



1
621.567
BAS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**"IMPLANTACIÓN DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON
EQUIPOS TIPO RACK EN SUPERMERCADO"**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:



CIB-ESPOL

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

HERNAN OSWALDO BASTIDAS FIERRO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2004



CIB-ESPOL

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro creador, a mi esposa Martha por su apoyo e incondicionalidad, al Ing. Ignacio Wiesner por guiarme y motivarme a concluir este trabajo.



CIB-ESPOL

DEDICATORIA



CIB-ESPOL

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Jorge Duque R.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL



CIB-ESPOL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Hernan Bastidas Fierro



CIB-ESPOL

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolla ante la necesidad de crear un supermercado con mucha diversidad de productos y que deben mantenerse a distintas temperaturas, unos deben estar de 2° a 5° C. , otros productos deben ser congelados en cierto tiempo y mantenerse de -14° a -20° C. , y además es necesario proveer acondicionamiento de aire en las áreas de trabajo y venta de productos.

Encontrando soluciones individuales para cada requerimiento, esto es, instalar un equipo de refrigeración para cada uso, y para cada tipo de producto, generaba un costo considerable de consumo de energía eléctrica y lo que también representaba pérdida de espacio con los equipos que deberían instalarse. En base a esto se planteó la utilización de un solo equipo que tiene diversidad de usos tanto en baja, media y alta temperatura.

El equipo considerado es un conjunto de compresores en paralelo controlados por un cerebro electrónico que por medio de un acumulador reparte refrigerante a los distintos evaporadores distribuidos en todo el supermercado a distintas temperaturas que es lo esperado.

La tesis a desarrollar consta de tres capítulos:

En el capítulo I se describe el supermercado y se detalla las necesidades de vitrinas refrigeradas con las respectivas temperaturas según sea el producto, los cuartos o cámaras de refrigeración para mantenimiento y almacenaje de producto, y las áreas de proceso y ventas de producto; estableciendo los requerimientos de equipos para cada tipo de producto y uso.

En el capítulo II se analizan las alternativas de los equipos existentes en el mercado para encontrar una solución y se selecciona el equipo tipo RACK de compresores en paralelo y se detalla el equipamiento, la instalación y puesta en marcha del equipo, realizando las pruebas y evaluaciones.

En el capítulo III se realiza la evaluación general del equipo escogido comparándolo con la otra opción de varios equipos para cada requerimiento en relación al producto, al ahorro de energía eléctrica y la eficiencia.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones



CIB-ESPOL

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO 1

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Supermercado.....	3
1.2 Carga de refrigeración para áreas de mantenimiento y conservación de los productos.....	5
1.3 Requerimientos de acondicionamiento de aire.....	7
1.4 Carga total del sistema y espacio físico disponible	8

CAPITULO 2

2. IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

2.1 Análisis de los equipos existentes en el mercado	12
--	----

2.2 Selección de equipos tipo Rack.....	17
2.3 Montaje de compresores y sistema de control.....	22
2.4 Pruebas calibración y puesta en marcha del equipo.....	31

CAPITULO 3

3. EVALUACION DE LOS EQUIPO INSTALADOS

3.1 Índice de costos de los productos refrigerados.....	35
3.2 Índice de costos con relación al consumo eléctrico.....	36
3.3 Establecimiento de la eficiencia energética.....	39

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	44
4.2 Recomendaciones.....	45

APENDICES

BIBLIOGRAFIA



ABREVIATURAS

Amp.	Amperios
Btu	Boiling temperature units (cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua, un grado Fahrenheit a 59 ° F.
° C	grados centígrados
H.P.	horse power
Kg	Kilogramos
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
lb	libras
m	metros
m ³	metros cúbicos

INDICE DE FIGURAS

	Pág	
Figura 2.1	Vitrina con Unidad Condensadora Individual.....	12
Figura 2.2	Evaporador de Equipo de Refrigeración.....	14
Figura 2.3	Condensador de Equipo de Refrigeración.....	14
Figura 2.4	Acondicionador de aire tipo paquete.....	15
Figura 2.5	Equipo de Refrigeración tipo RACK.....	16
Figura 2.6	Compresor de RACK.....	18
Figura 2.7	Transductor de RACK.....	21
Figura 2.8	Panel electrónico de RACK.....	21
Figura 2.9	Vitrinas de venta de carne.....	23
Figura 2.10	Vitrinas de embutidos.....	23
Figura 2.11	Vitrinas de pollo y chancho.....	24
Figura 2.12	Vitrinas Self Service.....	24
Figura 2.13	Isla de productos congelados.....	25
Figura 2.14	Evaporador de refrigeración.....	26
Figura 2.15	Evaporadores de congelación.....	27
Figura 2.16	Evaporadores de acondicionamiento de aire.....	28
Figura 2.17	Equipo de refrigeración tipo RACK.....	29
Figura 2.18	Condensador del RACK.....	30
Figura 2.19	Panel de control.....	30
Figura 2.20	Válvulas de succión RACK.....	31
Figura 2.21	Tuberías RACK.....	32
Figura 2.22	Puente de deshielo por gas caliente.....	34



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Carga total del Sistema.....	11
Tabla 2 Equipos estándar para el mismo supermercado.....	36
Tabla 3 Consumo en amperios de evaporadores de equipo tipo RACK	38
Tabla 4 Consumo eléctrico de RACK.....	38
Tabla 5 Consumo eléctrico de equipos convencionales y tipo RACK...	39

INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolla ante la necesidad de instalar equipos de refrigeración en un supermercado con mucha diversidad de productos refrigerados a diferentes temperaturas, con una diversidad de secciones para cada tipo de producto refrigerado con secciones adicionales denominadas "SELF SERVICE" de productos congelados y productos refrigerados, otras secciones de almacenamiento de producto tanto refrigerado como producto congelado y por última una sección de acondicionamiento de aire de un área de trabajo donde se faena y empaqueta diferentes productos.

Para este tipo de supermercados existen equipos de refrigeración que se podrían utilizar como son: equipos individuales para cada sección requerida, éstos equipos poseen una vitrina de exhibición en donde se localiza el evaporador y por medio de tuberías de cobre se unen a la unidad condensadora en donde se localiza el compresor con su condensador y varios componentes de la unidad, pero revisando la carga de refrigeración necesaria para todo el supermercado se iba a utilizar 11 vitrinas de 2.2 m³ de capacidad con unidades condensadoras de 1/2 H.P. para exhibición de producto para mantenerse en un rango de temperatura entre 2° a 5° C.

Además se necesitan 4 vitrinas de 2.4 m³ de capacidad con unidades condensadoras de 3/4 H.P. para exhibición de producto para mantenerse en un rango de temperatura entre -14° a -20° C. Otro equipo de refrigeración de 7.5 H.P. para almacenamiento de producto refrigerado para mantenerse el producto en un rango de temperatura de 2° a 5° C. Un equipo de refrigeración adicional para

congelar el producto en un rango de temperatura de -14° a -20° C. de 10 H.P. Y por último una central para acondicionamiento de aire de una sección de trabajo de 48.000 Btu. o su equivalencia de 4 H.P. de potencia.

Como se puede apreciar es una cantidad bastante grande de equipos que van a ocupar mucho espacio físico y el consumo de energía eléctrica va a ser de 272.5 amperios con una potencia de 40.75 H.P. este consumo se definirá mas adelante.

Para solucionar este problema se propuso y se decidió utilizar un equipo de refrigeración tipo RACK que posee una computadora que controla a un grupo de compresores de refrigeración en paralelo con un condensador que abastecen a 10 vitrinas de exposición de producto mucho mas grandes con diferentes rangos de temperaturas para cada necesidad, además controla a varios evaporadores para los cuartos de refrigeración, mantenimiento de producto y de acondicionamiento de aire obteniendo un 20% de ahorro de energía eléctrica, mayor confiabilidad en la refrigeración del producto, reducción de espacio físico para equipos, mayor control en el manejo de equipos, reducción de costos en mantenimiento por ende ahorro en producto dañado.

CAPÍTULO 1

1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Supermercado

El supermercado objeto de este proyecto está ubicado en la ciudad de Guayaquil y es el Supermercado de carnes la Española, como su nombre lo indica se dedica a la venta de diferentes clases de carnes, embutidos, productos congelados, valor agregado y productos de consumo inmediato.

Para la conservación de los productos de venta se necesitan diferentes ambientes, como es el caso de los productos congelados que deben estar de -14° C a -20° C. Y el caso de productos frescos que deben estar en un rango de temperatura de 2° a 5° C.

Para una mejor atención, selección y conservación de las carnes se han distribuido los productos por su clase y necesidad de refrigeración en diferentes secciones.

Todas las secciones de ventas están separadas teniendo una primera sección grande de carnes, donde se exponen todos los cortes posibles de carne de vaca y sus variedades, una segunda sección es para la venta de pollo y chanco en donde se venden alitas, pechuga, piernas, patas etc. con respecto al pollo y chuletas, cuero, piernas, etc. con respecto al chanco.

Una tercera sección grande adicional es para todo tipo de embutidos, donde además de la variedad de embutidos fabricados en planta, se pueden ver productos importados.

La cuarta sección comprenden los productos congelados tal es el caso de pavo, pollo, pescado, teniendo una gran cantidad de productos denominados de valor agregado como es el caso de pizzas congeladas, muchines, pan de yuca, tortas, etc.

La quinta sección es la denominada SELF SERVICE en donde se puede ver productos lácteos, jugos, pollos descongelados, hueso, etc. Luego tenemos la sexta sección de trabajo denominada desposte, donde debe estar climatizada para que la temperatura tenga un rango de 18° y 22°C.



En la séptima sección es la de almacenamiento de productos refrigerados donde el rango de temperatura va de 2° a 5°C y la última sección de almacenamiento de productos congelados cuyo rango de temperatura debe estar entre -14° a -20°C .

Una última sección pequeña es la denominada productos varios donde encontramos, ensaladas, quesos, aliños, etc.

1.2 Carga de refrigeración para áreas de mantenimiento y conservación de los productos

Para este tipo de supermercado se han definido dos diferentes rangos de temperatura para conservación de productos que va de 2° a 5° C. y los de congelación que están entre -14° a -20°C y tenemos varias áreas:

La primera área es la de venta al público en donde se coloca estos productos en vitrinas de exposición donde el rango de mantenimiento de producto oscila entre 2° a 5°C; para este rango tenemos varias secciones diferentes:

- La primera sección es de carnes de res para atención al público, en ésta se exponen distintos cortes de carne entre los principales



se tienen pajarilla, salón, lomo fino, carne molida, carne fileteada, hígado, riñón, patas, tripaje, etc.

- Luego hay otra sección correspondientes al pollo y chanco, al igual que la sección anterior se muestra gran variedad de cortes tanto para el pollo como para el chanco y sus variedades como son el cuero, chuleta, alitas, pechuga, etc.
- La siguiente sección está destinada a los embutidos en donde la variedad de ellos es grande tanto en los fabricados en planta como los importados.
- Otra sección es destinada al denominado "self service " donde hay productos como son: los lácteos, refrescos, embutidos, hueso de res, etc. para atención directa del público.

Adicionales a éstas secciones está el cuartó o cámara de almacenamiento de producto para refrigeración que también utiliza el mismo rango de temperaturas y aproximadamente se almacenará unos 8000 Kg de producto, y cuyas dimensiones son de 8 metros de largo con 8 metros de ancho y 4 metros de altura que también está aislado isotérmicamente.

Para el otro rango de temperaturas que es la de congelación del producto tenemos unas vitrinas tipo isla que deben cubrir un volumen de 14,8 m³ y aproximadamente unos 240 Kg. de producto.

La última sección es el cuarto o cámara de congelación donde se almacenan los mariscos, pescados, la carne que llega del camal, pollo, chivo, cordero, chanco, y los productos importados como son el pavo, hígado, avestruz, etc. que necesitan estar bajo esta temperatura, esperando almacenar unos 8000 Kg. de producto, siendo un cuarto térmicamente aislado de dimensiones 8 metros de largo, 8 metros de ancho y 4m de altura.

1.3 Requerimientos de acondicionamiento de aire

Este rango de temperaturas debe estar entre 18° y 22° C que es utilizado para el acondicionamiento de aire de la sección de trabajo que tiene 12 metros de longitud con 4 metros de ancho y 2,4 metros de altura, donde se faena la carne de vaca, cerdo y pollo es una sección denominada desposte, donde además se empaqueta el producto.

Se esperaba climatizar el área total del supermercado con un mismo sistema, pero antes de realizar la selección el dueño del supermercado ya había adquirido 6 centrales tipo paquete de 60.000

Btu. Cada una para éste fin, quedando fuera del calculo de carga este rubro.

1.4 Carga total del sistema y espacio físico disponible

En el supermercado objeto de este estudio vamos a utilizar un área de almacenamiento de producto en refrigeración de 256 m^3 en un cuarto aislado térmicamente con planchas de poliuretano de 10 cm. de espesor, de densidad 45 Kg/cm^2 en el cual se calcula poder almacenar unos 8000 Kg. de productos varios a mantenerse entre 2 a 5° C .

Que con ayuda de un programa de la HEATCRAFT refrigeration products requeríamos un equipo de 7.5 H.P. porque se toma algunas variables adicionales como es la temperatura de entrada del producto, y el tiempo en el cual se necesita que el producto llegue a ésta temperatura, el transito del producto, la cantidad de obreros que trabajan en esa área, el tipo de aislamiento del cuarto, etc. muchas variables juntas que hacen bastante laborioso el cálculo, y que con ayuda de éste programa se reduce a muy poco tiempo.

Una segunda área de almacenamiento es la del producto congelado para la cual tenemos 256 m³ aislado térmicamente como en el caso anterior con planchas de 10 cm de espesor de poliuretano de densidad 45 Kg/cm² calculando almacenar hasta 8000 kg de productos a mantenerse entre -14° C hasta -20° C. Encontrando la solución en un equipo de 10 H.P. apoyados en el mismo programa.

La tercera área de exhibición de producto y venta al público son vitrinas aisladas cerradas con un área aproximada de 22 m³ para exponer aproximadamente 1440 kg de productos varios a un rango de temperatura de 2° a 5° C. Resultando por las dimensiones de vitrinas individuales existentes en el mercado un total de 10 vitrinas de 2.2 m³ con condensadores de 1/2 H.P. cada una.

La cuarta área es de exhibición de producto son unas vitrinas abiertas de producto congelado con un área de 7.4 m³ para exponer aproximadamente 960 Kg de producto a una temperatura entre -14° C y -20° C. Resultando 4 vitrinas individuales con unidades condensadoras de 3/4 H.P. cada una.

La quinta área es de exhibición de productos lácteos y varios en vitrinas verticales abiertas con un área de 6 m³ para exponer

aproximadamente 480 Kg de producto a una temperatura entre 2° C y 5 °C. Obteniendo la alternativa de 3 vitrinas de 3/4 H.P.

La última área a considerar es la sala de proceso en la cual se tienen 115,2 m³ donde se acondicionará la temperatura en un rango de 18° a 22° C. Resultando como solución un equipo de 48.000 Btu puede ser unidad paquete o tipo Split de ductos o decorativo.

A continuación se detalla un cuadro de la carga total de refrigeración requerida por todo el sistema en estudio.



TABLA 1

CARGA TOTAL DEL SISTEMA				
Sección	Volumen m³	Producto Kg	Temperatura ° C	Equipo H.P.
Almacén de refrigeración	256	8000	2° a 5°	7.5
Almacén de congelación	256	8000	-14° a -20°	10
6 Vitrinas ventas	22	1440	2° a 5°	5
2 Vitrinas congelación	7.4	960	-14° a -20°	4.5
2 Self Service	6	480	2° a 5°	2.25
Cuarto Proceso	115.2	2000	18° a 22°	4

CAPÍTULO 2

2. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCION

2.1 Instalación de sistema tipo de paquete

Para las vitrinas de exhibición de producto existen una cantidad y variedad bastante extensa para baja, media y alta temperatura, eso depende realmente del cliente y la necesidad del producto a exponer.



FIGURA 2.1 VITRINA CON UNIDAD CONDENSADORA INDIVIDUAL

Todas estas vitrinas tienen evaporadores muy parecidos y pueden ser manejadas con condensadores individuales para cada vitrina, teniendo un control de temperatura llamado termostato que da el rango de encendido y apagado del compresor manteniendo un rango preseleccionado de temperatura, teniendo la alternativa de controlar esto con presostatos de baja que para cierta presión de succión se obtiene una temperatura equivalente y se puede regular que para esas presiones apague y prenda el equipo sin necesidad de un termostato.

Siendo un circuito de refrigeración básico y aunque para trabajar a distintas temperaturas según sea la necesidad se requiere un equipo diferente en cada caso.

Para cuartos de refrigeración y congelación existen equipos de un condensador con un compresor que maneja uno o varios evaporadores pero todos trabajan a la misma temperatura.

En la figura(2.2 - 2.3) podemos observar un condensador y un evaporador de éste tipo de equipos.

Estos equipos poseen accesorios o controles mas avanzados ya que hay que controlar tiempos de deshielo, termostatos de temperatura, presostatos de baja y alta presión, presostatos de aceite, válvula

solenoide que abre o cierra el flujo de refrigerante con la señal del termostato, pastillas de deshielo, resistencias de deshielo, etc



FIGURA 2.2 EVAPORADOR DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN



FIGURA 2.3 CONDENSADOR DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Para equipos de acondicionamiento de aire tenemos centrales tipo paquete, Split de ductos y Split decorativos que son individuales para cada sección que requiera ser acondicionada.

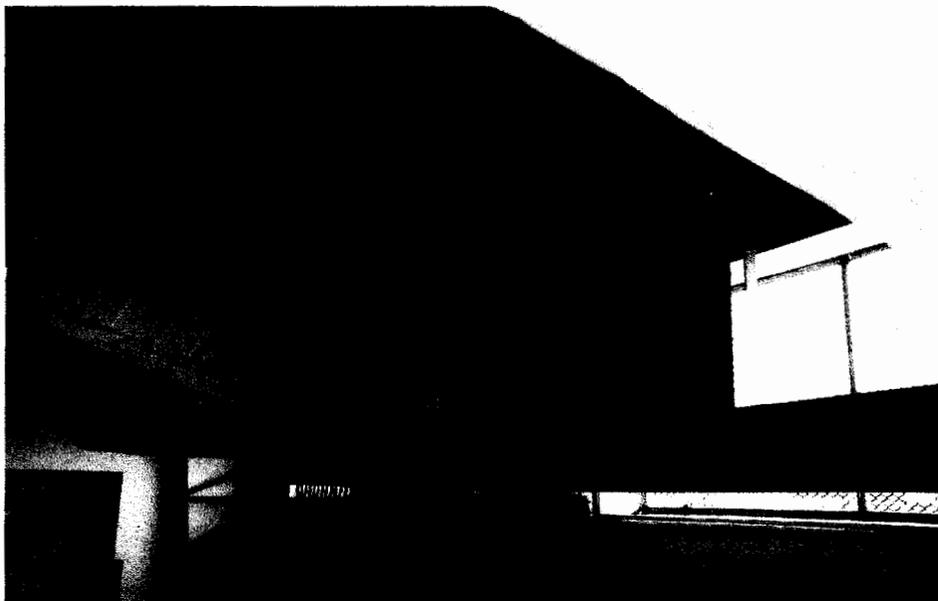


FIGURA 2.4 ACONDICIONADOR DE AIRE TIPO PAQUETE

En este tipo de equipo se encuentra el evaporador, y el condensador con un solo compresor en una sola carcasa y se conectan los ductos de mando y retorno que distribuyen el aire refrigerado en distintas secciones y por el ducto de retorno aspira el aire y lo hace recircular pasándolo por el evaporador volviéndolo a enfriar y es controlado con un termostato que es el encargado de censar la temperatura dando un rango de encendido y apagado del aparato obteniendo el confort requerido en un área específica.

Y por último se presenta la opción de equipos tipo RACK con compresores en paralelo que puede reemplazar a todos los equipos antes mencionados ya que tiene la particularidad de trabajar en todo tipo de temperatura, manejar varios evaporadores a la vez.



FIGURA 2.5 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO RACK

Posee una computadora que maneja y controla todos los evaporadores, dándoles un rango preestablecido, controlando el encendido de los diferentes compresores según el requerimiento de refrigerante tenga el sistema, da tiempos de deshielo a los evaporadores de refrigeración, y deshielo por gas caliente a los evaporadores de congelación y a los evaporadores de

acondicionamiento de aire les da rangos de encendido y apagado según sea el rango de temperatura determinada para cada sección.

Tiene todo tipo de dispositivos de seguridad, tanto eléctricas para protección de compresores, motores ventiladores, válvulas, etc. como electrónicas para válvulas, sensores de presión y temperatura, fugas de refrigerante, mal funcionamiento de accesorios, etc.

Posee un solo condensador de alta eficiencia que según sea el requerimiento hace funcionar uno o varios ventiladores a la vez manteniendo un rango de temperatura y presión del refrigerante en el lado de alta presión y temperatura del sistema.

Tiene una extensa variedad de usos, tales como:

Vitrinas de exhibición de productos frescos, congelados, cuartos de refrigeración, cuartos de congelamiento, cuartos de proceso, climatización de ambientes, máquinas de hielo, enfriadores de agua o chillers, etc.

2.2 Selección de equipos tipo RACK

Para el supermercado objeto de nuestro proyecto se ha escogido este tipo de equipos por su versatilidad en manejar muchos evaporadores a la vez con gran eficiencia y a diferentes temperaturas, ahorro de energía eléctrica, ahorro de espacio destinado para equipos, bajo

costo en mantenimiento de equipos, detección de fallas en cualquier sección, siendo así el equipo idóneo para el supermercado.

A continuación se detalla el funcionamiento del equipo.

Posee un bastidor principal en donde están colocados los cuatro compresores que según los cálculos realizados por el fabricante necesitábamos dos compresores de baja temperatura de 6.5 H.P. cada uno y dos de media temperatura uno que es el de base de 5 H.P. y uno de 10 H.P. completando un total de 28 H.P. de capacidad del sistema.

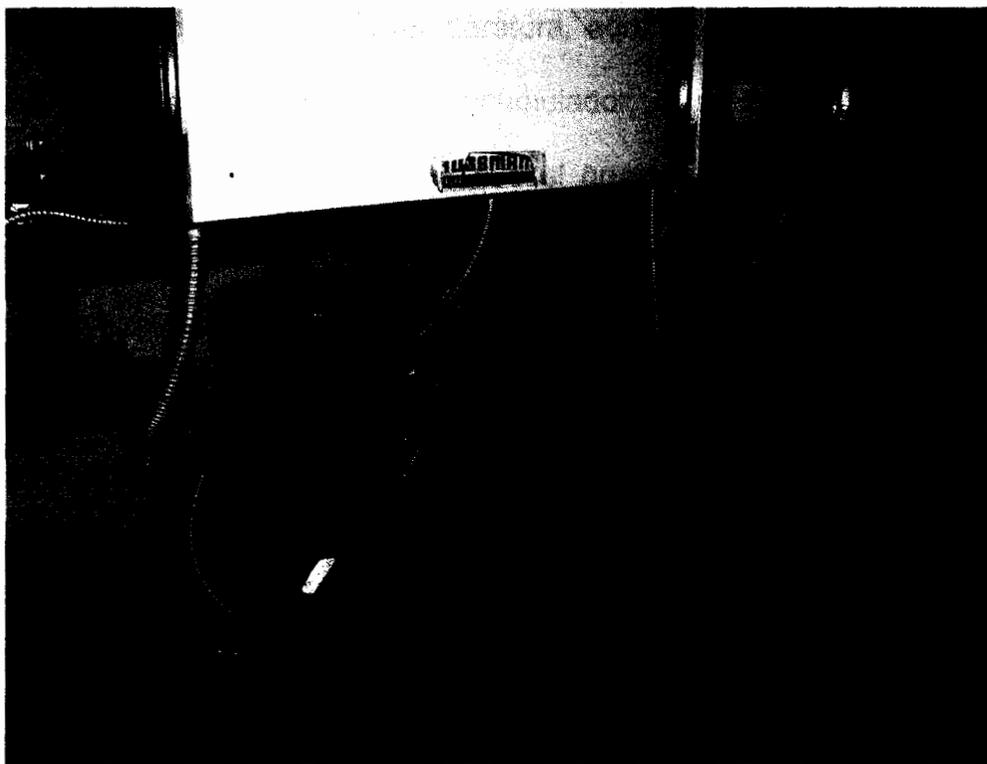


FIGURA 2.6 COMPRESORES DE RACK

Todos estos bombean refrigerante a alta presión y alta temperatura enviándolo hacia el condensador por medio de un acumulador común de refrigerante, retorna el refrigerante después de ser condensado a un acumulador de líquido del cual se reparte por diferentes líneas de tubería hacia todos los diferentes evaporadores para nuestro caso se utilizan 6 ramales diferentes, en donde pasan por las válvulas de expansión en la entrada de cada evaporador donde el refrigerante es evaporado y retorna a los acumuladores por cada tubería de retorno pasando por válvulas de succión reguladoras con cierre automático que es donde existe el control de temperatura de cada sección, en nuestro caso son dos acumuladores el primero es de baja temperatura y el segundo es de media temperatura, aquí es donde se divisa una diferencia de presión en cada acumulador, el de baja temperatura, también es de baja presión ya que el grupo de compresores están diseñados para trabajar a esta presión, obteniendo bajas temperaturas en los evaporadores de congelación de producto, y el acumulador de alta temperatura es para los otros dos compresores donde la temperatura es mas alta ya que sirven para refrigeración del producto y para el acondicionamiento de aire.

Cada válvula de succión es regulada para permitir el paso de refrigerante hasta cierta presión, esto es, a la equivalencia de temperatura requerida en cada sección.

Todo el funcionamiento del equipo esta controlado por una computadora que abre o cierra válvulas, prende o apaga compresores según lo requiera el sistema, da tiempos de deshielo para cada sección y en el caso de los equipos de baja temperatura da tiempos de deshielo por gas caliente.

El deshielo por gas caliente se realiza por medio de una válvula solenoide que abre el paso de la sección de refrigerante que sube al condensador y choca con la sección de refrigerante que va a los evaporadores, como en esta segunda sección existe una perdida de presión por el recorrido que realiza en el condensador obteniendo un diferencial de 10 libras de presión lo cual al pasar por el evaporador este se descongela que es el efecto esperado si se realizara el deshielo por resistencias eléctricas, siendo mas eficiente y con un tiempo realmente mas corto que si fuese deshielo eléctrico.

La computadora tiene sensores de presión y temperatura tipo transductores como los que se ve en la figura anterior, los cuales reciben las señales mecánicas y envían señales eléctricas interpretándolas haciendo posible el control total del equipo, existiendo además seguridades con respecto a motores compresores, motores eléctricos, válvulas solenoides, sensores, presostatos, etc



FIGURA 2.7 TRANSDUCTOR DE RACK



CIB-ESPOL

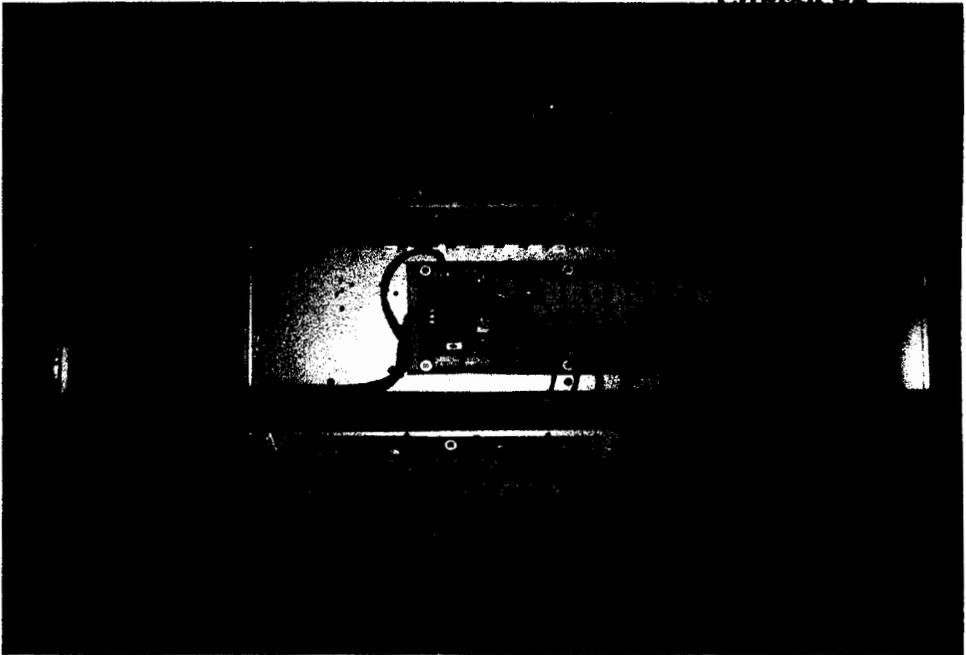


FIGURA 2.8 PANEL ELECTRONICO DE RACK



CIB-ESPOL

Unos controles adicionales del computador ponen a éste en conexión de Internet con el cliente que puede ser capaz de tener un control del equipo haciendo correcciones por este medio, cambios de temperatura, en las diferentes secciones, o informar de daños ocurridos en el equipo, posibles fugas de refrigerante, o simplemente un reporte temporal de su funcionamiento.

2.3 Montaje de compresores y sistema de control

Primeramente, para cada sección, se escogió un tipo de evaporador diferente como en el caso de las vitrinas de refrigeración para la sección de carnes mostrado en la figura que en realidad son dos vitrinas juntas de 3.6 metros de longitud cada una formando una vitrina larga de 7.2 metros de longitud, para la sección de pollos y cerdo así como para los embutidos del tipo mostrado en las figuras (2.9 -2.10 - 2.11) que son del mismo tipo porque su temperatura es igual.

En la figura 2.12 se observará la sección denominada "self service" que es para que el público escoja personalmente el producto se muestra en las siguientes figuras todas estas secciones son de refrigeración del producto con temperaturas que van de 2° a 5° C.



FIGURA 2.9 VITRINAS DE VENTAS DE CARNES



ESPOL



FIGURA 2.10 VITRINAS DE EMBUTIDOS



CIB-ESPOL



FIGURA 2.11 VITRINAS DE POLLOS Y CHANCHO



FIGURA 2.12 VITRINAS SELF SERVICE

Luego se tiene la sección de productos congelados para el cual se instaló una isla doble en el centro del supermercado en donde el producto se encuentra entre -14° a -20° C. Y se puede ver en las figuras siguientes:

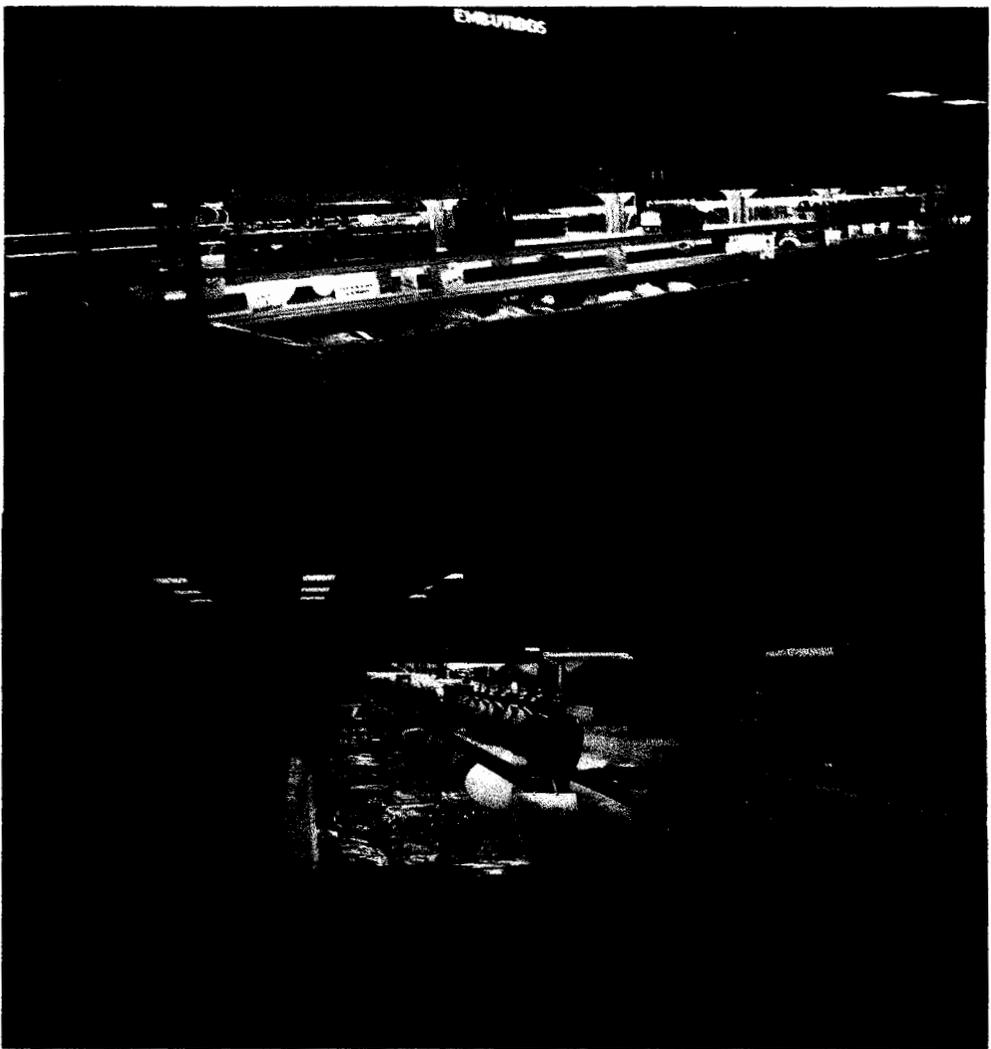


FIGURA 2.13 ISLA DE PRODUCTOS CONGELADOS

Para el cuarto de refrigeración se tiene unos evaporadores como los mostrados en la **figura 2.14**, obteniendo temperaturas entre 0° y 5°

C.

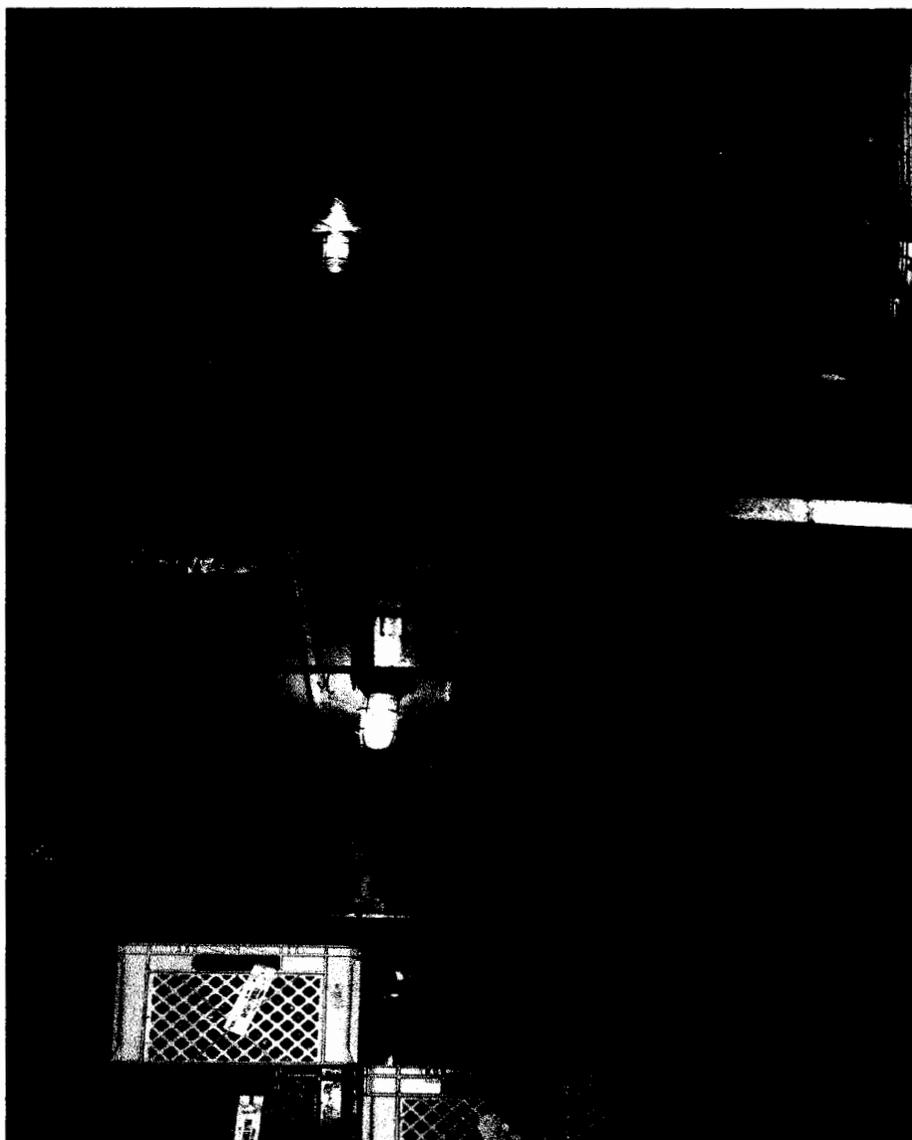


FIGURA 2.14 EVAPORADORES DE REFRIGERACIÓN

Para el almacenamiento de producto congelado hay evaporadores muy parecidos a los anteriores pero con diferentes válvulas de expansión pero de mayor capacidad y con válvulas cheque para permitir el deshielo por gas caliente, los evaporadores son mostrados en las figuras a continuación. Obteniendo temperaturas entre -14° a -20° C.

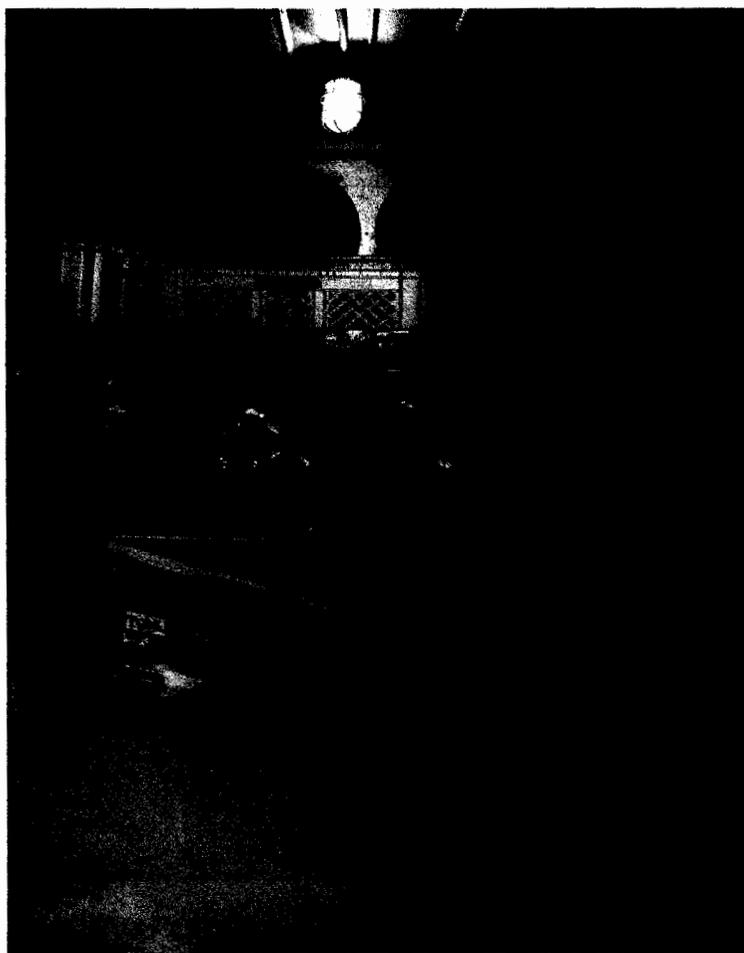


FIGURA 2.15 EVAPORADORES DE CONGELACIÓN



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Luego tenemos para los cuartos de proceso denominados de desposte en donde la temperatura se encuentra entre los 18° a los 23° C. Y se los puede ver en las **figuras 16**.



FIGURA 2.16 EVAPORADORES DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El Rack con los compresores y demás componentes como son los acumuladores, recibidores, filtros, válvulas, etc. y su computadora son colocados en un cuarto de máquinas con ventilación regular y buena iluminación como se ve en la figura 2.16, y el condensador del equipo se encuentra en el techo del edificio donde la ventilación del equipo es muy buena.



FIGURA 2.17 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN TIPO RACK

Este condensador posee tres ventiladores de 1.5 H.P. cada uno y con el sistema de control de la computadora según requiera va encendiendo uno a uno, este aparato es un transductor que cense la



presión de alta del sistema y esta regulado para mandar la señal de encendido de ventiladores gradualmente.



FIGURA 2.18 CONDESADOR DEL RACK

El sistema de control se encuentra en el panel principal del RACK como se puede apreciar en la figura a continuación.



FIGURA 2.19 PANEL DE CONTROL

El sistema de control se basa en la computadora principal desde la cual se programa todas las funciones de cada sección rangos de temperatura las cuales controla por medio de válvulas de succión eléctricas el flujo de refrigerante a cada sección de acuerdo a cada temperatura abriendo o cerrando el flujo, éstas válvulas se muestran en la siguiente figura.



FIGURA 2.20 VÁLVULAS DE SUCCIÓN RACK

2.4 Pruebas, calibración y puesta en marcha del equipo

En el equipo instalado considerando la carga de refrigeración se utilizaron para la parte de baja temperatura dos compresores de 6.5 H.P. y para la parte de media temperatura un compresor de 5 H.P. que es la base del sistema y un compresor de 10 H.P. para cubrir los requerimientos de refrigerante según sea necesario, este sistema es conectado por medio de tuberías de cobre a cada sección en donde

se ubiquen los evaporadores por dos líneas de tubería cada uno, una mas gruesa para succión y una mas fina para descarga, los diámetros varían de acuerdo a la capacidad de cada evaporador, en la figura siguiente se puede ver las secciones de tubería que salen del RACK.

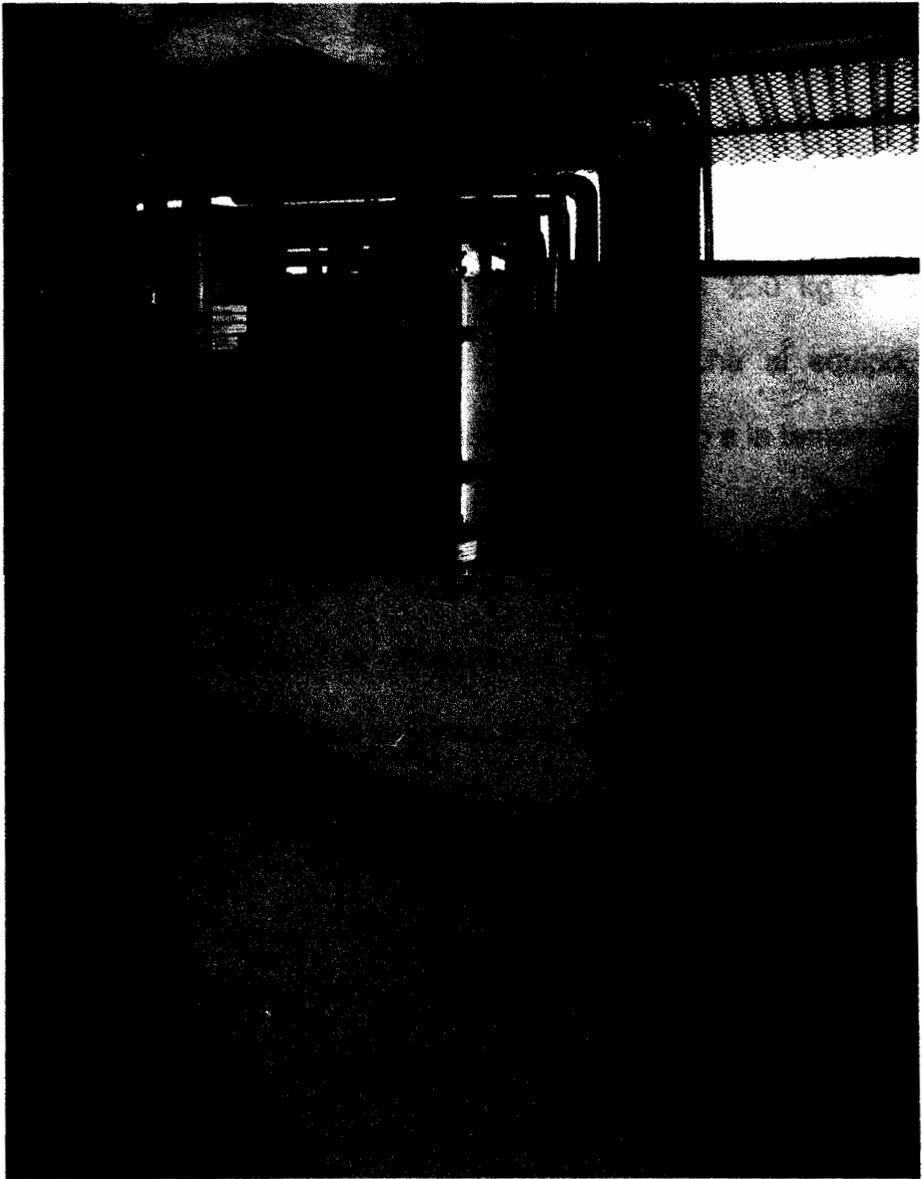


FIGURA 2.21 TUBERIAS RACK



Teniendo cada una válvulas de succión que abren y cierran el flujo, de acuerdo a la calibración que tenga con respecto a la temperatura que trabaje esa sección.

Ya una vez se tenga conectados y soldadas todos los equipos con las tuberías de cobre, puestos sus aislantes, se procede a hacer vacío en todo el sistema para luego poder meter refrigerante al sistema.

En este caso refrigerante R-404 a , se utilizaron 250 kg de este refrigerante, posteriormente poder poner en marcha al equipo, se procede a regular las válvulas de succión de acuerdo a la temperatura.

En cada sección, se da tiempos de deshielo, en el caso de refrigeración con tiempo de descanso y en el caso de congelación tiempos de deshielo por gas caliente, el puente para deshielo por gas caliente con una válvula solenoide se puede ver en la figura a continuación.

Por último se regula las protecciones de presión y rangos de encendido y apagado de compresores según sea el requerimiento de refrigerante en el sistema, protecciones electrónicas, enlaces en red e Internet, etc.



FIGURA 2.22 PUENTE DE DESHIELO POR GAS CALIENTE



CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS

3.1 Índice de Costos de los productos congelados

Para el tipo de equipos instalados el índice de costos de los productos congelados aunque es muy difícil de cuantificar son realmente buenos a favor del cliente, pero tomando como referencia primeramente el tipo de vitrinas de congelación, cada exhibidor requiere un 50% a un 60% menos de refrigerante, que si fuese un equipo estándar obteniendo temperaturas de congelación mas bajas y mas estables en toda el área de exhibición, inclusive durante el descongelamiento.

los productos se mantienen en la temperatura exacta para no sufrir daño ni deterioro y sobre todo mantienen una textura fresca lo cual hace que haya mayor confiabilidad en el mantenimiento de los productos y no exista daño de producto, y si hay, existe en un bajo



porcentaje lo cual causa pérdidas o devoluciones, por lo tanto si obtenemos un ahorro considerable.

3.2 Índice de Costos con relación al consumo eléctrico

El costo del consumo eléctrico en éste tipo de equipos RACK se puede ver en las tablas a continuación consumos individuales en el caso de equipos estándar o equipos de condensador individual comparados con los equipos tipo RACK para el mismo supermercado es muy significativo como se puede ver.



TABLA 2

CIB-ESPOL

EQUIPOS ESTANDAR PARA EL MISMO SUPERMERCADO					
Tipo de Equipo	Cantidad	Potencia Condensador H.P.	Consumo Condensador Amp.	Consumo evaporador Amp.	Deshielo Amp
Vitrinas de mantenimiento	11	1/2	44	22	0
Self Service	3	1/2	15	9.5	0
Islas	4	3/4	24	16	4
Cuarto refrigeración	1	7.5	28	16	12
Cuarto congelación	1	10	32	14	12
Cuarto de Proceso	1	4	22	2	0



CIB-ESPOL

Se muestra un consumo eléctrico en amperios para equipos convencionales de 272.5 amperios para una capacidad o potencia de 31.5 H.P. en equipos, pero este consumo está considerado la unidad condensadora, el consumo de las unidades evaporadoras que en muchos casos no son de flujo o aire forzado y poseen solamente la iluminación no así los evaporadores de congelación y self service que si son de aire forzado y si se encuentran ventiladores en los evaporadores.

Por lo general en las 24 horas del día el condensador pasa encendido 22 horas ya que en las 2 restantes tiene descanso por deshielo y por temperatura puede ahorrar máximo 2 horas al día, siendo un consumo normal las 20 horas de funcionamiento al día.

Para equipos de refrigeración y congelación también es muy parecido el funcionamiento diario del equipo, con un tiempo de deshielo máximo al día de 2 horas, en intervalos de 30 minutos cada 6 horas, y paradas de equipo por temperatura de 1 hora aunque a veces no tiene paradas por temperatura ya que la entrada, salida y movimiento de producto es tan alto que necesitaría equipos sobredimensionados para que el equipo se pare por temperatura, lo cual encarece mucho más el consumo eléctrico, agregándole a éste rubro de consumo el tiempo de deshielo que se realiza con resistencias eléctricas cuyo consumo es

alto, y algo parecido pero con mayor descanso en los equipos de acondicionamiento de aire.

En la **Tabla 2** se puede ver el consumo de los equipos estándares en amperios para luego ver en la **Tabla 3** el consumo de amperios de los equipos tipo RACK.

TABLA 3
CONSUMO EN AMPERIOS DE EVAPORADORES DE EQUIPO TIPO RACK

Tipo de Equipo	Cantidad	Consumo Amp.
Vitrinas	6	8
Self Service	2	12
Islas	2	16
Cámara de Refrigeración	1	8
Cámara de Congelación	1	6
Cuarto de Proceso	1	1

TABLA 4
CONSUMO ELÉCTRICO DE RACK

Equipo	Cantidad	Consumo Amp.
Compresores	4	112
Condensador	1	6
Controles	1	20

Encontrando una diferencia de consumo diario mas bajo y un tiempo de funcionamiento mas corto ya que la computadora realiza ciclos de encendido y parada de compresores solamente cuando el sistema exige refrigerante, como podemos ver en la tabla a continuación:

TABLA 5
CONSUMOS ELÉCTRICOS DE EQUIPOS CONVENCIONALES Y TIPO RACK

EQUIPOS CONVENCIONALES	272.5 Amperios
EQUIPO TIPO RACK	189 Amperios

3.3 Establecimiento de la eficiencia energética

Además de obtener mayor confiabilidad en el control de manejo de temperaturas, hay un mayor ahorro energético con un porcentaje del 30% en energía eléctrica, con menores tiempos de encendido de equipos.

La particularidad de éste equipo es de mantener un rango de presiones en el sistema y con una frecuencia de encendido y apagado de compresores de acuerdo a una presión preestablecida para cada compresor, se obtiene un menor tiempo de funcionamiento de compresores, obteniendo un menor costo en energía eléctrica, costo

en mantenimiento de equipos, mucha comodidad en el manejo normal del funcionamiento de cada sección, manipulación de temperaturas, presiones y control por el medio normal y remoto (Internet), ahorro de espacio de equipos, ya que si se escogía el sistema estándar el número de condensadores era bastante grande y el espacio físico se podía reducir considerablemente.

Para la comparación de equipos tipo estándar con el equipo de compresores en paralelo tipo RACK se realiza a continuación un cálculo teórico rápido del equipo estándar requerido para una de las secciones del supermercado y procedemos como sigue:

DATOS QUE TENEMOS:

Masa del producto a refrigerar $m = 8.000 \text{ Kg} = 17.600 \text{ Lbs}$

Temperatura de entrada del producto $T_e = 25^\circ \text{ C}$

Temperatura a la cual debe llegar el producto $T_s = 2^\circ \text{ C}$

Calor específico de la carne $c = 0.86 \text{ Btu/lbs } ^\circ \text{ F}$

Se utilizará un equipo con refrigerante R – 502

Presión de succión del equipo $P_s = 35 \text{ lbs/pulg}^2$ $T_s = - 13^\circ \text{ F}$

Presión de descarga del equipo $P_d = 250 \text{ lbs/pulg}^2$ $T_d = 106^\circ \text{ F}$

LO QUE OBTENEMOS DEL GRÁFICO PRESIÓN – ENTALPÍA

$h_A = 39.4 \text{ Btu/lb}$

$h_B = 39.4 \text{ Btu/lb}$ líquido saturado a 106° F

$h_C = 76.2 \text{ Btu/lb}$ vapor saturado a -13° F



$$h_D = 87.05 \text{ Btu/lb}$$

PODEMOS CALCULAR:

$$Q = mc\Delta T$$

Donde Q es la cantidad de calor removida en Btu/24 hr

$$\Delta T = T_e - T_s = 25^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C} = 23^\circ\text{C} = 73.4^\circ\text{F}$$

$$Q = 17.600\text{lbs}(0.86\text{Btu/lbs}^\circ\text{F})(73.4^\circ\text{F})/24\text{hr}$$

$$Q = 46290.9 \text{ Btu/hr (1hr/60 min)}$$

$$Q = 771.5 \text{ Btu/min}$$

Esta es la cantidad de calor que necesitamos remover por minuto, ahora del diagrama presión – entalpía encontramos el **efecto de refrigeración** que es el aumento de entalpía del refrigerante en el evaporador y que representa la cantidad de calor removido del medio que se debe enfriar por cada libra de refrigerante que fluye.

$$\text{E.R.} = h_c - h_B = 76.2 \text{ Btu/lb} - 39.4 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{E.R.} = 36.8 \text{ Btu/lb.}$$

Obtenemos a continuación el flujo másico del refrigerante

$$m = Q/\text{E.R.}$$

$$m = 200 \text{ Btu/min} / 36.8\text{Btu/lb}$$

$$m = 5.44 \text{ lb/min}$$

Luego obtenemos el calor de compresión o trabajo de compresión realizado por el compresor y es:

$$\text{C.C.} = h_D - h_c = 87.05 \text{ Btu/lb} - 76.2 \text{ Btu/lb}$$



$$\text{C.C.} = 10.85 \text{ Btu/lb}$$

Con lo cual podemos encontrar la potencia teórica requerida por el compresor que es:

$$P = W \times m$$

Donde W es el trabajo de compresión en Btu/lb y es igual al C.C.

$$P = 10.85 \text{ Btu/lb} (5.44 \text{ lb/min})$$

$$P = 59.03 \text{ Btu/min}$$

Expresada en hp tenemos

$$59.03 \text{ Btu/min por ton} \times (1 \text{ hp}/42.4 \text{ Btu/min})$$

$$P = 1.39 \text{ hp por ton}$$

Ahora como requerimos remover 771.5 Btu/min

Y sabemos que 1 ton son 200 Btu/min son 3.85 ton

Multiplicamos por la potencia teórica requerida y nos da:

$$1.39 \text{ hp por } 3.85 \text{ ton}$$

Potencia requerida = 5.35 hp

Existen pérdidas de temperatura por la transferencia de calor en toda el área del cuarto, el cual se minimiza con el tipo de aislamiento utilizado en las paredes, piso y techo; además, tenemos pérdidas de calor por: luces, tránsito de personal y producto etc. y por estas razones y este tipo de pérdidas que el equipo que se aconseja utilizar en ésta sección es de 7.5 hp.

Esto es para un equipo tipo estándar, y es así como se podría determinar las capacidades de este tipo de equipos; pero como se empleo un programa de computación diseñado para seleccionar equipos de refrigeración facilitando nuestro trabajo y poder comparar con el equipo de refrigeración tipo RACK objeto de nuestra tesis demostrando su eficiencia no solamente en el consumo eléctrico de los equipos sino en el tipo de control automático, manejo de variedad de temperaturas, etc.



CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Como se ha podido ver un equipo de refrigeración tipo RACK o de compresores en paralelo, para la utilización en la refrigeración o mantenimiento de producto como en la congelación del mismo en un supermercado es el mas idóneo por el tipo de funcionalidad que presenta, fácil maniobrabilidad del sistema, mayor control de temperatura con cada sección, obteniendo mayor confiabilidad con el manejo de temperaturas con el producto a mantener o a congelar.

Además con las áreas de acondicionamiento de aire; esta variedad de temperaturas con un solo equipo a la vez es bastante eficiente.

Se ha comprobado que se obtiene un ahorro de energía eléctrica del 30 % comparado con equipos individuales para cada uso ya que éstos consumen 272.5 Amperios contra los 189 Amperios que consume el

equipo tipo Rack. Además se ve que la Potencia en equipos también se ve una diferencia ya que los equipos estándar requieren de 31.5 H.P. y el equipo tipo Rack tiene una potencia de 28 H.P.

El tipo de controles que se utiliza no son muy distintos de los equipos estándar que se conocen en el mercado actual, pero la para la instalación de estos equipos es un poco mas compleja. Pudiendo concluir que la mejor opción seleccionada con este tipo de equipos fue la más acertada.

La utilización del refrigerante ecológico R-404 a , como protección a la capa de ozono es una de las cualidades del equipo.

4.2 Recomendaciones

Para una instalación de equipos frigoríficos en un supermercado el equipamiento de neveras, vitrinas, cuartos de almacenamiento, etc. la opción mas económica en ahorro energético, eficiencia, menor espacio físico, etc. es la de los equipos tipo rack.

En nuestra ciudad ya se ve una mayor utilización de estos equipos, las cadenas grandes de supermercados ya los utilizan con gran efectividad, existiendo una variedad de marcas bastante grandes, con la diferencia en nuestro caso el equipo instalado es totalmente

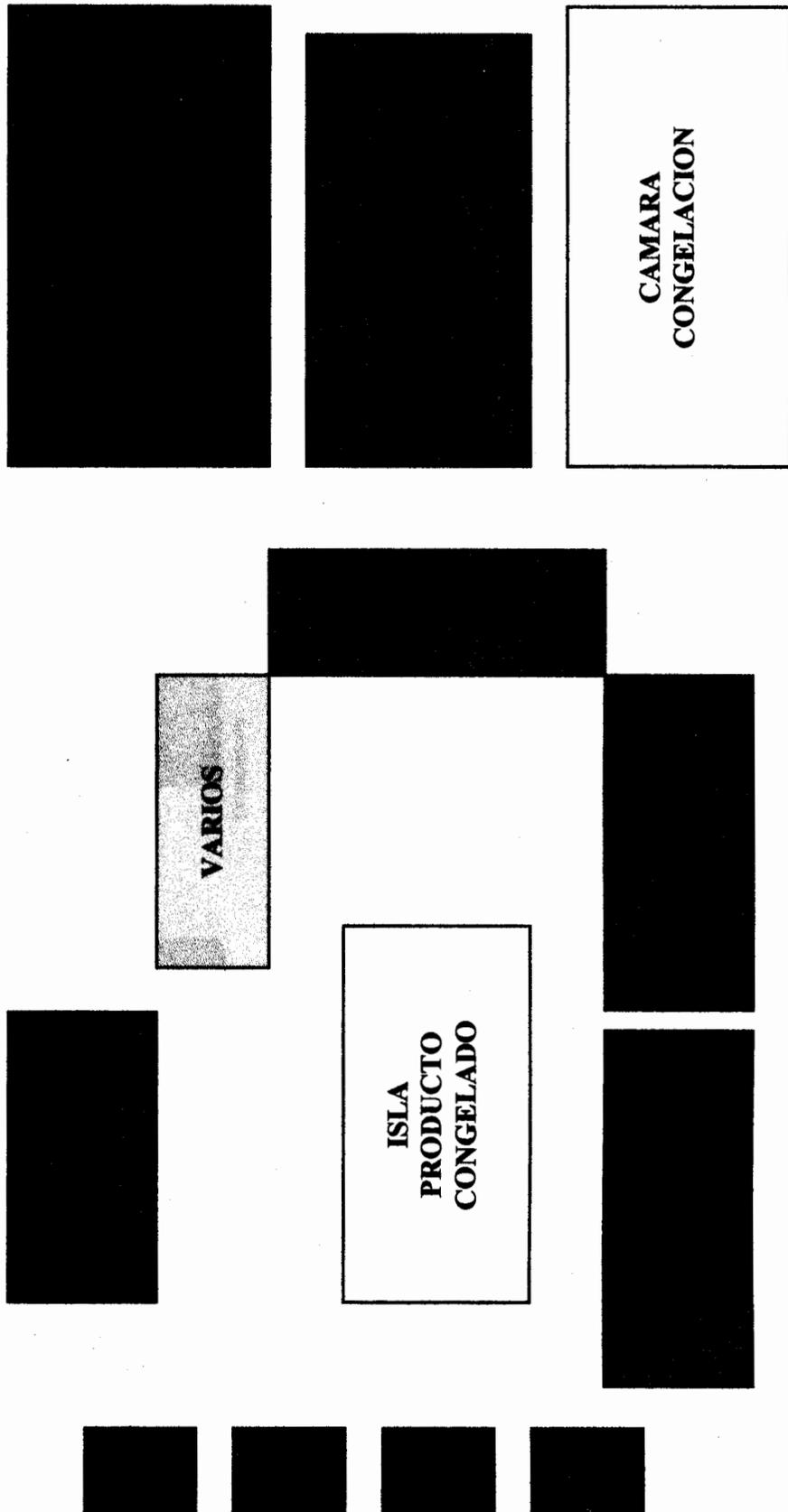
electrónico, el manejo remoto por medio de Internet solamente se ve en nuestro equipo, control de posibles fugas de refrigerante, además de tener protecciones, el equipo procede de manera automática, cerrando válvulas e informando por esta vía a la persona encargada, además de que la marca utilizada HUSSMAN es la mejor del mercado.

APÉNDICE

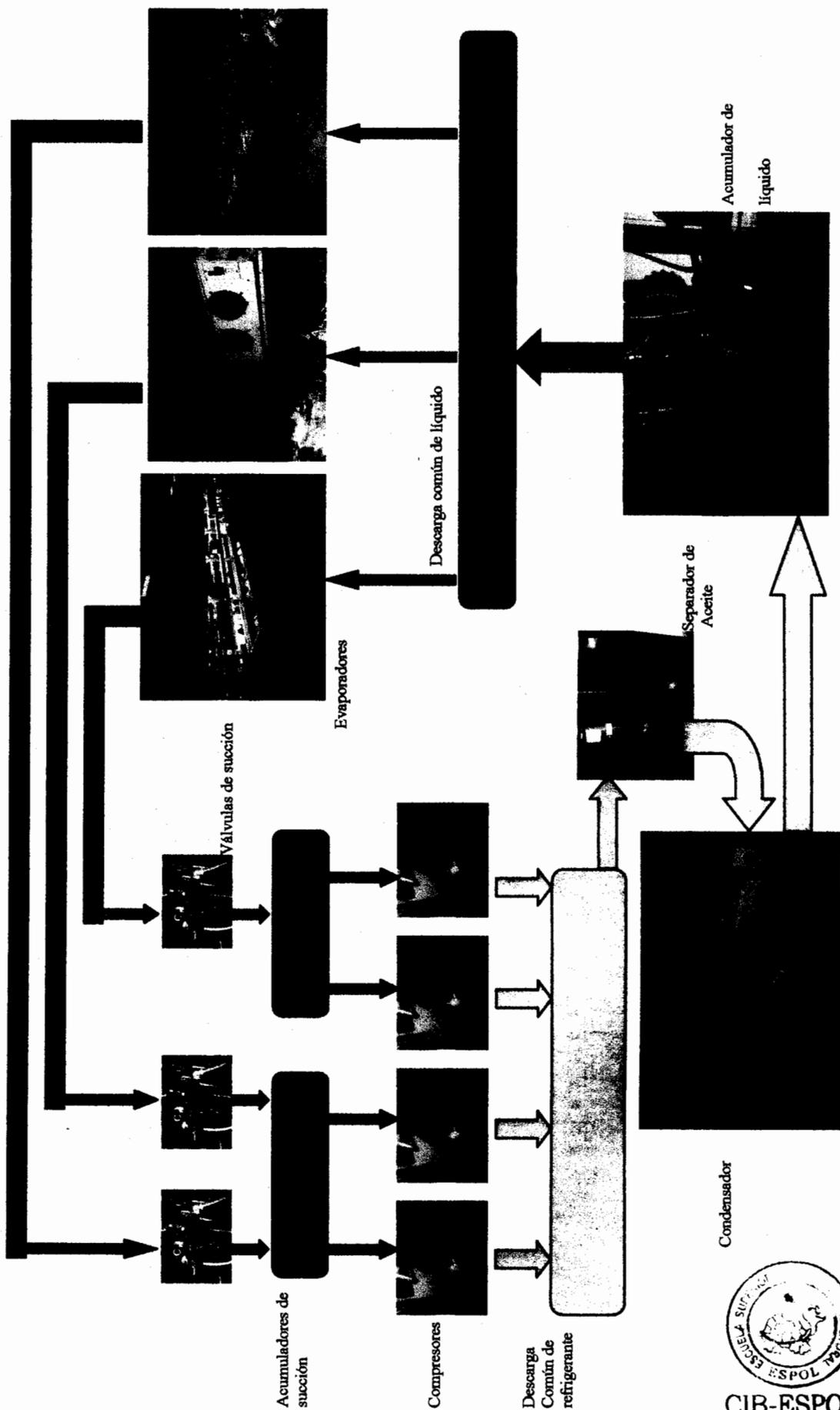


CIB-ESPOL

DISTRIBUCIÓN DEL SUPERMERCADO



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPO TIPO RACK



Condensador



CIB-ESPOL

CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN EN DIAGRAMA P vs. h PARA REFRIGERANTE R-502

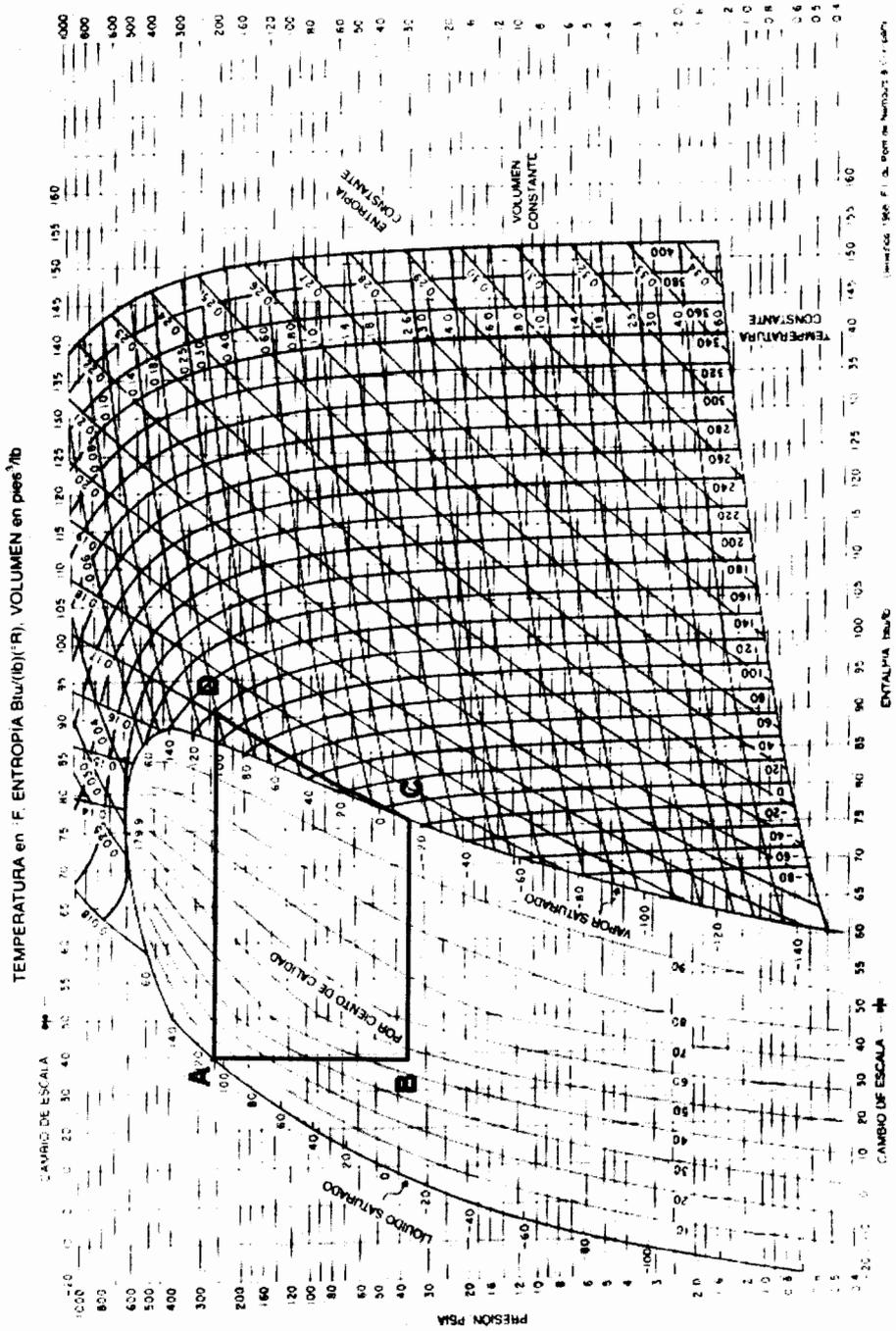


Tabla A-11 Diagrama de presión-calor en sistema inglés (P-h) del R-502



BIBLIOGRAFIA

1. **EDWARD G. PITA** Principios y Sistemas de Refrigeración ISBN 968-18-3969-2 Primera edición 1991 Editorial Limusa
2. **JEAN-GEORGES CONAN** Refrigeración Industrial ISBN 64-283-1800-X 1990 Editorial Paraninfo
3. **EDUARDO HERNÁNDEZ GORIBAR** Calefacción, Aire Acondicionado y Refrigeración ISBN 968-18-3673-1 Primera Edición 1990 Primera Reimpresión 1993 Grupo Noriega Editores
4. **FRANCISCO GODOY** Climatización Instalaciones Termo frigoríficas ISBN 84-283-2063-2 1994 Editorial Paraninfo
5. **FRANCISCO GODOY ARREBOLA** Electricidad Frigorífica ISBN 84-283-2298-8 1996 Editorial Paraninfo
6. **ROY J. DOSSAT** Principios de Refrigeración ISBN 968-26-0201-7 Primera Edición 1980 Decimoquinta Edición 1995 Editorial CECSA
7. **NILS R. GRIMM / ROBERT C. ROSALER** Manual de Diseño de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado ISBN 84-481-0584-2 1996 Editorial McGraw-Hill
8. **EDUARDO LOERA CUEVAS** Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado ISBN 0-13-323775-3 Tercera Edición 1999 Prentice Hall Hispanoamericana S.A.