

DISEÑO E INSTALACION DE SISTEMA DE FRIO PARA USO COMERCIAL



Autor:

Jairo Hernán Súa Mojica

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
PAMPLONA, COLOMBIA**

2017

DISEÑO E INSTALACION DE SISTEMA DE FRIO PARA USO COMERCIAL



Autor:

Jairo Hernán Súa Mojica

Director:

M.Sc. Diego Mejía Bugallo

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
PAMPLONA, COLOMBIA**

2017

Nota de Aceptación

Director de trabajo de grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A mi madre.

Tabla de contenido

Tabla de ilustraciones	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Referencia del cliente y sus necesidades	3
1.2 Conceptos básicos en refrigeración.....	3
1.3 El refrigerante.....	4
1.4 El evaporador o difusor.....	6
1.5 La válvula de expansión	7
1.6 El compresor.	8
1.7 La condensadora.....	9
1.8 Objetivos a cumplir con almacenes Líder	11
2. CRITERIOS MECANICOS Y ELECTRICOS DE DISEÑO.	14
2.1 Compresores.....	14
2.1.1 Sistema de MT.....	15
2.1.2 Sistema BT	17
2.2 Condensadora.....	18
2.3 Neveras, cuartos y válvulas	19
2.4 Tubería.....	24
3 DISEÑO DE CONTROL ELECTRICO Y POTENCIA	27
3.1 Diagrama del circuito de refrigeración y descripción del proceso.....	27
3.2 Diseño de potencia	30
3.3 Diseño de control.....	33
4. CONTROLADORES Y TARJETAS.....	35

4.1 Tarjetas de entradas y salidas.	35
4.1.....	36
4.1.1 Tarjeta de entradas analogicas 16 AI	36
4.1.2 Tarjetas de salidas a relé 8RO.....	37
4.1.3 -Tarjetas de salidas a relé 8RO.....	39
4.1.4 -Tarjetas de salidas a relé 8RO.....	40
4.2 Sensores y actuadores	41
4.3 Controlador CPC	43
4.4 Controlador EKC 202C	46
5 Conclusiones.....	48
6 Bibliografía	49

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Sistema básico de refrigeración, tomado de: [2].	4
Ilustración 2 Ciclo de refrigeración trazado en diagrama de presión/entalpía, tomado de: [2].	5
Ilustración 3. Cambio de estado en evaporador, tomado de: [2]	7
Ilustración 4. Orificio de expansión, tomado de: [2].	8
Ilustración 5. Ilustración básica de compresor, tomado de: [2].	9
Ilustración 6 Función del evaporador. [2]	10
Ilustración 7 Diagrama de flujo: descripción de diseño general, Fuente: Autor.	11
Ilustración 8 Diagrama de flujo para cálculos. Fuente Autor.	12
Ilustración 9 Diagrama de flujo. Prueba de equipo, Fuente: Autor.	13
Ilustración 10 Rack de 4 compresores, Tomado de: [3]	Ilustración 11
Montaje Rack TYLER, Fuente: Autor	14
Ilustración 12 . Compresor #1 de MT, Fuente: Autor.	15
Ilustración 13 Compresor #2 de MT, Fuente: Autor.	16
Ilustración 14 Compresor #3 de MT, Fuente: Autor.	16
Ilustración 15 Compresor #1 BT, Fuente: Autor	17
Ilustración 16 . Perspectiva del condensador, Fuente: Autor	18
Ilustración 17. Moto ventiladores, Fuente: Autor.	19
Ilustración 18. Módulos de nevera, Fuente: Autor	19
Ilustración 19 Modelos de nevera de 3,75m y 2,5m, Fuente: Autor.	20
Ilustración 20 . Distribución de elementos evaporativos, Tomado de: Archivo LCGA.	21
Ilustración 21 Nevera Multipuertas, Fuente: Autor	22
Ilustración 22 Neveras atendidas, Fuente: Autor	22
Ilustración 23 Cava1, Fuente: Autor	Ilustración 24 Cava 2, Fuente: Autor
	23
Ilustración 25. Válvulas Sporlan Fuente: Autor	Ilustración 26. Válvula Danfoss, Fuente: Autor
	23
Ilustración 27 Válvula de expansión termostática Danfoss. Tomado de:[4].	24
Ilustración 28. Calculo tubería de líquido, Fuente: Autor	25
Ilustración 29 Cálculo tubería de succión, Fuente: Autor	26

Ilustración 30 . Diagrama de actuadores en circuito de refrigeración, tomado de: [3].	29
Ilustración 31. Detalle de potencia del tablero eléctrico, Fuente: Autor	30
Ilustración 32 Líneas de potencia compresor. Tomado de: Archivo LCGA	31
Ilustración 33 Diagrama de potencia de moto ventiladores. Tomado de: Archivo LCGA.	32
Ilustración 34. Relevos de válvulas, Fuente: Autor	33
Ilustración 35 Diagrama de control de compresores, Tomado de : Archivo LCGA.	34
Ilustración 36. Ubicación de las tarjetas en el tablero eléctrico, Fuente: Autor	35
Ilustración 37 Tarjeta de entradas de señal, Fuente: Autor	36
Ilustración 38. Tarjeta de salidas a relé #2, Fuente: Autor	38
Ilustración 39 Tarjeta de salidas a relé #1, Fuente: Autor	39
Ilustración 40. Tarjeta de salidas a relé #3, Fuente: Autor	40
Ilustración 41 Sensores y actuadores, Fuente: Autor	42
Ilustración 42 . Pantalla CPC, Tomado de: [(7)]	43
Ilustración 43 Pantalla CPC real, Fuente: Autor	44
Ilustración 44 . Set points, Fuente: Autor	Ilustración 45.
Configuración succión, Tomado de: [7].	44
Ilustración 46. Asignaciones entradas, Fuente: Autor	Ilustración 47.
Entradas, Tomado de:[7]	45
Ilustración 48. Asignación salidas, Fuente: Autor	Ilustración 49 Salidas,
Tomado de: .[7].	45
Ilustración 50 Circuitos refrigeración, Fuente: Autor	Ilustración 51.
Configuración deshielo, Tomado de:[7].	46
Ilustración 52. Controlador EKC202C Tomado de:[4]	46
Ilustración 53. Gráfico de control.	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Referencia del cliente y sus necesidades

El presente proyecto tiene como finalidad suministrar una instalación adecuada para la exhibición y venta de productos en el supermercado Líder de la Av Rojas con calle 68 Bogotá D.C., teniendo en cuenta sus necesidades frigoríficas MT y BT, para lo cual el cliente suministra un Rack de compresores, condensadora, neveras, cavas y controlador CPC, usado en sistema de frío de otra locación, los cálculos de tubería, capacidad energética y potencia eléctrica, así como la programación se hacen a partir de los elementos existentes.

1.2 Conceptos básicos en refrigeración.

“La refrigeración es el proceso por el cual se elimina el calor de un lugar donde no es deseado y se traslada a otro donde es indiferente” [1]. Esta es la definición más general que sirve como punto de inicio en este tema y poder desglosar a fondo cada uno de los términos relacionados.

En la búsqueda del efecto frigorífico se deben tener en cuenta conocimientos básicos sobre el estado de la materia y su comportamiento a diferentes condiciones, a este respecto, la propiedad de la que más dependeremos es de la presión y sus variaciones.

Los circuitos de refrigeración están compuestos de manera general en 4 elementos principales conectados en un lazo cerrado, esto elementos son: Válvula de expansión, evaporador o difusor, compresor y condensador (Ilustración 1). Los elementos descritos obligan al cambio de estado y propiedades del líquido refrigerante encargado de darnos el efecto frigorífico deseado según la necesidad.

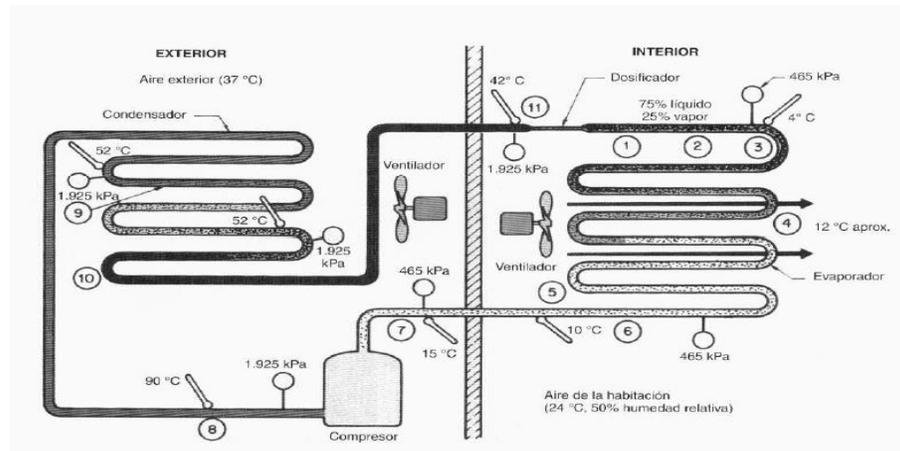


Ilustración 1 Sistema básico de refrigeración, tomado de: [2].

1.3 El refrigerante.

Antes de iniciar con una ilustración técnica, es bueno anteponer un ejemplo práctico de la función del refrigerante. Cuando nuestro cuerpo tiene exceso de calor, a través de los poros producimos nuestro propio refrigerante al cual llamamos sudor, la característica por la cual nuestro cuerpo responde de esta manera es el hecho de que el aire circundante no logra evacuar el exceso de calor del cuerpo a través de la piel

por sí solo, y recurre al método de transporte más eficaz que representa la propiedad de conducción que es mayor en el agua, para ilustrar este punto basta con comparar la sensación térmica que tenemos cuando estamos frente a un ventilador con la piel seca, a pesar que nos sentimos frescos la sensación no se compara si estamos frente al mismo ventilador pero con la piel mojada, ya que la energía que absorbe el fluido para evaporarse es arrancada rápidamente con el flujo de aire, este principio se aumenta más si usamos una sustancia que se evapore a menor temperatura que la del agua, es por ello que los cambios de estado son tan importantes en este proceso.

Los cambios de estado del refrigerante se dan a partir de la manipulación de los puntos de ebullición del fluido a partir de la relación existente entre presión y temperatura lo cual se ilustra de mejor manera en la tabla de entalpía de la ilustración 2.

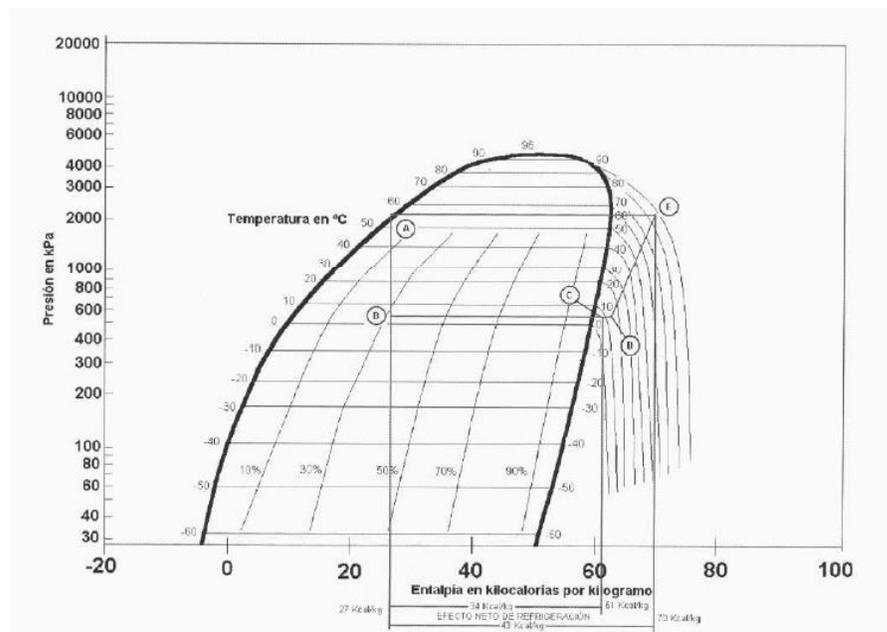


Ilustración 2 Ciclo de refrigeración trazado en diagrama de presión/entalpía, tomado de: [2]

Aquí encontraremos un ejemplo del comportamiento del refrigerante R22, y el ciclo se describe de la siguiente manera:

- A) Representa la entrada a la válvula de expansión, la cual disminuye la temperatura al disminuir la presión pasando de 55°C a 4°C y convirtiendo el líquido a alta presión en líquido a baja presión pero con un porcentaje de vapor de 33%.
- B) Aquí encontramos la acción de otro elemento del circuito que el evaporador o difusor, encargado de absorber el calor del cuarto o nevera y que convierte el refrigerante en vapor sobrecalentado.
- C) En este punto el gas gana un poco más de calor en su recorrido a través de las tuberías.
- D) El refrigerante ingresa al compresor y aumenta su temperatura al ser comprimido debido a que la presión aumenta.
- E) Como se muestra en la figura el gas tiene una temperatura de 80°C al salir del compresor y empieza su recorrido a través de la condensadora, quien le retira el calor del gas hasta llegar a su punto de condensación de 55°C y volver a iniciar el ciclo.

1.4 El evaporador o difusor.

Es el encargado de absorber el calor de la cava a través de su serpentín, en el cual circula el refrigerante que ingresó a su recorrido con una composición líquido-vapor, pero que debe salir como vapor sobrecalentado, para ayudar a la propiedad de transporte de calor o conducción se coloca un ventilador que haga circular el aire caliente a través del serpentín y permita el intercambio de calor de mejor manera,

calentando el refrigerante, enfriando el cuarto y evitando el paso de líquido hacia el compresor.

A continuación se ilustrara el cambio de estado ideal de un serpentín por el cual circula refrigerante R22 en un cuarto que debe estar a 12° en una locación de temperatura ambiente de 25°. Ilustración 3.

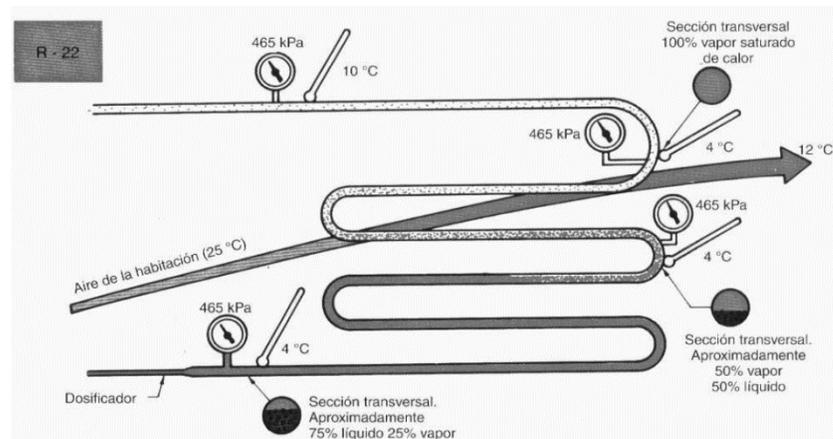


Ilustración 3. Cambio de estado en evaporador, tomado de: [2]

1.5 La válvula de expansión

Siendo este el elemento más pequeño del circuito de refrigeración, tiene la función de realizar el corte entre el sistema de baja y el de alta presión, en otras palabras es el punto donde el efecto frigorífico se da, y de su control depende la eficiencia del sistema en términos de frío como también el estado de los demás componentes del sistema, su relevancia en controlarlo procede del cálculo entre la capacidad frigorífica del serpentín para dar un tamaño fijo al orificio (Ilustración 4), pero este concepto ha avanzado primero de forma mecánica en el control a través de las válvulas termostáticas, hasta

llegar a las mas dúctiles en cuanto a regulación de la temperatura que son las electrónicas, controladas por motores paso a paso o por pulsos de apertura y cierre de una bobina.

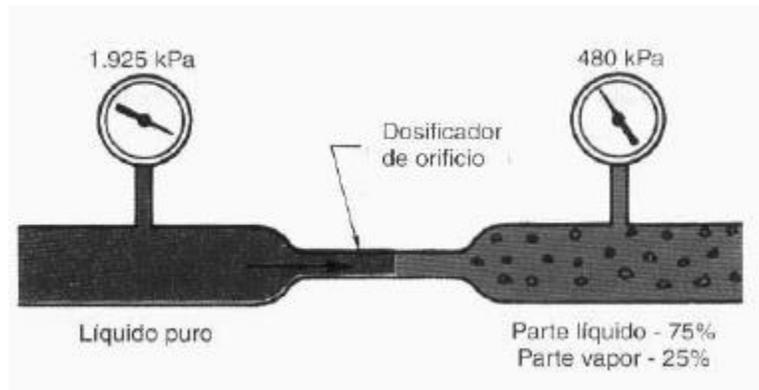


Ilustración 4. Orificio de expansión, tomado de: [2].

1.6 El compresor.

Se puede afirmar que es el componente más robusto del sistema en términos mecánicos y eléctricos, su función como la de los demás componentes es realizar un cambio de propiedades del refrigerante, pero también cumple la función de mantener en circulación la materia dentro de las tuberías y demás elementos del sistema, este debe contar con una gran cantidad de energía pues realiza el proceso de comprimir el vapor sobre calentado en proceso de ser convertido nuevamente en líquido aumentando su densidad.

Este elemento es el opuesto directo de la válvula de expansión.

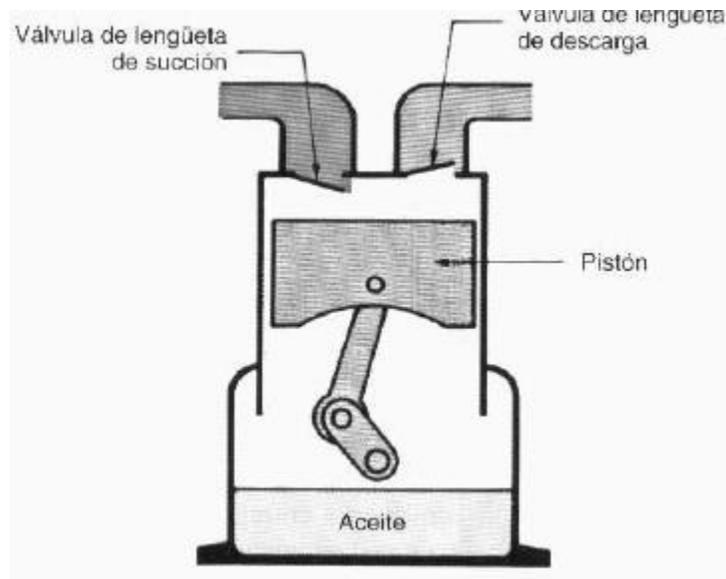


Ilustración 5. Ilustración básica de compresor, tomado de: [2]

Todos los compresores cumplen la misma función pero con eficiencia diferente, En los sistemas de refrigeración se usan frecuentemente tres tipos de tecnología, a saber: Tipo pistón (Ilustración 5), Tipo Scroll y Tipo tornillo.

1.7 La condensadora

Este elemento se encuentra en contacto con el aire libre o temperatura ambiente, este es el destino final del sobre calor contenido en el circuito, suele ser este elemento el más grande en cuanto a volumen, es el encargado de tomar el gas a alta presión y alta temperatura y en el recorrido por su serpentín y ayudado por un ventilador cambia de estado este gas a término que cuando sale del aparato más del 90% de composición del refrigerante es líquido, lo cual permite reiniciar el ciclo de refrigeración (Ilustración 6).

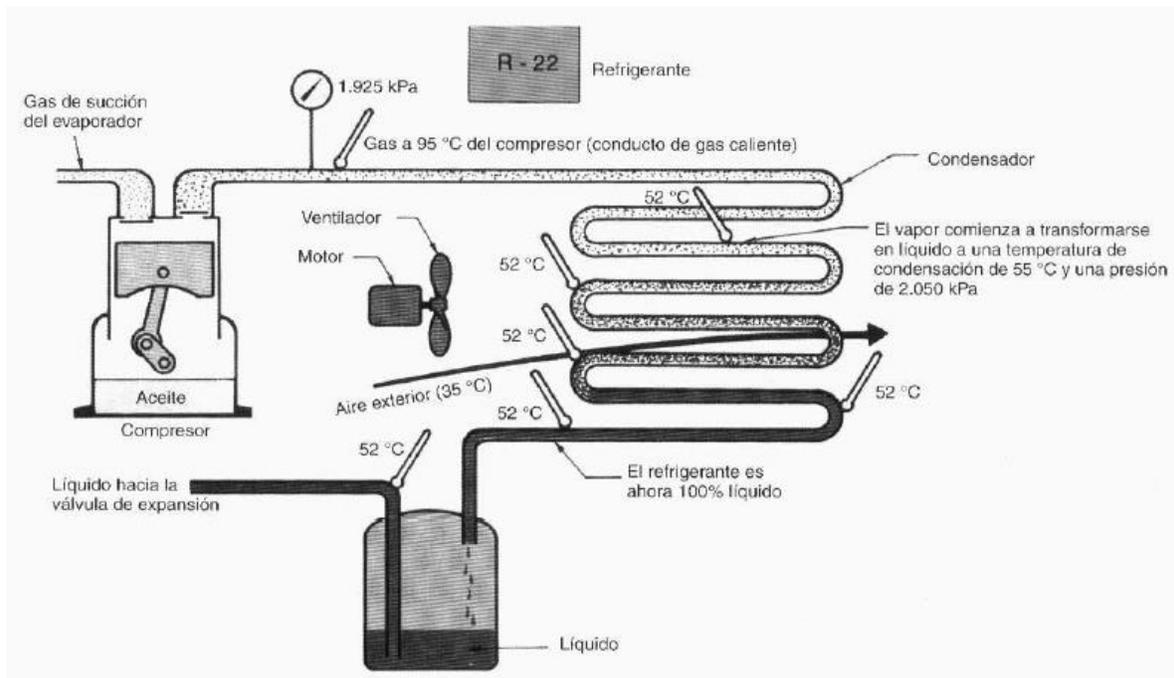


Ilustración 6 Función del evaporador. [2]

Se debe aclarar que el diseño y tamaño de este elemento depende de la temperatura ambiente, la forma, según la cual la circulación de aire pueda ser más eficiente pues cuenta con diferentes formas geométricas a criterio del fabricante y la capacidad de los moto-ventiladores, en este punto se debe tener en cuenta que se puede enfriar con aire o con agua, para el último caso tendríamos que usar una torre de enfriamiento.

1.8 Objetivos a cumplir con almacenes Líder

- ❖ Diseñar e instalar el sistema de frío para supermercados el líder, correspondiente a neveras y cuartos fríos.

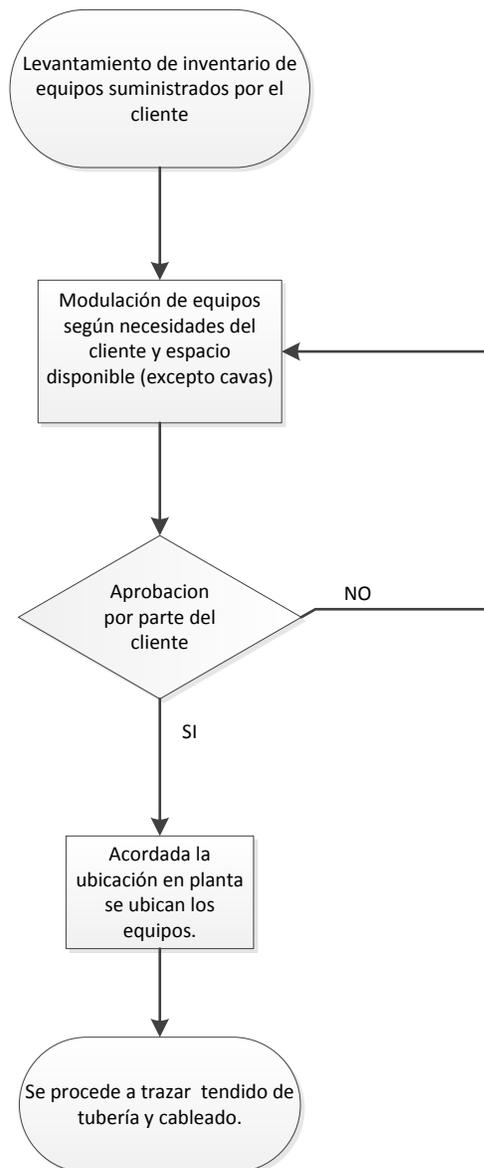


Ilustración 7 Diagrama de flujo: descripción de diseño general, Fuente: Autor.

- ❖ Realizar el cálculo del sistema en lo concerniente a carga térmica, eléctrica y capacidad mecánica.

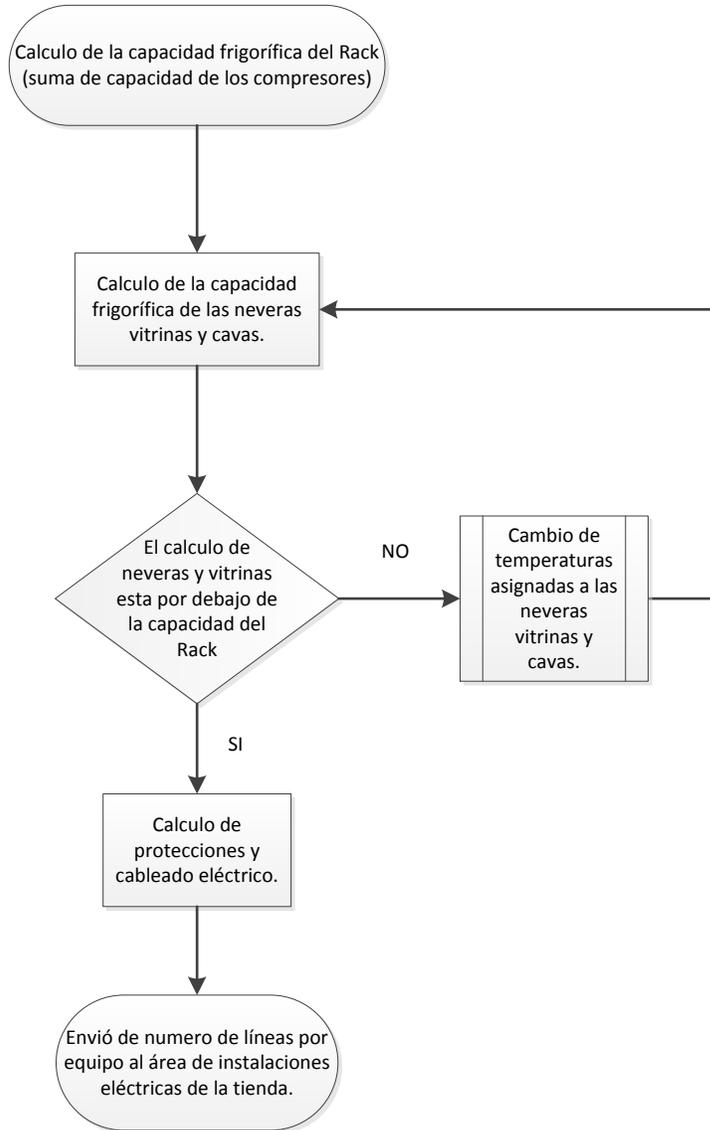


Ilustración 8 Diagrama de flujo para cálculos. Fuente Autor.

- ❖ Reutilizar equipos suministrados por el cliente para este fin, entre los más destacados el Rack de compresores y controlador.

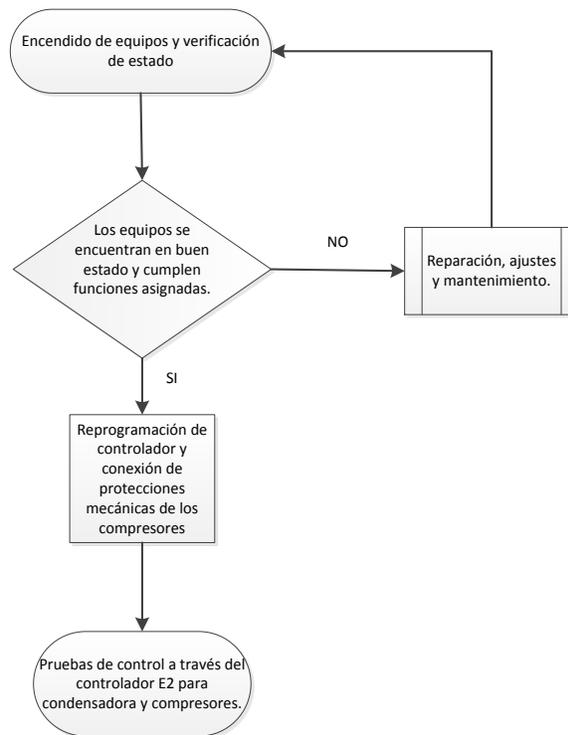


Ilustración 9 Diagrama de flujo. Prueba de equipo, Fuente: Autor.

- ❖ Calculo de tuberías y disposición de sistemas de descongelamiento.
- ❖ Programación y disposición de tablero de control manual.
- ❖ Puesta a punto y entrega de equipos de refrigeración en las temperaturas requeridas.

2. CRITERIOS MECANICOS Y ELECTRICOS DE DISEÑO.

2.1 Compresores.

Como se mencionó en líneas anteriores este diseño tiene la particularidad, que se realiza sobre mecanismos existentes, es por eso que en lugar de tomar como primer ítem las cargas frigoríficas empezaremos con la capacidad frigorífica máxima que puede aportar nuestro sistema paralelo de compresores o Rack (Ilustración 10), el cual fue diseñado por la empresa TYLER (Ilustración 11).

Este modelo de Rack pertenece a la familia tecnológica Emerson es decir que el sistema de compresión corresponde a compresores Copeland, y en nuestro sistema encontraremos 4 de ellos semi-herméticos tipo pistón.

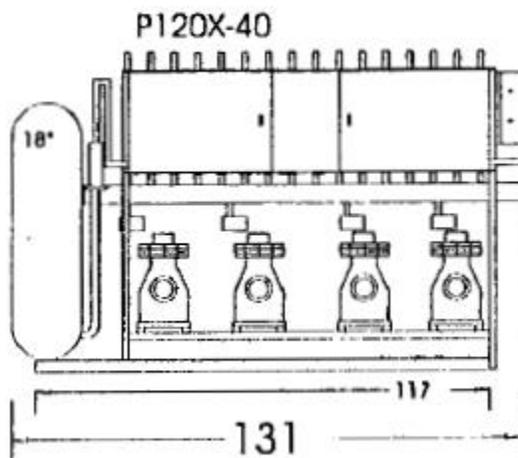


Ilustración 10 Rack de 4 compresores, Tomado de: [3]

Ilustración 11 Montaje Rack TYLER, Fuente: Autor

Los compresores están distribuidos de la siguiente manera:

- 3 compresores para el sistema de Media Temperatura (MT).
- Un compresor para el sistema de Baja Temperatura (BT).

Para el cálculo de la capacidad frigorífica sumaremos la capacidad de los compresores según el sistema al que pertenecen, dado que las tuberías de succión son independientes para cada sistema.

2.1.1 Sistema de MT.

Compresor #1: Marca Copeland Mod. 2DA3-075L-TFC-204 (Ilustración 12)



Ilustración 12 . Compresor #1 de MT, Fuente: Autor

Características:

Tensión = 220v

RLA = 32A

Potencia= 7,5 HP

LRA = 169A

PH = 3

Potencia frigorífica = 16,5 KW (56300 BTU)

- Compresor #2: Marca Copeland Mod. 2DL3-075L-TFC-204 (Ilustración 13)



Ilustración 13 Compressor #2 de MT, Fuente: Autor.

Características:

Tensión = 220V

RLA = 31,6 A

Potencia= 7,5 HP

LRA = 169 A

PH = 3

Potencia frigorífica = 16,5 KW (56300 BTU)

- Compressor #3: Marca Copeland Mod. 2DC3-0500-TFC-204 (Ilustración 14).



Ilustración 14 Compressor #3 de MT, Fuente: Autor

Características:

Tensión = 220V

RLA = 22,3 A

Potencia= 7,5 HP

LRA = 120 A

PH = 3

Potencia frigorífica = 11 KW (37533 BTU).

De esta manera obtenemos información sobre la carga frigorífica del sistema así como el calibre de conductores y protecciones eléctricas.

Tabla 1. Capacidad frigorífica y eléctrica del sistema de MT

Compresor	Carga frigorífica	Carga eléctrica max
2DA3-075L-TFC-204	16,5 KW	32 A
2DL3-075L-TFC-204	16,5 KW	31,2 A
2DC3-0500-TFC-204	11 KW	22,3 A
TOTAL MT	44 KW	85,5 A

En lo referente al suministro de potencia de los compresores se debe usar cable # 8 AWG.

2.1.2 Sistema BT

Este sistema comprende un solo compresor marca copeland

Mod.3DF3-0900-TFC-200 (Ilustración 15)



Ilustración 15 Compresor #1 BT, Fuente: Autor

Características:

Tensión = 220V

RLA = 39 A

Potencia= 9 HP

LRA = 215 A

PH = 3

Potencia frigorífica = 11,5 KW (40000 BTU).

Como se observa en la ilustración 15 este compresor debido al esfuerzo mecánico superior, cuenta con un sistema de enfriamiento externo (ventilador).

La alimentación de fuerza de este compresor debe ser con cable #8 AWG.

2.2 Condensadora.

Este dispositivo no cuenta con información de modelo o capacidad, pero se sobre entiende que está diseñado para entregar al ambiente la misma cantidad de kilo calorías que puede desplazar el Rack, es decir que es proporcional, sin embargo aquí se ofrecerá una perspectiva de su geometría (Ilustración 16) y componentes mecánicos móviles (Moto ventiladores (Ilustración 17)).



Ilustración 16 . Perspectiva del condensador, Fuente: Autor

Según el cálculo de compresores tenemos que esta condensadora tiene una capacidad frigorífica de 55,5 KW.



Ilustración 17. Moto ventiladores, Fuente: Autor.

Para la potencia eléctrica sabemos por medición que cada moto ventilador consume 3,5 A lo cual nos indica que son de 1HP y unas 1075 RPM.

Neveras, cuartos y válvulas

Entre los módulos que propuso el cliente a instalar para exhibición auto servicio tenemos neveras Carrier de 2,5 metros y de 3,75 metros (Ilustración 18).



Ilustración 18. Módulos de nevera, Fuente: Autor

La distribución de estas neveras se realiza según pedido del cliente lo cual presenta variaciones en el diámetro de las tuberías, por ser neveras de MT el deshielo se hace por aire forzado, es decir que no se introducirá calor extra para limpiar los evaporadores.

Como se mencionó en líneas anteriores el cálculo de un sistema se empieza por el análisis de la carga en los evaporadores, para nuestro caso las neveras y cuartos fríos, estas cargas ya vienen estipuladas según modelo (Ilustración 19).



Ilustración 19 Modelos de nevera de 3,75m y 2,5m, Fuente: Autor

Según el modelo de las neveras tenemos las siguientes cargas térmicas.

-Módulo de 3,75 = 7 KW operando sobre 0°

-Módulo de 2,5 = 5 KW operando sobre 0°

Debemos sumar las cargas de todos los elementos evaporativos (Ilustración 20), pero de manera individual se toma su capacidad para calcular la tubería.

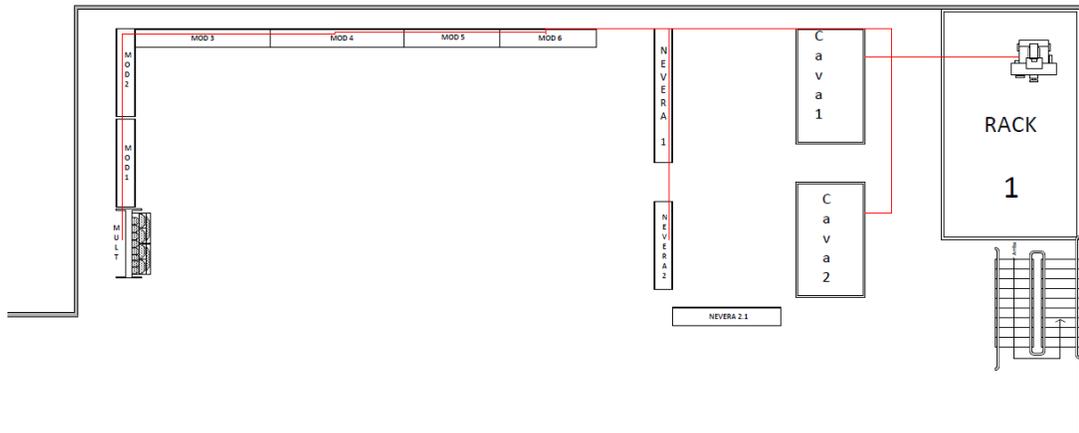


Ilustración 20 . Distribución de elementos evaporativos, Tomado de: Archivo LCGA

-Nevera 1 (Dos módulos): MGL2,5 = 5KW

MGL2,5 = 5KW

-Nevera 2 (Dos módulos): MGL3,75 = 7KW

MGL3,75 = 7KW

-Nevera 3 (Dos módulos): MGL2,5 = 5KW

MGL2,5 = 5KW

-Nevera Multipuertas (Ilustración 21) = 2KW

-Nevera atendida 1 (Ilustración 22) = 1KW

-Nevera atendida 2 (Ilustración 22) = 1KW

-Cuarto 1 (Ilustración 23) = 3KW

-Cuarto 2 (Ilustración 24) = 3KW



Ilustración 21 Nevera Multipuertas, Fuente: Autor

Las cargas térmicas asignadas se toman asumiendo la evaporación más baja, pero en la práctica estas cargas son más bajas, dándonos así un parámetro de seguridad, a pesar del tamaño de las cavas debemos recordar que su carga en conservación es más baja que en MT.



Ilustración 22 Neveras atendidas, Fuente: Autor



Ilustración 23 Cava 1, Fuente: Autor

Ilustración 24 Cava 2, Fuente: Autor

Las válvulas utilizadas en los evaporadores de los elementos antes descritos, serán las que traía originalmente el rack en cada ramal (Ilustración 25), y para la multipuertas las cavas y las neveras atendidas serán solenoides marca Danfoss (Ilustración 26), esto en lo referente a corte de paso, en cuanto a las válvulas de expansión usaremos marca danfoss de control termostático (Ilustración 27).



Ilustración 25. Válvulas Sporlan Fuente: Autor



Ilustración 26. Válvula Danfoss, Fuente: Autor

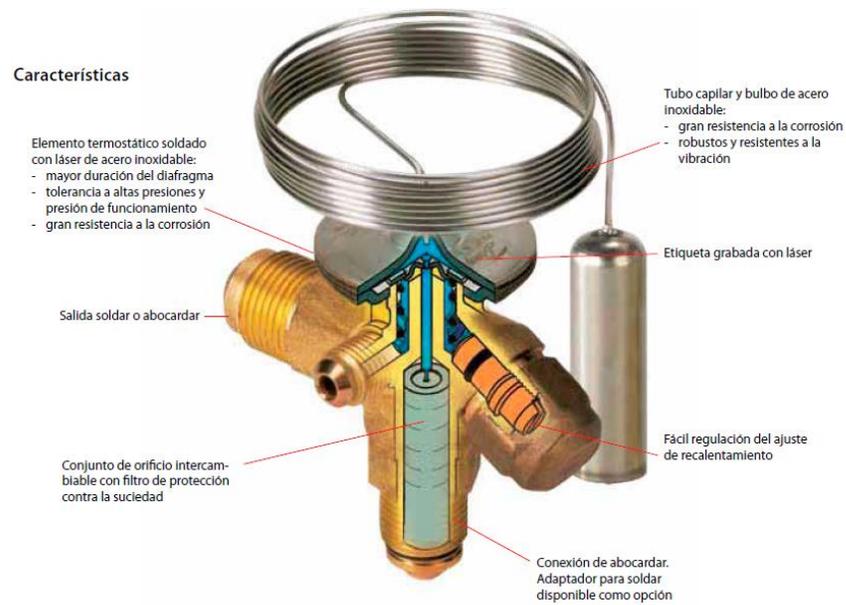


Ilustración 27 Válvula de expansión termostática Danfoss. Tomado de:[4]

2.4 Tubería.

Para el cálculo de tubería se tiene en cuenta la distancia a recorrer y la carga final que debe distribuir, para efectos prácticos este calculo se lleva a cabo con un programa especializado de la marca Danfoss llamado Cool Selector (ilustración 28), con el cual ejemplificaremos el cálculo de la tubería de nevera multipuertas que es la más lejana al rack .

La distancia recorrida es de 33 metros para una carga de 2 KW

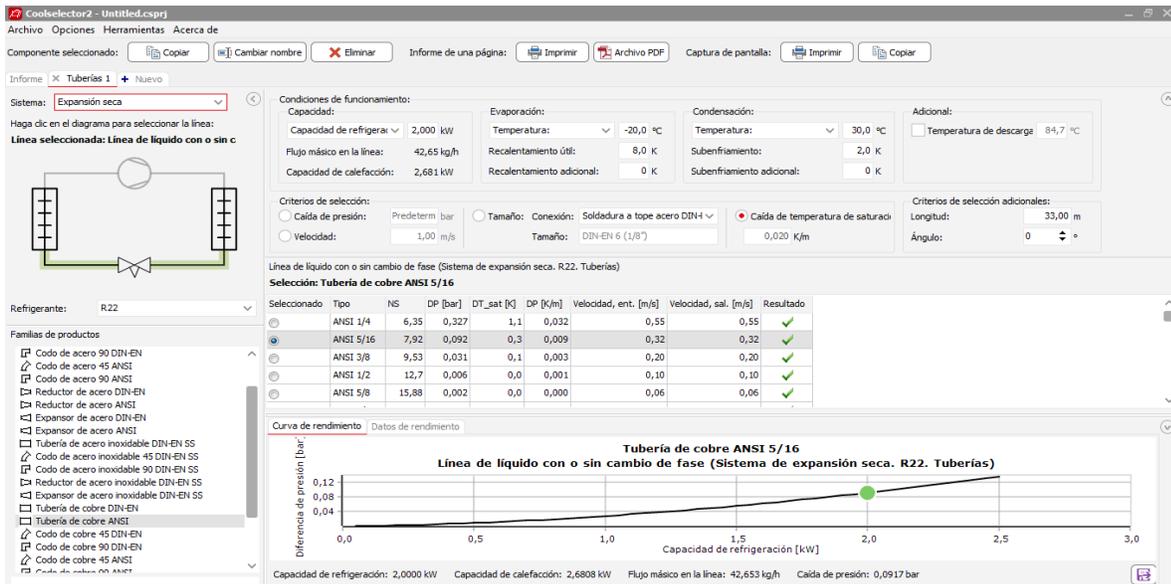


Ilustración 28. Calculo tubería de líquido, Fuente: Autor

En el cálculo de la ilustración 28 obtenemos un resultado de 5/16 pulgadas para tubería de líquido, sin embargo nos da un rango de tubería desde 1/4" hasta 5/8" con caídas de presión de menos de 1 PSI las cuales se pueden usar según criterios económicos, en este montaje se usó 1/4".

Se deben realizar los mismos cálculos para tubería de succión (ilustración 29) y de gas caliente para sistemas de BT.

Condiciones de funcionamiento:

Capacidad: Capacidad de refrigerar: 2,000 kW Evaporación: Temperatura: -20,0 °C Condensación: Temperatura: 30,0 °C
 Flujo másico en la línea: 42,65 kg/h Recalentamiento útil: 8,0 K Subenfriamiento: 2,0 K
 Capacidad de calefacción: 2,681 kW Recalentamiento adicional: 0 K Subenfriamiento adicional: 0 K

Criterios de selección:

Caída de presión: Predeterm bar Tamaño: Conexión: Soldadura a tope acero DIN Caída de temperatura de saturación: 0,020 K/m
 Velocidad: 12,00 m/s Tamaño: DIN-EN 10 (3/8")

Criterios de selección adicionales:

Longitud: 33,00 m
 Ángulo: 0

Línea de aspiración (Sistema de expansión seca, R22, Tuberías)

Selección: **Tubería de cobre ANSI 3/4**

Seleccionado	Tipo	NS	DP [bar]	DT_sat [K]	DP [K/m]	Velocidad, ent. [m/s]	Velocidad, sal. [m/s]	Resultado
<input type="radio"/>	ANSI 3/8	9,53	2,059	39,4	1,194	23,32	150,5	⚠
<input type="radio"/>	ANSI 3/8	9,53	2,059	39,4	1,194	23,32	150,5	⚠
<input type="radio"/>	ANSI 1/2	12,7	0,396	4,5	0,136	11,88	14,24	✅
<input type="radio"/>	ANSI 5/8	15,88	0,122	1,3	0,040	7,33	7,72	✅
<input checked="" type="radio"/>	ANSI 3/4	19,05	0,046	0,5	0,015	4,88	4,98	✅

Curva de rendimiento: Datos de rendimiento

Tubería de cobre ANSI 3/4
 Línea de aspiración (Sistema de expansión seca, R22, Tuberías)

Diferencia de presión [bar]

Capacidad de refrigeración [kW]

Capacidad de refrigeración: 2,0000 kW Capacidad de calefacción: 2,6808 kW Flujo másico en la línea: 42,653 kg/h Caída de presión: 0,0460 bar

Ilustración 29 Cálculo tubería de succión, Fuente: Autor

En el cálculo de esta sección de tubería es estricto el uso de 3/4" ya que la caída de presión en las otras está por encima de 1PSI, pero como esta medida no es comercial para cobre, se usa 7/8".

Este mismo programa es usado para el cálculo de las válvulas de expansión.

3 DISEÑO DE CONTROL ELECTRICO Y POTENCIA

3.1 Diagrama del circuito de refrigeración y descripción del proceso.

La fase más delicada del control se encuentra en regular de manera correcta la capacidad de los compresores, es decir que según un transductor de presión y el ajuste de set point determinado en la programación del controlador se encienden o apagan el o los compresores del sistema, para tener una referencia más clara en este sistema se usara una presión de referencia de 16 PSI para BT y 35 PSI para MT, es decir que si la presión en el manifold de succión supera estas presiones se encenderá el grupo de compresores o el compresor asignado para bajar la presión a la requerida según la necesidad de frio de los distintos ramales del circuito, de igual manera si esta baja más allá de la banda asignada, usualmente unos 5 PSI se apagaran por el controlador y si ocurre una falla en este y tienden o llegan al vacío los compresores se apagaran por las protecciones instaladas (Presostatos de baja), también hay protecciones de esta índole para el manifold de descarga pues si este supera los 300 PSI el presostato de alta actuara y abrirá el circuito de control evitando que los compresores o sistema eléctrico de potencia se dañen .

Siguiendo el mismo principio anteriormente descrito, se encuentra instalado en la unidad de condensación un transductor de presión operando en regulación de presión más alta, es decir que si el set point asignado por programación supera los 200 PSI los moto ventiladores de esta unidad se encienden, y si bajan una diferencia de 20 PSI se apagaran.

Para el control de temperatura en los evaporadores los ventiladores en MT están siempre activos, pero su válvula solenoide se apagara o cerrara el flujo de refrigerante cuando las sondas de temperatura lleguen a temperatura óptima.

En los sistemas de descongelamiento por gas caliente la forma de operar de las solenoides es igual en cuanto a cerrarse cuando alcancen la temperatura, pero debido a que el descongelamiento de este tipo lo que hace es circular vapor sobre calentado en sentido inverso al recorrido normal del refrigerante, cuando este evento se presenta se cierra la solenoide de líquido, se apagan los ventiladores, se abre una solenoide que permite el paso de gas caliente, se cierra una válvula sorit (del mismo principio de las solenoides) y se activa la válvula reguladora de presión que es general para todo el circuito de BT y se encarga de crear una diferencia de presión para que el gas caliente circule en sentido inverso al que la presión supone, y se controla el tiempo de cada descongelamiento y las veces que se hace por día.

Para el sistema de BT el descongelamiento es simultaneo para sus evaporadores, el sistema que controla la solenoide por temperatura se realiza desde el controlador CPC pero debido a que no eran suficientes las entradas analógicas para las sondas de temperatura, las neveras atendidas o vitrinas tienen un control independiente de temperatura siendo este un controlador EKC 202C marca Danfoss que se encuentra ubicado en las neveras dando la posibilidad de mostrar la temperatura del elemento en sitio.

En los compresores no se realiza ningún control de encendido en la potencia, pues estos compresores tienen un arranque directo.

El ventilador del compresor de BT se activa y desactiva al mismo tiempo que lo hace el compresor.

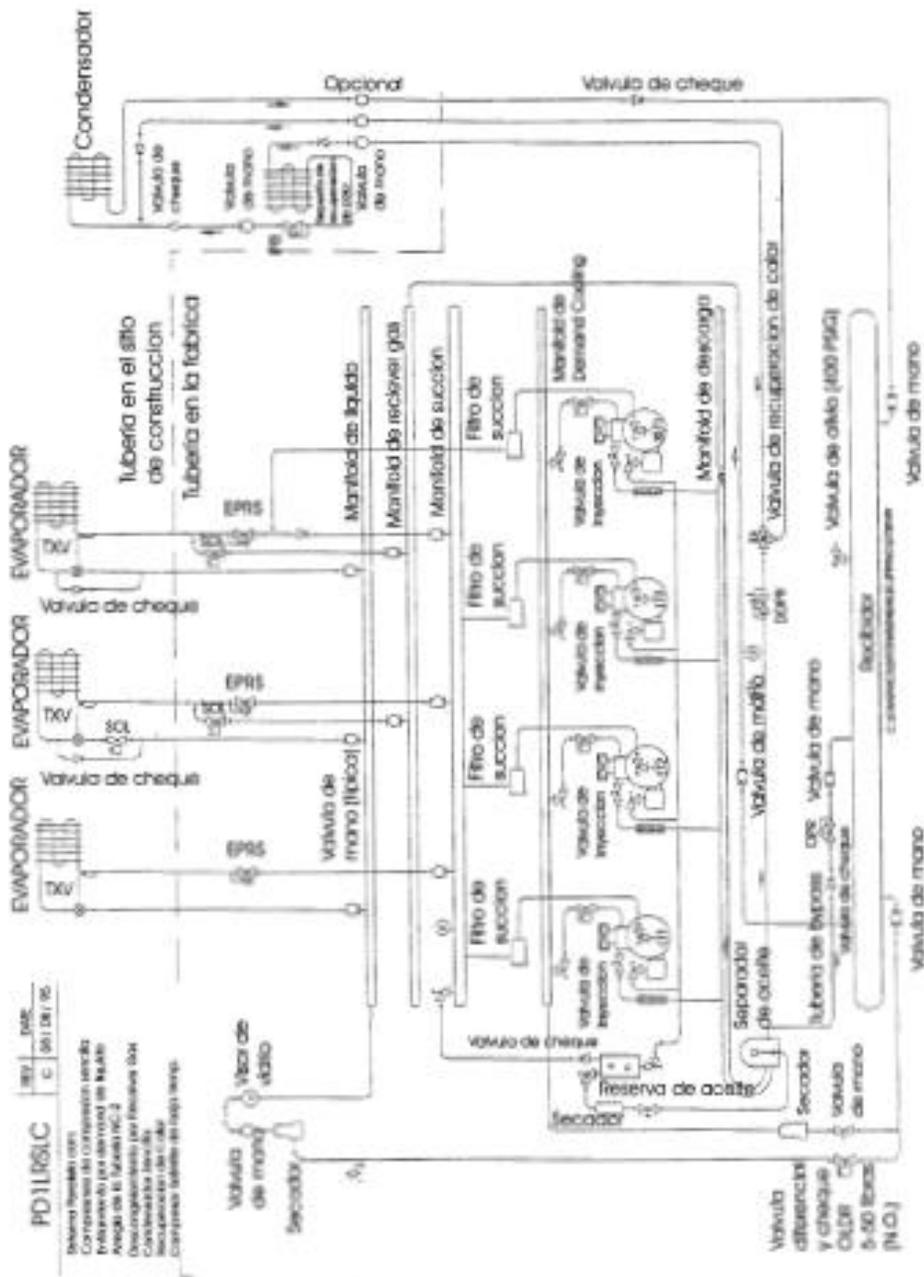


Ilustración 30 . Diagrama de actuadores en circuito de refrigeración, tomado de: [3]

3.2 Diseño de potencia

En los circuitos de potencia se dará énfasis a lo referente a compresores y moto ventiladores, las solenoides a pesar de estar consideradas como líneas de fuerza solo cuenta con un relevo que aísla la corriente del controlador con la de activación directa de estos elementos, en esta misma categoría de potencia de bajo amperaje también se incluirán los moto ventiladores de los difusores o evaporadores de los diferentes elementos de frio tales como las neveras y los cuartos.

En los compresores es normal que las protecciones eléctricas sean el breaker, el guarda motor o un relé térmico, pero este diseño cuenta con la particularidad de usar una Dona o toroide amperímetro en una de sus líneas, con el fin de determinar una carga eléctrica superior a la normal y sacar el circuito de funcionamiento (ilustración 31).

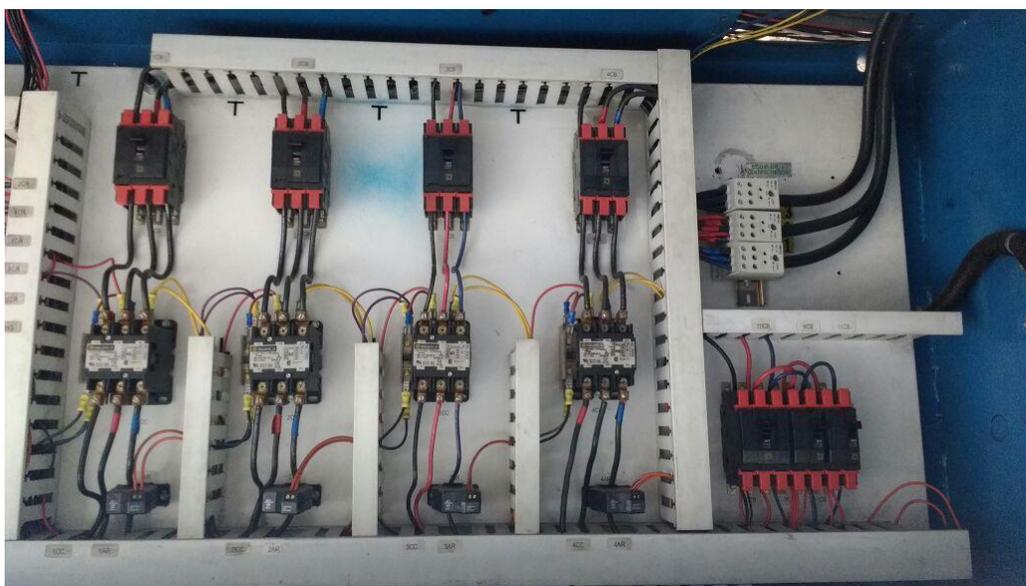


Ilustración 31. Detalle de potencia del tablero eléctrico, Fuente: Autor

Dominando la gráfica evidenciamos la línea de potencia de los compresores, y en la parte inferior derecha encontramos los breaker de los moto ventiladores de la condensadora.

En los planos los toroides amperímetros se representan como una protección térmica (Ilustración 32), y para los moto ventiladores se distribuyó por cada breaker dos de ellos (Ilustración 33), esta misma relación guarda la señal de control.

La ubicación de los contactares de los motoventiladores es una caja eléctrica dentro de la estructura de la condensadora, es decir que llevamos señales de control y potencia hasta dicho gabinete, sin que exista algún tipo de control adicional en él.

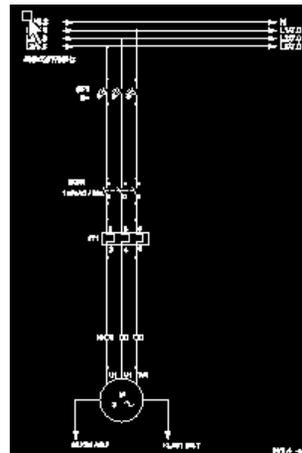


Ilustración 32 Líneas de potencia compresor. Tomado de: Archivo LCGA

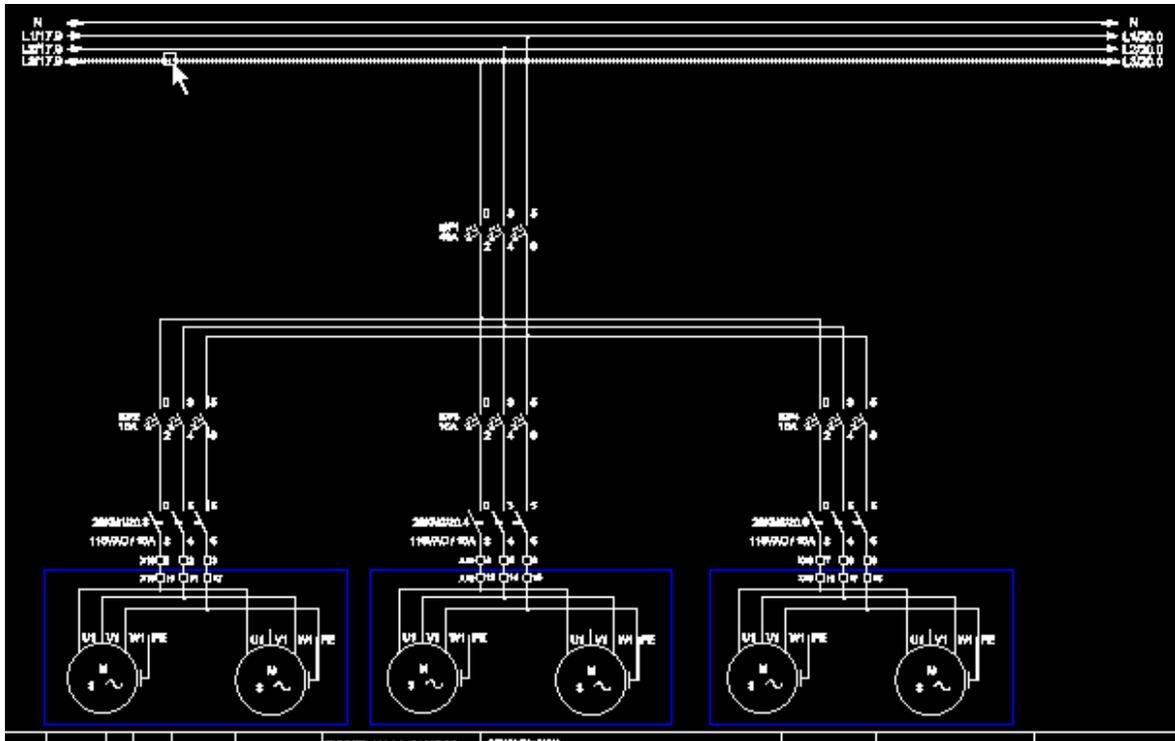


Ilustración 33 Diagrama de potencia de moto ventiladores. Tomado de: Archivo LCGA.

Para la activación de válvulas solenoides se consideró usar relevos (ilustración 34) cuya única función es aislar la señal que va del controlador al actuador, los relés de las tarjetas soportan amperajes de 1 amperio de las válvulas pero se debe tener en cuenta que los pilotos de refrigeración deben salir de esta misma línea es decir que al relevo esta cumplimento una función de contactor de baja potencia.

Para los sistemas de gas caliente los relevos cumplen la misma función pero usando los contactos normalmente abiertos para la válvula de gas caliente y normalmente cerrado para la válvula sorit de succión.

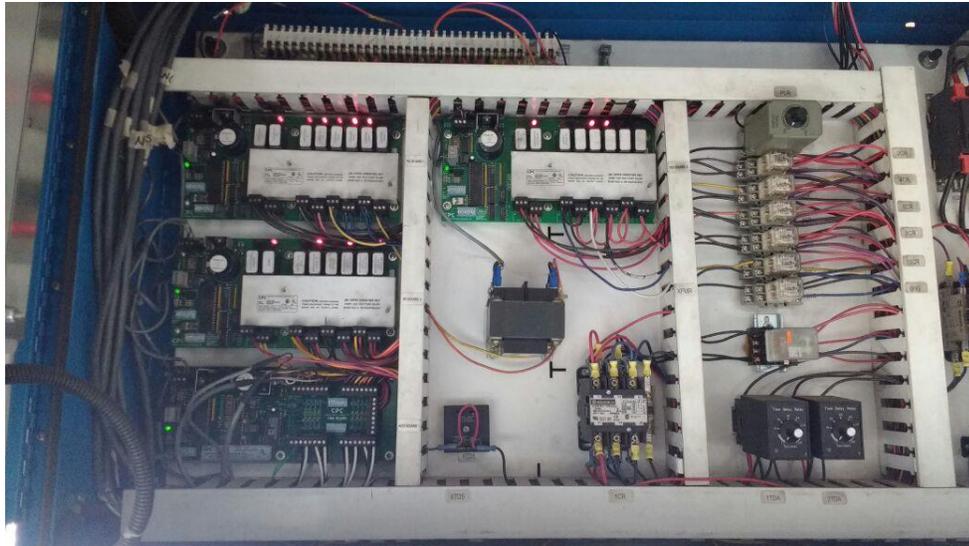


Ilustración 34. Relevos de válvulas, Fuente: Autor

3.3 Diseño de control.

El control de los compresores se basa en una sola señal salida de la tarjeta controladora, pero las protecciones del mismo son quienes finalmente tienen la facultad de dejar operar o no el equipo, entre las protecciones del control se encuentran los presostatos y control de aceite ubicado según se muestra en la ilustración 35.

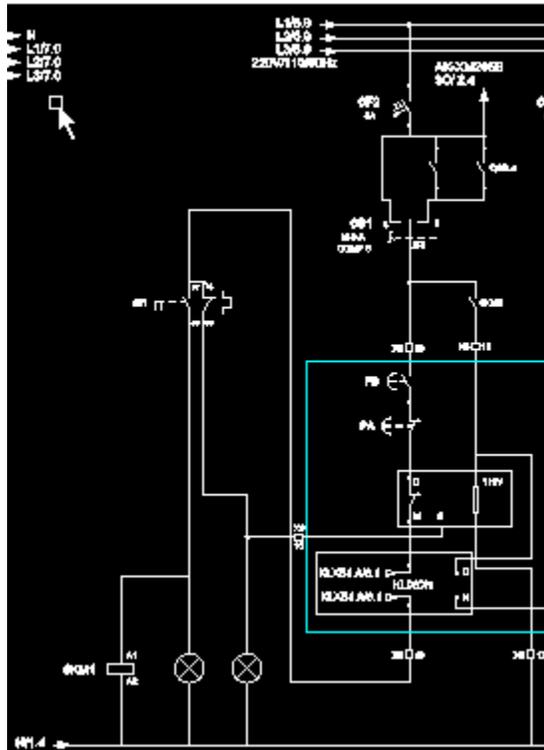


Ilustración 35 Diagrama de control de compresores, Tomado de : Archivo LCGA.

4. CONTROLADORES Y TARJETAS.

4.1 Tarjetas de entradas y salidas.

Para la alimentación de información así como acción sobre los elementos de control, el controlador CPC se vale de tarjetas de entrada y salida, en nuestro montaje encontramos 4 de ellas (ilustración 36) comunicadas entre sí por un sistema serie llamado Margarita que se hace a través de un puerto RS-485 ubicado en cada una de ellas.

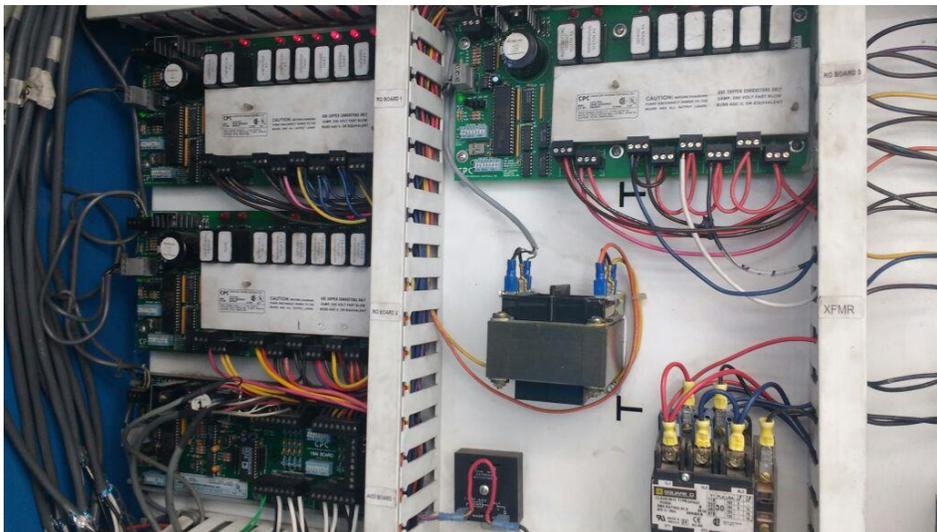


Ilustración 36. Ubicación de las tarjetas en el tablero eléctrico, Fuente: Autor

Cada tarjeta cuenta con Dip Switch's en los que se configura la tasa de baudios con la que se comunicaran, también este dispositivo nos da la opción de cómo van a actuar las salidas y entradas, es decir, para el caso de las entradas las habilita o deshabilita, y para las salidas a relé su comportamiento en caso de falla, asignando el quedarse en contacto abierto o contacto cerrado, esta función también se ejecuta ante pérdida de suministro eléctrico total.

Un segundo Dip Switch asigna la dirección de la tarjeta para luego ser ingresada en el controlador y reconocida por el mismo.

4.1.1 Tarjeta de entradas analógicas 16 AI

Esta tarjeta de entradas analógicas (ilustración 37) recibe las señales de las sondas de temperatura y de los transductores de presión.

En la ilustración 37 observamos la entrada analógica de las sondas de temperatura en la bornera de conexiones inferior y las de los transductores de presión en la bornera de la parte superior alimentados por salidas fijas de 5 Voltios de la bornera derecha, junto a los transductores encontramos entradas de señales de relevos.

La dirección de esta tarjeta es #1 ajustado en código binario en los Dip Switch.

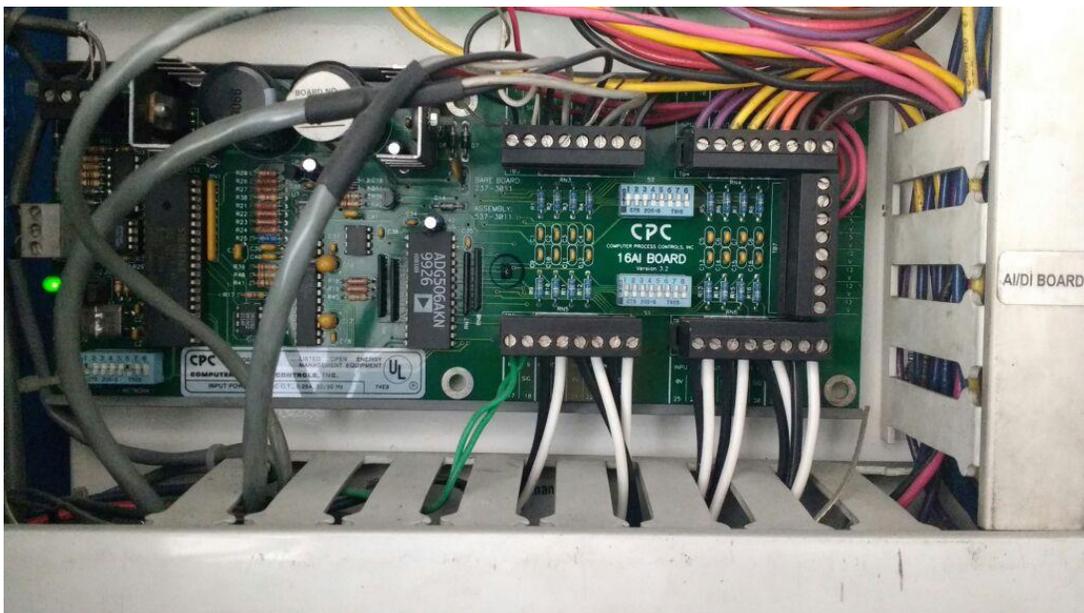


Ilustración 37 Tarjeta de entradas de señal, Fuente: Autor

Para efectos de programación se debe direccionar cada ubicación de entrada, a continuación el nombre de cada punto y la señal a la que hace referencia.

-Tarjeta 1 input 1: Transductor de presión de la línea de succión en MT.

- Tarjeta 1 input 2: Transductor de presión de la línea de succión en BT.
- Tarjeta 1 input 3: Transductor de presión de la línea de retorno de líquido de la condensadora.
- Tarjeta 1 input 4: Entrada de señal de relevo de la nevera 1 autoservicio.
- Tarjeta 1 input 5: Entrada de señal de relevo de la nevera 2 autoservicio.
- Tarjeta 1 input 6: Entrada de señal de relevo de la nevera 3 autoservicio.
- Tarjeta 1 input 7: Entrada de señal de relevo de la nevera multipuertas.
- Tarjeta 1 input 8: Entrada de señal de relevo gas caliente BT neveras atendidas y cavas.
- Tarjeta 1 input 9: Sensor de temperatura en línea de retardo de líquido de la condensadora.
- Tarjeta 1 input 10: Sensor de temperatura nevera multipuertas.
- Tarjeta 1 input 11: Sensor de temperatura nevera autoservicio 1.
- Tarjeta 1 input 12: Sensor de temperatura nevera autoservicio 2.
- Tarjeta 1 input 13: Sensor de temperatura nevera autoservicio 3.
- Tarjeta 1 input 14: Sensor de temperatura nevera atendida 2.
- Tarjeta 1 input 15: Sensor de temperatura nevera cava 1.
- Tarjeta 1 input 16: Sensor de temperatura nevera cava 2.

Es importante resaltar que falta la nevera atendida #1, como no tenemos más entradas para controlar la solenoide de esta, se usara un controlador adicional EKC 202C Danfoss.

4.1.2 Tarjetas de salidas a relé 8RO.

Esta tarjeta cuenta con 8 salidas a relé en las que distinguimos un contacto normalmente abierto otro normalmente cerrado y su común.

Vemos en la ilustración 38 una marca que la identifica como tarjeta #2, y al igual que en las tarjetas de entradas de debe colocar esta dirección en el Dip switch correspondiente.



Ilustración 38. Tarjeta de salidas a relé #2, Fuente: Autor

- Tarjeta 2 output 1: Solenoide de EnviroGuard.
- Tarjeta 2 output 2: Alarma
- Tarjeta 2 output 3: Válvula reguladora de presión
- Tarjeta 2 output 4: Válvula solenoide refrigeración Nevera multipuertas.
- Tarjeta 2 output 5: Válvula de gas caliente Nevera multipuertas
- Tarjeta 2 output 6: Válvula solenoide refrigeración Nevera 1
- Tarjeta 2 output 7: Válvula solenoide refrigeración Nevera 2
- Tarjeta 2 output 8: Válvula solenoide refrigeración Nevera 3

4.1.3 -Tarjetas de salidas a relé 8RO.

Vemos en la ilustración 39 una marca que la identifica como tarjeta #1 esto hace referencia a su posición entre tarjetas iguales, pero a nivel de programación se identifica como #3.

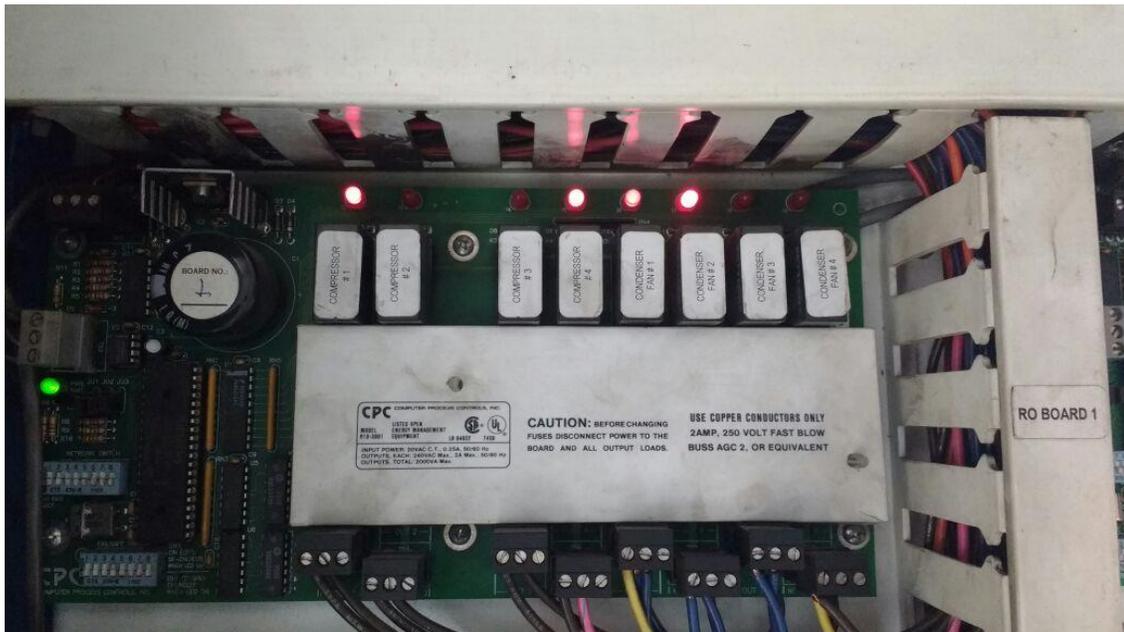


Ilustración 39 Tarjeta de salidas a relé #1, Fuente: Autor

- Tarjeta 3 output 1: Señal de compresor #1
- Tarjeta 3 output 2: Señal de compresor #2
- Tarjeta 3 output 3: Señal de compresor #3
- Tarjeta 3 output 4: Señal de compresor #4
- Tarjeta 3 output 5: Señal de moto ventilador #1
- Tarjeta 3 output 6: Señal de moto ventilador #2
- Tarjeta 3 output 7: Señal de moto ventilador #3
- Tarjeta 3 output 8: Señal de moto ventilador #4

4.1.4 -Tarjetas de salidas a relé 8RO.

Vemos en la ilustración 40 una marca que la identifica como tarjeta #3 esto hace referencia a su posición entre tarjetas iguales, pero a nivel de programación se identifica como #4.

-Tarjeta 4 output 1: Libre

-Tarjeta 4 output 2: Libre

-Tarjeta 4 output 3: Libre

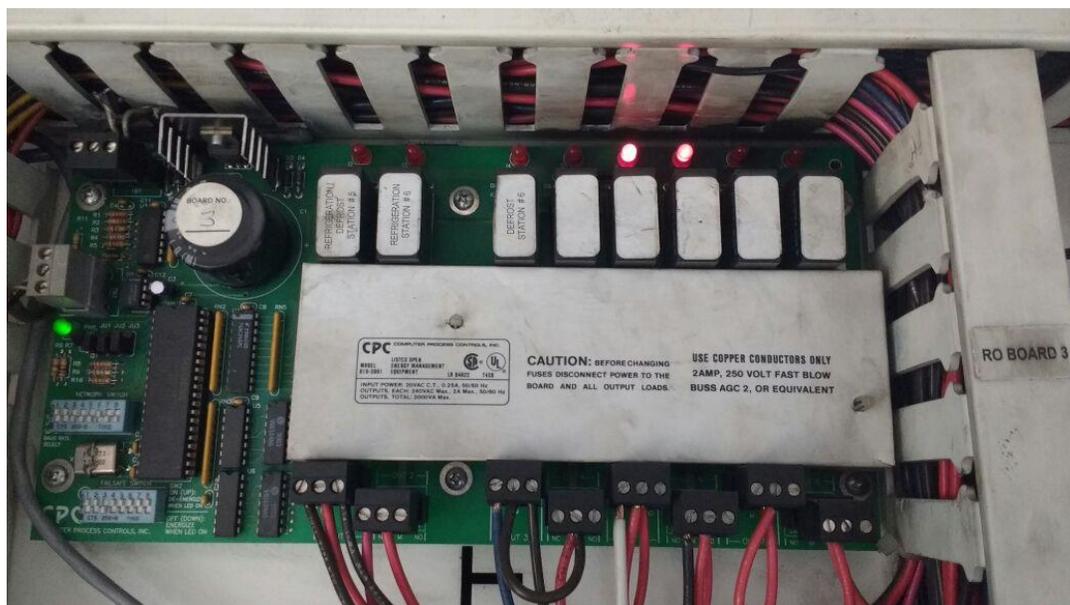


Ilustración 40. Tarjeta de salidas a relé #3, Fuente: Autor

-Tarjeta 4 output 4: Libre

-Tarjeta 4 output 5: Válvula solenoide vitrina atendida 1

-Tarjeta 4 output 6: Válvula solenoide cava 1

-Tarjeta 4 output 7: Válvula solenoide cava 2

-Tarjeta 4 output 8: Ventiladores evaporadores ramal BT

4.2 Sensores y actuadores

Algunos de los elementos de control ya no se fabrican y debido a su desgaste no se distingue el modelo, en la ilustración 41 observamos una válvula sorit marca sporlan, que cumple una doble función, la primera es cerrar la línea de succión cuando el sistema ingresa a gas caliente para evitar que el fluido en ese estado retorne a los compresores, y en su estado de refrigeración regula la presión según sea calibrada y de esta manera estabiliza el sistema en caso de falla de la válvula de expansión.

Otra imagen que encontramos es la válvula solenoide marca Emerson usada en las líneas de líquido y gas caliente, también observamos en la parte inferior un transductor de presión en el manifold de succión del sistema de MT.

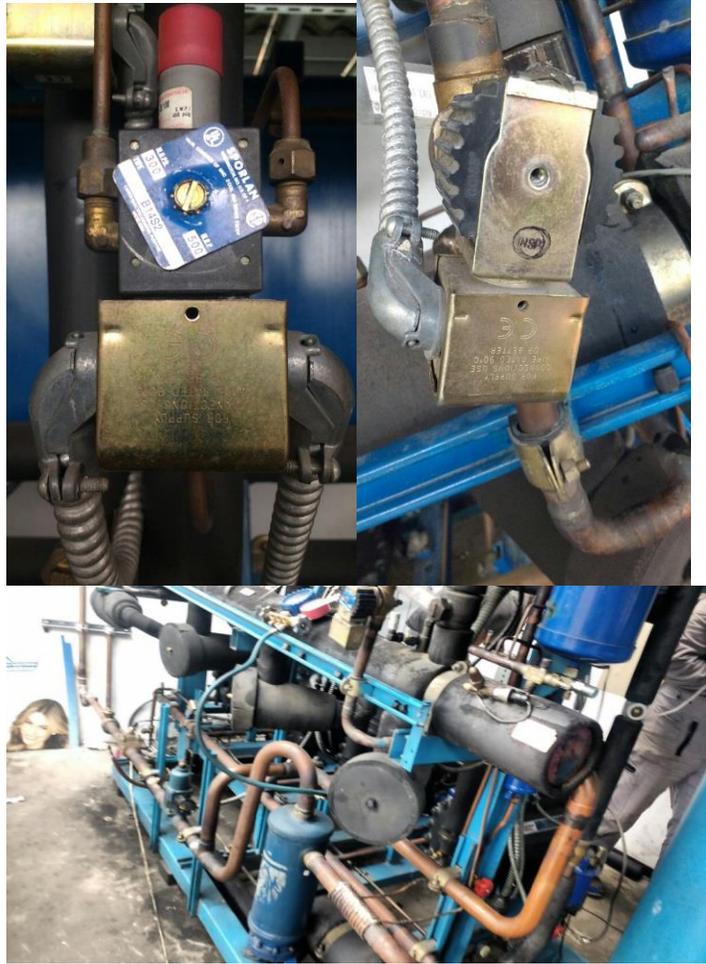


Ilustración 41 Sensores y actuadores, Fuente: Autor

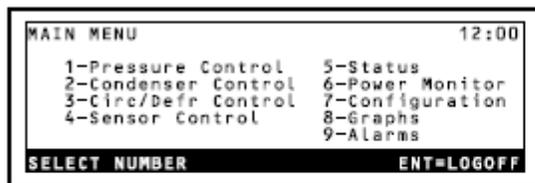
Para este transductor se utilizó un método heurístico ya que no cuenta con referencia, es decir que se conectó un manómetro en esta parte del circuito, con estas mediciones se cambiaba la referencia de compatibilidad guardadas en el CPC hasta encontrar la que coincidiera con la medición real, este mismo tratamiento se uso para el transductor de BT y algunas sondas de temperatura dentro del Rack.

4.3 Controlador CPC

El controlador de refrigeración CPC marca Emerson usado en esta instalación, es una versión del año 1999, por lo que no cuenta con conexiones a internet para revisión de parámetros, graficas del sistema para análisis, o la posibilidad de programarlo desde un software de PC y luego cargarlo al controlador, pese a esto se acomoda en lo demás a los controladores más avanzados respecto a su función en un sistema de frio.

Aclarado estas limitaciones del equipo, se describirán los pasos a seguir para la programación del sistema.

- Una vez asignado el puerto COM en el CPC para el grupo de tarjetas de entradas y salidas a utilizar, y conectadas en un circuito paralelo a través de los puertos RS485 se coloca la misma tasa de Baudios en el controlador y el los Dip swicht de las tarjetas, también se asigna la dirección de cada tarjeta.
- Una vez ingresadas las tarjetas de entradas y salidas, se empiezan a crear las situaciones de control en el sistema a través del menú configuraciones opción 7 ilustraciones 42 y 43.



Item	Description	Page
1	Pressure Control	11-2
2	Condenser Control	11-10
3	Circuit/Defrost Control	11-19
4	Sensor Control	11-45
5	Status	11-51
6	Power Monitoring	11-52
7	Configuration	11-52
8	Graphs	12-3
9	Alarms	14-4

Ilustración 42 . Pantalla CPC, Tomado de: [(7)]



Ilustración 43 Pantalla CPC real, Fuente: Autor

- o Como primera medida de crearan los grupos de succión, que es lo concerniente a un grupo de compresores y su función, donde se definirán los rangos en los que va a trabajar y su número de compresores, en nuestro caso las presiones de succión serán 10 PSI para BT y 44 PSI para MT.



Ilustración 44 . Set points, Fuente: Autor

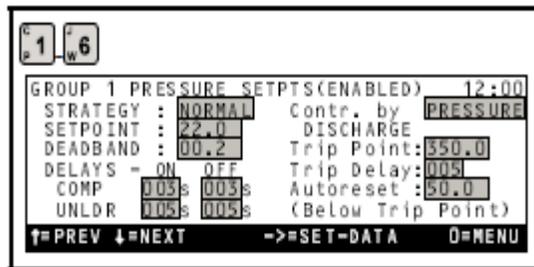
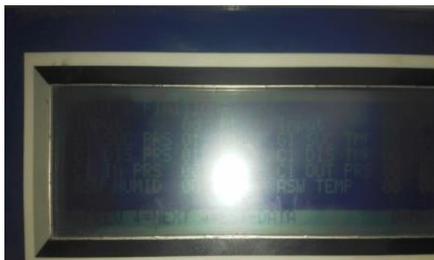


Ilustración 45. Configuración succión, Tomado de: [7]

Se observa en las figuras anteriores la configuración de otros parámetros de control como la presión de condensación que para la altura y temperatura de Bogotá es de

200 PSI y como seguridad un máximo de presión para los compresores en la descarga que es de 350 PSI.

Ya creados los grupos de succión y con los sistemas de control fijados se empieza a asignar las salidas y las entradas como se evidencia en las gráficas subsecuentes ilustración 46 y 47



7		1		INPUT DEFINITIONS				12:00	
Input	Bd	Pt	Input	Bd	Pt				
G1 SUC PRS	00	000	G1 SUC TMP	00	000				
C1 DIS PRS	00	000	C1 DIS TMP	00	000				
C1 IN PRS	00	000	C1 OUT PRS	00	000				
ASW HUMID	00	000	ASW TEMP	00	000				

↑=PREV ↓=NEXT →=SET-DATA 0=MENU

Ilustración 46. Asignaciones entradas, Fuente: Autor Ilustración 47. Entradas, Tomado de:[7]

El mismo procedimiento se realiza en las salidas a relé ilustración 48 y 49.



7		2		OUTPUT DEFINITIONS				12:00	
Output	Bd	Pt	Output	Bd	Pt				
CMP01	00	000	CMP02	00	000				
CMP03	00	000	CMP04	00	000				
CMP05	00	000	CMP06	00	000				
CMP07	00	000	CMP08	00	000				

↑=PREV ↓=NEXT →=SET-DATA 0=MENU

Ilustración 48. Asignación salidas, Fuente: Autor Ilustración 49 Salidas, Tomado de: .[7]

Para finalizar el circuito de refrigeración al nivel del controlador se deben crear los circuitos donde estarán los sensores de las neveras, cavas y vitrinas con sus set points de temperatura encargados de abrir y cerrar las válvulas solenoides que permiten o cortan el paso de refrigerante, también se asigna el tipo de deshielo, para este trabajo se usan dos tipos: Aire forzado y gas caliente los cuales controlan las válvulas sorit para el caso de gas caliente ilustración 50 y 51.

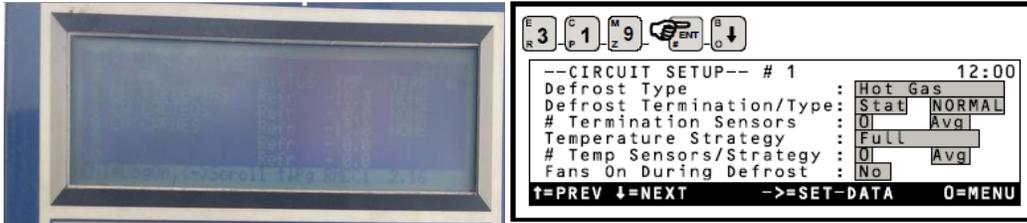


Ilustración 50 Circuitos refrigeración, Fuente: Autor Ilustración 51. Configuración deshielo, Tomado de: [7]

4.4 Controlador EKC 202C

Para la vitrina atendida #2 se dispone un controlador (ilustración 52) que no depende del mando central de compresores en lo referente a la temperatura, puesto que el cliente quería poder observar y manipular la nevera en el sitio donde esta se encuentra, en este punto se aclara que la parte mecánica sigue perteneciendo al sistema general de freón.



Ilustración 52. Controlador EKC202C Tomado de: [4]

Este controlador que ofrece la posibilidad de ser autónomo y tener su unidad condensadora y compresora, en esta aplicación solo se usa una de sus salidas encargada de la solenoide de refrigeración para controlar la temperatura, en el siguiente diagrama (ilustración 53) se encuentra dicha salida como los pines 3 y 4 que

corresponden a una salida a relé en su contacto normalmente abierto, y como ingreso de información una sonda ambiente ubicada en los pines 13 y 14.

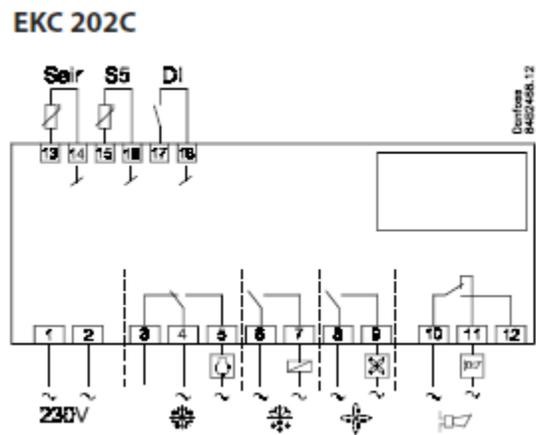


Ilustración 53. Gráfico de control.

5 Conclusiones

- El uso adecuado de un controlador es suficiente para realizar diseños de ahorro energético sin depender de tecnologías más avanzadas como los variadores de frecuencia, pues permiten operar secciones del sistema o restringirlas para dar mayores parámetros de seguridad, y a su vez, disminuir el consumo de energía por parte de los compresores, este es el caso del diseño TYLER que permite acumular refrigerante en la botella para que el flujo másico que mueven sea el mínimo posible según los cambios de la temperatura ambiente.
- Cuando se reutilizan equipos las fallas en la puesta a punto son muy frecuentes, es decir que en este caso aun cuando las pruebas de presurización y vacío se realizaron con resultados positivos y con un periodo de estanqueidad de 2 días una vez se arrancó el sistema la fatiga y deterioro de los materiales en la unidad principal fueron evidentes a través de fugas que no se encontraban allí antes del arranque.
- El equilibrio en que se debe mantener un sistema de refrigeración hace que todos los aspectos que rodean el proceso tengan un mismo nivel de importancia, no hay pieza de la que se pueda prescindir, y el conocimiento del comportamiento de los fluidos van del concepto a serios problemas de control, que de manera explícita se ven reflejados en el accionamiento de protecciones como un síntoma, pero la causa se puede esconder en cualquiera de los puntos del sistema.

6 Bibliografía

1. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado fundamentos I, William C Whitman, William M Johnson 2004.
2. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado fundamentos II, William C Whitman, William M Johnson 2004.
3. Sistemas paralelos y guardian del ambiente, TYLER, 1997.
4. Controles de refrigeración, compresores y unidades condensadoras, DANFOSS, 2012.
5. Minminas, RETIE, Colombia, 2013.
6. ICONTEC, NTC2050, Colombia, 1998. 1
7. Refrigeration monitor and case control installation and operation manual, Computer Proces Co, 1997
8. Transferencia de calor y masa, Yanus A. Cengel, 3ra Edición, 2007.