSI B 16.11	20 mm	3/4 in	1.6	4
148G3327	REG 20 SOC STR CONE#5	ANSI B 16.11	20 mm	3/4 in	2.3	5
148G3328	REG 20 SOC STR CONE#6	ANSI B 16.11	20 mm	3/4 in	4.5	6
148G3329	REG 20 SOC STR CONE#7	ANSI B 16.11	20 mm	3/4 in	6.8	7
148G3333	REG 25 SOC STR CONE#8	ANSI B 16.11	25 mm	1 in	10.2	8
148G3334	REG 25 SOC STR CONE#9	ANSI B 16.11	25 mm	1 in	15.4	9
148G3335	REG 25 SOC STR CONE#10	ANSI B 16.11	25 mm	1 in	20.6	10
148G3339	REG 32 SOC STR CONE#8	ANSI B 16.11	32 mm	1 1/4 in	10.2	8
148G3340	REG 32 SOC STR CONE#9	ANSI B 16.11	32 mm	1 1/4 in	15.4	9
148G3341	REG 32 SOC STR CONE#10	ANSI B 16.11	32 mm	1 1/4 in	20.6	10
148G3344	REG 40 SOC STR CONE#8	ANSI B 16.11	40 mm	1 1/2 in	10.2	8
148G3345	REG 40 SOC STR CONE#9	ANSI B 16.11	40 mm	1 1/2 in	15.4	9
148G3346	REG 40 SOC STR CONE#10	ANSI B 16.11	40 mm	1 1/2 in	20.6	10

Fuente: Danfoss.com,

Las válvulas de expansión danfoss, poseen graduaciones dependiendo del número de vueltas en las cuales las coloquemos.

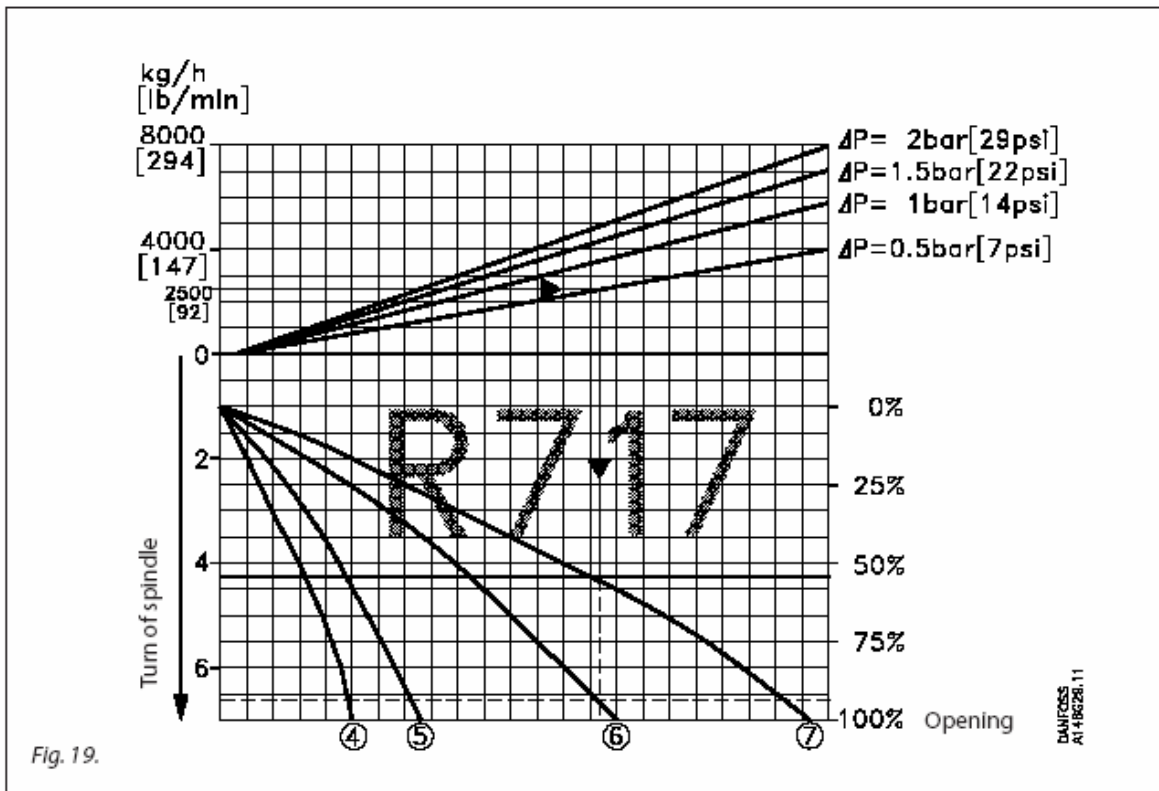
Para esto se puede utilizar la figura 3.6, para fines explicativos se utilizara en siguiente ejemplo:

Refrigerante: R 717
 Flujo de refrigerante: 2,500 kg/h
 Caída de Presión: 0.5 bar.

El ejemplo esta ilustrado en el siguiente diagrama de tasa de flujo, y muestra que los conos números 6 y 7 pueden ser utilizados. La regla principal es que el cono con la mínima área de flujo da la regulación óptima, sin embargo se observa con imprecisión pero el grado de apertura del cono 6, debe ser mayor del 85%, en este caso el cono 7, con 55% de apertura es el recomendado.

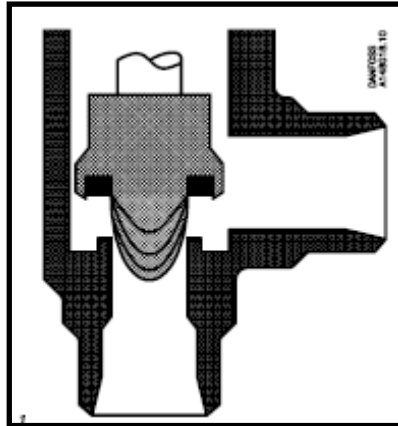
El ejemplo es solamente correcto si la densidad del refrigerante es aproximadamente 670 Kg./m³, y no debe provocarse evaporación instantánea en la válvula.

Figura 3.6 Porcentaje de apertura de válvula de expansión



Fuente: catalogo de danfoss.

Figura 3.7 Ilustración del mecanismo de accionamiento de las válvulas de expansión danfoss.



Fuente: Catálogo de danfoss, danfoss.com

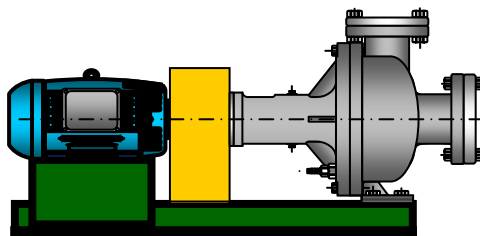
3.4 Tanques de recirculación:

Los tanques de recirculación son unidades de almacenamiento, que funcionan con una bomba de refrigerante la cual se encarga de enviar el líquido hacia los evaporadores, sin embargo antes de entrar al evaporador se necesita de expandir el líquido por medio de la válvula reguladora.

Los tanques utilizados para este sistema son del tipo horizontal como se muestra en la figura 3.9, en la parte superior del tanque se conecta la succión del compresor donde debe de extraer todo el vapor de amoníaco y no permitir el paso del líquido.

Los tanques están provistos de una bomba que tiene una capacidad de 5,000 litros/hora. Las bombas son marca frigostrella como la que se muestra en la siguiente figura.

Figura 3.8 Bomba frigostrella modelo ZM-1



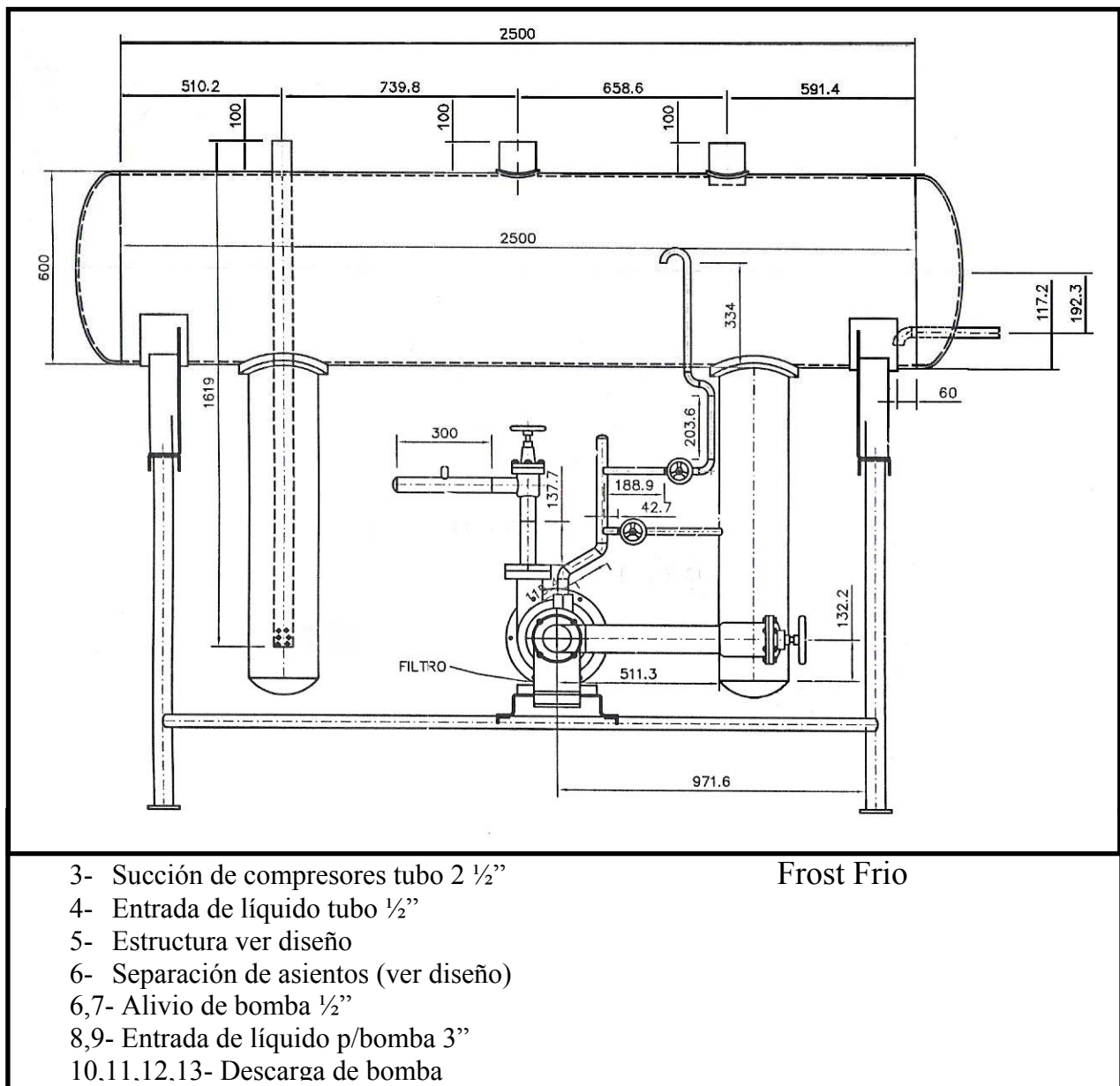
Fuente: Manual de operación de frigostrella

Con el dato del caudal de la bomba de 5,000 litros/hora, tenemos que en metros cúbicos es:

$$5000 * 0.003785 = 18.925 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Los tanques de recirculación se le tienen que agregar una columna de nivel, a la cual se le agregan dos flotes, el de nivel bajo y el de nivel alto. El primero controla la válvula de ingreso de líquido y el segundo apaga el compresor para que este último no le entre líquido por la succión.

Figura 3.9 Tanque recirculador tipo horizontal Frost Frío



4. INVESTIGACIÓN PROPUESTA

4.1 Caracterización del sitio:

El sistema de refrigeración Sabroe, consta de los siguientes equipos que en su conjunto forman parte de las instalaciones para refrigerar las cámaras de enfriado intensivo y producto terminado de salchichas.

- a. 2 compresores Sabroe, de 75 HP.
- b. 1 compresor Sabroe de 25 HP.
- c. 1 Tanque recirculador de alta.
- d. 1 Tanque recirculador de baja.
- e. 1 Tanque recibidor de líquido.
- f. 1 Condensador.
- g. 2 Evaporadores para enfriado intensivo.
- h. 1 Evaporador para producto terminado de salchichas.

Todos los equipos son nuevos y son interconectados por medio de tubería de hierro negro cedula 40, en la cual se utilizo soldadura tipo TIG, con soldaduras bajo procedimiento ASTM, la cual se verifico por método radiográfico y partículas magnéticas.

4.2 Información disponible:

Para llevar a cabo dicha recolección se estableció como primer paso diseñar un formato para comprobar los parámetros más importantes como lo son presión de succión, presión de descarga, recalentamiento de succión y temperatura de aceite, esto durante el tiempo de permanencia es decir cuando se tengan arrancados los compresores, estos datos se toman con el fin de estudiar los comportamientos de los compresores y estimar los problemas de disparos, dicho formato se estará llenando cada 2 horas en los tiempos de operación y para lo cual se diseño de la siguiente forma.

Tabla 4.1 Formato de recolección de parámetros de compresores

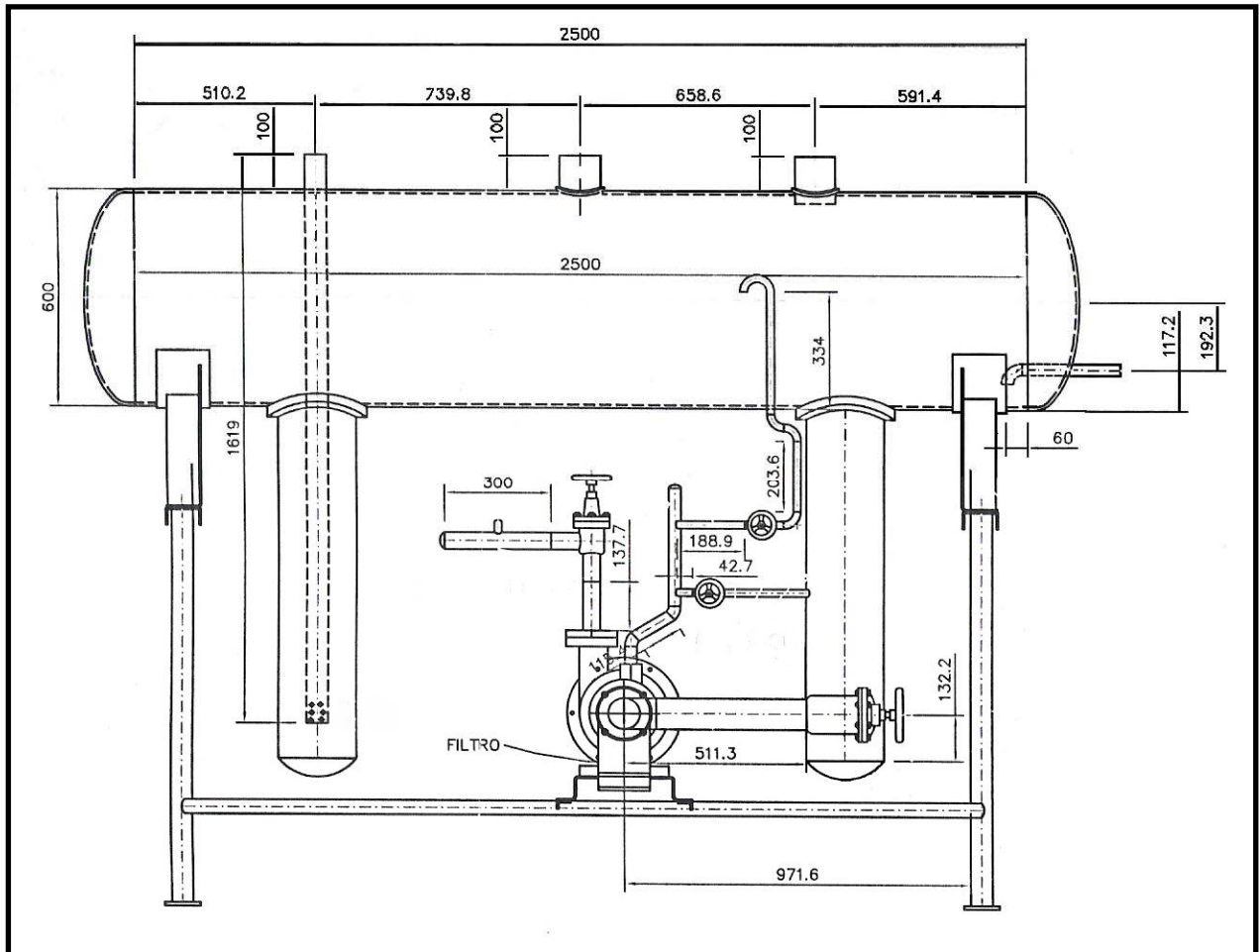
TABLA DE CONTROL DE EQUIPOS SABROE							
EQUIPO	DESCRIPCION	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16
Compresor 1	Presión succión						
	Sobrecalentamiento Succión						
	Presión descarga						
	Sobrecalentamiento Descarga						
	Capacidad 33%,66%,100%						
	Presión de aceite						
	Temperatura de aceite						
Compresor 2	Presión succión						
	Sobrecalentamiento Succión °C						
	Presión descarga (bar)						
	Sobrecalentamiento Descarga						
	Capacidad 33%,66%,100%						
	Presión de aceite						
	Temperatura de aceite						
Compresor 3	Presión succión						
	Sobrecalentamiento Succión						
	Presión descarga						
	Sobrecalentamiento Descarga						
	Capacidad 33%,66%,100%						
	Presión de aceite						
	Temperatura de aceite						
Recirculador cámara enfriado Intensivo	Presión salida de bomba (psi)						
	Presión entrada de bomba (psi)						
	# de Vueltas expansión manual						
	Nivel de líquido refrigerante						
	# vueltas válvula de alivio líquido						
	# vueltas válvula de alivio gas						
Recirculador cámara Producto Terminado	Presión salida de bomba						
	Presión entrada de bomba						
	# de Vueltas expansión manual						
	Nivel de líquido refrigerante						
	# vueltas válvula de alivio líquido						
	# vueltas válvula de alivio gas						
Cámara Enfriado Intensivo	Temperatura de la cámara						
	Temp. De aire a la salida del evaporador						
	Presión a la entrada del evaporador						
	Presión después de la válvula de expansión manual						
	Presión a la salida del evaporador						
	# vueltas válvula de expansión manual						
Cámara Congelados	Temperatura de la cámara						
	Temp. De aire a la salida del evaporador						
	Presión a la entrada del evaporador						
	Presión después de la válvula de expansión manual						
	Presión a la salida del evaporador						
	# vueltas válvula de expansión manual						

Estos formatos se utilizaron para llevar un control y determinar los problemas que surgen durante la operación de los equipos.

Se realizó una entrevista con el especialista en los equipos de Sabroe, esta persona estuvo en la planta para dicha estabilización, en la entrevista se interrogó al experto y se anotó todas las aportaciones ya que dicha persona estuvo por varios días como parte del soporte de la fábrica.

También se tienen planos de los tanques recirculadores los cuales operan a diferentes temperaturas, se estabilizaron pero se cree que no es la forma apropiada ya que los disparos de los compresores se siguen dando. A continuación se presentan los diagramas de dichos tanques recirculadores, el primero modelo SCLH-3 para la cámara de enfriado intensivo, y el segundo modelo SCLH-1 para la cámara de congelado intensivo.

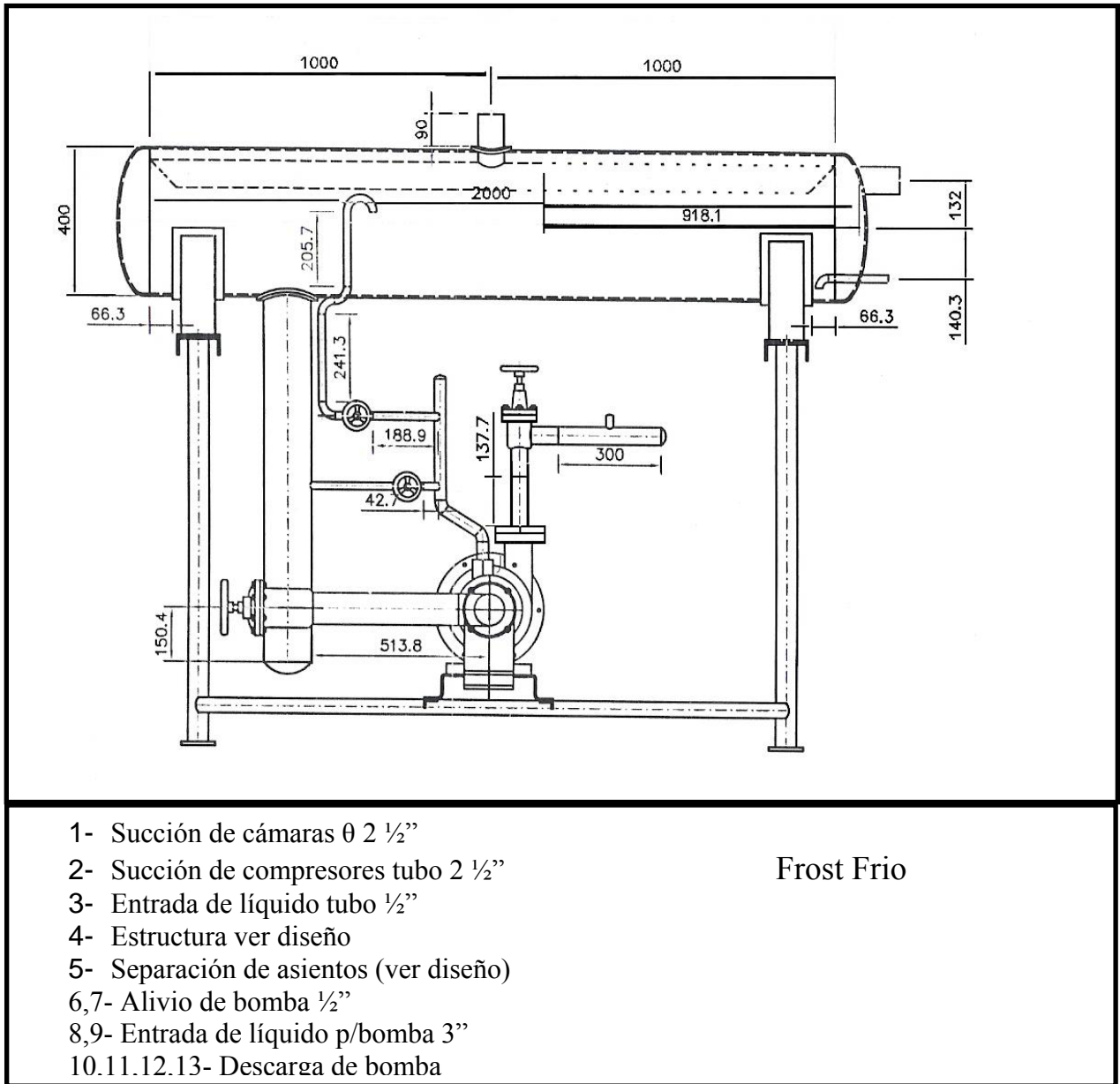
Figura 4.1 Tanque recirculador de alta temperatura marca Frost Frío



- 1- Succión de cámaras θ 2 ½"
- 8- Succión de compresores tubo 2 ½"
- 9- Entrada de líquido tubo ½"
- 10- Estructura ver diseño
- 11- Separación de asientos (ver diseño)
- 6,7- Alivio de bomba ½"
- 8,9- Entrada de líquido p/bomba 3"
- 10.11.12.13- Descarga de bomba

Frost Frío

Figura 4.2 Tanque recirculador de baja temperatura marca Frost Frió



Dentro de la recopilación de información se tienen los diseños de los tanques de recirculación, y las temperaturas de funcionamiento de los mismos, siendo éstas temperaturas:

Tanque recirculador de enfriado intensivo: 10°C, temperatura de alta.
 Tanque recirculador de congelado: -10°C, temperatura de baja.

4.3 Metodología:

Entrevista a experto de compresores FRICK:

Dicha entrevista estará enfocada en conocer los porqués de los disparos de los compresores Sabroe, y se diseño de la siguiente manera:

Figura 4.3 Formato de entrevista con técnico de York

<p>EMPACADORA TOLEDO, S.A. DEPTO. DE CONSERVACIÓN INDUSTRIAL. REFRIGERACIÓN</p> <p style="text-align: center;">ENTREVISTA TÉCNICA DE REFRIGERACIÓN SABROE</p> <p>NOMBRE DE ENTREVISTADO: _____ EMPRESA PARA LA QUE TRABAJA: _____ FECHA: _____</p> <p style="text-align: right;">REALIZADO POR: Werner Portillo.</p>
<p>1) ¿Por qué se dan los problemas de arranque con equipos nuevos en los sistemas de refrigeración?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>2) ¿Cuáles son las causas más comunes de los disparos de compresores?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>3) ¿Existe un procedimiento para la estabilización de los sistemas de refrigeración? Si es así, ¿lo puede proporcionar?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>4) ¿Cómo se debe proceder para graduar las válvulas de expansión de los tanques recirculadores?</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

Continúa figura 4.3.

5) ¿Cómo se debe proceder para graduar las válvulas de expansión de las cámaras de refrigerado?, ¿Existe procedimiento?

6) ¿Cuáles son los parámetros de calibración apropiados para los límites máximos y mínimos de los compresores Sabroe?

7) ¿Cuál es el compresor que se debe arrancar primero para obtener una buena estabilización del sistema de refrigeración?

8) Observaciones o comentarios adicionales a la entrevista:

Después de realizada la entrevista se procedió a la construcción de memoria la cual se desarrollada con el experto y los técnicos en refrigeración para la estabilización del sistema de refrigeración:


Para esto se tomo como guía las siguientes interrogantes las cuales se anotaron como observaciones:

- 1) Se observaron los cambios en las válvulas de expansión de los tanques de recirculación tanto para el de baja temperatura (cámara de congelados) y para de alta temperatura (cámara de enfriado intensivo).
- 2) Se observaron los cambios en los parámetros de alarmas del panel de control de los compresores Sabroe.
- 3) Se observaron los cambios en las temperaturas y presiones de ambos sistemas, principalmente en los de succión y descarga. Sin olvidar la temperatura del aceite del compresor ya que esta puede bajar.
- 4) Se observaron los posibles cambios en las válvulas de expansión en las respectivas cámaras y los efectos que estos tienen en la estabilización del sistema.
- 5) Se debe de arrancar el compresor de alta temperatura primero y posteriormente el de baja temperatura o viceversa.

Estabilización y Arranque de compresores

En base a la experiencia con el técnico de la empresa YORK y la entrevista realizada al mismo, se definen los términos necesarios para obtener una mejor estabilización en el arranque de los compresores, durante la entrevista el manifestó lo siguiente:

Figura 4. 4 Entrevista con técnico de York.

EMPACADORA TOLEDO, S.A. DEPTO. DE CONSERVACIÓN INDUSTRIAL. REFRIGERACIÓN	
ENTREVISTA TÉCNICA DE REFRIGERACIÓN SABROE	
NOMBRE DE ENTREVISTADO: <u>RICARDO HERNÁNDEZ</u> EMPRESA PARA LA QUE TRABAJA: <u>YORK</u> FECHA: <u>21/07/06</u>	
REALIZADO POR: Werner Portillo.	
1) ¿Por qué se dan los problemas de arranque con equipos nuevos en los sistemas de refrigeración? <u>PROBLEMAS DE MONTAJE, ELÉCTRICOS, POR EL TRANSPORTE.</u> <u>DEFICIENCIAS EN LOS MONTAJES. POR CUESTIONES DE</u> <u>ALTURAS DE BOMBAS O TANQUES Y EVAPORADORES</u>	
2) ¿Cuáles son las causas más comunes de los disparos de compresores? <u>- LÍQUIDO EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN QUE ES</u> <u>UNA LÍNEA DONDE SOLO HAY VAPOR</u> <u>- AIRE DENTRO DE LA INSTALACIÓN</u>	
3) ¿Existe un procedimiento para la estabilización de los sistemas de refrigeración? Si es así, ¿lo puede proporcionar? <u>SI EXISTE EN MANUAL, REVISAR SI ESTA.</u> <u>PERO SON MUY VARIADOS Y GENERALMENTE DEPENDEN</u> <u>DE MUCHOS FACTORES. POR EJEMPLO, DISTANCIA DEL</u> <u>COMPRESOR A LA CÁMARA, CAPACIDAD DE BOMBAS, ETC.</u>	
4) ¿Cómo se debe proceder para graduar las válvulas de expansión de los tanques recirculadores? <u>SON TABLAS, NECESITA MUCHA OBSERVACIÓN</u> <u>NO ES TAN ESTRÍCTO, Y SE MIDE CON EL</u> <u>SOBRECALENTAMIENTO, DEPENDE DEL TAMAÑO Y LA INSTALACIÓN</u>	

Continúa figura 4.4

- 5) ¿Cómo se debe proceder para graduar las válvulas de expansión de las cámaras de refrigerado?, ¿Existe procedimiento?

CON TABLAS DE TEMPERATURAS.

- 6) ¿Cuáles son los parámetros de calibración apropiados para los límites máximos y mínimos de los compresores Sabroe?

ESTOS DEPENDEN DE VARIOS FACTORES, AL FINAL UNO LOS ESTABLECE

- 7) ¿Cuál es el compresor que se debe arrancar primero para obtener una buena estabilización del sistema de refrigeración?

SI SE DEBE ARRANCAR EL DE ALTA Y POSTERIORMENTE EL DE BAJA, NUNCA ARRANCARLOS DE MANERA INVERSA.

- 8) Observaciones o comentarios adicionales a la entrevista:

TODO DEPENDE DEL TIPO DE SISTEMA.

4.4 Resultados:

Cuando se realizo la entrevista aun se tenían las cámaras como sistemas de alta y de baja respectivamente. Pero posteriormente se cambiaron logrando una mejor estabilización ya que los dos sistemas trabajan en alta temperatura.

El hace ver en la pregunta #1 que la mayoría de problemas en los sistemas de refrigeración principalmente cuando son equipos nuevos se tienen problemas ya que afectan muchos factores entre estos problemas en la instalación o bien problemas en los equipos, lo cual al estar en la fase de revisión con dicha persona se pudo constatar que el tanque recirculador de la cámara de producto terminado pareciera ser que se quedo un poco corto en las dimensiones, provocando un retorno de líquido refrigerante al compresor, esto se mejoro cambiando de altura el nivel bajo y alto de dicho tanque, pero sin embargo el problema persistió aunque de manera menos severa.

En la pregunta 2, el menciona que la mayoría de los problemas en los compresores se debe al paso de líquido refrigerante en la succión del compresor y efectivamente se presentaba este problema el cual se busco una forma de corregirlo entre ellas la de aumentar la separación de los niveles de los tanques recirculadores para ambas cámaras. Sin embargo este problema se resolvió con el cambio en la cámara de producto terminado la cual trabaja a 0°C y ya no como estaba en un principio que era de congelado a -20°C.

La pregunta 3, se indica que seguramente si existe un procedimiento pero los problemas no dependen en parte a este, si no más bien a problemas específicos y varían con el diseño de cada sistema por la complejidad de los mismos.

En la pregunta 4, se indica que las válvulas de expansión se deben graduar en base a tablas, pero estas graduaciones no son tan estrictas, ya que se deben graduar en base al sobrecalentamiento en la succión de los compresores y debe ser de 2 ½ vueltas para el tanque recirculador de la cámara de enfriado intensivo y 2 vueltas para el tanque recirculado de la cámara de producto terminado.

En conclusión la mayoría de parámetros de los compresores se deben de programar en función de los requerimientos del sistema frigorífico. Y finalmente se aclara que se debe arrancar el sistema de alta temperatura y posteriormente el de baja temperatura,

Con los datos obtenidos y una variación en las temperaturas en relación con los fines de las cámaras de refrigeración podemos decir que los sistemas quedaron de la siguiente manera:

- 1) La cámara de enfriado intensivo trabajara entre 0°C y 5°C. con un sistema de ventilación extremo para brindar una mayor rapidez en alcanzar la temperatura requerida.
- 2) La cámara de congelados se convirtió en cámara de producto terminado, esto implica un aumento en su temperatura es decir que ya no trabajara como sistema de baja temperatura y se mantendrá entre 0°C y 5°C.

Con los cambios se tubo la ventaja que el sistema ya no entrara en conflicto y se obtiene la posibilidad de trabajar solamente con un compresor, permitiendo mantener los otros dos compresores en Stan- by. Para cualquier eventualidad y rotarlos para su conservación.

Se tienen los siguientes datos tomados del panel de los compresores antes de la estabilización.

Tabla: 4.2 Muestra de parámetros obtenidos en los compresores durante la operación

TABLA DE CONTROL DE EQUIPOS SABROE											
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	
Compresor 1	Presión succión	Stand- by									
	Sobrecalentamiento Succión										
	Presión descarga										
	Sobrecalentamiento Descarga										
	Capacidad 33%,66%,100%										
	Presión de aceite										
	Temperatura de aceite										
Compresor 2	Presión succión	Apagado por baja succión	2.7 bar	2.4 bar	2.8 bar	2.7 bar	2.8 bar		2.4 bar	2.5 bar	
	Sobrecalentamiento Succión °C		2.4 °C	3.2	3.1	3.4	3		3.1	3.8	
	Presión descarga (bar)		8.3 bar	4	9.6	8.4	10.2	Apagado por temperatura de descarga baja	9.1	11.3	
	Sobrecalentamiento Descarga		63.7 °C	75.4	63.7	67.9	53		73.4	81.1	
	Capacidad 33%,66%,100%		33%	33	33	33	67		33	33	
	Presión de aceite		4.4 bar	4.9	4.9	4.9	5.1		4.9	4.9	
	Temperatura de aceite		51.2°C	55.1	51	52.4	34.2		54.9	53.37	
Compresor 3	Presión succión	Apagado por baja temperatura de aceite	0.4	0.3	1.1	0.5		1.2		2.5	
	Sobrecalentamiento Succión		10.8	11.2	31.8	18.2		32.2		18.6	
	Presión descarga		2.9	2.6	2.7	2.9	Apagado por baja temperatura de aceite	2.7		2.5	
	Sobrecalentamiento Descarga		83.9	92.5	54.6	72		76.1	Apagado por recalentamiento alto	72.5	
	Capacidad 33%,66%,100%		50	50	0	50		50	50		
	Presión de aceite		4.6	4.4	0.1	4.6		4.1		2.5	
	Temperatura de aceite		51.4	55.8	47	41.5		42.7		48.7	
Recirculador cámara enfriado intensivo	Presión salida de bomba (psi)		90	85	45	90	90		80	90	
	Presión entrada de bomba (psi)		40	35	40	40	40		35	40	
	# de Vueltas expansión manual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Nivel de liquido refrigerante	alto	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo	alto	
	# vueltas válvula de alivio líquido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Recirculador cámara Producto Terminado	# vueltas válvula de alivio gas	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
	Presión salida de bomba		35	57	15	37		35		85	
	Presión entrada de bomba		6	10	15	7		5		35	
	# de Vueltas expansión manual	1	1	1	1	1	Apagado por compresor	1		1	
	Nivel de liquido refrigerante	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo		bajo		bajo	
# vueltas válvula de alivio líquido	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75			0.75		0.75	
Cámara Enfriado Intensivo	# vueltas válvula de alivio gas	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25		0.25		0.25	
	Temperatura de la cámara	-5	-4	-5	-5	-3	-4	12	-5	-4	
	Temp. De aire a la salida del evaporador		-4	-5	-5	-3	-3	7	-5	-7	
	Presión a la entrada del evaporador		42	39	39	50	45		40	45	
	Presión después de la válvula de expansión manual										
Cámara Congelados	Presión a la salida del evaporador		40	40	45	45	40		45	40	
	# vueltas válvula de expansión manual		2	2	2	2	2	2	2	2	
	Temperatura de la cámara	-7	-10	-10	-5	-3	-4	-5	-3	-5	
	Temp. De aire a la salida del evaporador		-12	-11	-7	-3	-5	-8	-6	-7	
	Presión a la entrada del evaporador		0	0	0	40				40	
Presión después de la válvula de expansión manual											
Presión a la salida del evaporador		5	5	20	100				40		
# vueltas válvula de expansión manual	1.25	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75		

Se estuvo llevando esta tabla para monitorear los parámetros básicos de los compresores y los elementos que interactúan en el sistema frigorífico, los cuales nos brindan información de los comportamientos de los equipos, posteriormente nos ayudan para tomar las decisiones sobre los cambios respectivos.

4.5 Discusión de resultados:

A partir de la información obtenida en la entrevista y las pruebas realizadas en el sistema de refrigeración y los cambios realizados se deduce que el sistema se logro estabilizar por los siguientes factores que se modificaron:

- 1) Se abrieron las válvulas solenoides manualmente del evaporador de producto terminado, esto se realizo manualmente usando el vástago de la válvula (succión y líquido).
- 2) Se verificaron que los filtros de las válvulas estuvieran limpios.
- 3) Se verifico que la solenoide que controla el retorno de aceite del separador este abriendo y cerrando con el compresor, ya que está era una posible razón por la cual las presiones de descarga y succión se estén igualando, también para contrarrestar este problema se instalo un cheque en la succión del compresor de baja temperatura, el cual se volvió a quitar cuando se realizo el cambio de la cámara de congelado a producto terminado.
- 4) Se abrió la válvula de expansión del evaporador de producto terminado 1 ½ vuelta. Según gráfica de temperaturas y presiones para una válvula de 1" de diámetro y cono 8, ver ejemplo de la figura 3.7
- 5) Se abrió la válvula de expansión del evaporador de enfriado intensivo 2 ½ vueltas, según el ejemplo de la figura 3.7
- 6) Se elimino un tubo de ¼" de diámetro que unía la tubería de gas caliente con la tubería de succión, para evitar contra presiones.
- 7) Se estableció dejar las válvulas de expansión de los tanques recirculadores de la siguiente manera:
 - a. La válvula de expansión del tanque recirculador de la cámara de enfriado intensivo a 2 ½ vueltas.

- b. La válvula de expansión del tanque recirculador de la cámara de producto terminado a 2 vueltas.
- 8) Se modificó la conexión de las válvulas solenoides para que trabajaran con el controlador de temperaturas, y cuando este llegue a la temperatura de trabajo se dispare la válvula solenoide e impida el paso de líquido refrigerante al evaporador. Junto a este cambio se debe apagar la bomba de líquido refrigerante para evitar presiones elevadas en la tubería de líquido del sistema.
- 9) También se conectó de manera que cuando se active el defrost de los evaporadores se apaguen las bombas de refrigerante ya que se eleva la presión de líquido y puede provocar alguna ruptura de alguna válvula.
- 10) Se instalaron controladores de temperaturas digitales en los tableros de mandos de los compresores, con termocoplas tipo J, estos para monitorear la temperatura de dichas cámaras y verificar fluctuaciones importantes en las temperaturas.

Estos cambios se realizaron como sugerencia del señor Juan Pérez de la empresa proveedora YORK, y bajo la presencia del técnico Ricardo Hernández de dicha empresa.

Finalmente con los cambios en la cámaras se acomodaron los parámetros de los compresores, permitiendo trabajar con un compresor a la vez y manteniendo los otros dos compresores en Stand- by, con lo cual se pueden arrancar intercaladamente para su preservación.

Los parámetros con los cuales se ajustaron los compresores son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Parámetros de los compresores

PRESIÓN ASPIRACIÓN	ALARMA SUPERIOR	****
	ADVERTENCIA SUP	5.0 BAR
	ADVERTENCIA INF	0.2 BAR
	ALARMA INF	0.2 BAR
	PC. ACTUAL	0.6 BAR
	P. CONSIGNA 1	0.6 BAR
	P. CONSIGNA 2	0.6 BAR

RECALENTAMIENTO ASPIRACIÓN	ALARMA SUPERIOR	110.0 ° C
	ADVERTENCIA SUP	100.0°C
	ADVERTENCIA INF	2.0 °C
	ALARMA INF	0.0 °C
	P. CONSIGNA 1	0.5 °C
	P. CONSIGNA 2	10.0 °C

PRESIÓN DE DESCARGA	ALARMA SUPERIOR	5.0 BAR
	ADVERTENCIA SUP	4.0 BAR
	ADVERTENCIA INF	*
	ALARMA INF	-1.0 BAR

TEMPERATURA DE DESCARGA	ALARMA SUPERIOR	125.0 ° C
	ADVERTENCIA SUP	120.0°C
	ADVERTENCIA INF	-65.0 °C
	ALARMA INF	
	P. CONSIGNA 1	100.0 °C
	P. CONSIGNA 2	100.0 °C

PRESIÓN DE ACEITE	ALARMA SUPERIOR	6.0 BAR
	ADVERTENCIA SUP	5.5 BAR
	ADVERTENCIA INF	4.0 BAR
	ALARMA INF	3.5 BAR

TEMPERATURA DE ACEITE	ALARMA SUPERIOR	80.0 ° C
	ADVERTENCIA SUP	75.0°C
	ADVERTENCIA INF	24.0 °C
	ALARMA INF	15.0 °C
	P. CONSIGNA 1	55.0 °C
	P. CONSIGNA 2	35.0 °C

PROCEDIMIENTO PARA ARRANQUE DE LOS COMPRESORES SABROE:

Para arrancar los compresores sabroe se debe llevar a cabo un procedimiento el cual se detalla a continuación:

- 1) Revisar el nivel de aceite de los compresores.
- 2) Revisar el nivel de aceite de las bombas de enfriamiento tanto del tanque recirculador de la cámara de producto terminado como la de enfriado intensivo.
- 3) Abrir la válvula de expansión del tanque recirculador de la cámara de producto terminado 2 vueltas.
- 4) Abrir la válvula de expansión del tanque recirculador de la cámara de enfriado intensivo 2 ½ vueltas.
- 5) Revisar que la válvula de expansión de entrada de líquido de refrigerante de la cámara de producto terminado este en 1 ½ vueltas.
- 6) Revisar que la válvula de expansión de entrada de líquido refrigerante de la cámara de enfriado intensivo este en 2 ½ vueltas.
- 7) Accionar las bobinas solenoides de entrada de líquido refrigerante y de la succión en ambas cámaras.
- 8) Arrancar la bomba de agua del condensador.
- 9) Arrancar el ventilador del condensador.
- 10) Arrancar las bombas de refrigerante de ambos tanques recirculadores.
- 11) Arrancar los motores de los evaporadores para ambas cámaras.
- 12) Finalmente arrancar el compresor, tomando en cuenta las siguientes precauciones en los parámetros:
 - a. Revisar que la presión de aceite se encuentre entre 5 a 6 Bar.
 - b. Comprobar que la presión de aspiración se encuentre entre 0.2 a 5 Bar.
 - c. Comprobar el recalentamiento de aspiración este debe estar entre 2°C a 20°C.
 - d. Revisar la presión de descarga, el rango de está debe ser entre 1 a 5.5 Bar.

- e. Comprobar la temperatura de la descarga la cual debe estar entre 0 a 100°C.
- f. Revisar la temperatura de aceite, el rango de está debe estar entre 15°C a 70°C.
- g. El compresor debe trabajar de manera automática, el cual conforme vallan bajando los parámetros antes mencionados debe subir el porcentaje o bajarlos si es necesario.

4.6 Análisis Económico:

Debido a que los sistemas de refrigeración en las industrias alimenticias juegan un papel primordial, ya que la calidad y la preservación de los productos están directamente afectadas por la misma. Se debe tomar en cuenta el excelente funcionamiento de los equipos de refrigeración ya que de ellos depende que se mantengan las temperaturas apropiadas de los alimentos y materias primas para lograr sus características óptimas. Por esto es importante evitar paros, y mantener la estabilidad de los equipos aun cuando estos sean nuevos.

Estando el equipo de refrigeración nuevo en funcionamiento se debe controlar lo mejor posible, ya que los cuartos fríos ya cuentan con producto esto representa un gran riesgo de perdida, en el caso de la cámara de producto terminado de salchichas que tiene una capacidad para 19 toneladas de refrigeración.

Costo de pérdida de producto:

La cámara de producto terminado tiene una capacidad de 4,050 canastas de producto a los cuales en promedio tienen un peso de 40 libras cada una.

Para obtener el total de libras que se tienen en dicha cámara se multiplica el total de canastas por su peso en libras.

$$\text{lb.} = 4050 \text{ canastas} \times 40 \text{ lb.} = 162,000 \text{ lb.}$$

El precio por libra de producto que se almacena en dicha cámara oscila entre Q. 15.00 la libra.

$$\text{Costo de perdida} = 162,000 \times \text{Q.}15.00 = \text{Q.} 2, 430,000.00$$

Dicho costo es muy elevado por tal razón, cuando sucede un problema en los equipos que ameriten un tiempo prolongado de reparación o estabilización se debe de contemplar el alquiler de furgones con termokines. Para este cálculo se estima que se utilizarían 3 furgones lo cual implica recurrir a los siguientes gastos:

$$3 \text{ termokines} \times \$ 125.00 \text{ c/día} \times Q. 7.78 = Q. 2,917.50$$

Por esto se puede decir que el costo por un día de paro de los equipos de refrigeración es de Q. 2,917.50, esto sin estimar perdidas de producto.

CONCLUSIONES

- 1) Finalmente en base a las experiencias obtenidas y los datos específicos de cada uno de los equipos que intervienen en el sistema de refrigeración instalados en Empacadora Toledo, podemos decir que el procedimiento práctico para el arranque de los equipos Sabroe es el descrito en la página 29, el cual permite a los técnicos en refrigeración una forma eficiente a la hora del arranque de los equipos sin temor a cometer errores que podrían ocasionar algún problema en las temperaturas para las cuales están diseñadas las cámaras.
- 2) Con el procedimiento adecuado de arranque y estabilización se pueden obtener las temperaturas adecuadas de las cámaras en un mejor tiempo obteniendo con esto un mejor nivel de calidad en la preservación de los productos almacenados.
- 3) Con las mejoras en la estabilización del sistema de refrigeración Sabroe se reducen considerablemente los disparos de los compresores, debido a que los compresores estarán trabajando en condiciones más apropiadas tanto en la línea de descarga como en la de succión, cuando se dan los disparos la mayoría de veces es porque entra en la línea de succión líquido que con el tiempo crea serios daños en el interior de los compresores. Por otro lado se logró mantener el sistema estabilizado con un compresor, dando lugar a tener los otros dos compresores en reserva para una mejor conservación de los mismos.
- 4) Los costos incurridos por problemas en los equipos de refrigeración generalmente son muy altos entre ellos el alquiler de equipos de refrigeración externos como furgones refrigerados y en el peor de los casos en pérdidas de producto, como se describe en la sección 4.6.

RECOMENDACIONES

- 1) Antes de realizar un arranque de los equipos de refrigeración, se debe tomar en cuenta el procedimiento descrito en el presente trabajo en donde es necesario establecer el número de vueltas a las cuales se debe graduar las válvulas de expansión tanto para los tanques recirculadores como para la entrada a los evaporadores.

- 2) Para establecer el número de vueltas de las válvulas de expansión se debe de consultar el manual sobre dicha válvula y determinar las presiones de operación de la misma.

- 3) Mantener en constante inspección las temperaturas de succión y descarga de los compresores y evitar que exista retorno de refrigerante por la succión al compresor, también se recomienda la utilización de la tabla de presiones y temperaturas para establecer en base a las presiones las temperaturas de operación.


- 4) Al tomar en cuenta estas recomendaciones permitiremos la operación adecuada de los equipos y por consiguiente disminuir el número de sistemas auxiliares de refrigeración, que normalmente implican un costo muy alto como se menciona en la sección 4.6.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) **Kutz Myer. (1986)**, Enciclopedia de la Mecánica, Ingeniería y técnica. Editorial Océano, Barcelona, Tomo VIII, 1981. 1986 pg.
- 2) **Página de Internet:**
www.york.com, Documentación sobre compresores Sabroe.
Compresores reciprocantes.
- 3) **Página de Internet:**
www.danfoss.com documentación válvulas. Consultado febrero de 2007.
- 4) **William C. Whitman., William M. Johnson.** (1997). Tecnología de refrigeración y aire acondicionado: Barcelona, editorial Marcombo, tomo II, 24-27, 358-360 pg.
- 5) **Manual Frigostrella**, Bomba de refrigerantes Z-1. (2006), consultado en marzo 2007.

ANEXOS

Parte de la información obtenida tenemos la descripción de las válvulas reguladoras como la que se muestra en la siguiente figura.



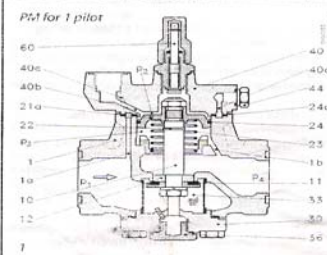
Instructions

PM 5-65

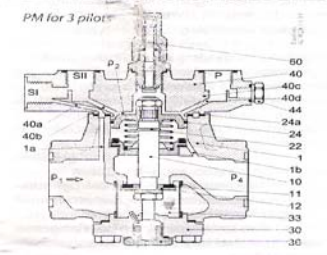
Installation

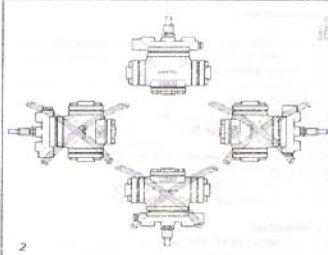
02789524
02789524

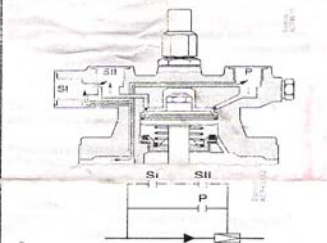
PM for 1 pilot



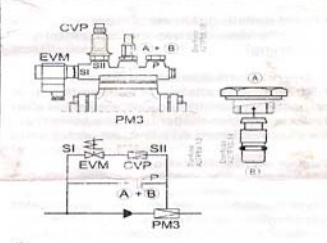
PM for 3 pilots



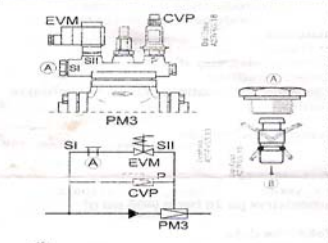




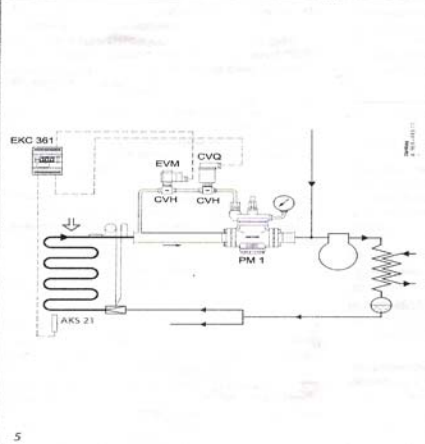
3



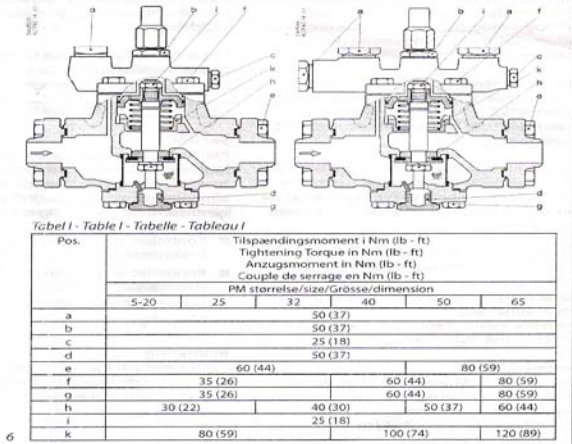
4a



4b



5



6

Tabel I - Table I - Tabelle - Tableau I

Pos.	Tilspændingsmoment i Nm (lb - ft)					
	Tightening Torque in Nm (lb - ft)					
	Anzugsmoment in Nm (lb - ft)					
	Couple de serrage en Nm (lb - ft)					
	PM størrelse/size/Größe/dimension					
	5-20	25	32	40	50	65
a			50 (37)			
b			50 (37)			
c			25 (18)			
d			50 (37)			
e			60 (44)			80 (59)
f	35 (26)			60 (44)		80 (59)
g	35 (26)			60 (44)		80 (59)
h	30 (22)		40 (30)		50 (37)	60 (44)
i			25 (18)			
k		80 (59)		100 (74)		120 (89)

© Danfoss A/S (RC-CMS / HBS), 03 - 2005
RI4X5152
1



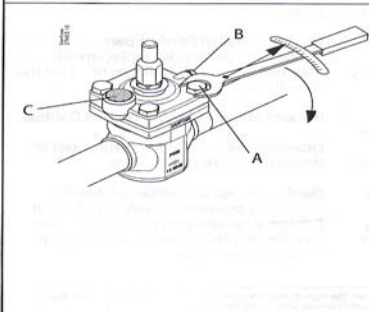
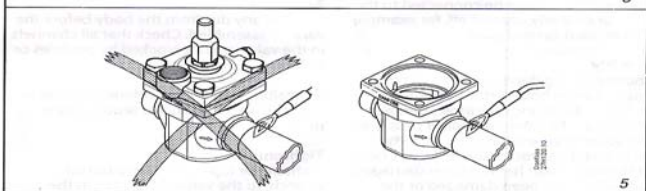
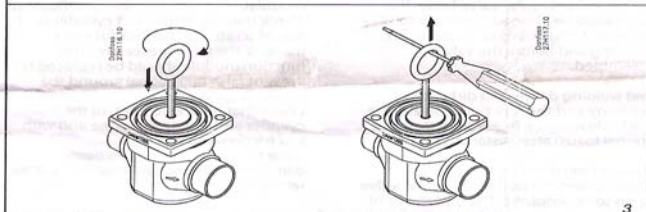
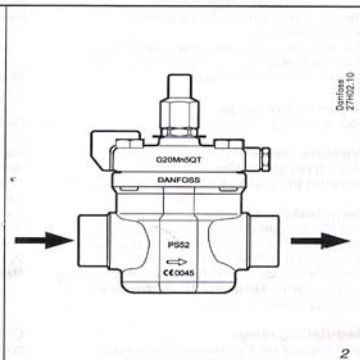
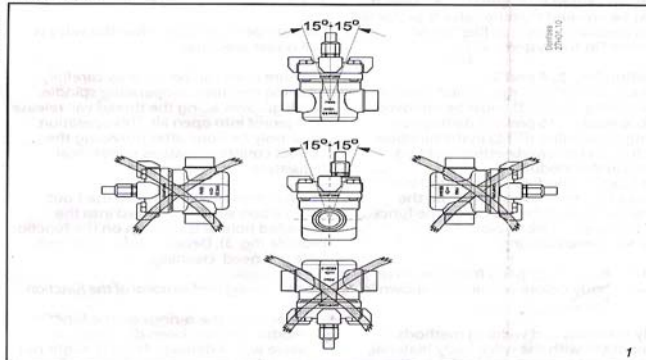
Instruction

Servo Operated Valve

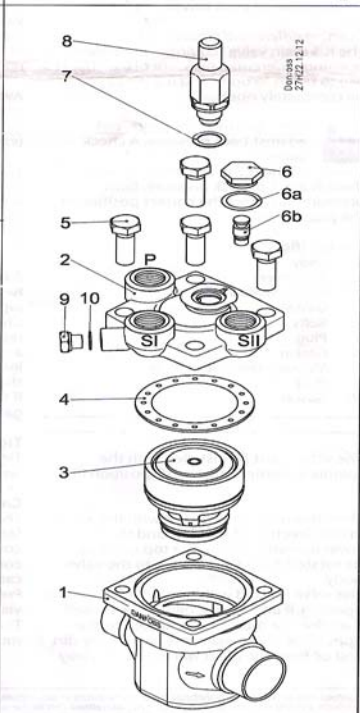
ICS 25 - 65

Installation

027R9175



	Valve body size	Nm	ft lb
Pos. A	25	80	59
	32	80	59
	40	90	66
	50	100	74
	65	110	81
Pos. B	25	25	18
	32		
	40		
	65		
Pos. C	25	50	37
	32		
	40		
	65		



■ AZUL-PULGADAS DE MERCURIO
■ NEGRO-LIBRAS/PULGADA²

TABLAS DE PRESION /TEMPERATURA

TEMP. °F	REFRIGERANTES				
	123	11	134a	12	500
120	15.4	18.2	171.9	157.7	259.9
122	16.5	19.3	177.5	162.2	267.0
124	17.5	20.6	183.1	166.7	274.3
126	18.7	21.6	188.6	171.4	281.6
128	19.8	22.8	194.2	176.2	289.1
130	21.0	24.0	199.8	181.0	296.8
132	22.2	25.2	205.9	185.9	304.6
134	23.4	26.5	212.1	191.0	312.5
136	24.7	27.8	218.2	196.1	320.6
138	26.0	29.1	224.4	201.3	328.9
140	27.3	30.4	230.5	206.6	337.3
142	28.7	31.8	237.3	212.0	345.8
144	30.1	33.2	244.1	217.5	354.5
146	31.5	34.7	251.0	223.1	363.3
148	32.9	36.2	257.6	228.8	372.3
150	34.5	37.7	264.4	234.6	381.5
152	36.1	39.2	271.8	240.5	390.8
154	37.7	40.8	279.2	246.5	400.3
156	39.3	42.4	286.7	252.6	410.0
158	40.9	44.1	294.1	258.8	419.8
160	42.5	45.8	301.5	265.1	429.8
162	44.3	47.5	309.6	271.5	440.0
164	46.1	49.2	317.7	278.1	450.4
166	47.9	51.0	325.8	284.7	460.9
168	49.7	52.9	333.9	291.5	471.7
170	51.5	54.8	342.0	298.3	482.6
172	53.5	56.8	350.8	305.3	493.7
174	55.5	58.8	359.6	312.4	505.0
176	57.4	60.7	368.3	319.6	516.5
178	59.4	62.7	377.1	326.9	528.2
180	61.4	64.7	385.9	334.3	540.1
182	63.6	66.9	395.4	341.9	552.2
184	65.8	69.1	405.0	349.5	564.5
186	68.0	71.3	414.5	357.3	577.1
188	70.2	73.5	424.1	365.2	589.9
190	72.5	75.7	433.6	373.3	602.9
192	74.9	78.1	443.9	381.4	616.1
194	77.4	80.5	454.2	389.7	629.6
196	79.8	83.0	464.4	398.2	643.4
198	82.3	85.4	474.7	406.7	657.4
200	84.7	87.8	485.0	415.4	671.7

TEMP. °F	REFRIGERANTES				
	123	11	134a	12	500
36	19.2	16.9	30.9	33.4	62.8
38	18.7	16.3	32.7	35.2	65.6
40	18.2	15.6	34.5	37.0	68.5
42	17.6	15.0	36.6	38.8	71.5
44	16.9	14.3	38.7	40.7	74.5
46	16.3	13.6	40.7	42.7	77.6
48	15.6	12.8	42.8	44.7	80.8
50	15.0	12.0	44.9	46.7	84.0
52	14.2	11.2	47.3	48.8	87.4
54	13.5	10.4	49.7	51.0	90.8
56	12.7	9.6	52.1	53.2	94.3
58	12.0	8.7	54.5	55.4	97.9
60	11.2	7.8	56.9	57.7	101.6
62	10.3	6.8	59.7	60.1	105.4
64	9.4	5.9	62.4	62.5	109.3
66	8.4	4.9	65.2	65.0	113.2
68	7.5	3.8	67.9	67.6	117.3
70	6.6	2.8	70.7	70.2	121.4
72	5.5	1.6	73.8	72.9	125.7
74	4.4	0.5	77.0	75.6	130.0
76	3.3	0.3	80.1	78.4	134.5
78	2.2	0.9	83.3	81.3	139.0
80	1.1	1.5	86.4	84.2	143.6
82	0.0	2.2	90.0	87.2	148.4
84	0.7	2.8	93.5	90.2	153.2
86	1.3	3.5	97.1	93.3	158.2
88	1.9	4.2	100.6	96.5	163.2
90	2.6	4.9	104.2	99.8	168.4
92	3.3	5.6	108.2	103.1	173.7
94	4.0	6.3	112.2	106.5	179.1
96	4.7	7.1	116.3	110.0	184.6
98	5.5	7.9	120.3	113.5	190.2
100	6.3	8.8	124.3	117.2	195.9
102	7.1	9.6	128.8	120.9	201.8
104	7.9	10.5	133.3	124.6	207.7
106	8.7	11.3	137.8	128.5	213.8
108	9.6	12.3	142.3	132.4	220.0
110	10.5	13.2	146.8	136.4	226.4
112	11.4	14.2	151.8	140.5	232.8
114	12.4	15.1	156.8	144.7	239.4
116	13.4	16.1	161.9	148.9	246.1
118	14.4	17.2	166.9	153.2	252.9

TEMP. °F	REFRIGERANTES				
	123	11	134a	12	500
-50	29.2	28.9	18.5	15.4	6.2
-48	29.1	28.8	17.7	14.6	4.8
-46	29.1	28.7	17.0	13.8	3.5
-44	29.0	28.6	16.2	12.9	2.0
-42	29.0	28.5	15.5	11.9	0.5
-40	28.9	28.4	14.7	11.0	0.5
-38	28.8	28.3	13.7	10.0	1.3
-36	28.7	28.2	12.7	8.9	2.2
-34	28.7	28.1	11.7	7.8	2.0
-32	28.6	27.9	10.8	6.7	3.9
-30	28.5	27.8	9.8	5.5	4.9
-28	28.4	27.7	8.6	4.3	5.9
-26	28.2	27.5	7.4	3.0	6.9
-24	28.1	27.4	6.2	1.6	7.9
-22	27.9	27.2	5.0	0.3	9.0
-20	27.8	27.0	3.8	0.6	10.2
-18	27.6	26.8	1.9	1.3	11.3
-16	27.5	26.6	0.3	2.1	12.5
-14	27.3	26.4	0.6	2.8	13.8
-12	27.2	26.2	1.2	3.7	15.1
-10	27.0	26.0	1.8	4.5	16.5
-8	26.8	25.8	2.7	5.4	17.9
-6	26.6	25.5	3.6	6.3	19.3
-4	26.4	25.3	4.5	7.2	20.8
-2	26.2	25.0	5.4	8.2	22.4
0	26.0	24.7	6.3	9.2	24.0
2	25.7	24.4	7.4	10.2	25.6
4	25.5	24.1	8.4	11.2	27.3
6	25.2	23.8	9.5	12.3	29.1
8	25.0	23.4	10.5	13.5	30.9
10	24.7	23.1	11.6	14.6	32.8
12	24.4	22.7	12.9	15.8	34.7
14	24.0	22.3	14.2	17.1	36.7
16	23.7	21.9	15.4	18.4	38.7
18	23.3	21.5	16.7	19.7	40.9
20	23.0	21.1	18.0	21.0	43.0
22	22.6	20.6	19.5	22.4	45.3
24	22.1	20.1	21.0	23.9	47.6
26	21.7	19.7	22.5	25.4	50.0
28	21.2	19.1	24.1	26.9	52.4
30	20.8	18.6	25.6	28.5	54.9
32	20.3	18.1	27.4	30.1	57.5
34	19.8	17.5	29.2	31.7	60.1