



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la

Producción

**“Ampliación de capacidad de refrigeración en proceso de
congelamiento de camarón.”**

EXAMEN COMPLEXIVO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Segundo Luis Villacís Naranjo

GUAYAQUIL –ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A mi buen amigo el Ing. Omar Serrano, quien me indicó la posibilidad del examen complejo y ha estado pendiente que lo culmine. Al Ing. Jaime Yagual, por ayudarme a estudiar después de tantos años. Al Ing. Fernando Ramírez, quien estuvo pendiente del escrito. A mi querido compadre Ing. Federico Arenas, por el invaluable tiempo invertido en la presentación.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por enseñarme lo más importante en la vida: aprender a pensar y razonar. Mis agradecimientos muy sentidos a todos ellos.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Luis y María, quienes hasta el final de sus días esperaron este momento. A mí querida esposa Patricia, siempre pendiente que culmine con éxito esta tesis. A mis hijos Luis, Javier, María del Carmen y Claudia, los que no sabían que no había terminado esta etapa de mi vida. A mis hermanos Carlos, Anita y María Ester, quienes ya habían perdido la fe de que podía conseguirlo.

TRIBUNAL DE SUSTENTACION

Msc. Diego Siguenza Alvarado.

VOCAL

Msc. Jonathan León.

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Examen Complexivo, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Segundo Luis Villacís Naranjo

RESUMEN

A finales del año 2014 en las instalaciones de la empacadora de camarones Calvi Cía. Ltda. iniciaron los trabajos para transformar un silo de hielo que había dejado de tener uso para convertirlo en un túnel de congelamiento con capacidad de congelación de 10000 libras los cuales culminaron en Enero del 2015. Para ello, se usaron métodos teóricos para el cálculo de la carga de refrigeración para seleccionar el equipo adecuado para el fin, según los catálogos del fabricante. Para la instalación del sistema se usaron materiales como tubos de cobre rígido, soldadura de plata al 15 %, accesorios de cobre, aislamiento térmico, soportes metálicos, materiales eléctricos de alimentación o acometida y control. Por otra parte, se usó refrigerante R507A y herramientas de soldadura oxi-acetileno entre otras de uso en refrigeración. También se aplicaron normas de seguridad industrial para protección personal de los trabajadores (Convenio 155-OIT) en todos los pasos de la instalación. Posteriormente, se hicieron pruebas de presión con nitrógeno para ubicar y eliminar fugas de refrigerante. Finalmente, se realizó el vacío del sistema de refrigeración, se añadió la carga de refrigerante y se puso en marcha el equipo. En consecuencia, en operación se obtuvo temperaturas de cámara entre -25 y -28 °C, logrando de esta manera congelar las 10000 libras de camarón con una inversión aproximada de \$ 45000 dólares americanos en la adquisición de equipos, materiales y mano de obra.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL	II
SIMBOLOGÍA	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. FUNDAMENTOS	1
1.1 Descripción del proceso de camarón entero.....	1
1.2 Capacidad instalada en la planta.....	5
1.3 El ciclo de refrigeración por compresión.	5
1.3.1 Evaporador de expansión seca	9
1.3.2 Válvula de expansión termostática.	10
1.3.3 Condensador enfriado por aire.....	11
1.3.4 Refrigerantes.....	12

1.3.5 Componentes del R507A.	13
CAPÍTULO 2.....	14
2. CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	14
2.1 Adecuación del espacio existente a refrigerar.	14
2.2 Carga de refrigeración.....	15
2.3 Selección de equipos.	24
2.3.1 Evaporador.....	24
2.3.2 Unidad Condensadora	25
2.3.3 Selección del tamaño de tubería	27
2.3.4 Selección de la válvula de expansión.....	28
2.3.5 Instalación del sistema de refrigeración.....	29
CAPÍTULO 3.....	31
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
3.1 Resultados y conclusiones.	31
3.2 Recomendaciones.....	32

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
°F	Grados fahrenheit
MBS	Metabisulfito de sodio ($S_2O_5Na_2$)
ppm	Partes por millón
BPM	Buenas práctica de manufactura
P	Presión
h	Entalpía
s	Entropía
VET	Válvula de expansión termostática
R404A	Refrigerante 404
R507A	Refrigerante 507
R125	Refrigerante 125
R143A	Refrigerante 143
ft	Pie (')
in	Pulgada (")

Kg	Kilogramo
lb	Libra
%	Porcentaje
Pie ²	Pie cuadrado
Pie ³	Pie cúbico
Q ₁	Calor sensible arriba del punto de congelación
Q ₂	Calor latente de congelación
Q ₃	Calor sensible debajo del punto de congelación
Q ₄	Carga por transmisión de calor
Q ₅	Carga por infiltración
Q ₆	Carga debido a las personas
Q ₇	Carga por motores
Q ₈	Carga por iluminación
BTU	Unidad térmica Británica
cpa	Calor específico antes del congelamiento
L	Calor latente de fusión
cpd	Calor específico después del congelamiento

ΔT	Diferencia de temperatura
m	Masa
A	Área
V	Volúmen
W	Vatio
f_1	Factor ganancia de calor por paredes, piso y techo
f_2	Factor BTU/pie ³
f_3	Factor cambios de aire
f_4	Factor equivalente de calor por persona
HP	Caballo de fuerza
EER	Eficiencia energética
HACCP	Análisis de peligros y puntos críticos de control

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Diagrama de flujo del proceso de camarón entero de piscina, tratado con MBS.....	2
Figura 1.2 Componentes de un sistema de compresión mecánica y expansión de una etapa.....	7
Figura 1.3 Diagrama presión-entalpía (Ph) de un sistema frigorífico de compresión mecánica y expansión directa de una etapa.....	7
Figura 1.4 Evaporador de expansión seca y montaje de VET.....	9
Figura 1.5 Esquema de VET.....	11
Figura 1.6 Diagrama de Mollier del R507A.....	13
Figura 2.1 Evaporador.....	25
Figura 2.2 Unidad condensadora.....	26
Figura 2.3 Sistema de refrigeración.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características térmicas de productos alimenticios.....	16
Tabla 2. Ganancia de calor por paredes, piso, techo.....	19
Tabla 3. BTU por pie cúbico eliminado en enfriamiento para condiciones de almacenaje bajo de 30 °F.....	19
Tabla 4. Cambios de aire promedio por 24 horas para cuartos de Almacenaje debajo de 32 °F debida a abertura de puertas e infiltración.....	20
Tabla 5. Equivalente de calor por personas dentro del espacio refrigerado.....	21
Tabla 6. Diámetro de línea de succión R507A.....	27
Tabla 7. Diámetro de línea de líquido R507A.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Factores de conversión

Anexo 2. Conversión de temperaturas

Anexo 3. Carta presión-temperatura de saturación R507A

Anexo 4. Clasificadora Sort Rite, 10-3A-C5

Anexo 5. Espesores mínimos recomendados

Anexo 6. Rendimiento compresor 6DT-3000

Anexo 7. Capacidad válvulas Sporlan

Anexo 8. Lay Out refrigeración Empacadora Calvi Cía. Ltda.

INTRODUCCIÓN

La actividad camaronera en el Ecuador tiene sus inicios en la década de los 70 en las provincias de El Oro y Guayas por la disponibilidad de salitrales y la abundancia de larvas silvestres. Más tarde, en la década de los 90 se crearon nuevas empacadoras, laboratorios de larvas y fábricas de alimento balanceado y una serie de industrias que producen insumos para la actividad acuícola. En el año 1999 el cultivo de camarón fue afectado por un virus y a partir del año 2004 se superó el problema y se dieron condiciones para el incremento de la producción. Con estos antecedentes, la empacadora Calvi Cía. Ltda. invierte para aumentar su capacidad de congelamiento. La empacadora mencionada en este trabajo se encuentra en plena etapa de producción, se han readecuado las áreas de recepción y proceso para poder recibir el mayor volumen de camarón estimado.

En el capítulo 1 se detalla la descripción del proceso para empacar el camarón entero de piscina, la capacidad instalada en la planta así como también los fundamentos teóricos del ciclo de refrigeración por compresión mecánica, sus componentes y las especificaciones del refrigerante usado. Después, en el capítulo 2 se detalla el método teórico usado para el cálculo de la carga de refrigeración y la selección de equipos. Finalmente, en el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS

1.1 Descripción del proceso de camarón entero

La Empacadora Calvi Cia. Ltda., se especializa en el proceso de camarón entero proveniente de piscinas, de nombre científico *Penaeus Vannamei*, que tiene como destino varios países del mundo con embalaje en cajas plastificadas de 1 kilo, 2 kilos o 5 libras, según las especificaciones del cliente, que deben mantenerse en congelación a -18°C para un periodo de consumo entre 18 y 24 meses. En la figura 1.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de camarón entero de piscina, tratado con metabisulfito de sodio (MBS) que se detalla a continuación.

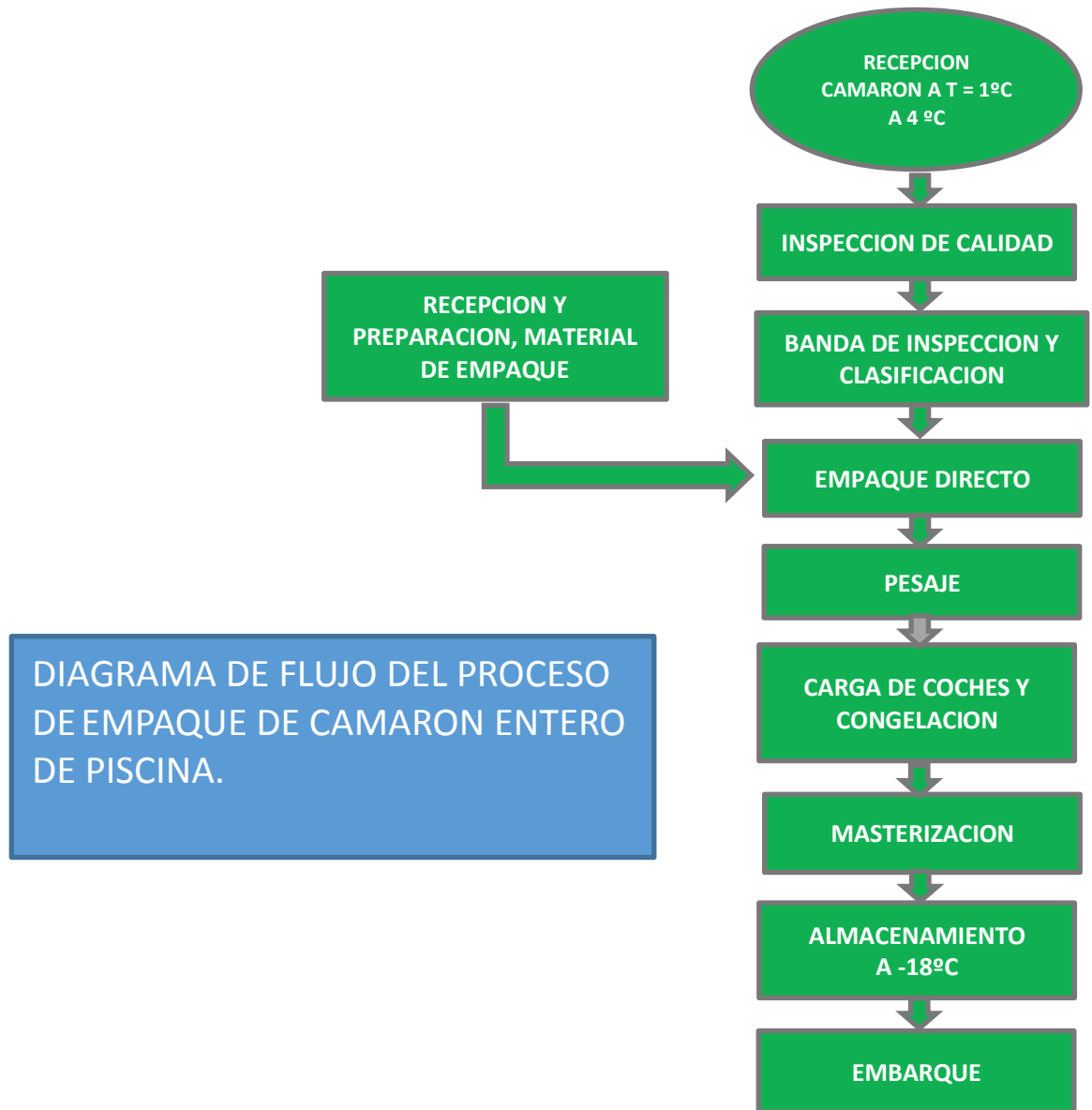


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CAMARON ENTERO DE PISCINA, TRATADO CON MBS. [1]

El camarón llega a la planta en contenedores isotérmicos, llamados “Bines” con capacidad media de 800 libras, recubiertos de hielo y agua para garantizar una temperatura en el transporte de entre 1 y 4 ° C. Desde la camaronera vienen con MBS en una concentración no mayor a 100 partes por millón (ppm). El MBS es un conservante de alimentos y en el camarón se lo utiliza para evitar la melanosis, que es una reacción enzimática que produce oscurecimiento y degradación en el tejido del camarón. En la recepción, un supervisor de control de calidad solicita al proveedor la carta de garantía y los resultados de la muestra analizada especificando que no tiene presencia de antibióticos y pesticidas, si el producto se exporta a Europa. Luego se toma una muestra al azar y se procede a realizar el análisis residual de MBS para comprobar cuantos ppm contiene dicho lote y a su vez realizar una inspección visual (análisis organoléptico). Si el lote excede los 100 ppm del aditivo, se rechaza. Si el producto llega a una temperatura mayor a los 4°C se adiciona hielo a fin de tener la temperatura ideal.

Después, se prepara un tanque con agua y hielo a 0°C y se añade la cantidad de MBS si es necesaria, según las especificaciones del cliente, luego se traslada a la máquina clasificadora, sin antes realizar un segundo muestreo para el control del residual presente en el producto, en la línea de proceso.

La clasificadora instalada en la planta es de marca SORT-RITE HARLINGEN TEXAS, modelo 10-3A-C5, con capacidad de 3000 libras por hora y 5 tamaños [12].

El producto es colocado en la primera tolva, luego pasa por la banda de inspección donde se retira el camarón quebrado, mudado con cabeza floja o de mala calidad, además de cualquier materia extraña que pueda estar presente. Luego, se pasa por la segunda tolva y más tarde por la clasificadora donde llega a las bandas transportadoras de empaque y se realiza el empaque directo. El producto más grande o más pequeño que sale por los otros chutes se clasifica manualmente.

Luego se empaca en cajas plastificadas, con sus respectivos pañales según los requerimientos del comprador, porque en ciertas ocasiones puede ir sin pañal. Controlando que todas las cajas presenten la declaración de 100 ppm de metabisulfito de sodio y el correspondiente etiquetado. A continuación se procede a pesar la caja con el producto para su posterior sellado luego, las cajas se transportan en los coches hasta el túnel de congelamiento.

Posteriormente, se procede a colocar en los cajones Master de 10 o 20 kilos, o 50 libras, el mismo que tiene sus respectivas etiquetas. Los cartones Master enzunchados y grapados se los coloca sobre pallets para ser almacenados en la cámara de mantenimiento a -18°C .

Finalmente, se revisa el contenedor, en el cual se va a exportar el producto y este debe encontrarse en condiciones óptimas controlando debidamente la temperatura y cumpliendo las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), para su posterior transportación.

El alcance de este trabajo se enfoca en la ampliación de la capacidad en la etapa de congelamiento del camarón.

1.2 Capacidad instalada en la planta.

En la empacadora existen 4 túneles con capacidad de congelamiento de 3000 libras cada uno y 2 túneles con capacidad de congelamiento de 8000 libras cada uno, lo que da un total de 28000 libras. También existen 2 cámaras de mantenimiento de camarón congelado con capacidad para 100000 libras cada uno. Existe además un silo de hielo que no está en funcionamiento, el cuál será transformado en un nuevo túnel de congelamiento con capacidad para 10000 libras de manera que se tendrá una capacidad total de congelamiento de 38000 libras por día, el ciclo de refrigeración en este proyecto es el de compresión.

1.3 El ciclo de refrigeración por compresión.

“La refrigeración por compresión es un método de refrigeración que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en el evaporador y lo ceda en el condensador“. [2]

La refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un

intercambiador de calor, llamado evaporador. Para evaporarse, este refrigerante requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, sea este medio gaseoso o líquido (aire o agua). A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este cambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor llamado condensador, para hacerlo líquido nuevamente. En el condensador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Este aumento de presión, produce un aumento de su temperatura. Para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir su subenfriamiento, es necesario enfriarlo al interior del condensador, esto se lo realiza por medio de aire y/o agua conforme al tipo de condensador. En este instante, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y el ciclo de refrigeración por compresión, se repite. En la figura 1.2 se detallan los componentes de un sistema de compresión mecánica y expansión de una etapa y la dirección que sigue el ciclo.

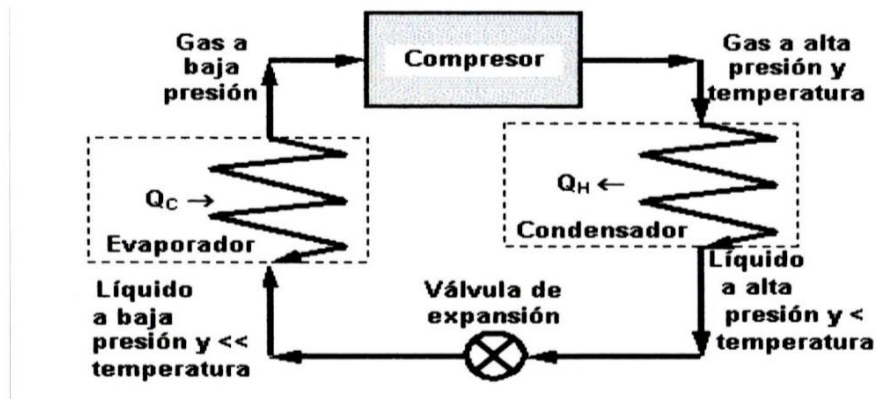


FIGURA 1.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMPRESIÓN MECÁNICA Y EXPANSIÓN DE UNA ETAPA. [3]

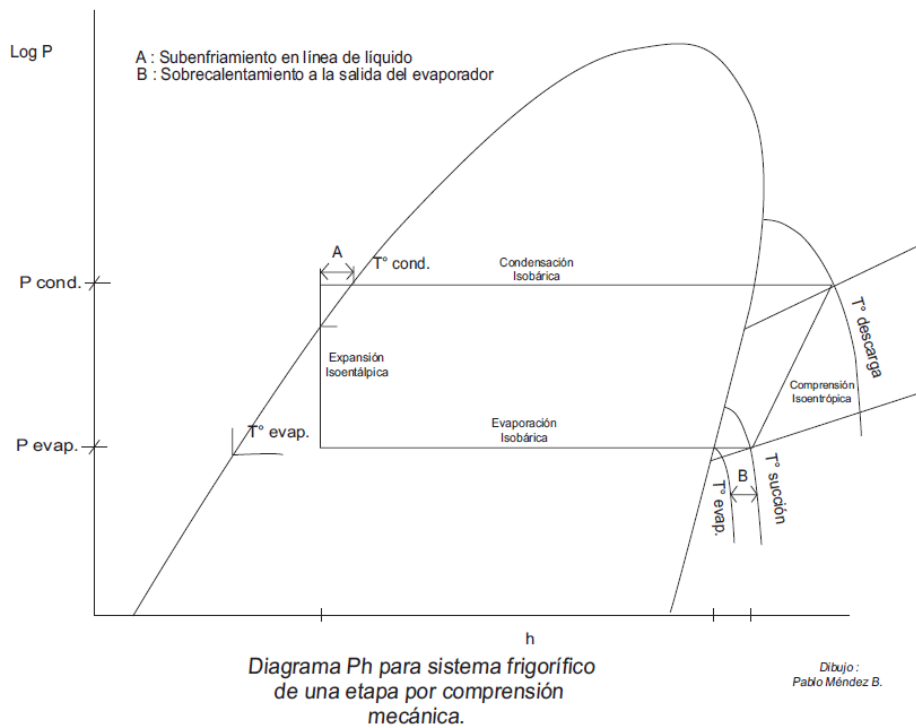


FIGURA 1.3 DIAGRAMA PRESIÓN-ENTALPÍA (Ph) DE UN SISTEMA FRIGORÍFICO DE COMPRESIÓN MECÁNICA Y EXPANSIÓN DIRECTA DE UNA ETAPA. [3]

En la figura 1.3 se observa todos los pasos que ocurren en un ciclo teórico de compresión mecánica de una etapa, comenzando con la evaporación isobárica (no cambia la presión), que ocurre en el evaporador. Aquí se produce la absorción de calor sensible y latente del producto a refrigerar. Saliendo de la campana de saturación está la zona B, donde ocurre el sobrecalentamiento del refrigerante, zona donde se garantiza que no habrá presencia de refrigerante es estado líquido, que pueda dañar los componentes del compresor. En este momento el refrigerante es absorbido por el compresor y ocurre una compresión isoentrópica (no cambia su entropía) hasta llegar a su punto máximo de presión. Este momento es la entrada al condensador, donde comienza el enfriamiento del refrigerante, zona llamada de condensación isobárica (no cambia la presión), hasta llegar a otro punto en la campana de saturación. Saliendo de la campana, está la zona A, de Subenfriamiento en la línea de líquido. El aumento y disminución de temperatura en las zonas A y B ocurren por la instalación de un intercambiador de calor entre la línea de succión y la línea de líquido. Saliendo de la zona A, comienza el proceso de expansión isoentálpica (no cambia la entalpía) en la válvula de expansión. Este proceso termina dentro de la campana de saturación del refrigerante para dar comienzo nuevamente al ciclo.

1.3.1 Evaporador de expansión seca

La expansión directa o expansión seca, es un método mediante el cual el flujo másico del refrigerante suministrado al evaporador está limitado a la cantidad que pueda evaporarse completamente en su recorrido hasta el final del evaporador, de tal manera que solo llegue vapor a la succión del compresor. El dispositivo usado para este efecto es la válvula de expansión termostática o el tubo capilar. Es común que estos dispositivos de expansión mantengan un sobrecalentamiento de unos 5 °C al final del evaporador, para garantizar la no presencia de refrigerante en estado líquido, que pueda dañar partes mecánicas del compresor. En realidad lo que ingresa al evaporador es una mezcla de líquido y vapor que se vaporiza progresivamente a medida que este refrigerante avanza por el evaporador y absorbe el calor latente de vaporización del medio proveniente de la carga térmica. [4]

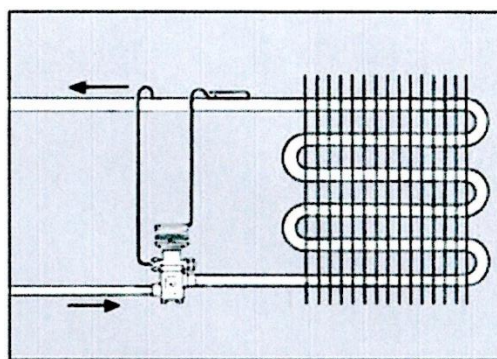


FIGURA 1.4 EVAPORADOR DE EXPANSIÓN SECA Y MONTAJE DE VET.

[4]

1.3.2 Válvula de expansión termostática.

Una válvula de expansión termostática (VET) es un dispositivo de expansión el cual tiene la capacidad de generar una caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema. Controla el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y sostiene un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador. Dispone de un bulbo sensor de temperatura que se encarga de cerrar o abrir la válvula para el paso del refrigerante. Regula el flujo másico del refrigerante en función de la carga térmica. Las válvulas de expansión compensadas externamente compensan la pérdida de carga que experimenta el refrigerante al interior del evaporador, estas aseguran evaporar completamente el refrigerante dentro del evaporador.

[4]

Poseen una línea conectada a la salida del evaporador de manera que se cumple la ecuación 1.

$$P_{bulbo} = P_{husillo} + P_{evaporador} + P_{compresor} \quad \text{EC.1}$$

Las válvulas de expansión compensadas externamente se usan cuando la caída de presión al interior del evaporador, son mayores a los 4 psig, aunque pueden usarse en todas las aplicaciones de refrigeración.

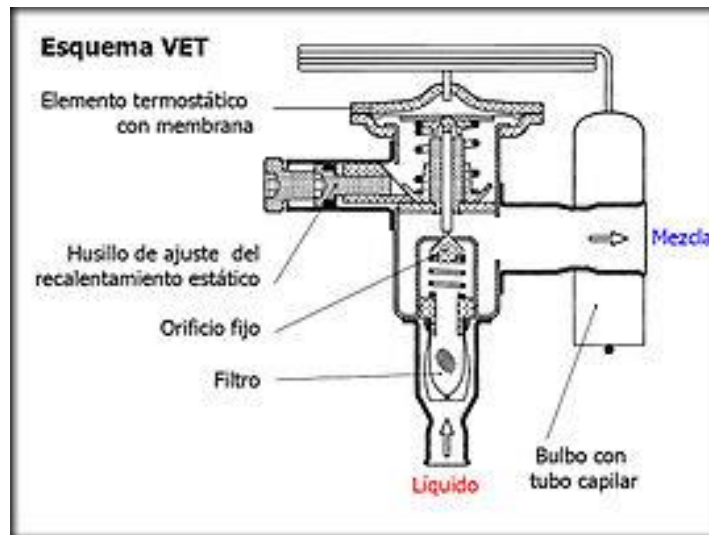


FIGURA 1.5 ESQUEMA DE VET. [4]

1.3.3 Condensador enfriado por aire.

Un condensador es un intercambiador de calor latente que convierte el vapor a alta presión y alta temperatura en estado líquido, a la misma presión. Ventiladores acoplados al equipo, extraen el calor para depositarlo en el ambiente. Su rendimiento dependerá de la temperatura exterior o ambiental, por lo que su capacidad es variable. En un diseño siempre se toma la mayor temperatura exterior registrada. A la salida de este existe un recipiente llamado recibidor de líquido que es capaz de almacenar todo el refrigerante del sistema para efectos de mantenimiento, descongelamiento o realizar la parada del equipo por vacío (efecto pump down), que se logra por medio de una electro válvula (solenoides), acoplada en la línea de líquido.

1.3.4 Refrigerantes

Un refrigerante es un producto químico, líquido o gaseoso, fácilmente licuable que es utilizado como medio transmisor de calor en una máquina térmica. Los principales usos son los refrigeradores y los acondicionadores de aire. El principio de funcionamiento de algunos sistemas de refrigeración se basa en un ciclo de refrigeración por compresión, que tiene algunas similitudes con el ciclo de Carnot y utiliza refrigerantes como fluido de trabajo.

Existen muchos tipos de refrigerantes, los que contenían cloro fueron sacados del mercado y reemplazados por otros con menor grado de afectación al entorno. Entre los refrigerantes de uso actual se encuentran el R404A que es un refrigerante que se usa en muchos de los nuevos equipos e instalaciones frigoríficas para aplicaciones de baja y media temperatura. [5] El R507A es otra alternativa que tiene una serie de ventajas con respecto al R404A, básicamente en su composición. El R507A es azeotrópico (la mezcla puede evaporarse y condensarse sin cambiar su composición). Se puede cargar este producto tanto en fase líquida como vapor, y en el caso de fuga la mezcla nunca se descompondrá, por lo que solamente se ha de recargar el sistema.

La capacidad frigorífica del R507A en condiciones de trabajo similares es ligeramente superior a la del R404A. La temperatura de descarga del R507A es ligeramente inferior. En la figura 1.6 se presenta el diagrama Ph para el refrigerante R507A.

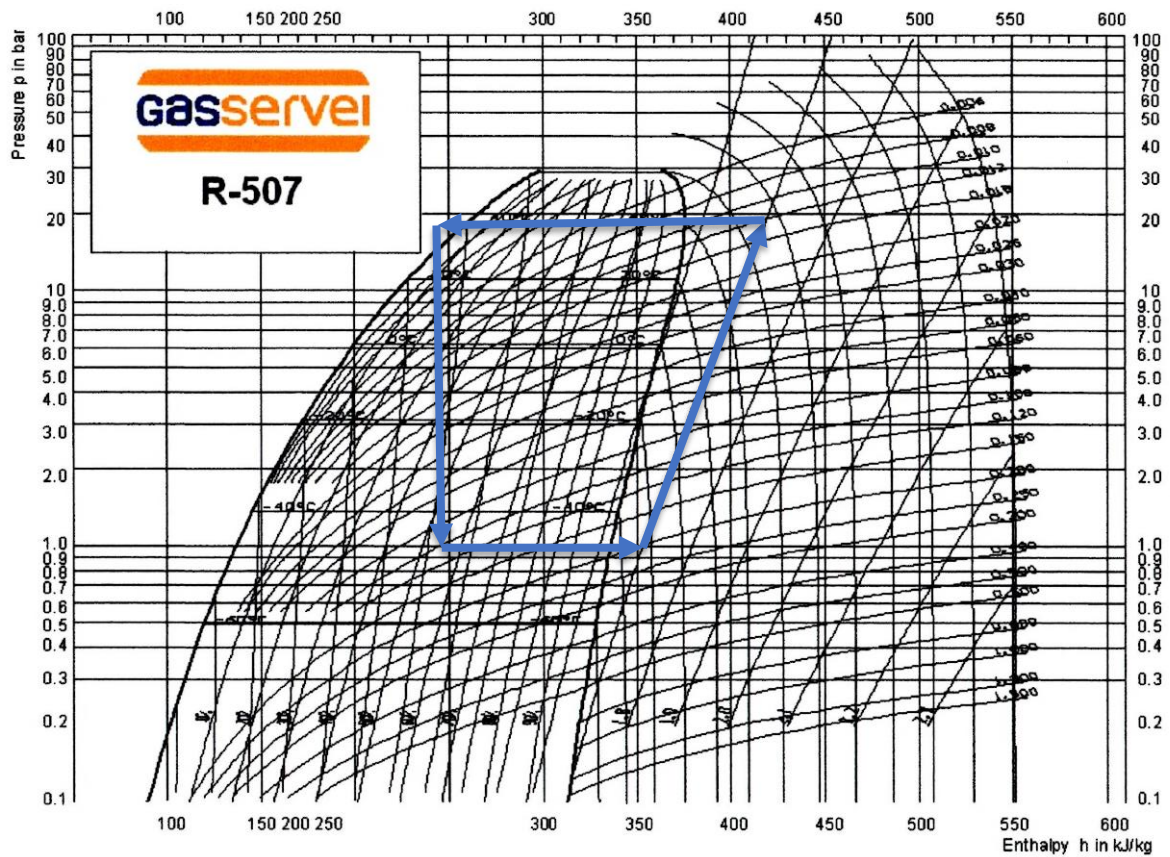


FIGURA 1.6 DIAGRAMA DE MOLLIER DEL R507A. [6]

1.3.5 Componentes del R507A.

A continuación se detalla los componentes del refrigerante R507A compuesto de la mezcla de los refrigerantes R125 y R143a.

Nombre químico	%en peso
Pentafluoroetano (R-125)	50
1, 1,1-Trifluoroetano (R143a)	50

CAPÍTULO 2

2. CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.

2.1 Adecuación del espacio existente a refrigerar.

Se va a transformar el silo de hielo en un túnel de congelamiento. Después de colocar un nuevo techo aislado y un piso fundido con aislamiento térmico las medidas quedan: 3.5 m (12') de ancho, 5.5 m (18') de largo y 2.47 m (8') de alto, por lo tanto, con el espacio disponible se puede congelar hasta 10000 libras de camarón entero y llegar a una capacidad total de congelamiento en la planta de 38000 libras e iluminación de 160 W existente. El tiempo de proceso del diseño es de 18 horas y el producto está a una temperatura inicial promedio de 5°C (41°F) y una temperatura final de -28°C (-18.4°F). El área total de paredes, piso y techo es de 912 pies², siendo el volumen interior de 1375.12 pies³ y como espesor de paredes, piso y techo poliuretano expandido de 5 pulgadas siguiendo las recomendaciones de espesores mínimos según el rango de temperatura. [7]

2.2 Carga de refrigeración

La carga debida al producto, es la cantidad de calor que hay que extraerle al mismo para bajar su temperatura. Por tratarse de un proceso de congelamiento por abajo del punto de fusión, existen tres calores por calcular, que son, el calor sensible arriba del punto de congelación (Q_1), que es el calor que se extrae antes del punto de congelamiento del producto, el calor latente de congelación (Q_2), ocurre en el proceso de fusión del agua contenida en el producto y el calor sensible por debajo del punto de congelación (Q_3), que ocurre una vez que se ha congelado el contenido de agua en el producto hasta llegar a la temperatura final.

La carga por transmisión de calor (Q_4), ocurre por paredes pisos y techos dependiendo del tipo de construcción, el área expuesta, el tipo y espesor del aislamiento térmico. También, la carga por infiltración (Q_5), ocurre debido a la apertura de puertas e infiltraciones propias de la construcción. Dependerá de las temperaturas de almacenamiento, de la humedad relativa del ambiente, del volumen del túnel y de los cambios de aire. Por otra parte, la carga debido a las personas (Q_6), que trabajan en el área del túnel dependerá de la temperatura de aquel y tiene que ver con la cantidad de calor que desprende el ser humano acorde a la actividad que realice. Finalmente, las cargas complementarias como la carga por motores (Q_7), tiene que ver con la potencia eléctrica desarrollada especialmente por los ventiladores propios del

evaporador y la carga por iluminación (Q_8), que depende de las luminarias instaladas dentro del túnel.

TABLA 1. CARACTERISTICAS TÉRMICAS DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS. [8]

CARACTERISTICAS DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Producto	Temperatura Promedio de Congelación °F	Porcentaje de Agua	Calor Especifico BTU/lb. °F		Calor Latente de Fusión BTU/lb.	Calor de Evolución BTU por (24 hrs.) (ton) a la Temp. indicada	
			Arriba del punto de Congelación	Abajo del punto de Congelación		°F	BTU
Coliflor	30.1	91.7	0.93	0.47	132	40	4,500
Colirrábano	30.0	90.0	0.92	0.47	128		
Colecitas de Bruselas	31.0	84.9	0.88	0.46	122	40	6,600 - 11,000
Col fermentada (Sauerkraut)	26.0	89.0	0.92	0.47	129		
Col rizada	30.7	86.6	0.89	0.46	124		
Chícharos verdes	30.0	74.3	0.79	0.42	106	40	13,200 - 16,000
Chícharos secos		9.5	0.28	0.22	14		
Chirivías	28.9	78.6	0.84	0.46	112		
Ejotes	29.7	88.9	0.91	0.47	128	40	9,700 - 11,400
Elotes	28.9	75.5	0.79	0.42	106	32	7,200 - 11,300
						40	10,600 - 13,200
Escarola	30.9	93.3	0.94	0.48	132		
Espárragos	29.8	93.0	0.94	0.48	134	40	11,700 - 23,100
Espinacas	30.3	92.7	0.94	0.48	132	40	8,000
Habas	30.1	66.5	0.73	0.40	94	40	4,300 - 6,100
Habas secas		12.5	0.30	0.24	18		
Hongos	30.2	91.1	0.93	0.47	130	32	6,200
						50	22,000
Jitomate	30.4	94.1	0.95	0.48	134	40	1,260
Lechuga	31.2	94.8	0.96	0.48	136	32	2,300
						40	2,700
Maíz		10.5	0.28	0.23	15		
Nabo	30.5	90.9	0.93	0.47	130	32	1,900
						40	2,200
Papas	28.9	77.8	0.82	0.43	111	40	1,300 - 1,800
Pepinos	30.5	96.1	0.97	0.49	137		
Pimiento	30.1	92.4	0.94	0.47	132	40	4,700
Rábano	30.1	93.6	0.95	0.48	134		
Rábano picante	26.4	73.4	0.78	0.42	104		
Rapóntico	28.4	94.9	0.96	0.48	134		
Tomate	30.4	94.7	0.95	0.48	134	60	6,230
Verduras (mixtas)	30.0	90.0	0.90	0.45	130		
Zanahorias	29.6	88.2	0.90	0.46	126	32	2,100
						40	3,500
CARNES Y PESCADOS							
Aves (carne fresca)	27	74	0.79	0.37	106		
Aves (congeladas)	27	74	0.79	0.37	106		
Bacalao (fresco)	28		0.90	0.49	119		
Camarones	28	70.8	0.83	0.45	119		
Carne cortada (retazo)	29	65	0.72	0.40	95		
Carne de cordero	29	58	0.67	0.30	83.5		
Carne de puerco (ahumada)		57	0.60	0.32			
Carne de puerco (fresca)	28	60	0.68	0.38	86.5		
Carne de res (grasosa)	28		0.60	0.35	79		
Carne de res (magra)	29	68	0.77	0.40	100		
Carne de res (salada)			0.75				
Carne de res (seca)		5-15	0.22-0.34	0.19-0.26	7-22		
Carne de ternera	29	63	0.71	0.39	91		
Chorizos	26	65.5	0.89	0.56	93		
Embutidos			0.60				

De la tabla 1, se tiene que el calor específico antes del congelamiento (c_{pa}) es $0.83 \text{ BTU} / \text{lb} \text{ } ^\circ\text{F}$, el calor latente de fusión (L) es $119 \text{ BTU} / \text{lb}$, el calor específico después del congelamiento (c_{pd}) es $0.45 \text{ BTU} / \text{lb} \text{ } ^\circ\text{F}$ y la temperatura promedio de congelación es $28 \text{ } ^\circ\text{F}$.

La primera carga de refrigeración es la carga sensible arriba del punto de congelación, que se calcula mediante la ecuación 2, donde m es la masa neta a congelar, c_{pa} es el calor específico antes de congelar y ΔT es la diferencia de temperatura inicial menos la temperatura final del proceso, siendo estas 41°F y $28 \text{ } ^\circ\text{F}$ respectivamente.

$$Q_1 = m \times c_{pa} \times \Delta T \quad \text{EC.2}$$

$$Q_1 = -107900 \text{ BTU en 24 horas}$$

El signo negativo significa que se extrae calor. Para los cálculos se usará su valor absoluto.

Luego se calcula la carga latente de congelación de la manera como se indica en la ecuación 3.

$$Q_2 = m \times L \quad \text{EC.3}$$

$$Q_2 = 1'190000 \text{ BTU en 24 horas}$$

Después se calcula la carga sensible debajo del punto de congelación como lo indica la ecuación 4, donde la temperatura inicial será 28 °F y la temperatura final será -18.1°F.

$$Q_{3} = m \times cpd \times \Delta T \quad \text{EC.4}$$

$$Q_{3} = -208800 \text{ BTU en 24 horas}$$

Por otra parte se determina la carga por transmisión de calor tomando los datos obtenidos de la tabla 2 y usando la ecuación 5.

Con una temperatura ambiente de 95 °F (35 °C) y una temperatura de túnel de -18.4 °F (-28 °C), se tiene que la temperatura ambiente menos la temperatura de túnel será 113.4°F. Se aproxima a 115 °F para el uso de la tabla 2 y con un espesor de 5 pulgadas se obtiene el factor (f₁) de 166 BTU / pies² en 24 horas y con un área total (A) de paredes, piso y techo de 912 pies²

$$Q_{4} = A \times f_{1} \quad \text{EC.5}$$

$$Q_{4} = 151392 \text{ BTU en 24 horas}$$

TABLA 2. GANANCIA DE CALOR POR PAREDES, PISO, TECHO. [4]

Aislamiento Corcho o equivalente, dig	Diferencia de Temp. (Temp. ambiente-Temp. Refrigerador), F																	
	1	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
3	2.4	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	267	288
4	1.8	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216
5	1.44	58	65	72	79	87	94	101	108	115	122	130	137	144	151	159	166	173
6	1.2	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144
7	1.03	41	46	52	57	62	67	72	77	82	88	93	98	103	108	113	118	124
8	0.90	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90	95	99	104	108
9	0.80	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96
10	0.72	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86
11	0.66	26	30	33	36	40	43	46	50	53	56	60	63	66	69	73	76	79
12	0.60	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72
13	0.55	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	66
14	0.51	20	23	26	28	31	33	36	38	41	43	46	49	51	54	56	59	61
Vidrio simple	27.0	1080	1220	1350	1490	1620	1760	1890	2030	2160	2290	2440	2560	2700	2840	2970	3100	3240
Vidrio doble	11.0	440	500	550	610	660	715	770	825	880	936	990	1050	1100	1160	1210	1270	1320
Vidrio triple	7.0	280	320	350	390	420	454	490	525	560	595	630	665	700	740	770	810	840

**TABLA 3. BTU POR PIE CUBICO ELIMINADO EN ENFRIAMIENTO PARA
CONDICIONES DE ALMACENAJE BAJO DE 30 °F. [4]**

Temp. cuarto almacén °F	Temperatura aire de entrada °F									
	40		50		80		90		100	
	Humedad Relativa aire de entrada, %									
°F	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60
30	0.24	0.29	0.58	0.66	1.69	1.87	2.26	2.53	2.95	3.35
25	0.41	0.45	0.75	0.83	1.86	2.05	2.44	2.71	3.14	3.54
20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.04	2.22	2.62	2.90	3.33	3.73
15	0.71	0.75	1.06	1.14	2.20	2.39	2.80	3.07	3.51	3.92
10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.38	2.52	2.93	3.20	3.64	4.04
5	0.98	1.03	1.34	1.42	2.51	2.71	3.12	3.40	3.84	4.27
0	1.12	1.17	1.48	1.56	2.68	2.86	3.28	3.56	4.01	4.43
-5	1.23	1.28	1.59	1.67	2.79	2.98	3.41	3.69	4.15	4.57
-10	1.35	1.41	1.73	1.81	2.93	3.13	3.56	3.85	4.31	4.74
-15	1.50	1.53	1.85	1.93	3.05	3.25	3.67	3.96	4.42	4.86
-20	1.63	1.68	2.01	2.09	3.24	3.44	3.88	4.18	4.66	5.10
-25	1.77	1.80	2.12	2.21	3.38	3.56	4.00	4.30	4.78	5.21
-30	1.90	1.95	2.29	2.38	3.55	3.76	4.21	4.51	5.00	5.44

Reimpreso de *Refrigeration Engineering Data Book* por cortesía de American Society of Refrigerating Engineers.

TABLA 4. CAMBIOS DE AIRE PROMEDIO POR 24 HORAS PARA CUARTOS DE ALMACENAJE DEBAJO DE 32 °F DEBIDO A ABERTURA DE PUERTAS E INFILTRACION. [4]

Volumen pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hr	Volumen pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hr	Volumen pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hr	Volumen pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hr
250	29.0	1 000	13.5	5 000	5.6	25 000	2.3
300	26.2	1 500	11.0	6 000	5.0	30 000	2.1
400	22.5	2 000	9.3	8 000	4.3	40 000	1.8
500	20.0	2 500	8.1	10 000	3.8	50 000	1.6
600	18.0	3 000	7.4	15 000	3.0	75 000	1.3
800	15.3	4 000	6.3	20 000	2.6	100 000	1.1

Nota: (1) Para cuartos de almacén con antesala, se reducen los cambios de aire a 50% de los valores dados en la tabla.
 Para uso de servicio pesado, agregar 50% a los valores dados en la tabla.
 (2) Para cuartos en plantas que tienen gavetas, doblar los valores dados en la tabla.
 De *ASRE Data Book*, Design Volume, Edición 1949 con permiso de The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

También, se calcula la carga por infiltración usando la ecuación 6 y los factores obtenidos de las tablas 3 y 4 de la siguiente manera, con una temperatura de cámara de -18.4°F se aproxima a -20°F, con una temperatura ambiente de 90°F y una humedad relativa del 60% de la tabla 3 se obtiene el factor f_2 con un valor de 4.18 BTU / pies³. El volúmen interior de cámara (V) es de 1375.12 pies³, se aproxima a 1500 pies³ para el uso de la tabla 4 de donde se obtiene el factor f_3 con un valor de 11 cambios de aire en 24 horas.

$$Q_5 = V \times f_2 \times f_3 \quad \text{EC.6}$$

$$Q_5 = 63228.01 \text{ BTU en 24 hora}$$

TABLA 5.EQUIVALENTE DE CALOR POR PERSONAS DENTRO DEL ESPACIO REFRIGERADO. [8]

Temperatura enfriador F	Calor equivalente/Persona Btu/hr
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

De *ASRE Data Book*, Volume, edición, 1949, con permiso de The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

De la tabla 5, se tiene para una temperatura de cámara de -10°F como valor mínimo el factor f_4 de un valor de 1400 BTU /hora x persona, estimando 4 personas trabajando dentro del espacio refrigerado.

Luego la carga por personas se calcula como lo indica la ecuación 7.

$$Q_6 = f_4 \times \# \text{ personas}$$

EC.7

$$Q_6 = 5600 \text{ BTU / hora}$$

El evaporador tiene 4 motores eléctricos con una capacidad unitaria de 850 W y aplicando el factor de conversión correspondiente se calcula la carga por motores como lo indica la ecuación 8 de la siguiente manera.

$$\text{Factor de conversión} = 3.41 \text{ BTU / hora / W}$$

$$Q_7 = \text{Potencia Eléctrica} \times \# \text{ motores} \times \text{Factor de conversión} \quad \text{EC.8}$$

$$Q_7 = 11594 \text{ BTU / hora}$$

Finalmente, con una potencia eléctrica por iluminación en el interior de la cámara de 160 W y usando el mismo factor de conversión anterior, la carga por iluminación se calcula aplicando la ecuación 9 como sigue.

$$Q_8 = \text{Potencia Eléctrica} \times \text{Factor de conversión} \quad \text{EC.9}$$

$$Q_8 = 545.6 \text{ BTU / hora}$$

La carga total en BTU en 24 horas se la obtiene al sumar las cargas por producto, la carga por transmisión de calor y la carga por infiltración dando un resultado de $1'721320.0 \text{ BTU en 24 horas}$. La carga total en BTU/hora se la obtiene al sumar las carga por personas, por motores y por iluminación dando un resultado de 17739.6 BTU/hora .

Si dividimos la carga total en BTU en 24 horas por el tiempo de operación del diseño que es de 18 horas, se obtiene como resultado un valor de 95628.8 BTU/hora , que sumado al valor anterior nos dará una carga total de **$113368.4 \text{ BTU/hora}$** .

Como un estándar de rendimientos promedios de capacidades de equipos de diversos fabricantes para calcular la capacidad en HP dependiendo de su temperatura de evaporación se usa el valor de 4000 BTU/hora por HP [9] para baja temperatura de manera que se tiene una potencia de 28.34 HP. Al aplicar un factor de seguridad del 10% se tiene que la capacidad será de 31.17 HP, que comercialmente no se diseña, entonces se ajusta el valor a 30 HP como capacidad neta del equipo a seleccionar, es decir 120000 BTU/hora.

2.3 Selección de equipos.

En el mercado local se contacta con un proveedor el cual ofrece un sistema de equipos reconstruidos pero en buenas condiciones con capacidad de 30 HP en baja temperatura. Se elige como refrigerante el R507A por las bondades de este anteriormente anotadas.

2.3.1 Evaporador

Siendo la carga de refrigeración de 120000 BTU /hora, se necesita un evaporador que tenga esta capacidad o ligeramente mayor. El proveedor ofrece un evaporador sin marca con 4 motores ventiladores y garantiza la capacidad requerida con un tiro de aire de 5 metros suficiente para este requerimiento como se ilustra en la figura 2.1



FIGURA 2.1 EVAPORADOR.

2.3.2 Unidad Condensadora

La unidad condensadora se compone de un compresor de 30 HP, marca Copeland, modelo 6DT-3000-TSK, un tanque receptor de líquido, un tanque receptor de succión, un tanque separador de aceite, 2 porta filtros de cartucho tanto para la línea de líquido como la línea de succión. El condensador tiene 3 motores ventiladores, además de presostátos de control tanto para baja presión, alta presión y presión de aceite, así como manómetros de control de presión. De la tabla de rendimiento [9] se tiene que para una condensación de 110 °F (43.3 °C) y una evaporación de -20 °F (-28.9 °C), la capacidad del compresor es 114000 BTU/hora nominal, 22900 Watt (30.69 HP) de potencia y una eficiencia energética (EER) de 5 BTU/Watt-hora que relaciona cuan eficiente es el sistema de refrigeración dividiendo la potencia frigorífica con el

consumo de energía eléctrica que es suficiente para este requerimiento, como se ilustra en la figura 2.2



FIGURA 2.2 UNIDAD CONDENSADORA.

2.3.3 Selección del tamaño de tubería

TABLA 6. DIÁMETRO DE LÍNEA DE SUCCION R507A. [10]

		- 11° F through - 30° F (23 through 10 psig)					- 31° F through - 50° F (9 through 0 psig)								
		Suggested Allowable Pressure Drop in psig = 2F°													
		1.4 lbs. (2F°)					1.0 lbs. (2F°)								
System Capacity BTU/Hr.	System Capacity Tons/Hr	Equivalent Suction Lengths ... feet										System Capacity Tons/Hr	System Capacity BTU/Hr.		
		25	50	75	100	150	25	50	75	100	150				
18,000	1.50	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1.50	18,000
24,000	2.00	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	2.00	24,000
30,000	2.50	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2.50	30,000
36,000	3.00	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	3.00	36,000
42,000	3.50	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	3.50	42,000
48,000	4.00	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	4.00	48,000
60,000	5.00	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	5.00	60,000
92,000	7.50	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	7.50	92,000
120,000	10.00	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	10.00	120,000
150,000	12.50	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	12.50	150,000
180,000	15.00	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	15.00	180,000
240,000	20.00	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	20.00	240,000
300,000	25.00	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	25.00	300,000
360,000	30.00	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	30.00	360,000
420,000	35.00	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	35.00	420,000
480,000	40.00	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	5 1/8	40.00	480,000
540,000	45.00	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	5 1/8	45.00	540,000
600,000	50.00	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	5 1/8	5 1/8	5 1/8	50.00	600,000

TABLA 7. DIÁMETRO DE LINEA DE LÍQUIDO R507A. [10]

		Discharge Line Size Compressor to Condenser 1F° (3 psi) pressure drop maximum					Liquid Condensate Line Condenser to Receiver Condensate drain / vent					Liquid Line Size Receiver to TXV 1F° (3 psi) pressure drop maximum				
System Capacity BTU/Hr.	System Capacity Tons/Hr	Equivalent Line Lengths ... feet														
		25	50	75	100	150	25	50	75	100	150	25	50	75	100	150
18,000	1.50	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2
24,000	2.00	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2
30,000	2.50	5/8	5/8	3/4	3/4	3/4	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2
36,000	3.00	5/8	3/4	3/4	3/4	7/8	5/8	5/8	5/8	5/8	3/4	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
42,000	3.50	5/8	3/4	3/4	7/8	7/8	5/8	5/8	5/8	5/8	3/4	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
48,000	4.00	3/4	3/4	7/8	7/8	1 1/8	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8
60,000	5.00	3/4	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	5/8	3/4	3/4	3/4	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8
92,000	7.50	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	5/8	3/4	3/4	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	3/4	3/4
120,000	10.00	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	3/4	7/8	7/8	7/8	1 1/8	5/8	3/4	3/4	3/4	7/8
150,000	12.50	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	3/4	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	3/4	3/4	7/8	7/8
180,000	15.00	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/4	3/4	7/8	7/8	1 1/8
240,000	20.00	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	3/4	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8
300,000	25.00	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
360,000	30.00	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
420,000	35.00	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
480,000	40.00	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
540,000	45.00	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
600,000	50.00	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8

De las tablas 6 y 7 del refrigerante R507A, para una capacidad de 120000 BTU/HORA, una evaporación entre -11 a -30 °F y una longitud de 50 pies, se tiene que el diámetro de la línea de succión será de 2 1/8 “ y el diámetro de la línea de líquido será de 7/8 “. La tubería de succión irá forrada con aislamiento térmico, tipo Rubatex de 2 1/8 x 3/4 “de uso en baja temperatura.

2.3.4 Selección de la válvula de expansión

Tomando el valor teórico de la carga de refrigeración requerida, se expresa en toneladas de refrigeración para poder calcular la capacidad de la válvula de expansión, recordando que 1 tonelada de refrigeración es equivalente a 12000 BTU /hora y se tiene un valor de 9.44. Entre varias opciones en el mercado local, se elige una válvula de expansión termostática con equalizador externo de 10 Toneladas de refrigeración nominal, soldable, marca Sporlan, modelo EBSE-10-S, y con rendimiento variable [11] dependiendo de su temperatura de evaporación y que se ajusta a este requerimiento.

El intercambiador de calor se elige por el diámetro de la línea de succión y la línea de líquido calculadas anteriormente y de fácil adquisición en el mercado local. Se adquieren otros accesorios de cobre para la instalación como son la trampa de aceite, codos, uniones y reducciones así como la soldadura de plata al 15% y el refrigerante, para posteriormente dar comienzo a la instalación.

2.3.5 Instalación del sistema de refrigeración.

Se instala dentro del túnel el evaporador que tiene resistencias eléctricas para descongelamiento y la unidad condensadora en el patio exterior en sus bases y pernos de anclaje. A continuación se instalan las tuberías de cobre rígido con los accesorios como trampa de aceite, codos, uniones e intercambiador de calor así como el visor de líquido, los porta filtro tipo cartucho, la válvula solenoide y la válvula de expansión, todos soldados por fundición del material de aporte que es la soldadura de plata al 15% usando el equipo de oxígeno y acetileno. Luego, se forra la tubería de succión con aislamiento térmico tipo Rubatex. Inmediatamente se procede a presurizar el sistema con nitrógeno por arriba de 400 psig para verificar y eliminar fugas. Después se realiza el vacío del sistema de refrigeración usando una bomba de vacío por debajo de las 20 pulgadas de mercurio. Todos los elementos que conforman el sistema de refrigeración se ilustran en la figura 2.3. A continuación se procede a realizar el cableado eléctrico de acometida y de control que posee un termostato electrónico de control de operación y descongelamiento, después se carga el sistema con refrigerante R507A y finalmente se realiza la puesta en marcha del equipo de refrigeración, controlando el consumo o amperaje del compresor, observando el visor de líquido para controlar la cantidad de refrigerante en el sistema y las presiones en los manómetros tanto de succión como de descarga.

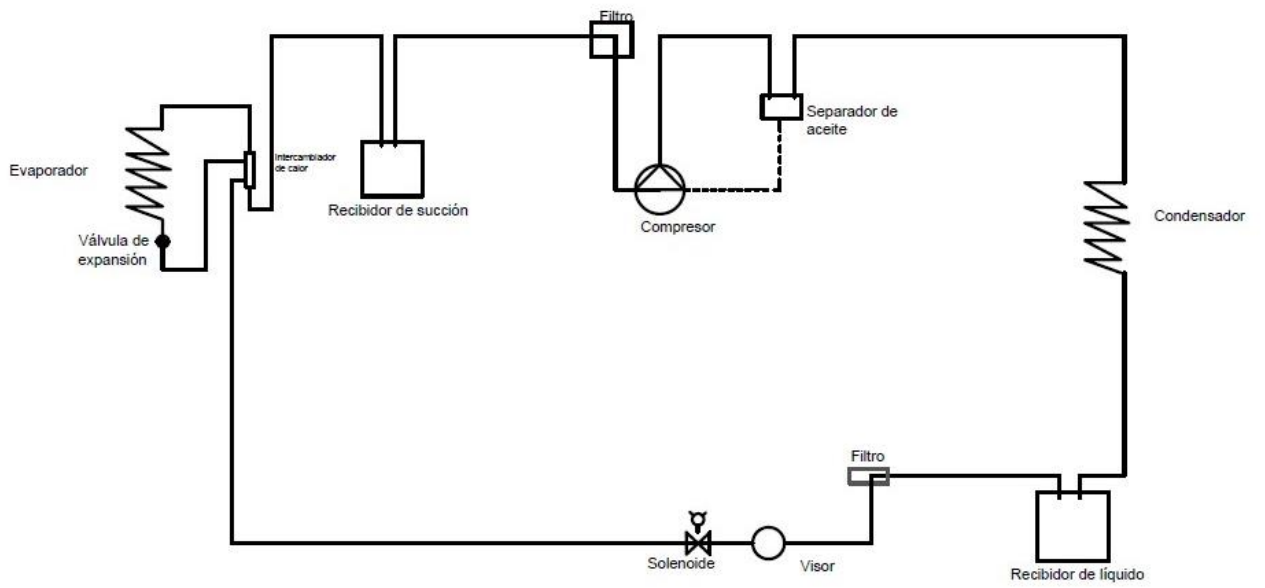


FIGURA 2.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

CAPÍTULO 3

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados y conclusiones.

En operación, como resultado se obtienen temperaturas de cámara entre -25 a -28 °C. Como la clasificadora en máximo rendimiento entrega unas 3000 libras de camarón por hora, toma un tiempo de un poco más de 3 horas el llenado del túnel. Es en este momento que se tienen mayores cargas térmicas por infiltración de aire. Una vez completada la carga a congelar, se desconecta la iluminación y se cierra la puerta. A partir de este momento comienza el proceso de congelamiento, hasta completar las 18 horas. El control electrónico de operación está regulado para descongelamientos eléctricos cada 6 horas por 25 minutos lo que garantiza que el evaporador esté libre de escarcha. El Supervisor de turno comprueba el estado de congelamiento y en este momento el producto es sacado del túnel para el paso posterior de masterizado para luego enviarlo a las cámaras de mantenimiento.

Con los resultados obtenidos anteriormente se concluye que tanto la carga térmica calculada por el método teórico y la selección de los equipos de refrigeración fueron los correctos.

3.2 Recomendaciones

En el mediano plazo, se tiene previsto nuevas inversiones para transformar dos cámaras tipo túnel de congelación en una de mayor tamaño, eliminando la pared que las separa y corregir la medida de la altura del túnel acorde al tamaño de los carritos metálicos donde se acomodan las cajitas con producto de manera que las dos unidades de 10 HP instaladas en estos túneles sería reubicadas en las cámaras de mantenimiento como equipos de emergencia o como otra alternativa la construcción de un nuevo túnel ubicado en otro sitio de la planta. Como la cantidad de producto a congelar será similar a la de este estudio, sin dudarlo se recomendará adquirir equipos de la misma capacidad que es de 30 HP o 120000 BTU /hora, usando el mismo tipo de refrigerante por ser estos los de uso actual.

En la actualidad existen varios software para el cálculo de carga térmica de refrigeración como el de Danfoss y de otras marcas de fácil acceso y que en su momento pueden acortar el tiempo del cálculo o a su vez la comprobación de resultados del método teórico. Se recomienda el uso de tales programas que solo necesitan el ingreso de datos de construcción y operación con las unidades propias del sistema con resultados al momento.

Para prolongar la vida útil de todos los elementos que componen el sistema de refrigeración se recomienda el uso de programas de mantenimiento sea preventivo, correctivo o predictivo siguiendo las recomendaciones propias del constructor o fruto de la experiencia. Revisiones periódicas de la carga de refrigeración observando las presiones de trabajo y el consumo energético especialmente del compresor deben ser aplicados. Cambio de filtros y aceite, mantenimiento eléctrico a las resistencias eléctricas de descongelamiento del evaporador, del tablero de control y motores ventiladores tanto del evaporador y condensador deben ser realizados por horas de operación para garantizar la continuidad de la operación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Empacadora y Exportadora Calvi Cía Ltda., Plan HACCP de la Empacadora y Exportadora Calvi Cía Ltda..
- [2] J. A. Conesa Ferrer, «rua.ua.es,» 17 Mayo 2011. [En línea]. Available: rua.ua.es/dspace/refrigeración.
- [3] R. S. Netto, «Fisicanet,» 01 Mayo 2000. [En línea]. Available: www.fisicanet.com.
- [4] R. J. Dossat, Principios de refrigeración, 2001
- [5] «www.arl.com.pt,» 2010. [En línea]. Available: www.arl.com.pt/uploads/docs/catalogos/12_Gases_Refrigerantes.pdf.
- [6] «www.gas-servei.com,» [En línea]. Available: www.gas-servei.com/images/Ficha-tecnica-R507.pdf
- [7] «www.corefri.com.mx,» Junio 2004. [En línea]. Available: www.corefri.com.mx/fichas.
- [8] Copeland, *Manual de refrigeración*, 1970
- [9] Emerson Climate Technologies, *Performance*, 2010.
- [10] Dupont, *Suva refrigerants*.
- [11] Sporlan, *Catálogo 201 MS1*, 2000.

[12] Sort Rite International, *Manufactures*.

ANEXOS

Anexo 1. Factores de conversión.

1 Kcal = 3.9685 BTU

1 Tonelada de refrigeración = 12000 BTU/hora

1 BTU/hora = 0.29288 W

1 Hp-hora = 0.746 KW-hora

1 Kilogramo = 2.20 Libras (USA)

1 W = 3.41 BTU/hora

Anexo 2. Conversión de temperaturas. [8]

TABLA PARA CONVERSION DE TEMPERATURAS

Localice la temperatura que usted quiera convertir, ya sea en grados fahrenheit o centígrados, en la columna del medio titulada "C o F". A la izquierda se lee la temperatura correspondiente en grados centígrados (si se quiere convertir de fahrenheit a centígrados). A la derecha se lee la temperatura correspondiente en grados fahrenheit (si se quiere convertir de centígrados a fahrenheit).

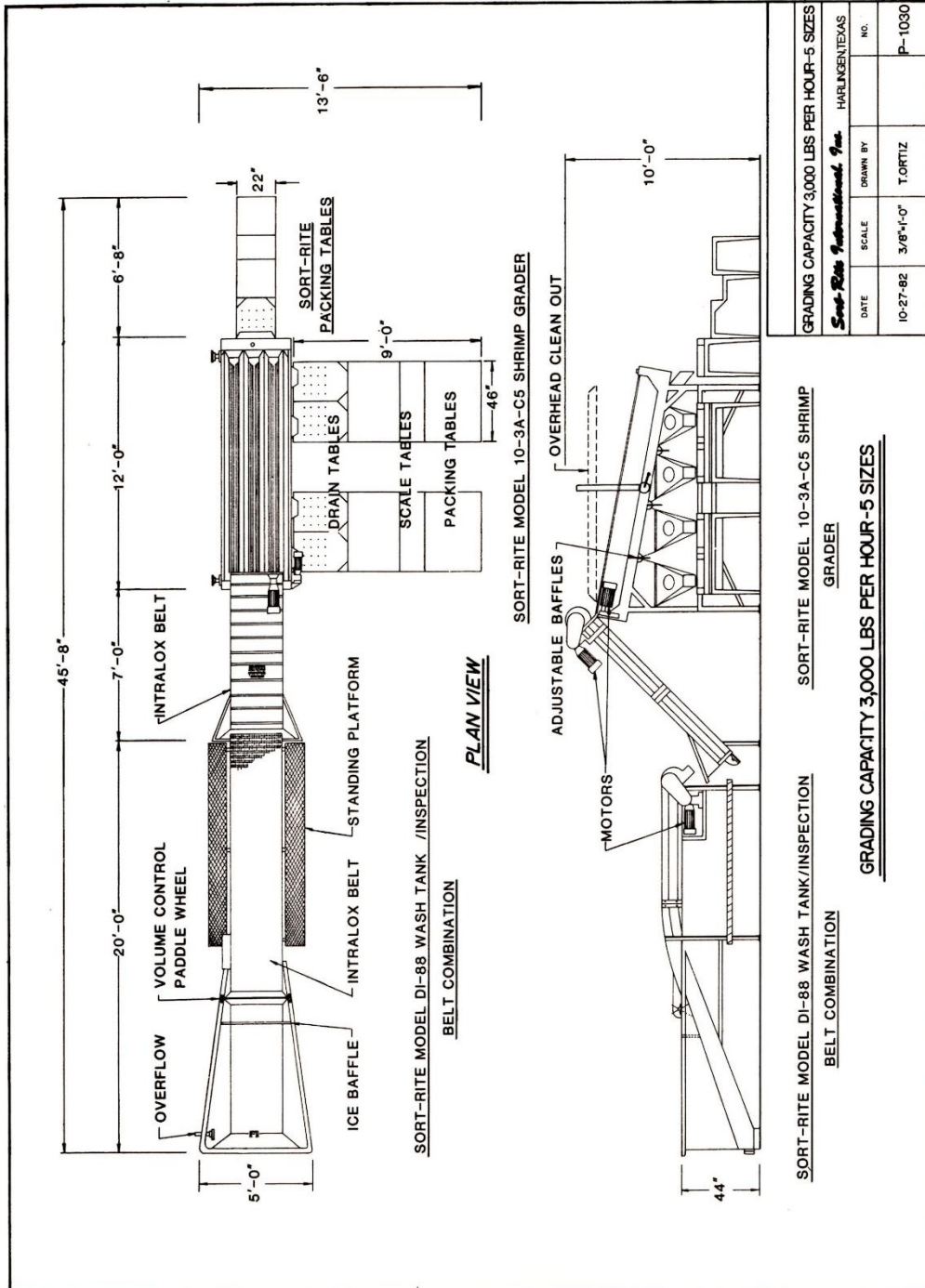
Cent.	C or F	Fahr	Cent.	C or F	Fahr	Cent.	C or F	Fahr	Cent.	C or F	Fahr
-40.0	-40	-40.0	-6.7	+20	+68.0	+26.7	+80	+176.0	+60.0	+140	+284.0
-39.4	-39	-38.2	-6.1	+21	+69.8	+27.2	+81	+177.8	+60.6	+141	+285.8
-38.9	-38	-36.4	-5.5	+22	+71.6	+27.8	+82	+179.6	+61.1	+142	+287.6
-38.3	-37	-34.6	-5.0	+23	+73.4	+28.3	+83	+181.4	+61.7	+143	+289.4
-37.8	-36	-32.8	-4.4	+24	+75.2	+28.9	+84	+183.2	+62.2	+144	+291.2
-37.2	-35	-31.0	-3.9	+25	+77.0	+29.4	+85	+185.0	+62.8	+145	+293.0
-36.7	-34	-29.2	-3.3	+26	+78.8	+30.0	+86	+186.8	+63.3	+146	+294.8
-36.1	-33	-27.4	-2.8	+27	+80.6	+30.6	+87	+188.6	+63.9	+147	+296.6
-35.6	-32	-25.6	-2.2	+28	+82.4	+31.1	+88	+190.4	+64.4	+148	+298.4
-35.0	-31	-23.8	-1.7	+29	+84.2	+31.7	+89	+192.2	+65.0	+149	+300.2
-34.4	-30	-22.0	-1.1	+30	+86.0	+32.2	+90	+194.0	+65.6	+150	+302.0
-33.9	-29	-20.2	-0.6	+31	+87.8	+32.8	+91	+195.8	+66.1	+151	+303.8
-33.3	-28	-18.4	.0	+32	+89.6	+33.3	+92	+197.6	+66.7	+152	+305.6
-32.8	-27	-16.6	+0.6	+33	+91.4	+33.9	+93	+199.4	+67.2	+153	+307.4
-32.2	-26	-14.8	+1.1	+34	+93.2	+34.4	+94	+201.2	+67.8	+154	+309.2
-31.7	-25	-13.0	+1.7	+35	+95.0	+35.0	+95	+203.0	+68.3	+155	+311.0
-31.1	-24	-11.2	+2.2	+36	+96.8	+35.6	+96	+204.8	+68.9	+156	+312.8
-30.6	-23	-9.4	+2.8	+37	+98.6	+36.1	+97	+206.6	+69.4	+157	+314.6
-30.0	-22	-7.6	+3.3	+38	+100.4	+36.7	+98	+208.4	+70.0	+158	+316.4
-29.4	-21	-5.8	+3.9	+39	+102.2	+37.2	+99	+210.2	+70.6	+159	+318.2
-28.9	-20	-4.0	+4.4	+40	+104.0	+37.8	+100	+212.0	+71.1	+160	+320.0
-28.3	-19	-2.2	+5.0	+41	+105.8	+38.3	+101	+213.8	+71.7	+161	+321.8
-27.8	-18	-0.4	+5.5	+42	+107.6	+38.9	+102	+215.6	+72.2	+162	+323.6
-27.2	-17	+1.4	+6.1	+43	+109.4	+39.4	+103	+217.4	+72.8	+163	+325.4
-26.7	-16	+3.2	+6.7	+44	+111.2	+40.0	+104	+219.2	+73.3	+164	+327.2
-26.1	-15	+5.0	+7.2	+45	+113.0	+40.6	+105	+221.0	+73.9	+165	+329.0
-25.6	-14	+6.8	+7.8	+46	+114.8	+41.1	+106	+222.8	+74.4	+166	+330.8
-25.0	-13	+8.6	+8.3	+47	+116.6	+41.7	+107	+224.6	+75.0	+167	+332.6
-24.4	-12	+10.4	+8.9	+48	+118.4	+42.2	+108	+226.4	+75.6	+168	+334.4
-23.9	-11	+12.2	+9.4	+49	+120.2	+42.8	+109	+228.2	+76.1	+169	+336.2
-23.3	-10	+14.0	+10.0	+50	+122.0	+43.3	+110	+230.0	+76.7	+170	+338.0
-22.8	-9	+15.8	+10.6	+51	+123.8	+43.9	+111	+231.8	+77.2	+171	+339.8
-22.2	-8	+17.6	+11.1	+52	+125.6	+44.4	+112	+233.6	+77.8	+172	+341.6
-21.7	-7	+19.4	+11.7	+53	+127.4	+45.0	+113	+235.4	+78.3	+173	+343.4
-21.1	-6	+21.2	+12.2	+54	+129.2	+45.6	+114	+237.2	+78.9	+174	+345.2
-20.6	-5	+23.0	+12.8	+55	+131.0	+46.1	+115	+239.0	+79.4	+175	+347.0
-20.0	-4	+24.8	+13.3	+56	+132.8	+46.7	+116	+240.8	+80.0	+176	+348.8
-19.4	-3	+26.6	+13.9	+57	+134.6	+47.2	+117	+242.6	+80.6	+177	+350.6
-18.9	-2	+28.4	+14.4	+58	+136.4	+47.8	+118	+244.4	+81.1	+178	+352.4
-18.3	-1	+30.2	+15.0	+59	+138.2	+48.3	+119	+246.2	+81.7	+179	+354.2
-17.8	0	+32.0	+15.6	+60	+140.0	+48.9	+120	+248.0	+82.2	+180	+356.0
-17.2	+1	+33.8	+16.1	+61	+141.8	+49.4	+121	+249.8	+82.8	+181	+357.8
-16.7	+2	+35.6	+16.7	+62	+143.6	+50.0	+122	+251.6	+83.3	+182	+359.6
-16.1	+3	+37.4	+17.2	+63	+145.4	+50.6	+123	+253.4	+83.9	+183	+361.4
-15.6	+4	+39.2	+17.8	+64	+147.2	+51.1	+124	+255.2	+84.4	+184	+363.2
-15.0	+5	+41.0	+18.3	+65	+149.0	+51.7	+125	+257.0	+85.0	+185	+365.0
-14.4	+6	+42.8	+18.9	+66	+150.8	+52.2	+126	+258.8	+85.6	+186	+366.8
-13.9	+7	+44.6	+19.4	+67	+152.6	+52.8	+127	+260.6	+86.1	+187	+368.6
-13.3	+8	+46.4	+20.0	+68	+154.4	+53.3	+128	+262.4	+86.7	+188	+370.4
-12.8	+9	+48.2	+20.6	+69	+156.2	+53.9	+129	+264.2	+87.2	+189	+372.2
-12.2	+10	+50.0	+21.1	+70	+158.0	+54.4	+130	+266.0	+87.8	+190	+374.0
-11.7	+11	+51.8	+21.7	+71	+159.8	+55.0	+131	+267.8	+88.3	+191	+375.8
-11.1	+12	+53.6	+22.2	+72	+161.6	+55.6	+132	+269.6	+88.9	+192	+377.6
-10.6	+13	+55.4	+22.8	+73	+163.4	+56.1	+133	+271.4	+89.4	+193	+379.4
-10.0	+14	+57.2	+23.3	+74	+165.2	+56.7	+134	+273.2	+90.0	+194	+381.2
-9.4	+15	+59.0	+23.9	+75	+167.0	+57.2	+135	+275.0	+90.6	+195	+383.0
-8.9	+16	+60.8	+24.4	+76	+168.8	+57.8	+136	+276.8	+91.1	+196	+384.8
-8.3	+17	+62.6	+25.0	+77	+170.6	+58.3	+137	+278.6	+91.7	+197	+386.6
-7.8	+18	+64.4	+25.6	+78	+172.4	+58.9	+138	+280.4	+92.2	+198	+388.4
-7.2	+19	+66.2	+26.1	+79	+174.2	+59.4	+139	+282.2	+92.8	+199	+390.2

Tomado del Manual de Fundamentos ASHRAE, 1967. Copiado con autorización.

Anexo 3. Carta Presión-Temperatura Saturación R507A.

temperature		R404A	R507	R502	R402A	R402B
°F	°C					
-40	-40.0	4.3	5.5	4.1	6.3	3.6
-35	-37.2	6.8	8.2	6.5	9.1	6.0
-30	-34.4	9.5	11.1	9.2	12.1	9.0
-25	-31.7	12.5	14.3	12.1	15.4	12.0
-20	-28.9	15.7	17.8	15.3	18.9	15.4
-15	-26.1	19.3	21.7	18.8	22.9	18.6
-10	-23.3	23.2	25.8	22.6	27.1	22.6
-5	-20.6	27.5	30.3	26.7	31.7	27.0
0	-17.8	32.1	35.2	31.1	36.7	31.0
5	-15.0	37.0	40.5	35.9	42.1	36.0
10	-12.2	42.4	46.1	41.0	48.0	42.0
15	-9.4	48.2	52.2	46.5	54.2	47.0
20	-6.7	54.5	58.8	52.4	60.9	54.0
25	-3.9	61.2	65.8	58.8	68.1	60.0
30	-1.1	68.4	73.3	65.6	75.8	67.0
35	1.7	76.1	81.3	72.8	84.0	75.0
40	4.4	84.4	89.8	80.5	92.8	83.4
45	7.2	93.2	98.9	88.7	102	91.6
50	10.0	103	109	97.4	112	100
55	12.8	113	119	107	123	110
60	15.6	123	130	116	134	120
65	18.3	135	141	127	146	133
70	21.1	147	154	138	158	143
75	23.9	159	167	149	171	155
80	26.7	173	180	161	185	170
85	29.4	187	195	174	200	183
90	32.2	202	210	187	215	198
95	35.0	218	226	201	232	213
100	37.8	234	244	216	249	230
105	40.6	252	262	232	267	247
110	43.3	270	281	248	286	262
115	46.1	289	301	265	305	283
120	48.9	310	322	283	326	303
125	51.7	331	344	301	347	323
130	54.4	353	368	321	370	345

Anexo 4. Clasificadora SORT RITE, 10-3A-C5 [12].



SORT-RITE MODEL DI-88 WASH TANK /INSPECTION
BELT COMBINATION

SORT-RITE MODEL DI-88 WASH TANK/INSPECTION
BELT COMBINATION

GRADING CAPACITY 3,000 LBS PER HOUR-5 SIZES			
<i>Sort-Rite International, Inc.</i>			
DATE	SCALE	DRAWN BY	NO.
10-27-82	3/8"=1'-0"	T.ORTIZ	P-1030
			HARLINGENTEXAS

GRADING CAPACITY 3,000 LBS PER HOUR-5 SIZES

SORT-RITE MODEL 10-3A-C5 SHRIMP
GRADER

Anexo 5. Espesores mínimos recomendados [7].

TABLA DE ESPESORES MINIMOS RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTO EN PISOS, MUROS Y TECHO							
TIPO DE CAMARA:	RANGO DE TEMPERATURA °C	CAMARA INTERIOR			CAMARA EXTERIOR		
		Suelo	Muro	Techo o Plafón	Suelo	Muro	Techo
CONSERVADOR	10 a 15	NO	2"	2"	NO	2"	2"
	4 a 10	NO	2"	2"	NO	2 1/2"	2 1/2"
CONSERVADOR A BAJA TEMPERATURA	2 a -4	2"	2 1/2"	2 1/2"	2"	3"	3"
CONGELADOR	-4 a -10	2 1/2"	3"	3"	2 1/2"	3"	4"
	-10 a -18	3"	4"	4"	3"	4"	4"
	-18 a -26	4"	4"	4"	4"	4"	5"
	-26 a -40	4"	5"	5"	4"	5"	5"
CONGELADOR DE RAFAGA	-40 a -46	5"	5"	5"	5"	6"	6"

Anexo 6. Rendimiento compresor 6DT-3000 [9].

RATING CONDITIONS 65 °F Return Gas 0 °F Subcooling 95 °F Ambient Air Over 60 Hz Operation	LOW TEMPERATURE HFCs Require Use of Polyol Ester Lubricant Approved on Form 93-11	6DT3F11ME-TSK COPELAMETIC® HFC-404A DISCUS® COMPRESSOR TSK 208/230-3-60
--	---	---

Evaporating Temperature °F (Sat Dew Pt Pressure, psig) -17.77°C

-40(4.5) -35(7.1) -30(9.9) -25(13) -20(16) -15(20) -10(24) -5(28) 0(33)

Condensing Temperature °F (Sat Dew Pt Pressure, psig)	Evaporating Temperature °F (Sat Dew Pt Pressure, psig)									
	-40(4.5)	-35(7.1)	-30(9.9)	-25(13)	-20(16)	-15(20)	-10(24)	-5(28)	0(33)	
130 (354)C	41500	53000	64500	76500	89500	103000	117000	133000	149000	
P	14700	17100	19400	21600	23800	25900	28100	30100	32200	
A	55.3	60.4	65.7	70.9	76.2	81.6	87	92.4	97.8	
M	925	1170	1420	1690	1980	2290	2630	2990	3380	
E	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4	4.2	4.4	4.6	
%	62.6	64.5	65.6	66.1	66.4	66.4	66.2	66	65.6	
120 (310)C	51000	62500	75000	88000	102000	116000	132000	150000	168000	
P	15400	17500	19500	21500	23500	25400	27300	29200	31100	
A	57	61.5	66.1	70.8	75.5	80.3	85.2	90	94.9	
M	1020	1260	1500	1770	2060	2370	2710	3070	3470	
E	3.3	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.4	
%	62.9	64.4	65.4	65.9	66.2	66.2	66.2	65.9	65.5	
110 (271)C	60500	72500	85000	99000	114000	130000	148000	167000	188000	
P	15800	17600	19400	21100	22900	24600	26300	28000	29800	
A	57.7	61.7	65.7	69.8	74	78.3	82.6	87	91.4	
M	1110	1340	1580	1840	2130	2440	2790	3160	3570	
E	3.8	4.1	4.4	4.7	5	5.3	5.6	6	6.3	
%	63.6	64.8	65.6	66.1	66.3	66.4	66.3	66.1	65.6	
105 (252)C	65000	77000	90500	105000	120000	137000	156000	176000	198000	
P	15800	17500	19200	20900	22500	24100	25800	27400	29000	
A	57.8	61.5	65.2	69.1	73.1	77.1	81.2	85.3	89.6	
M	1150	1370	1610	1880	2170	2480	2830	3210	3620	
E	4.1	4.4	4.7	5	5.3	5.7	6.1	6.4	6.8	
%	64	65.1	65.8	66.3	66.5	66.6	66.5	66.2	65.7	
100 (235)C	69500	81500	95500	110000	126000	144000	164000	185000	208000	
P	15800	17400	18900	20500	22100	23600	25100	26700	28300	
A	57.7	61.1	64.7	68.3	72	75.8	79.7	83.6	87.6	
M	1180	1410	1650	1910	2200	2520	2860	3250	3670	
E	4.4	4.7	5	5.4	5.7	6.1	6.5	6.9	7.4	
%	64.3	65.3	66	66.4	66.6	66.7	66.5	66.2	65.6	
80 (174)C	85000	98500	114000	131000	150000	171000	194000	220000	248000	
P	15100	16300	17600	18800	20000	21200	22500	23800	25200	
A	56.5	59	61.6	64.4	67.2	70.2	73.3	76.5	79.7	
M	1290	1500	1740	2010	2310	2640	3000	3410	3850	
E	5.6	6	6.5	7	7.5	8.1	8.6	9.2	9.9	
%	64.6	65.3	65.9	66.3	66.4	66.3	65.9	65.2	64.2	
70 (148)C	91000	105000	122000	140000	161000	183000	209000	237000	268000	
P	14700	15700	16700	17800	18900	20000	21200	22400	23700	
A	55.8	57.9	60.1	62.5	65	67.6	70.4	73.2	76.2	
M	1310	1530	1770	2040	2340	2680	3050	3470	3930	
E	6.2	6.7	7.3	7.9	8.5	9.2	9.9	10.6	11.3	
%	63.4	64.2	64.8	65.1	65.2	65	64.4	63.4	62	
50 (104)C	98500	114000	133000	154000	178000	205000	234000	267000	303000	
P	13700	14400	15200	16100	17000	17900	18900	20000	21200	
A	55.3	56.7	58.3	60	62	64	66.2	68.6	71.1	
M	1290	1510	1750	2030	2350	2710	3110	3560	4050	
E	7.2	7.9	8.7	9.6	10.5	11.4	12.4	13.4	14.3	
%	56.5	57.5	58.3	58.7	58.7	58.1	57	55.2	52.9	
40 (86)C	99000	116000	136000	158000	184000	213000	245000	280000	319000	
P	13300	14000	14700	15400	16300	17100	18100	19200	20300	
A	56	57.1	58.4	59.9	61.6	63.5	65.5	67.7	70	
M	1240	1460	1710	1990	2320	2690	3110	3570	4090	
E	7.4	8.3	9.2	10.3	11.3	12.4	13.5	14.6	15.7	
%	50.2	51.5	52.4	52.9	52.7	51.9	50.4	48.2	45.2	

Nominal Performance Values (±5%) based on 72 hours run-in. Subject to change without notice. Current @ 230 V
C:Capacity(Btu/hr), P:Power(Watts), A:Current(Amps), M:Mass Flow(lbs/hr), E:EER(Btu/Watt-hr), %:Isentropic Efficiency(%)

Anexo 7. Capacidad válvulas SPORLAN [11].

CAPACIDADES DE VALVULAS DE
EXPANSION TERMOSTATICA
tons

402A & 507

APLICACIONES DE REFRIGERACION COMERCIAL Y BAJA TEMPERATURA

VALVULA TIPO	CAPACIDAD NOMINAL (tons)	REFRIGERANTE											
		402A						507					
		CARGA TERMOSTATICA RECOMENDADA											
		LC, LCP115			LZ, LZP			PC, PC115			PZ, PZP		
		TEMPERATURA DE EVAPORADOR (°C)											
		5°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	5°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°
NI-F-EF-G-EG	1/8	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.11	0.14	0.14	0.14	0.15	0.13	0.10
F-EF-G-EG	1/6	0.22	0.22	0.23	0.24	0.21	0.17	0.22	0.21	0.22	0.23	0.21	0.16
NI-F-EF-G-EG	1/4	0.28	0.28	0.29	0.30	0.27	0.21	0.28	0.27	0.29	0.30	0.26	0.21
NI-F-EF-G-EG	1/2	0.53	0.52	0.56	0.58	0.51	0.41	0.53	0.51	0.55	0.56	0.50	0.40
NI-F-EF-G-EG	1	0.98	0.96	1.04	1.08	0.96	0.76	0.96	0.95	1.02	1.05	0.93	0.74
F-EF-G-EG	1-1/2	1.47	1.43	1.47	1.44	1.28	1.01	1.44	1.40	1.44	1.40	1.25	0.98
F&EF(Ext)-G&EG(Ext)-C(Int)-S	2	1.96	1.90	1.96	1.91	1.71	1.35	1.93	1.87	1.92	1.86	1.66	1.31
F&EF(Ext)-C-S	3	2.74	2.67	2.73	2.52	2.13	1.69	2.70	2.62	2.67	2.46	2.08	1.64
C-S	4	3.91	3.81	3.90	3.57	2.99	2.37	3.85	3.74	3.81	3.49	2.91	2.30
C&S(Ext)	6	5.41	4.96	4.65	4.42	3.88	2.87	5.33	4.88	4.55	4.32	3.77	2.79
S(Ext)	7	6.89	6.32	5.91	5.63	4.94	3.66	6.78	6.21	5.79	5.49	4.81	3.55
S(Ext)	10	9.88	9.14	8.86	8.83	8.29	6.83	9.73	8.98	8.67	8.62	8.06	6.63
H	1-1/2	1.47	1.38	1.38	1.44	1.26	0.96	1.45	1.35	1.35	1.40	1.23	0.93
H	3	2.75	2.57	2.49	2.40	2.10	1.60	2.71	2.52	2.44	2.34	2.05	1.55
H	4	3.93	3.67	3.51	3.29	2.94	2.24	3.87	3.61	3.43	3.22	2.86	2.17
H	6-1/2	6.38	5.96	5.70	5.26	4.57	3.48	6.29	5.86	5.58	5.13	4.45	3.38
H	9	9.33	8.72	8.33	7.03	5.25	3.99	9.19	8.56	8.15	6.86	5.11	3.88
H	12	12.8	11.9	11.4	10.2	8.41	6.39	12.6	11.7	11.2	9.93	8.19	6.21
M	15	15.4	15.1	15.2	13.5	12.5	9.65	15.2	14.8	14.8	13.2	12.2	9.36
M	20	20.1	19.7	19.6	17.0	15.7	12.1	19.8	19.3	19.2	16.5	15.3	11.7
M	25	25.1	24.6	24.4	20.7	18.4	14.2	24.7	24.1	23.9	20.2	17.9	13.8
M	30	30.3	29.6	29.5	24.5	21.3	16.4	29.8	29.1	28.9	23.9	20.8	15.9
VALVULAS DE EXPANSION TERMOSTATICA DE ORIFICIO BALANCEADO													
BF-EBF-SBF-BQ	AAA	0.22	0.22	0.23	0.24	0.21	0.17	0.22	0.21	0.22	0.23	0.21	0.16
BF-EBF-SBF-BQ	AA	0.44	0.43	0.46	0.46	0.39	0.31	0.43	0.42	0.45	0.45	0.38	0.30
BF-EBF-SBF-BQ	A	0.98	0.96	1.04	1.08	0.96	0.76	0.96	0.95	1.02	1.05	0.93	0.74
BF-EBF-SBF-BQ	B	1.81	1.76	1.80	1.66	1.39	1.10	1.78	1.73	1.76	1.62	1.36	1.07
BF-EBF-SBF-BQ	C	2.74	2.67	2.73	2.52	2.13	1.69	2.70	2.62	2.67	2.46	2.08	1.64
EBS	6	5.49	5.20	5.10	4.50	3.36	2.86	5.41	5.11	4.99	4.39	3.27	2.78
EBS	7-1/2	7.45	7.06	6.92	5.97	4.28	3.65	7.34	6.94	6.77	5.83	4.16	3.54
EBS	10	9.17	8.78	8.54	7.16	5.65	4.48	9.03	8.63	8.35	6.99	5.50	4.35
EBS	13	13.1	12.6	12.3	10.1	8.07	5.94	12.9	12.4	12.0	9.86	7.86	5.77
O	9	9.33	8.72	8.27	6.91	5.39	4.28	9.19	8.56	8.09	6.74	5.25	4.15
O	12	12.8	11.9	11.3	10.0	8.59	6.82	12.6	11.7	11.1	9.75	8.36	6.62
O	21	20.6	19.3	17.8	13.5	10.3	8.17	20.3	18.9	17.4	13.2	10.0	7.93

Anexo 8. Lay Out refrigeración Empacadora Calvi Cía. Ltda.

