

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA AUTOMÁTICA DE 3 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA LA CONGELACIÓN DE PULPA DE FRUTA PARA LA EMPRESA, EL GUAYABAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**JUAN CARLOS GARCIA MONTOYA  
ANDRES RICARDO NOVOA SANDOVAL**

**DIRECTOR: ING. ANDRES PROAÑO.**

**CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERRES.**

**Sangolquí, 2006-11-30**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA AUTOMÁTICA DE 3 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA LA CONGELACIÓN DE PULPA DE FRUTA PARA LA EMPRESA, EL GUAYABAL” fue realizado en su totalidad por JUAN CARLOS GARCIA MONTOYA, ANDRES RICARDO NOVOA SANDOVAL ,como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Andrés Proaño**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Roberto Gutierrez**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2006-11-30**

**LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**  
**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA**  
**AUTOMÁTICA DE 3 TONELADAS DE CAPACIDAD PARA LA**  
**CONGELACIÓN DE PULPA DE FRUTA PARA LA EMPRESA, EL**  
**GUAYABAL”**

**ELABORADO POR:**

---

**Juan Carlos García Montoya**

---

**Andrés Ricardo Novoa Sandoval**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**EL DIRECTOR**

**Sangolquí, 2006-11-30**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a mis padres que gracias a su apoyo y ejemplo supieron inculcar en mí el deseo de superación y que siempre estuvieron a mi lado en todo el desarrollo de mi carrera universitaria, sembrando esfuerzo y sacrificio que dan frutos con la obtención de mi título.

**ANDRES RICARDO NOVOA SANDOVAL.**

Dedico esta tesis a mis padres, por haberme guiado durante este proceso por el camino del éxito, dándome siempre la fuerza y seguridad en cada paso que di, y por todo el esfuerzo que hicieron se merecen esto y mucho más.

No me puedo olvidar de todos aquellos que confiaron en mí en el transcurso de mi carrera sin necesidad de nombrarlos los estimo mucho, después de sobrepasar altos y bajos, se que no fue en vano, por que seguimos al pie del cañón que es lo mas importante, he cumplido el objetivo que es solo el principio de una nueva etapa.

**JUAN CARLOS GARCIA MONTOYA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos quienes en alguna medida fueron parte de esta tesis, a mis padres por su generosidad y apoyo, a mis profesores que compartieron todos sus conocimientos durante mi paso por la facultad de Ingeniería Mecánica, a mi director y subdirector de tesis por su guía, a mi compañero de tesis por su lealtad y todos mis amigos por su motivación. A todos ellos les doy las GRACIAS!

**ANDRES RICARDO NOVOA SANDOVAL.**

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas, por ser la luz que alumbró el camino y la fe que hizo de mí alguien fuerte y perseverante, a mis padres de quienes recibí todo el apoyo que necesite, gracias a ellos soy lo que soy una persona de bien, a mi novia por su amor, paciencia, y fuerza que soporto buenos y malos ratos durante el transcurso del proyecto, a mis profesores que se esmeraron por impartirme sus conocimientos que me servirán de mucho durante mi vida profesional, a mis amigos quienes unidos nos ayudamos en el difícil mundo de la ingeniería, gracias a todos ellos.

**JUAN CARLOS GARCIA MONTOYA.**

## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS Y CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.4 ALCANCE	14

### CAPÍTULO II

#### PRINCIPIOS BASICOS DE REFRIGERACION

2.1 GENERALIDADES	15
2.1.1 Conceptos Básicos	16
2.1.2 Ciclos de refrigeración.	19
2.1.3 Refrigerantes más utilizados en la actualidad	33
2.2 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	38
2.2.1 Nociones sobre la constitución de los alimentos	38
2.2.2 Componentes de los alimentos y su comportamiento	39
2.2.3 Proceso de fabricación de la pulpa	41

### CAPITULO III

#### DISEÑO TERMICO Y MECANICO

3.1 CRITERIOS GENERALES	45
3.1.1 Tipos de producto	45
3.1.2 Tamaño de la unidad de enfriamiento	45
3.1.3 Capacidad de almacenamiento	47
3.1.4 Empaque del producto	47
3.1.5 Ubicación y disposición de la instalación	48
3.1.6 Selección del material de elementos estructurales.	
3.2 CALCULO DE NECESIDADES FRIGORÍFICAS.	
3.2.1 Calculo de las cargas térmicas en la cámara.	53

### CAPITULO IV

#### CONTROL DE PARAMETROS OPERATIVOS

4.1 VARIABLES DE CONTROL	73
4.1.1 Temperatura	73
4.1.2 Presión	74
4.1.3 Humedad	75

### CAPITULO V

#### CRITERIOS DE SELECCION DE MEJOR ALTERNATIVA.

5.1 SELECCIÓN DE UNIDADES EVAPORADORAS.	77
5.2 SELECCIÓN DE UNIDADES CONDENSADORAS.	87
5.3 SELECCIÓN DE REFRIGERANTE.	91
5.4 SELECCIÓN DE TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.	95

### CAPITULO VI

#### ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.	100
6.2 ANÁLISIS FINANCIERO	103

## CAPITULO VII

### MANUAL DEL USUARIO

7.1 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CAMARA FRIGORIFICA.	106
7.2 MANUAL MANTENIMIENTO DE LA CAMARA FRIGORIFICA.	119

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES.	134
8.2 RECOMENDACIONES.	135
8.3 BIBLIOGRAFÍA.	136

### ANEXO A

Fotos de construcción en instalación de Cámara frigorífica.

### ANEXO B

Garantía Técnica de Equipos

### ANEXO C

Planos de cámara frigorífica

### ANEXO D

Catalogo BOHN, Evaporadores de bajo perfil

### ANEXO E

Catalogo Danfoss, Unidades condensadoras Bluestar

### ANEXO F

Manual de Ingeniería Danfoss, Válvulas de expansión termostática

### ANEXO G

Manual de Ingeniería Danfoss, Válvulas de solenoide.

### ANEXO H

Notas del Instalador Danfoss, Filtros secadores y visores de líquido.

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 3.1 Suplementos de temperatura por radiación solar en grados centígrados.

Tabla 3.2 Renovación del aire diario por las aberturas de puertas para las condiciones normales de explotación.

Tabla 3.3 Calor del aire en  $\frac{KJ}{m^3}$  para el exterior que penetra en la cámara.

Tabla 3.4 Potencia calórica aportada por las personas.

Tabla 3.5 Temperaturas recomendadas, humedad relativa, calor máximo específico y calor de respiración de alientos refrigerados.

Tabla 4.1 Relación humedad relativa y recirculación de aire.

Tabla 5.1 Valores de coeficiente de corrección f1

Tabla 5.2 Valor recomendado entre Hr vs.  $\Delta T$  en convección natural y forzada

Tabla 5.3 Modelos de unidades evaporadoras con deshielo eléctrico

Tabla 5.4 Datos dimensionales para unidades evaporadoras

Tabla 5.5 Selección de condensador para refrigerantes R-404A/R507A

Tabla 5.6 Detalle dimensionales de unidad condensadora

Tabla 5.7 Características eléctricas de unidades condensadoras.

Tabla 5.8 Características termo físicas de seguridad e impacto ambiental de los refrigerantes

Tabla 5.9 Matriz de evaluación para selección de alternativas de refrigerantes.

Tabla 5.10 Pérdida de carga equivalente de la temperatura de evaporización en °C, valores normales admitidos.

Tabla 5.11 Datos físicos de unidades evaporadoras con deshielo eléctrico

Tabla 7.1 Posibles fallas del sistema, causas y soluciones.

Cuadro 6.1 Costos de diseño e ingeniería.

Cuadro 2.1 Refrigerantes HFC HidroFluorocarbonados

Cuadro 2.2 Refrigerantes CFC's

Cuadro 2.3 Refrigerantes HCFC's

Cuadro 6.2 Costos de obra civil.

Cuadro 6.3 Costos de elementos estructurales.

Cuadro 6.4 Costos de equipos.

Cuadro 6.5 Costos de accesorios.

Cuadro 6.6 Resumen de costos.

Cuadro 6.7 Costo/beneficio.

Cuadro 7.1 Mantenimiento preventivo de Unidad Evaporadora.

Cuadro 7.2 Mantenimiento preventivo de Unidad Condensadora.

Cuadro 7.3 Mantenimiento preventivo de tubería de cobre.

Cuadro 7.4 Mantenimiento preventivo de valvulería y accesorios.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Bosquejo del sistema de refrigeración

Figura 2.2 Secuencia del sistema de refrigeración

Figura 2.3 Diagrama P-h de ciclo saturado simple teórico con R-12

Figura 2.4 Diagrama P-h de ciclo teórico vs ciclo real

Figura 2.5 Diagrama P-h efecto de sobrecalentamiento en la succión.

Figura 2.6 Diagrama P-h efecto del subenfriamiento del líquido.

Figura 2.7 Diagrama P-h efecto de las caídas de presión.

Figura 2.8 Diagrama P-h ciclo real.

Figura 2.9 Refrigerantes HFC Hidrofluorocarbonados.

Figura 2.10 Refrigerantes CFC`s

Figura 2.11 Refrigerantes HCFC`s

Figura 2.12 Diagrama de Proceso de Pulpa de Fruta

Figura 2.13 Refractario Instrumento que mide los grados brix.

Figura 2.14 Aislamiento Térmico Equivalente.

Figura 3.1 Esquema de dimensiones de la cámara.

Figura 3.2 Detalle de aislamiento del suelo.

Figura 3.3 Esquema del panel de poliuretano.

Figura 3.4 Diagrama de proceso de construcción de paneles.

Figura 3.5 Esquema de puerta de cámara frigorífica.

Figura 3.6 Esquema de bisagras y chapas.

Figura 3.7 Diagrama de proceso de construcción de la puerta.

Figura 3.8 Diagrama P-h del refrigerante R-404A

Figura 4.1 Esquema de variación de temperatura  $\Delta T$ , entre el evaporador y el ambiente.

Figura 5.1 Diagrama de humedad relativa vs.  $\Delta T$ .

- Figura 5.2 Diagrama Psicométrico del aire.
- Figura 5.3 Posibles ubicaciones de evaporadores
- Figura 5.4 Detalle dimensional de unidades evaporadoras
- Figura 5.5 Ejemplo de unidad condensadora
- Figura 5.6 Características y esquema refrigerante R-404<sup>a</sup>
- Figura 5.7 Grafico relación caída de presión vs. temperatura
- Figura 5.8 Ábaco para evaluar las pérdidas de carga dinámica en tuberías de 10m de longitud.
- Figura 7.1 Diagrama de Obra Civil.
- Figura 7.2 Diagrama de Anclaje de Estructura de Cámara Frigorífica.
- Figura 7.3 Diagrama de Montaje de equipos de Refrigeración.
- Figura 7.4 Diagrama de Instalación Tubería de Alta.
- Figura 7.5 Diagrama de Instalación Tubería de Baja.
- Figura 7.6 Diagrama de Instalación Eléctrica.
- Figura 7.7 Diagrama Temperatura vs. Tiempo.
- Figura 7.8 Temperatura vs. Numero muestras.
- Figura 7.9 Presión vs. Numero de muestras.
- Figura 7.10 Diagrama Sobrecalentamiento en la succión.
- Figura 7.11 Diagrama Subenfriamiento en la línea del liquido.

## RESUMEN

La empresa “El Guayabal” es una microempresa que produce dulces típicos de Colombia y tiene la visión de invertir en tecnología que le permita ofrecer productos de calidad y posesionarse en el mercado Ecuatoriano.

El presente proyecto esta dirigido precisamente a diseñar y construir un cuarto frío que le sirva a la empresa para conservar la *guayaba*, que es la materia prima principal en la elaboración de los dulces.

El primer paso después de aceptar este reto fue el conocer las necesidades reales de la empresa, donde pudimos conocer la cantidad de producto, la temperatura a la cual se conserva, el tiempo de conservación, las características del producto, el lugar mas adecuado para construirlo, etc.

Con toda esta información, y con una coordinación directa con la gente de la empresa “El Guayabal” se continuó con el diseño, la carga térmica a la cual va a ser sometida el cuarto y el resto de parámetros importantes.

Con los datos anteriores se siguió con el dimensionado de la cámara, la selección de todos los equipos necesarios para el correcto funcionamiento.

Al tomar en cuenta la obra civil que se debía realizar, la estructura donde se colocaría el cuarto, se realizo un presupuesto real, el cual fue aceptado por la empresa.

En este punto se trabajo por varios frentes, mientras realizábamos la obra civil, simultáneamente se adquirían los equipos y alquilaba las herramientas necesarias para el montaje e instalación de la cámara de conservación.

A continuación se realiza el montaje siguiendo una adecuada secuencia, como es: obra civil en la base, montaje de paneles, instalación unidades, instalación tubería, conexiones eléctricas, calibración y pruebas de los sistemas de refrigeración, por ultimo la carga de refrigerante arranque y pruebas de operación.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

El siguiente tema de tesis nace de la necesidad real de la empresa “El Guayabal” de conservar la pulpa de fruta congelada y de esta forma ofrecer al consumidor final mejor calidad y un alimento fresco.

El control de la temperatura adecuada de almacenamiento es esencial para mantener la calidad del producto fresco. Mediante la construcción y el mantenimiento de los cuartos fríos con nuevos mecanismos de control y materiales más eficientes la industria reducirá substancialmente el costo total proveniente del sobrepeso del producto cuando no es temporada.

Muchos de los productos tienen una vida muy corta después que han sido cosechadas o extraídas de su medio natural y no se encuentra a la temperatura adecuada para su conservación. El enfriamiento y conservación en cuartos fríos remueve rápidamente este calor de campo, permitiendo así periodos relativamente amplios de almacenamiento y ayuda a mantener la calidad hasta el consumidor final, brindando al mercado cierta flexibilidad permitiendo el aumento en las ventas del producto en un mayor tiempo.

Si se tiene refrigeración en instalaciones de almacenamiento, se hace posible tener reservas de la pulpa de fruta en caso de no estar al alcance por causas climáticas o de mercado. Como se ha explicado anteriormente, esto será una ventaja para la empresa en términos económicos y para dar cumplimiento a compromisos ya adquiridos.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Esta tesis describe el diseño, construcción y cálculo del requerimiento de energía de las instalaciones de enfriamiento para conservación de alimentos, donde serán tomados en cuenta parámetros que puedan mejorar el rendimiento de la cámara frigorífica en costo y consumo, analizando las posibles alternativas que el mercado local dispone, mejorando la eficiencia.

## **1.3 OBJETIVOS**

- Diseñar un cuarto frío con capacidad para congelar 3 toneladas de pulpa de fruta con un posible incremento de carga y de esta forma poder conservar la calidad del producto.
- Construir la cámara frigorífica siguiendo los cálculos realizados en el diseño.
- Aplicar los conocimientos de los principios básicos de refrigeración para desarrollar el diseño eficiente de cuartos fríos.
- Identificar los parámetros de funcionamiento del cuarto frío para poder planificar su sistema de control.
- Desarrollar un estudio económico-financiero para demostrar que los altos costos de construcción del cuarto frío serán recuperados a corto plazo por efecto de aumento en las ventas del producto en un mayor tiempo.
- Crear un manual de mantenimiento donde el usuario pueda utilizar la cámara frigorífica sin recurrir necesariamente al fabricante.

## **1.4 ALCANCE**

El diseñar y construir una cámara frigorífica, que nos permita profundizar nuestros conocimientos de refrigeración y energía, empapándonos de ciertos aspectos y consideraciones que en base de experiencias propias se pueden palpar, de esta manera podremos llegar a dominar esta área y desenvolvemos en forma óptima en el campo laboral, donde se pueden presentar casos y problemas parecidos a los que en esta tesis podrían surgir.

# **CAPITULO II**

## **PRINCIPIOS BASICOS DE REFRIGERACION**

### **2.1 GENERALIDADES**

Cuando hablamos de refrigeración, se entiende que es el enfriamiento de un cuerpo, es decir disminuir la temperatura de mas a menos grados, para ello se recurre a la obtención de frío.

Se podría obtener frío base de hielo pero tiene algunas desventajas como por ejemplo, no es posible obtener temperaturas menores a 32°F (0 °C) o en casos extraordinarios hasta 0°F (-18 °C) si se le agrega cloruro de sodio, es costoso y poco práctico por la dificultad de cambiar constantemente el hielo, el manejo del agua de drenaje es otro inconveniente y no es posible hacer un control eficiente de temperatura.

Durante el tiempo la ciencia y la tecnología ha ido innovando aparatos en los que se pueda enfriar, de una manera más eficiente cada vez disminuyendo el costo y optimizando espacio.

En los hogares existe un ejemplo claro de lo que es la obtención de frío, las refrigeradoras son dispositivos que mantienen los alimentos a una temperatura menor a la del ambiente, esto se hace para incrementar la vida de los mismos y al mismo tiempo almacenarlos, ya que el hecho de bajar su temperatura hace que su descomposición sea mas lenta.

En la industria es indispensable llegar a temperaturas de bajo cero o de congelación, también la necesidad de espacio obligó a la ingeniería a diseñar cámaras frigoríficas capaces de mantener, o congelar los productos de acuerdo a las necesidades optimizando espacio, eficiencia y energía.

Se podría decir que todos los alimentos pueden ser refrigerados a cierta temperatura, pero entre los principales alimentos sujetos a procesos de refrigeración se encuentran las carnes, los pescados, mariscos, las frutas, los vegetales, la leche, etc.

Cada uno de estos alimentos esta constituido por materia orgánica, y para enfriarlos es necesario conocer su estructura, su composición y su evolución cuando se lo somete a diferentes temperaturas, además existen otros factores que tienen una influencia significativa en la evaluación de las necesidades frigoríficas para diseñar una instalación, así como la determinación de las condiciones mas idóneas para su conservación. Estos factores pueden ser el tamaño, el espesor, los coeficientes frigoríficos, el tipo y las características de embalaje, etc., siendo estas esenciales de considerar para evitar problemas a largo o corto plazo.

### 2.1.1 Conceptos básicos

**Calor:** Es una forma de energía que se transmite entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura.

#### **Transferencia de calor:**

- Pasará calor de un cuerpo a otro cuerpo solo cuando exista una diferencia de temperatura entre los dos cuerpos.
- Cuando un cuerpo está en equilibrio térmico con (es decir a la misma temperatura) sus alrededores, no habrá transferencia de calor entre el cuerpo y sus alrededores.
- La transferencia de calor siempre ocurre de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja (de un cuerpo caliente a un cuerpo frío) y nunca en la dirección opuesta.

**Conducción:** Ocurre cuando la energía es transmitida por contacto directo entre las moléculas de un cuerpo simple o entre las moléculas de dos o más cuerpos con buen contacto térmico entre ambos.

**Convección:** Ocurre cuando el calor se desplaza de un lugar a otro por medio de corrientes establecidas mediante un medio que fluye.

**Radiación:** Ocurre en forma de movimiento ondulatorio similar a ondas ligeras, en donde la energía se transmite de un cuerpo a otro sin necesidad de la intervención de la materia.

**Conductividad térmica:** Es una medida de la capacidad térmica de un material para conducir calor.

**Refrigeración:** Es un caso particular de transferencia térmica e incluye la producción y utilización de temperaturas inferiores a la temperatura ambiente mediante diferentes procesos.

**Capacidad de refrigeración:** Esta dada en términos de medida arbitraria de capacidad, la tonelada.

**Congelación:** Es conseguir una temperatura en la que el agua que contenga ese elemento cambie su estado de líquido a sólido.

**Refrigerante:** En cualquier proceso de refrigeración la sustancia o cuerpo que absorbe el calor es denominado refrigerante.

**Efecto refrigerante:** Es la cantidad de calor que puede absorber para vaporizarse, la fracción líquida de cada libra de refrigerante que entra al evaporador.

Es la diferencia entre la entalpia en los puntos de saturación ( $h_{fg}$ ) a la presión de evaporación menos la entalpía del líquido que sale de la válvula de control.

**Enfriamiento sensible:** Cuando el calor absorbido por el refrigerante hace que su temperatura aumente.

**Enfriamiento latente:** Cuando el calor hace que el agente cambie de estado. Si queremos que el efecto refrigerante sea continuo debemos mantener la temperatura del agente refrigerante por debajo del espacio o material que estamos enfriando.

**Entropía:** Es la [magnitud física](#) que mide la parte de la [energía](#) que no puede utilizarse para producir un [trabajo](#). En un sentido más amplio se interpreta como la medida del desorden de un sistema. Es una función de estado de carácter extensivo y su valor en un sistema aislado crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural. La palabra entropía procede del griego (ἐντροπία), y significa evolución o transformación.

**Entalpía:** Es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno. Por ejemplo, en una reacción química a presión constante, el cambio de entalpía del sistema es el calor absorbido o desprendido en la reacción. En un cambio de fase, por ejemplo de líquido a gas, el cambio de entalpía del sistema es el calor latente, en este caso el de vaporización. En un simple cambio de temperatura, el cambio de entalpía por cada grado de variación corresponde a la capacidad calorífica del sistema a presión constante. El término de entalpía fue acuñado por el físico alemán Rudolf J.E. Clausius en 1850.

Matemáticamente, la entalpía  $H$  es igual a  $U + pV$ , donde  $U$  es la energía interna,  $p$  es la presión y  $V$  es el volumen,  $H$  se mide en julios.

**Compresión:** Es la acción mecánica por la que se reducen volumen de los cuerpos o se disminuye la distancia entre las partículas que los componen.

**Evaporación:** Es convertir un líquido en vapor.

**Calor de compresión:** Es el trabajo realizado por el compresor para aumentar la presión del gas desde la presión del evaporador hasta la presión del condensador.

**Succión:** Es extraer un líquido o gas de un lugar mediante dispositivos mecánicos o manuales.

**Condensación:** Es el paso de un vapor a los estados líquido o sólido.

**Deshidratación:** Es cuando se quita a un cuerpo o algún organismo el agua que contiene.

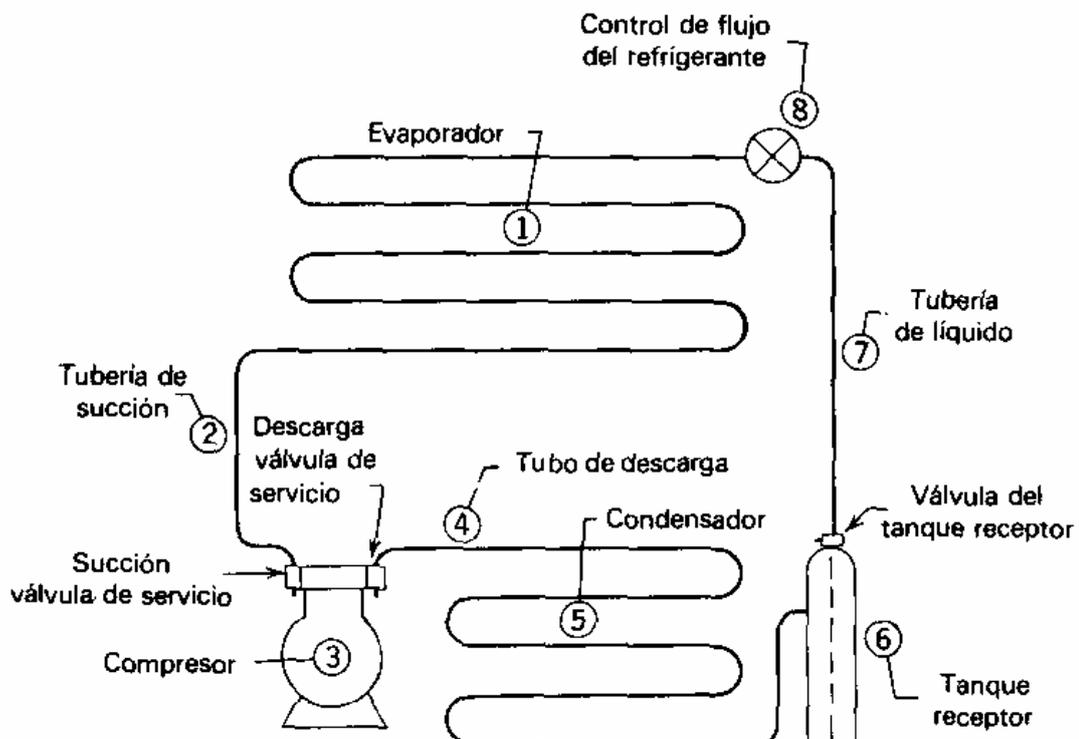
**Btu/h:** (British Thermal Unit) Unidad en la que se mide la carga térmica respecto al tiempo.

**Aislamiento:** Material que se usa para evitar una pérdida o ganancia de calor de una superficie sometida a una diferencia de temperatura.

**Poliuretano:** Espuma rígida que sirve para aislar térmicamente y acústicamente a una superficie cerrada.

### 2.1.2 Ciclos de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración están formados por dos partes que constituyen los lados de alta y de baja presión.



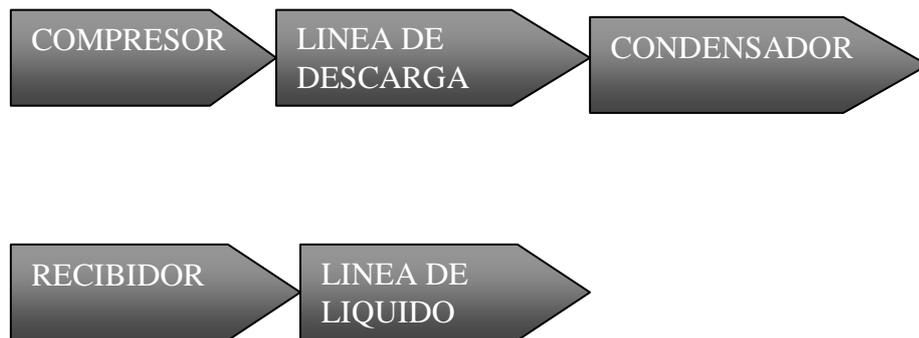
**Figura 2.1** Bosquejo del sistema de refrigeración

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

Lado de baja:



Lado de alta:



**Figura 2.2 Secuencia del sistema de refrigeración**

**Funciones de los elementos constitutivos del sistema de refrigeración.**

**Evaporador:** Superficie de transferencia de calor a través de la cual se absorbe el calor del espacio refrigerado (El refrigerante se vaporiza).

**Línea de succión:** Transporta el vapor hacia el compresor.

**Compresor:** Saca el vapor del evaporador para mantener la presión deseada de vaporización  $\approx$  temperatura deseada.

Eleva la temperatura por sobre la temperatura del medio condensante (Realmente elevando la presión).

**Línea de gas caliente:** o línea de descarga. Comunica el compresor con el condensador.

**Condensador:** Superficie de transferencia a través de la cual el vapor cede su calor al medio condensante.

Condensa el vapor para que el refrigerante sea reutilizado en un nuevo ciclo.

**Recibidor:** Almacena el líquido condensado, de manera que este se pueda suministrar continuamente, conforme a la necesidad del evaporador.

**Línea de líquido:** Transporta el refrigerante líquido desde el recibidor hasta el control de flujo de refrigerante.

**Elementos de control de flujo de refrigerante:** Dosifica la cantidad justa conforme a la demanda del evaporador.

Reduce la presión del líquido que entra al evaporador de modo que este se vaporice a la presión correspondiente a la temperatura deseada.

**Válvulas de servicio:** Aíslan los diversos elementos durante las operaciones de mantenimiento.

**Válvula solenoide:** Es aquella que se opera eléctricamente y controla automáticamente el flujo de refrigerante.

**Válvula de expansión:** Es aquella que regula el caudal de refrigerante que entra en el evaporador.

**Elementos de control eléctrico:** Son dispositivos que cierran o abren los circuitos eléctricos que ponen en operación o detienen el sistema por entero.

**Relé:** Dispositivo electromagnético que, siendo accionado por corriente, abre y cierra contactos lo que a su vez energizan circuitos eléctricos.

**Capacitador:** Tiene la función de mejorar el desempeño del compresor tanto en el arranque como en la operación.

**Protector térmico:** Tiene la función de proteger el compresor contra la sobrecarga de corrientes y altas temperaturas.

**Termostato:** Llenado con cierto fluido el cual esta conectado a diafragmas, mientras aumenta la temperatura de bulbo, al mismo tiempo se aumenta la presión del fluido el cual actúa a través del diagrama y unas palancas para conseguir que se cierre el contacto y por medio del relé se prendera la unidad condensadora. Al disminuir la temperatura de bulbo se tendrá el efecto contrario

### 2.1.2.1 Ciclo Saturado Simple

Todo ciclo de un sistema de refrigeración por compresión mecánica se representa por un diagrama presión- entalpía, este sistema utiliza cualquier tipo de refrigerante.

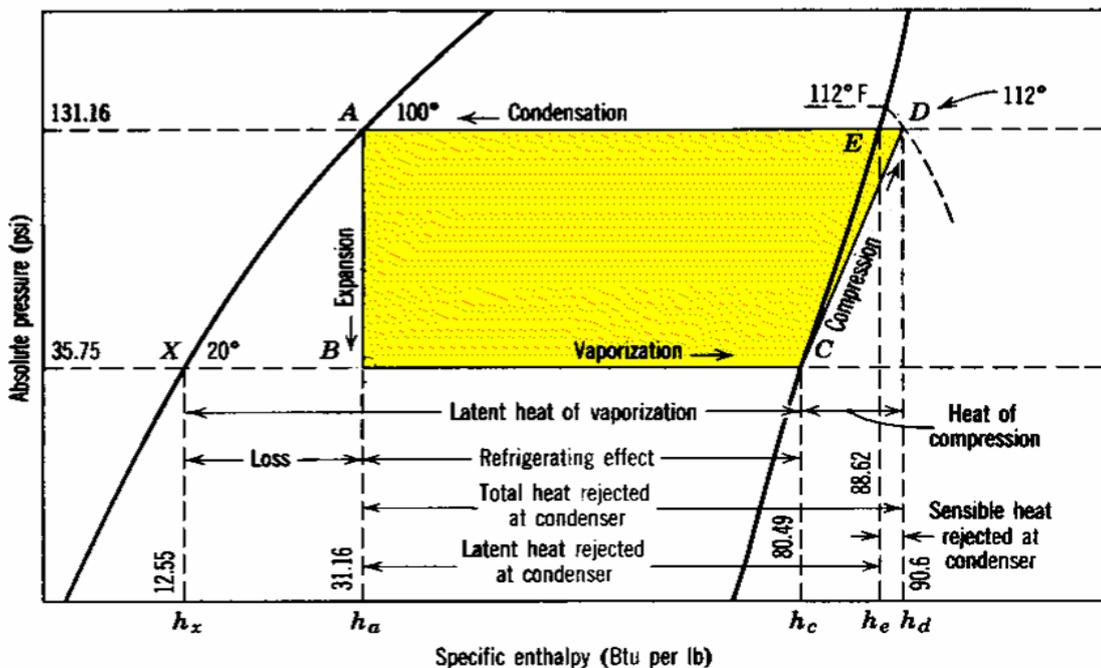


Figura 2.3 Diagrama P-h de un ciclo saturado simple teórico.

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

**a. Expansión**

Este proceso se describe por los puntos, A estado inicial, B estado final, en esta parte del proceso se regula por medio de la válvula de control del refrigerante, la cual se encuentra antes de la entrada al evaporador. En esta etapa la presión del líquido refrigerante es reducida desde la presión condensante hasta la presión evaporante, a medida que el líquido pase a través de la válvula de control. Además, el líquido es expandido en el orificio de la válvula de control.

**b. Vaporización**

La vaporización total del refrigerante esta expresada por el proceso B-C idealmente la temperatura y la presión se mantienen constantes, el punto C termina en la línea de vapor saturado.

El calor que se necesita para la evaporación, es del fluido de trabajo el cual se toma desde el espacio a refrigerarse, este calor que absorbe el refrigerante puede provenir del ambiente o puede ser el que esta en contacto con el evaporador.

A medida que el refrigerante fluye a través del evaporador, provoca un incremento de la entalpía del fluido de trabajo.

**Variando la temperatura de vaporización**

La temperatura de vaporización se controla fácilmente variando la presión dentro del recipiente gracias a una válvula colocada en el desfogue, pues sabemos que a cada presión del vapor, corresponde una y solo una temperatura de vaporización.

**Reducción de temperatura de vaporización**

Gracias al compresor que produce vacío se puede reducir la presión por debajo de la atmosférica, de esta manera podemos obtener temperaturas mas bajas a la correspondiente de saturación a 1 atm.

El compresor, para mantener la presión en el recipiente debe tener la capacidad de evacuar todo el vapor a la misma rata a la que se está formando en el evaporador, si su capacidad fuera mayor, la presión en el recipiente disminuiría, consecuentemente la temperatura de evaporación bajaría hasta un punto tal que debido a esta mayor diferencia de temperatura con el ambiente, se evapore más líquido de modo que iguale la capacidad de succión de la bomba.

Por otro lado si la capacidad del compresor fuese deficiente, esta no alcanzaría a evacuar todo el gas que se forma, el evaporador aumentaría su presión interna y su temperatura de vaporización.

### **Control de nivel de refrigerante en el evaporador.**

El líquido refrigerante no se vaporiza en el tanque de almacenamiento o en la línea de debido a que la presión de este es alta pues corresponde a una temperatura de saturación igual a la del ambiente exterior.

Cualquier aparato o mecanismo como la válvula de flotador que sea usada para regular el flujo de líquido refrigerante se denomina control de flujo de refrigerante, y su función es dosificar el flujo y por fricción bajar la presión hasta la que mantiene la bomba de vacío.

En este evaporador de serpentín una válvula de expansión termostática controla la cantidad de refrigerante que entra al evaporador; esto permite regular el flujo de refrigerante conforme a la carga frigorífica.

### **c. Compresión**

La compresión esta dada por el proceso C-D, se efectúa en el compresor a medida que se incrementa la presión del vapor debido a la compresión desde la presión vaporizante hasta la presión condensante.

En el punto, el refrigerante es un vapor sobrecalentado, como se indica en el diagrama p-h. Durante el proceso de compresión isentrópica, este es un proceso adiabático que ocurre sin fricción, en el que se efectúa un trabajo sobre el refrigerante y se incrementa la energía (entalpía), en una cantidad igual al trabajo mecánico efectuado sobre el vapor.

La energía equivalente al trabajo efectuado durante este proceso es igual a la diferencia de valores de entalpía del refrigerante entre los puntos D y C.

El vapor descargado por el compresor esta en la condición de sobrecalentado. Antes que el vapor sea condensado debe eliminarse el sobrecalentamiento del vapor bajando la temperatura del vapor descargado hasta la temperatura de saturación correspondiente a su presión.

#### **d. Condensación**

Este proceso esta formado por dos partes D-E y proceso E-A.

El proceso D-E, toma lugar en la parte superior del condensador y en una parte de la longitud de la tubería del gas caliente. Esto representa el enfriamiento del vapor desde la temperatura de la descarga hasta la temperatura condensante a medida que el vapor deja su calor al medio condensante.

En el punto E, el refrigerante es un vapor saturado a la temperatura y presión condensante, la cantidad de calor sensible es la diferencia de entalpías del refrigerante entre los puntos D-E.

El proceso A-E es la condensación del vapor en el condensador. Este proceso se verifica a lo largo de las líneas de presión y temperatura constante desde el punto E hasta el punto A. el calor cedido al medio condensante es la diferencia de entalpías del refrigerante entre los puntos E y A.

Por lo tanto el calor total cedido por el refrigerante en el condensador es la diferencia entre las entalpías del vapor sobrecalentado en el punto D y el líquido saturado en el punto A.

#### **Recuperando el refrigerante**

A través del condensador el refrigerante que trae el calor absorbido desde el espacio refrigerado más el calor de compresión, es expulsado hacia el ambiente exterior, condensándose el vapor. El líquido así formado se colecta en el tanque receptor para iniciar otro ciclo.

## Ecuaciones del ciclo saturado simple en unidades [S.A.];[S.I.]

### Efecto Refrigerante

$$q_1 = h_c - h_a \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Nota: } h_a - h_b \quad \text{Ec. 2.1}$$

### Perdida de efecto Refrigerante

$$h_a - h_x \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Ec. 2.2}$$

### Calor de Compresión

$$q_2 = h_d - h_c \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Ec. 2.3}$$

### Trabajo Mecánico

$$w = 778x(h_d - h_c) \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Ec. 2.4}$$

### Calor evacuado por el condensador

$$q_3 = h_d - h_a = q_1 + q_2 \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Ec. 2.5}$$

➤ 1 ton de refrigeración 12.000 Btu/h)

### Masa de refrigerante

$$m = \frac{Nf * 200}{q_1} \left[ \frac{lb}{\text{min}} \right] \quad \text{Ec. 2.6}$$
$$m = \frac{Nf}{q_1} \left[ \frac{Kg}{\text{seg}} \right]$$

### Caudal de Refrigerante

$$cfm = mxv[cfm]; \left[ \frac{m^3}{\text{seg}} \right] \quad \text{Ec. 2.7}$$

### Calor evacuado en el condensador

$$Q_3 = mxq_3 \left[ \frac{BTU}{hora} \right]; \left[ \frac{KJ}{seg} \right] \quad \text{Ec. 2.8}$$

### Calor de compresión

$$Q_2 = mxq_2 \left[ \frac{BTU}{hora} \right]; \left[ \frac{KJ}{seg} \right] \quad \text{Ec. 2.9}$$

### Trabajo Mecánico

$$W = mxw \left[ \frac{BTU}{lb} \right]; \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] \quad \text{Ec. 2.10}$$

### Potencia teórica

$$P = m \frac{(h_d - h_c)}{42.42 * nv} [hp] \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$P = m \frac{(h_d - h_c)}{nv} [KW]$$

### Potencia al freno

$$1.3 @ 1.5xP [hp] \quad \text{Ec. 2.12}$$

Nota: Una estimación aproximada de bhp es del 30 al 50 % del calor de compresión.

### Coefficiente de operación del ciclo teórico

$$c.o.p. = \frac{q_1}{q_2} \quad \text{Ec. 2.13}$$

### 2.1.2.2 Ciclo Simple Real vs. Ciclo teórico.

Hay varias causas que “deforman” el ciclo teórico:

- Subenfriamiento del líquido en el recipiente y en la línea de líquido.
- Sobrecalentamiento en el evaporador, en la línea de succión y en los canales de la succión del compresor.
- Caídas de presión en el evaporador, en las válvulas y canales del compresor, líneas de succión, descarga y líquido y en el condensador, etc.

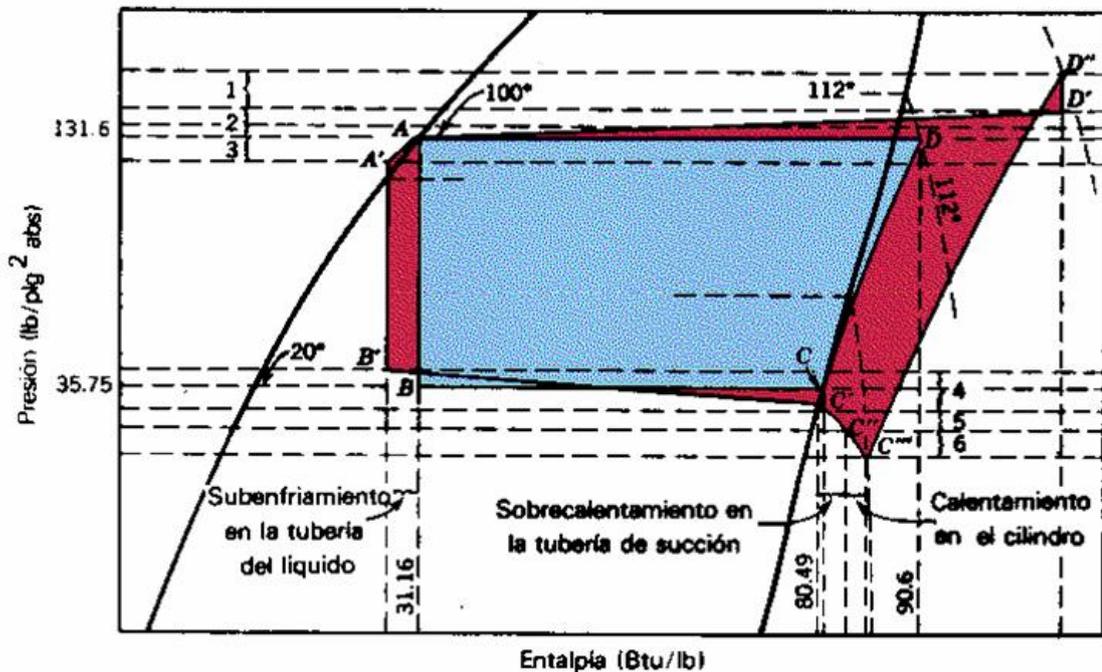


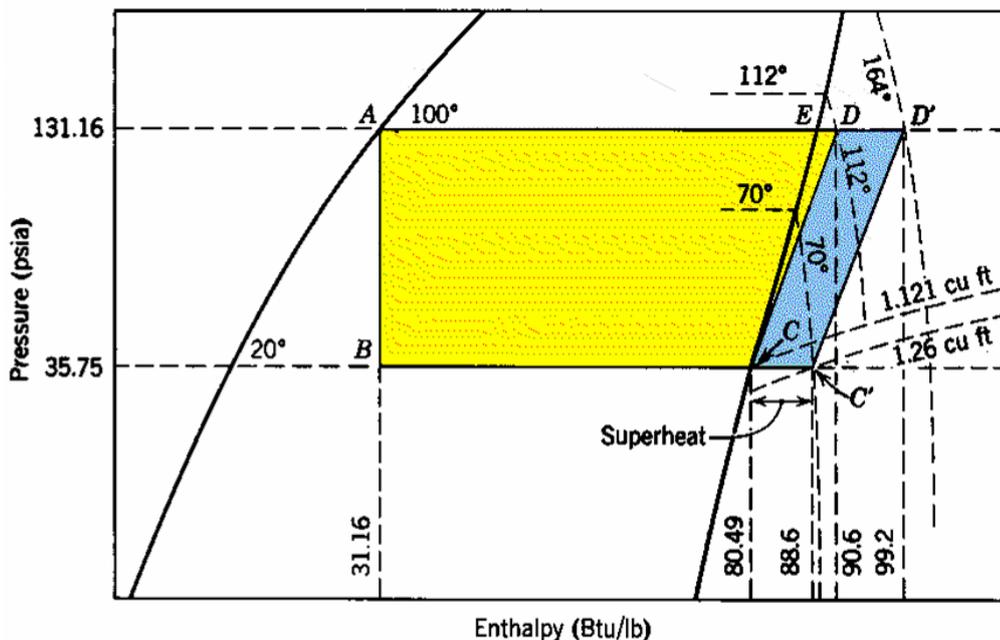
Figura 2.4 Diagrama P-h ciclo teórico vs. Ciclo simple real.

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

### 2.1.2.3 Efecto del sobrecalentamiento en la succión.

- El sobrecalentamiento es necesario para evitar que refrigerante líquido ingrese al compresor y lo dañe.
- El sobrecalentamiento se da en: La parte final del evaporador, la tubería de succión instalada dentro del espacio refrigerado (conocida como lazo de secado), en la tubería de succión fuera del espacio refrigerado (su aislamiento no es perfecto) y en un subenfriador vapor líquido, si lo hubiera.

- Nótese que el calor de compresión por libra es apenas mayor para el ciclo sobrecalentado que para el ciclo saturado.
- Para la misma temperatura de condensación y presión, la temperatura de descarga del compresor es considerablemente mayor para el ciclo sobrecalentado, una mayor cantidad de calor debe ser disipado en el condensador (por libra). Nótese que el calor adicional que debe ser disipado en el condensador es calor sensible.
- La densidad del vapor a la succión del compresor es menor, por lo que la masa de refrigerante que es comprimida por un compresor de un determinado desplazamiento será menor.
- En el sobrecalentamiento que produce enfriamiento útil, como en el caso de un subenfriador vapor líquido, el efecto refrigerante por libra es mayor para el ciclo sobrecalentado, el peso circulado por minuto por tonelada es menor, el volumen de vapor comprimido por minuto por tonelada y la potencia por tonelada es menor para el ciclo sobrecalentado.
- Cuando el sobrecalentamiento ocurre sin brindar enfriamiento útil, los cfm por tonelada, hp por tonelada, y Q3 por tonelada son mayores para el ciclo sobrecalentado. Esto significa que el compresor, su motor y el condensador serán más grandes.



**Figura 2.5 Diagrama P-h Efecto de sobrecalentamiento en la succión.**

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

#### 2.1.2.4 Efecto del subenfriamiento del líquido.

- Mientras el líquido está almacenado en el recipiente y cuando circula a través de la línea del líquido.
- Subenfriadores enfriados por agua utilizados en forma paralela o en serie al condensador especialmente utilizado para aplicaciones de baja temperatura.
- Intercambiador de calor en la línea de succión, usa el vapor frío que proviene del evaporador para subenfriar el líquido mientras este se sobrecalienta. Realmente no se afecta la eficiencia del ciclo pues se utiliza el sobrecalentamiento del vapor que por otro lado no podemos evitarlo, así es que es mejor utilizarlo en forma útil. Generalmente con los refrigerantes de campana estrecha y en pequeñas instalaciones, se acostumbra el pegar la tubería de líquido con la de succión con el propósito de secar el vapor, de paso se consigue un subenfriamiento del líquido.
- En el caso del Amoníaco, que tiene una campana amplia la mejora de efecto refrigerante en % no es sustancial cuando se subenfriaba el líquido en un sistema de una etapa.

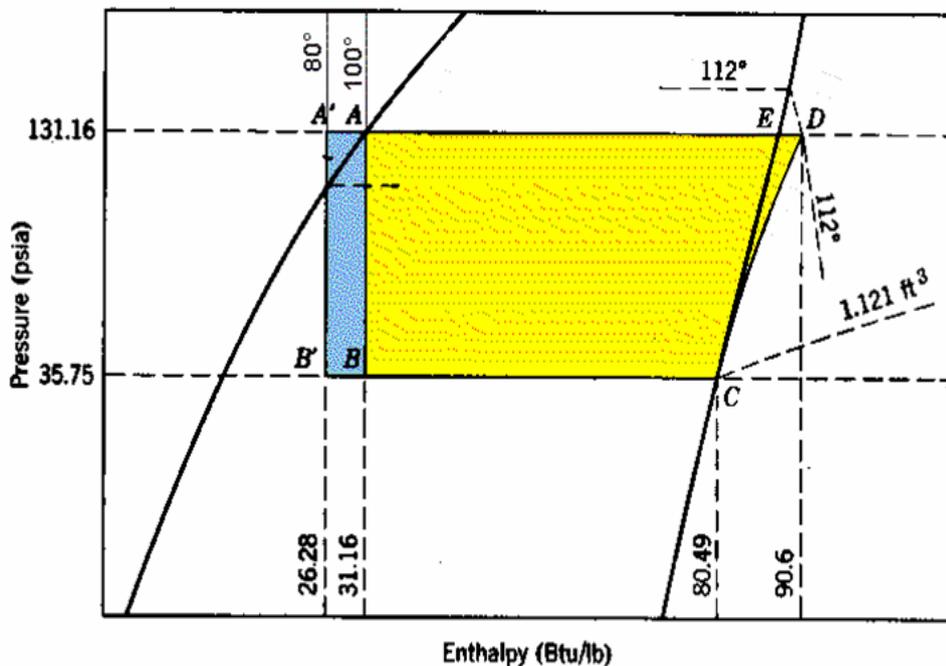


Figura 2.6 Diagrama P-h efecto del subenfriamiento del líquido.

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

### 2.1.2.5 Efecto de las caídas de presión en el ciclo.

Las caídas de presión en el evaporador, la línea de succión o cualquier intercambiador en esta línea y las válvulas de succión del compresor originan que el volumen que tiene que manejar el compresor sea mayor. Un evaporador bien diseñado produce una caída de presión de 2 a 3 psi.

Idealmente la línea de succión es diseñada para producir una caída de presión de 1 a 2 psi (depende también de la presión de succión).

El compresor debe elevar la presión por sobre la presión de condensación para forzar la apertura de las válvulas de descarga y la caída de presión en la línea de gas en el condensador. Esto origina una mayor temperatura de descarga y un mayor consumo de potencia.

La caída de presión en la línea de líquido no repercute en la eficiencia del ciclo pero puede eventualmente ocasionar una vaporización dañina para la válvula de control de flujo por lo que generalmente se procura que esta caída de presión no exceda de los 5 psi y la temperatura de descarga también aumenta.

Nota: las caídas admisibles de presión en los sistemas de refrigeración dependen del refrigerante y de las temperaturas a las que opera en ciclo.

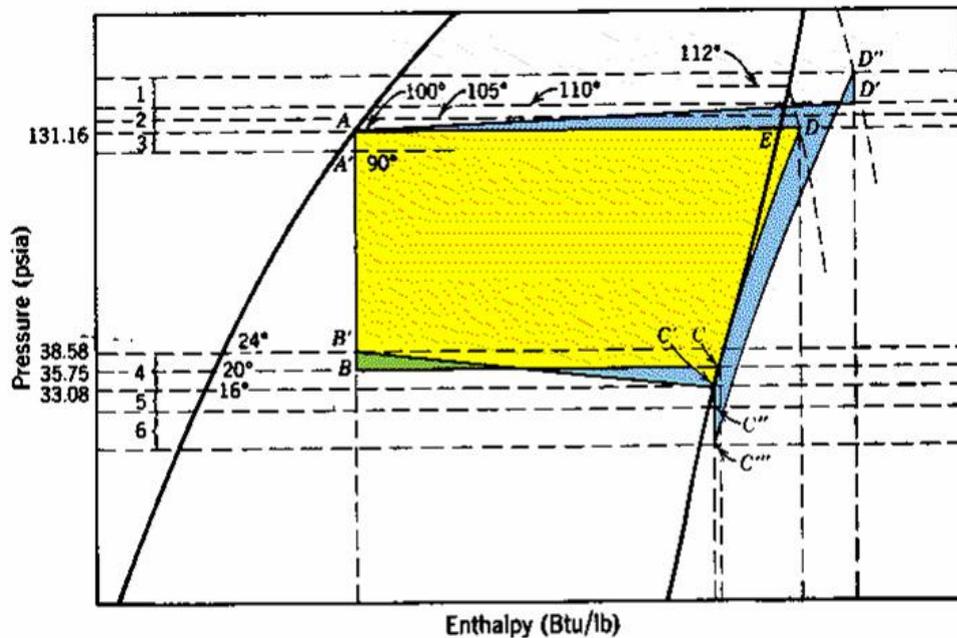
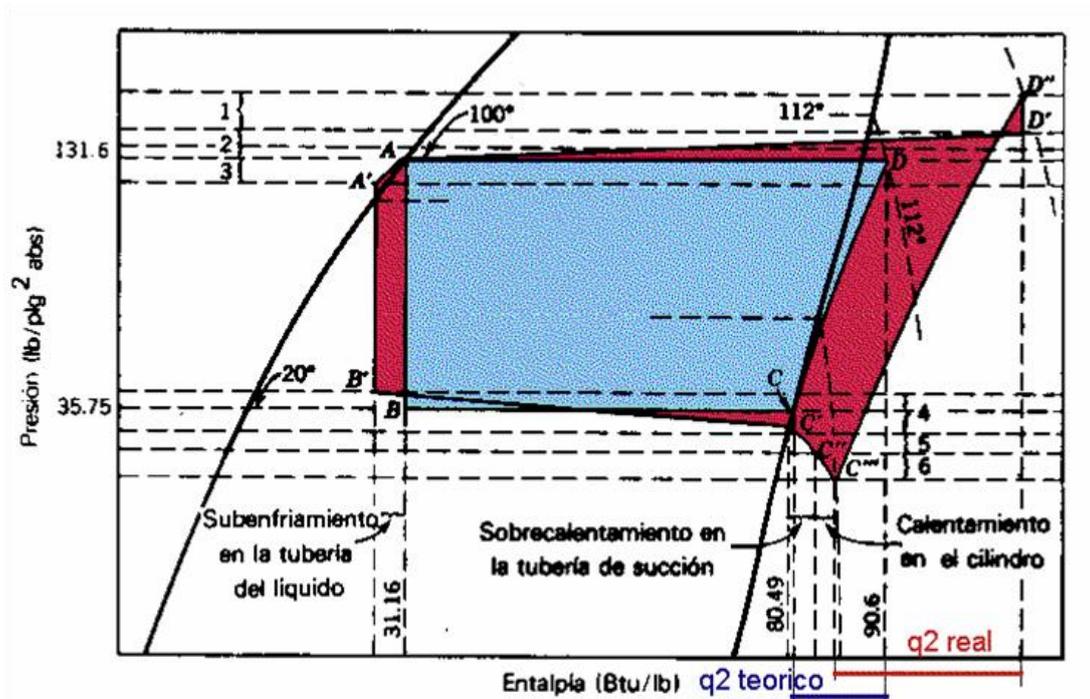


Figura 2.7 Diagrama P-h Efecto de las caídas de presión.

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

### 2.1.2.6 Ciclo Real.

Diagrama p - h del ciclo real de refrigeración mostrando los efectos de subenfriamiento, sobrecalentamiento y pérdidas de presión. Para comparación está dibujado el ciclo simple saturado. (R - 12).



**Figura 2.8 Diagrama P-h ciclo real.**

Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

En el diagrama del ciclo de refrigeración Real se observa claramente que el ciclo tiene variaciones por efectos de caídas de presión, subenfriamiento en la tubería del líquido y sobrecalentamiento en la tubería de succión, que deben tomarse en cuenta en el momento del diseño y comprobados una vez se realice la instalación del sistema de refrigeración.

De esta forma obtendremos un ciclo mas eficiente y adecuado para la necesidad para la cual se diseño la cámara frigorífica.

### 2.1.3 Refrigerantes más utilizados en la actualidad.

Los más comunes son los siguientes:

Compuestos Halocarbonados (Freónes):

- R11: Botella tomate C Cl<sub>3</sub> F
- R12: Botella blanca C Cl<sub>2</sub> F<sub>2</sub>
- R22: Botella verde C H Cl F<sub>2</sub>

Azeotrópicos:

- R500: Botella lila
- R502: Botella lila

Compuestos orgánicos:

- Hidrocarburos:
- Metano
- Propano
- Butano

Compuestos inorgánicos:

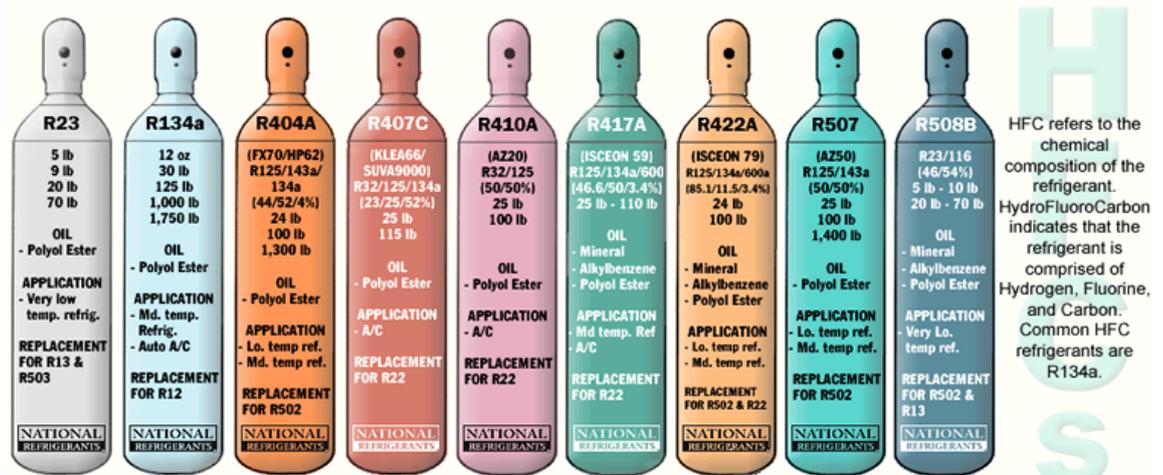
- Amoníaco 717
- Agua
- Aire
- Dióxido de carbono C O<sub>2</sub>
- Nitrógeno

Compuestos ecológicos:

- R134 A reemplaza al R12
- R404 A reemplaza al R502

**Cuadro 2.1 Refrigerantes HFC HidroFluorocarbonados**

Refrigerantes HFC	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R23	5lb, 9lb, 20lb, 70lb	Poliester	Muy baja temperatura refrig.	R13, R503
R134a	12oz, 30lb, 125lb, 1000lb, 1750lb	Poliester	Temperatura media refrig, autoA/C	R12
R404A	24lb, 100lb, 1300lb	Poliester	Media y baja temperatura refrig.	R502
R407C	25lb, 115lb	Poliester	A/C	R22
R410A	25lb, 110lb	Poliester	A/C	R22
R417A	25lb, 110lb	Mineral, Poliester, alkybenzene	Temperatura media ref., A/C	R22
R422A	24lb, 100lb	Mineral, Poliester, alkybenzene	Media y baja temperatura refrig.	R502, R22
R507	25lb, 100lb, 1400lb	Poliester	Media y baja temperatura refrig.	R502
R508B	5lb, 10lb, 20lb, 70lb	Mineral, Poliester, alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	R502, R13



**Figura 2.9 Refrigerantes HFC HidroFluorocarbonados**

Fuente: [www.refrigerants.com](http://www.refrigerants.com)

**Cuadro 2.2 Refrigerantes CFC's**

	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R11	100, 200, 650	Mineral, Alkybenzene	Centrifuga, Chilleres	—
R12	30,50,145, 1000, 2000	Mineral, Alkybenzene	Temperatura media y baja refrig, autoA/C	—
R13	5, 9, 23, 80	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—
R13B1	5, 10, 28, 90	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—
R113	100, 200, 690	Mineral, Alkybenzene	Comercial e Industrial A/C	—
R114	30, 150	Mineral, Alkybenzene	Procesos industriales, chilleres centrifugos	—
R500	30, 125	Mineral, Alkybenzene	Comercial A/C	—
R502	30, 50, 125	Mineral, Alkybenzene	Media y baja temperatura refrig.	—
R508B	5, 9, 20, 80	Mineral, Alkybenzene	Muy baja temperatura refrig.	—



**Figura 2.10 Refrigerantes CFC's**

Fuente: [www.refrigerants.com](http://www.refrigerants.com)

**Cuadro 2.3 Refrigerantes HCFC's**

Refrigerantes HCFCs	Capacidad (lb)	Lubricante	Aplicación	Reemplazo
R22	15, 30, 50, 125, 1000, 1750	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrigeración, autoA/C	—
R123	100, 200, 650	Mineral, Alkybenzene	Bajo presión chillers centrifugos	R11
R124	30, 125	Mineral, Alkybenzene	Alta refrigeración ambiental	R114
R401A	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrigeración	R12
R401B	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Baja temperatura refrigeración.	R12
R402A	27, 110	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrigeración	R502
R402B	13	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Maquinas de hielo	R502
R403B	25, 110	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Baja temperatura refrigeración.	R31B1
R408A	24 -100	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrigeración	R502
R409A	30, 125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media y baja refrigeración	R12
R414B	25-110	Mineral, Alkybenzene	Temperatura media y baja refrigeración, autoA/C	R12
R416A	25-125	Mineral, Alkybenzene, Poliester	Temperatura media refrigeración, autoA/C	R12



Figura 2.11 Refrigerantes HCFC's

Fuente: [www.refrigerants.com](http://www.refrigerants.com)

### Propiedades de los líquidos como refrigerantes

- Para vaporizarse un líquido absorbe “gran” cantidad de calor, esto nos da un gran efecto refrigerante.
- El proceso de refrigeración puede iniciarse o detenerse a voluntad, con solo detener la circulación del líquido.
- La rata de enfriamiento puede predeterminarse dentro de un pequeño margen para equilibrarlo con la carga frigorífica, variando la rata de circulación.
- Debido a que para cada presión existe una única temperatura de vaporización y viceversa. Se puede gobernar la temperatura con solo controlar la presión a la que el líquido se vaporiza.
- El agente refrigerante se puede condensar para reutilizarse una y otra vez.

- No se puede usar todos los líquidos como refrigerantes, y no existe un refrigerante útil para todas las aplicaciones. Unos poseen mejor efecto refrigerante o menor consumo de potencia en su ciclo de refrigeración.
- Los más comunes son los fluorcarbonados o freones (R-12, R-22, R-502), el amoníaco (R-707), y ahora una nueva generación de refrigerantes ecológicos: R 134a, R401a, R401b, y R402a.

## **2.2 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS**

### **2.2.1 Nociones sobre la constitución de los alimentos.**

Los alimentos están constituidos por tejidos de distinta naturaleza. El frío ejerce una acción determinada sobre los mismos, lo que produce una serie de modificaciones y comportamientos de los cuales unos pueden ser invisibles o imperceptibles y otros se manifiestan de forma mucho más clara; en cualquier caso, las modificaciones producidas por los cambios de temperatura pueden llegar a alterarlos, produciendo efectos positivos o negativos según el control que se realice de los mismos.

Es importante resaltar de cara al estudio de las aplicaciones frigoríficas que, como compuesto constante presente en todos ellos, se encuentra el agua, con una proporción muy importante, entre el 60 y el 90 % aproximadamente, en la mayoría de alimentos.

La temperatura está comprobado, frena el desarrollo de los microbios, hongos, levaduras o mohos, pero existen microbios que son capaces de reproducirse incluso en temperaturas de 0 °C y menores, si bien es cierto que la velocidad de reproducción queda muy frenada y además resulta menos peligrosa para los alimentos.

Los frutos una vez separados de la planta o árbol, siguen realizando sus funciones vitales de respiración, variación de colorido, desprendimiento de aromas, etc., y hay que tener ese punto en consideración al realizar las instalaciones de conservación, ya que se trata de sustancias vivas, no muertas.

Existen tres principios en refrigeración o tratamiento de alimentos mediante técnicas frigoríficas que resultan ser esenciales para la duración y conservación de los mismos.

1. Los productos que se desee conservar mediante refrigeración deben encontrarse inicialmente en estado sano.
2. Es necesario la aplicación de un refrigerante adecuado y precoz, y mantener la temperatura constante.
3. Es imprescindible mantener continua la denominada “cadena de frío” desde el origen hasta el final de la conservación.
4. Mantener las temperaturas y humedades relativas recomendadas para la conservación de cada alimento.

Para cumplir la primera regla es necesario vigilar en extremo las condiciones higiénicas de todo el proceso de almacenamiento, manipulación.

Hay que cuidar especialmente las variaciones de temperatura durante la conservación, ya que el desarrollo bacteriológico aumenta sensiblemente cuando existen pequeños incrementos de temperatura (por encima de los 4 °C), traduciéndose en general en putrefacciones superficiales que desperdician el producto.

Otro parámetro que debemos tomar en cuenta es la humedad relativa a la que se va a conservar puesto que un factor importante para mantener los productos es el porcentaje de agua que contengan, en unos caso es vital para su buen mantenimiento como en las flores, y en otros descompone mas rápidamente al producto como carnes y mariscos.

### **2.2.2 Componentes de los alimentos y su comportamiento**

#### **Los glúcidos**

Son elementos cuyos componentes principales son el carbono, el Hidrógeno y el oxígeno, siendo la proporción del hidrógeno y oxígeno misma que entra en la formación del agua. Por este motivo, y dada su composición, se les conoce también por el nombre de hidratos de carbono y, como elementos más simples, incluyen los azúcares.

No obstante, su comportamiento es muy diferente del que se obtendría simplemente por disolución de agua y carbono, pese a mantener las mismas proporciones.

### **Los lípidos**

Contienen también los tres componentes principales que poseen los glúcidos. Pero los componentes más característicos y más conocidos son las denominadas grasas.

Son insolubles en agua, tienen poca densidad, y dentro de sus grupos, además del carbono, hidrógeno y oxígeno, pueden entrar otros elementos, con diversas funciones específicas, de entre las que pueden destacarse los grupos vitamínicos, las hormonas, la colessterina, etc., como los más conocidos vulgarmente.

### **Las proteínas**

Tienen como mínimo cuatro componentes, es decir, además del carbono, el oxígeno y el hidrógeno, se encuentra el nitrógeno. En muchas ocasiones contienen azufre y fósforo y constituyen la estructura principal de los alimentos; es conocida la elevada proporción de proteínas que tienen las carnes, los pescados, los mariscos, la leche, los huevos, etc., los cuales tienen un elevado valor nutritivo.

Las proteínas se descomponen por el calor a determinadas temperaturas, o por el frío, siendo dichas temperaturas específicas para cada tipo de proteína. (Por ejemplo, la proteína B-lipoproteína se desnaturaliza entre 20 °C y -50 °C.)

Las proteínas, junto con los azúcares, son elementos muy importantes para la nutrición y desarrollo de las bacterias; es decir, cuando las bacterias actúan sobre las proteínas, originan una degradación que como resultado da lugar a derivados nitrogenados de naturaleza orgánica como pueden ser purinas y amoníaco, en otros elementos tóxicos de carácter desagradable.

## **El agua**

Los alimentos precisamente por su alto contenido de agua, sufren procesos de alteración. Cuanto menor sea la cantidad de agua que contiene un alimento, menores serán los problemas que presente su conservación.

Es fácil comprender que la congelación del agua existente en los alimentos estará en función precisamente en el porcentaje del agua y de composición de los alimentos, ya que en estos casos es precisamente el agua lo que se congela.

### **2.2.3 Proceso de fabricación de la pulpa.**

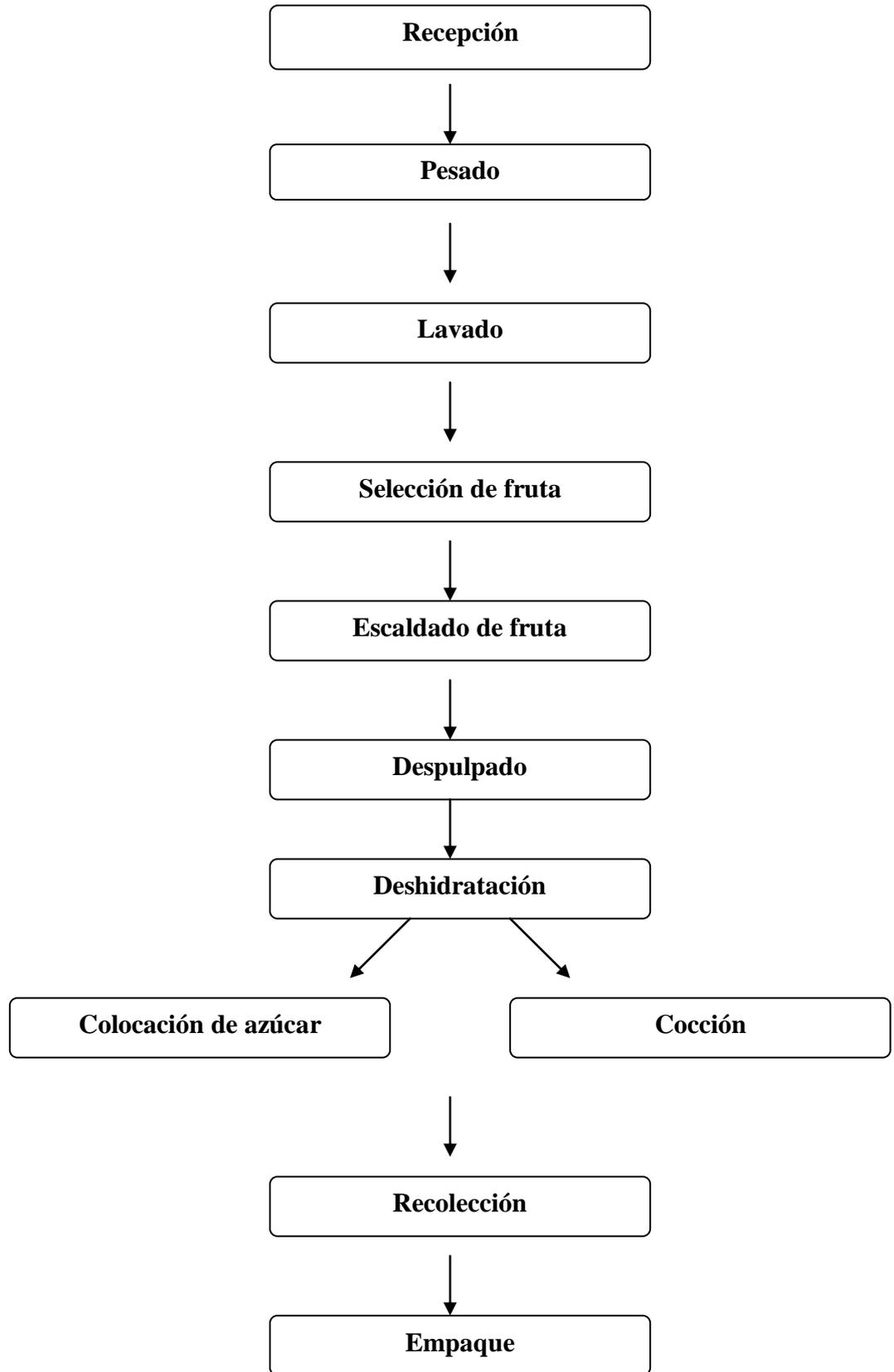
Después de las operaciones generales de recepción, pesado, lavado y selección de la fruta, se procede al escaldado de la misma, operación necesaria para facilitar el despulpado manual de las guayabas. Dependiendo de la madurez de la fruta, se escaldará en agua hirviendo hasta que las frutas estén blandas pero sin deshacerse.

Escaldadas las guayabas se dividen en cuatro partes, para luego proceder a su despulpado, con ayuda de una despulpadora manual.

La pulpa se coloca en una paila de cobre con una precámara conectada a un caldero que calienta el agua y que en forma de vapor transfiere calor a la paila y deshidrata la pulpa que a su vez es mezclada por hélices que rotan en su interior.

Se pesa la misma cantidad de azúcar que la de pulpa y se divide en tres partes iguales. Cuando la pulpa de la guayaba ha comenzado a deshidratarse se añade el primer tercio de azúcar y se continúa con la cocción, para después añadir los dos tercios restantes de azúcar, con intervalos de 20 minutos entre cada tercio.

Cuando la masa ha alcanzado los 65 °Brix, se la separa de la paila y empaqueta en fundas de polietileno de capacidad de 5Kg. Y se deja enfriar al ambiente antes de almacenarlos en la cámara frigorífica.



**Figura 2.12 Diagrama de Proceso de Pulpa de Fruta**

#### 2.2.4 Grado Brix

Los grados Brix (símbolo °Bx) miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx tiene 25 gramos de azúcar (sacarosa) por 100 gramos de líquido o, dicho de otro modo, hay 25 gramos de sacarosa y 75 gramos de agua en los 100 gramos de la solución. Los grados Brix se miden con un sacarímetro, que mide la gravedad específica de un líquido, o, más fácilmente, con un refractómetro.

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. Diversos países utilizan las tres escalas en diversas industrias.

Para los zumos de fruta, un grado Brix indica cerca de 1-2 % de azúcar por peso. Ya que los grados Brix se relacionan con la concentración de los sólidos disueltos (sobre todo sacarosa) en un líquido, tienen que ver con la gravedad específica del líquido. La gravedad específica de las soluciones



de la sacarosa también puede medirse con un refractómetro.

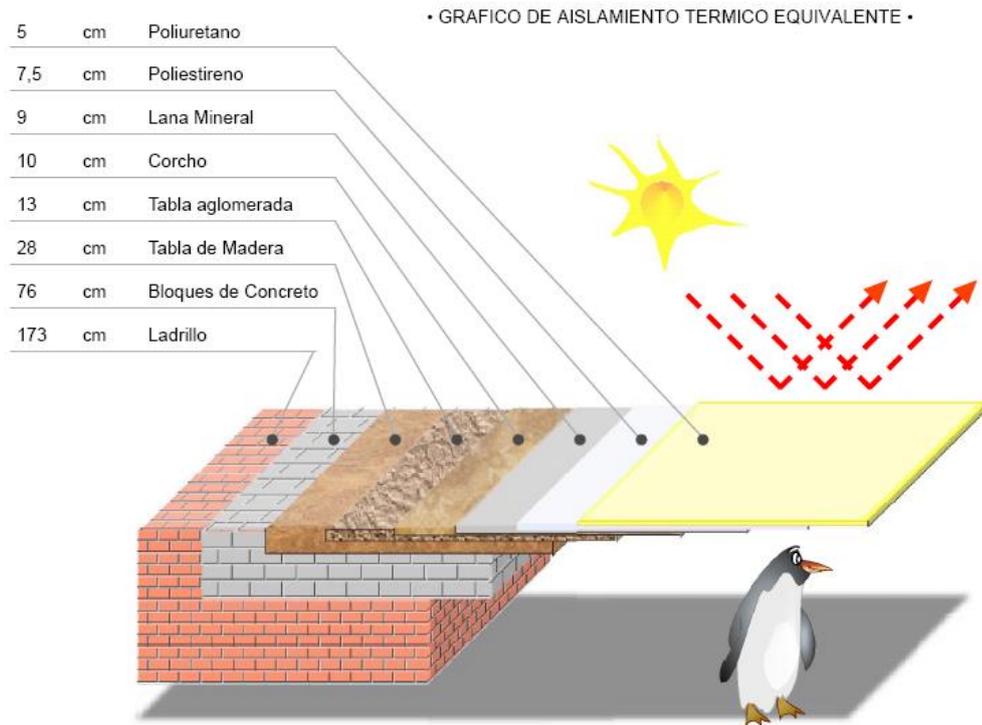
**Figura 2.13 Refractario Instrumento que mide los grados brix.**

Fuente: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

### 2.2.5 El Aislamiento (Poliuretano)

La espuma rígida de poliuretano es un aislante térmico y acústico de alto desempeño, la cual ofrece un comportamiento absolutamente confiable en todos los climas y condiciones atmosféricas, que lo hace ideal para la construcción y demás aplicaciones de ingeniería y arquitectura.

Por esta razón el panel de poliuretano ofrece unas características de confort que ningún otro material puede proporcionar.



**Figura 2.14 Aislamiento Térmico Equivalente.**

Fuente: Catalogo de Paneles Metcol

#### **Ventajas del Poliuretano**

- Alto rendimiento y facilidad en instalación
- Aislante térmico, menor flujo de calor/m<sup>2</sup>, temperatura estable
- Ahorro en el consumo de energía por equipos de aire acondicionado
- Ahorro en la compra de equipo de refrigeración o de calefacción
- Aislante acústico, controla el ruido
- Liviano
- Inorgánico, no es tóxico, no crea bacterias ni hongos, no genera olores
- Impermeable

## CAPITULO III

### DISEÑO TERMICO Y MECANICO

#### 3.1 CRITERIOS GENERALES

##### 3.1.1 Tipos de producto.

El tipo de producto que se va a conservar es la guayaba, una fruta muy típica de nuestro país, y que se da más en la región tropical.

Por ser una fruta no muy común en otras partes del mundo no se tenía mucha información acerca de esta, y por lo cual se tuvo que hacer algunos experimentos acerca de la fruta y de su estado en forma de fruta deshidratada.

Luego de mantener una pequeña muestra de 2 Kg. de Pulpa de guayaba deshidratada sometida a una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  durante tres meses, y después de investigar acerca del comportamiento de los alimentos, se concluye que la pulpa puede conservarse a esta temperatura aproximadamente un periodo de 6 meses sin que se descomponga y manteniendo la calidad de los dulces. Siendo este tiempo suficiente para poder conseguir la fruta a bajos precios.

##### 3.1.2 Tamaño de la unidad de enfriamiento.

La cantidad de pulpa que se va a conservar se ha definido en 3 toneladas, para lo cual se realizo un cálculo aproximado de la siguiente forma:

Al no poseer una densidad exacta de la pulpa se utilizo la del agua. ( $1000\text{Kg}/\text{m}^3$ ) por ser la densidad de la pulpa similar a este valor a la temperatura de congelación, a la cual estamos trabajando de  $-5^{\circ}\text{C}$ .

De esta forma tenemos lo siguiente:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3000\text{Kg}}{1000\text{Kg}/\text{m}^3} = 3\text{m}^3 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Siendo  $V$  = Volumen de la pulpa a Conservar

$m$  = Masa en Kg de la Pulpa a Conservar.

$\rho$  = Densidad del agua [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

El Volumen del cuarto se divide por un factor de 0.6 debido al espesor de las paredes y el espacio que ocupa la unidad evaporadora dentro de la cámara.

Para el apilamiento de la pulpa, fácil acceso del personal y una adecuada circulación de aire dentro del cuarto el volumen dentro de la cámara se divide por un factor de 0.5.

Obteniendo de esta forma un volumen real efectivo de:

$$V_p = \frac{V}{k_1 k_2} = \frac{3m^3}{0.3} = 10m^3 \quad \text{Ec. 3.2}$$

Siendo

$V_p =$  Volumen de la pulpa a conservar

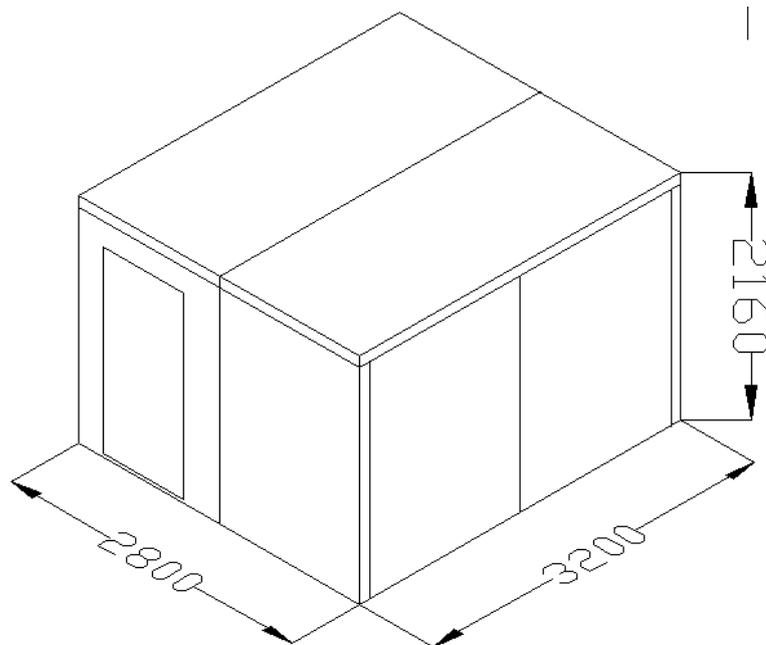
$k_1 = 0.5$  Factor de corrección para apilamiento de la pulpa

$k_2 = 0.6$  Factor de Corrección por espesor de pared y equipos

Por motivos de una posible ampliación en la producción de la planta procesadora de pulpa de guayaba se hizo necesario prever la construcción de una cámara de mayores dimensiones por lo cual se definió con las siguientes medidas:

Dimensiones de cámara frigorífica (3.2 x 2.8 x 2.2) m.

Nota: Para el cálculo de las dimensiones de la cámara frigorífica se tomo en cuenta el volumen de pulpa de guayaba antes calculado y la disponibilidad de espacio dentro de la planta de producción.



**Figura 3.1 Esquema de dimensiones de la cámara.**

### 3.1.3 Capacidad de almacenamiento.

Como se pudo ver en el anterior punto, la capacidad de almacenamiento es directamente proporcional al tamaño de la unidad de enfriamiento y es el punto del cual se partirá para el cálculo y selección de los equipos.

Esta capacidad se ha definido según la necesidad de la empresa y es de 3 toneladas de pulpa deshidratada en su capacidad crítica, pero esta va a ser muy variada incluso durante el día. Es decir que existirá una constante recirculación del producto.

Teniendo un máximo de carga en los meses anteriores a la temporada de escasez y de una carga muy baja los meses próximos a la regular cosecha del producto.

### 3.1.4 Empaque del producto.

El empaque del producto se lo va a realizar en fundas de polietileno de capacidad de 5 Kg, selladas ambos lados. Para mantener las propiedades de la pulpa deshidratada.

Esto servirá también para el momento de utilizar la cámara con otros productos que puedan contaminar la pulpa, no exista un contacto directo.

Con este tipo de empaque se permite un mejor apilamiento de la pulpa y un aprovechamiento máximo de espacio.

Otra ventaja de este tipo de empaque además del fácil manejo, es que gracias a este método logramos también mantener la calidad del producto.



En este gráfico podemos observar a la pulpa deshidratada en dos estados: a la derecha esta sometida a bajas temperaturas ( $-4^{\circ}\text{C}$ ) mientras que la muestra que se encuentra a la izquierda se encuentra a una temperatura de refrigeración de  $5^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.5 Ubicación y disposición de la instalación.

La ubicación de la cámara para conservación de pulpa es en la planta de la empresa “El Guayabal” en el Valle de Tumbaco, donde las condiciones climáticas y la altura son tomadas en cuenta en el diseño de las cargas térmicas a la que va a ser sometida la cámara.

La cámara va a ser colocada en una esquina de la planta, eso quiere decir que va a ser montada sobre dos paredes mientras que las otras dos caras estarán libres y al no poseer cubierta será necesario colocar una visera, que cubra de la radiación solar y la lluvia.

La base de la cámara será de concreto con una altura que evite filtraciones de agua y humedad. Esta base también tendrá aislamiento para lo cual se inyectara poliuretano en forma de plancha de espesor de 10 cm.

El tratamiento del piso es un factor muy importante para que el sistema de refrigeración no gane calor y no exista mayor carga frigorífica. Por esta razón se debe realizar un tratamiento especial a la base con se observa en el siguiente esquema:

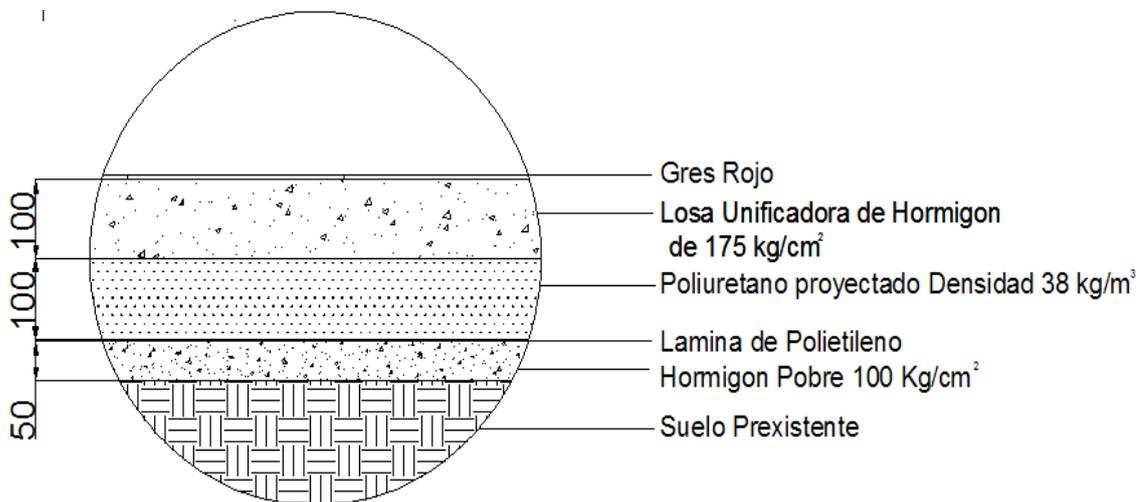
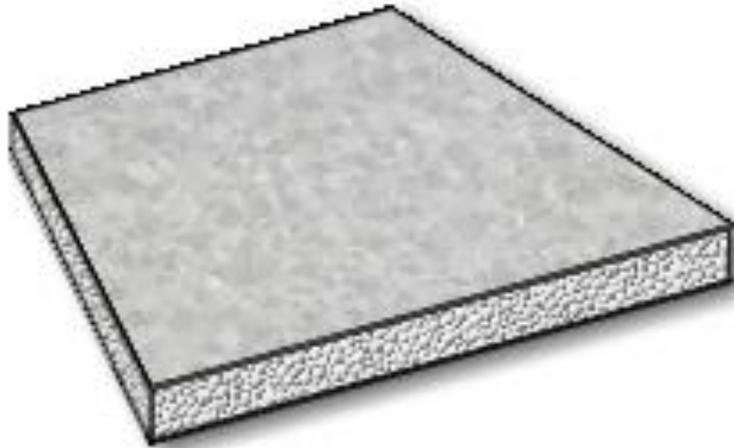


Figura 3.2 Detalle de aislamiento de suelo.

### **3.1.6 Selección del material de elementos estructurales.**

La construcción de la cámara se realizó con paneles de poliuretano prefabricados por nosotros, para ello se diseñó una estructura de madera de tal forma que se cumpla con las dimensiones requeridas 2800 x 3200 x 2100 (mm), luego se cubrió con laminas galvanizadas de 1.220 x 2.440 (mm) de área, y un espesor 0.7 mm.

La resina de poliuretano fue inyectado por medio de una bomba para bajo volúmenes y a una alta presión. Que al ser aplicada al los moldes de estructura de madera y recubrimiento de lamina galvanizada, tomo la forma de panel, tomando la forma de paneles de 10 cm de espesor.

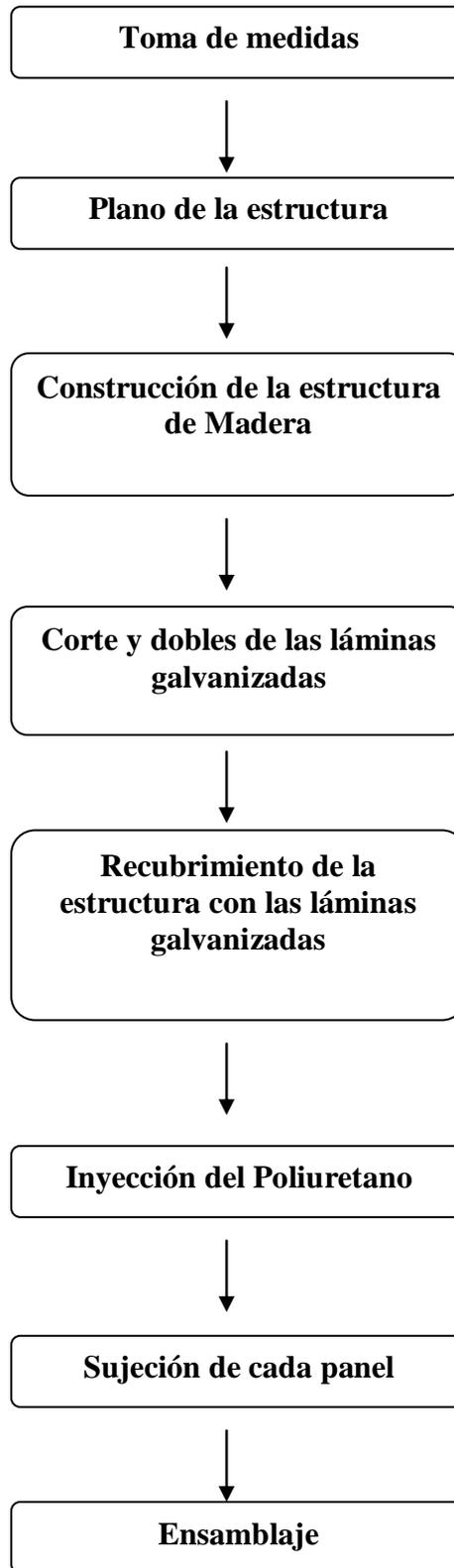


**Figura 3.3 Esquema del Panel Poliuretano**

Fuente: [www.tecnipanel.com](http://www.tecnipanel.com)

Cabe acotar que de acuerdo a las medidas de cada plancha se optimizó al máximo el material existiendo un desperdicio del 5%.

Se desarrolló un diagrama de proceso para optimizar el tiempo de construcción, estableciendo los pasos a seguir.



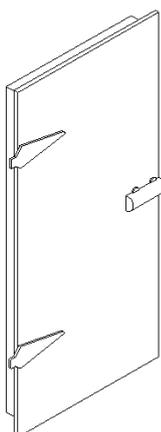
**Figura 3.4 Diagrama de proceso de construcción de paneles.**

### 3.1.7 Poliuretano

Los sistemas de poliuretano son básicamente el conjunto de dos componentes líquidos, POLIOL e ISOCIONATO, que mediante reacción química dan lugar a la espuma de poliuretano.

Es una materia sintética duroplástica. Presenta una estructura celular cerrada y su densidad está comprendida, entre 30 y 100 Kg/m<sup>3</sup>.

- Alta capacidad de aislamiento. Alcanza un valor inicial de conductividad térmica de 0,020 W/m.k a 10°C.
- Absorción de agua. Contenido de humedad no supera 5% en volumen.
- Resistencia transmisión de vapor de agua. Entre 385 y 900 M.W s/g.m.
- Resistencia al envejecimiento.



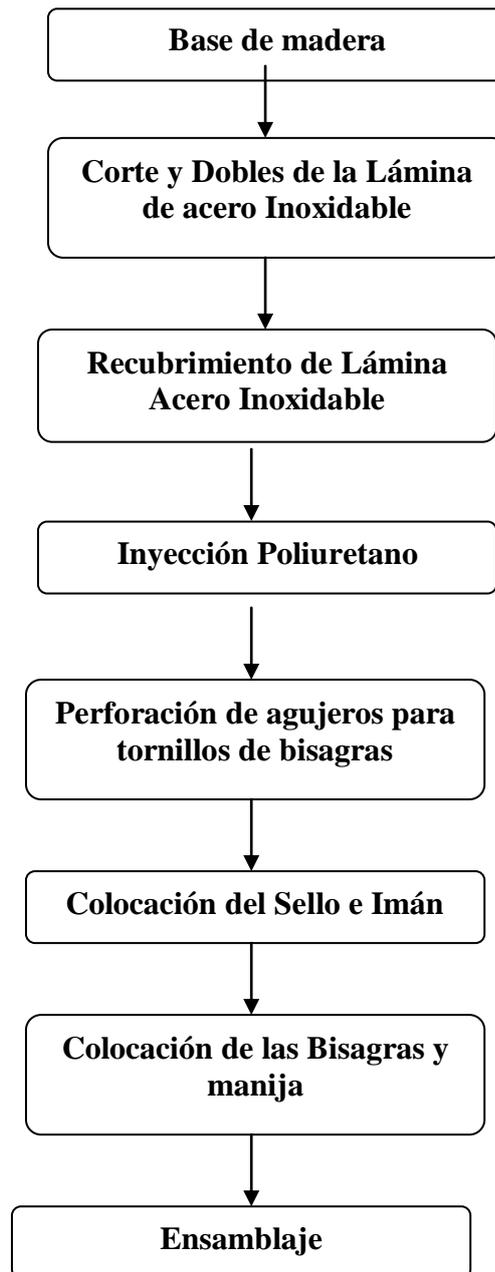
La puerta fue elaborada en base de madera, y forrada de acero inoxidable, y esta sostenida por bisagras cromadas con seis tornillos de sujeción en cada una, cuenta con una manija cromada que permite abrir o cerrar por dentro y por fuera.

**Figura 3.5 Esquema de puerta de cámara frigorífica.**



**Figura 3.6 Esquema de Bisagras y Chapas para puerta.**

Fuente: [www.locks.com](http://www.locks.com)



**Figura 3.7 Diagrama de proceso de construcción de puerta.**

Armados los elementos estructurales del cuarto se hace un control de calidad de la estructura, el recubrimiento, la puerta, y las uniones entre cada panel. Luego se corrige las fallas y se da el fondo de pintura al cuarto, esta tiene que ser especial de tal manera que las bajas temperaturas no dañen con el tiempo la textura del cuarto.

Luego se coloca, los sellos en las uniones entre cada panel para que no se produzca mayores perdidas o fuga del frío.

## 3.2 CALCULO DE NECESIDADES FRIGORÍFICAS.

### 3.2.1 Calculo de las cargas térmicas en la cámara.

El proyecto de refrigeración de cámara de congelación para pulpa de guayaba para la empresa el Guayabal, ubicada en el Valle de Tumbaco, contempla la implementación de una cámara frigorífica.

Los sistemas de refrigeración, mencionados han sido diseñados de acuerdo a las consideraciones permisibles de cargas térmicas, temperatura deseada, condiciones exteriores ambientales, temperatura de ingreso del producto, cantidad estimada de producto de acuerdo a dimensiones de cámara indicadas por la asociación americana de aire Acondicionado y Refrigeración ASHRAE.

#### Condiciones Interiores de Diseño

Las condiciones interiores de diseño son basados en los puntos anteriormente tratados, de temperatura y humedad de conservación del producto para el cual se construye el sistema de refrigeración.

Además también tomando en cuenta la cantidad y propiedades físicas y químicas del producto.

$t = -4^{\circ}C$                       Temperatura interior

$hr = 80\%$                       Humedad relativa

Fuente: INAMHI

$mp = 3000Kg$                       Masa de pulpa de guayaba a congelar

$\rho p = 1000 \frac{kg}{m^3}$                       Densidad de pulpa de guayaba a la temperatura de congelación.

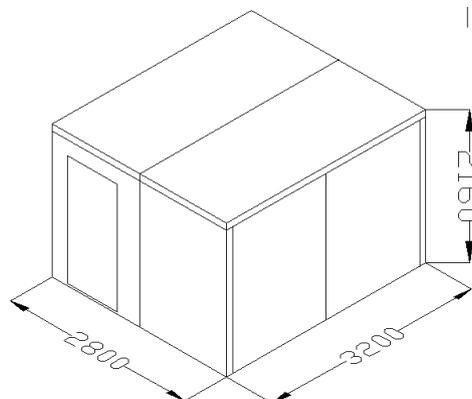
Fuente: Experimental

Nota: Por motivos de una posible ampliación en la producción de la planta procesadora de pulpa de guayaba se hizo necesario la construcción de una cámara de mayores dimensiones por lo que definió con las siguientes medidas, basados en el espacio disponible dentro de la planta de producción donde va a ser instalado la cámara frigorífica.

Altura  $h = 2.16m$

Frente  $x = 2.8m$

Fondo  $y = 3.2m$



$$A_p = 2 * h * (x - 0.2) + 2(y - 0.2) * h + (x - 0.2) * (y - 0.2) \quad \text{Ec. 3.3}$$

$A_p = 31.9m^2$  Superficie interna Útil de Paredes y Techos de la cámara.

$$A_s = (x - 0.2) * (y - 0.2) \quad \text{Ec. 3.4}$$

$A_s = 7.8m^2$

$$v = x * y * h \quad \text{Ec. 3.5}$$

$v = 19.35m^3$  Volumen interno útil de la cámara.

### Normas y Estándares

Los diseños serán efectuados de acuerdo con todos los códigos locales aplicables y estándares americanos, incluyendo pero no limitando a: ASHRAE / ANSI.

### Transmisión de calor a través de paredes y cerramientos

Para la solución en este caso se ha optado por dividir en dos tipos de aislamiento: Uno para las paredes y techo y otro para el suelo. Así tendremos 2 tipos de k (coeficiente global de transmisión).

De esta forma este coeficiente global de transmisión se determinara a partir del coeficiente global conducción y el de convección.

El coeficiente de convección depende de la velocidad que circula en el interior y exterior de una superficie plana.

$$c_i = 1 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad interior del aire}$$

$$c_e = 4 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad exterior del aire.}$$

Nota: Por razones de cálculos se asumió unas velocidades de aire de 1 m/s y 4 m/s para el interior y exterior de la cámara respectivamente tomando en cuenta el aire que es desplazado por efecto de los ventiladores del evaporador de convección forzada y el aire y del viento que circula en el exterior de la cámara si estuviera en un lugar abierto.

$$e_1 = 0.0007m \quad \text{Espesor lámina galvanizada}$$

$$\lambda_1 = 58 \frac{\text{Watt}}{m \cdot ^\circ C} \quad \text{Coeficiente de conductividad de la lámina galvanizada}$$

Fuente: Catalogo fabricantes.

$$h_i = 6.164 + 4.187 \cdot c_i \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$h_i = 10.35 \frac{\text{Watt}}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \text{Coeficiente de convección en el interior de la cámara.}$$

$$h_e = 6.164 + 4.187 \cdot c_e \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$h_e = 22.91 \frac{\text{Watt}}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \text{Coeficiente de convección en el exterior de la cámara.}$$

$$e_2 = 0.10m \quad \text{Espesor de hormigón armado}$$

Fuente: Criterio

$$e_3 = 0.1m \quad \text{Espesor lamina de poliuretano}$$

Se partió de este espesor basándonos en el principio que mientras mas grande sea el espesor de aislante, menor será la transferencia de calor.

De esta forma obtenemos una menor ganancia de calor que llegue al interior del cuarto y por ende unos equipos de menos capacidad.

$$e4 = 0.05m$$

Espesor de hormigón en masa

Fuente: Recomendación Enciclopedia de refrigeración

$$\lambda2 = 1.69 \frac{Watt}{m \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente de conductividad térmica (hormigón armado).

Fuente: Enciclopedia de refrigeración

$$\lambda3 = 0.029 \frac{Watt}{m \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente de conductividad térmica (lamina de poliuretano).

Fuente: Especificación de técnicas del producto.

$$\lambda4 = 0.55 \frac{Watt}{m \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente de conductividad térmica (Hormigón en masa).

Fuente: Enciclopedia de refrigeración

Luego de determinar todos los espesores y coeficientes de conductividad se procede a calcular el coeficiente de transmisión general K. que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Ks := \frac{hi \cdot \lambda2 \cdot \lambda3 \cdot \lambda4 \cdot he}{\lambda2 \cdot \lambda3 \cdot \lambda4 \cdot he + e2 \cdot hi \cdot \lambda3 \cdot \lambda4 \cdot he + e3 \cdot \lambda2 \cdot hi \cdot \lambda4 \cdot he + e4 \cdot hi \cdot \lambda2 \cdot \lambda3 \cdot he + hi \cdot \lambda2 \cdot \lambda3 \cdot \lambda4}$$

Ec. 3.8

$$Ks = 0.27 \frac{Watt}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente de transmisión del suelo

$$Kp := \frac{hi \cdot \lambda1 \cdot \lambda3 \cdot he}{\lambda1 \cdot \lambda3 \cdot he + 2 \cdot e1 \cdot hi \cdot \lambda3 \cdot he + e3 \cdot hi \cdot \lambda1 \cdot he + hi \cdot \lambda1 \cdot \lambda3}$$

Ec. 3.9

$$Kp = 0.28 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{Coeficiente de transmisión de las paredes}$$

El suplemento de temperatura por radiación solar permite tener en cuenta el efecto que produce la misma en las paredes, y depende de la orientación del sol y del color de la pared.

**Tabla 3.1 Suplementos de temperatura por radiación solar en °C**

	Este	Sur	Oeste	Techo
Colores claros	2,2	1,0	2,2	5,0
Colores medios	3,3	2,2	3,3	8,3
Colores oscuros	4,4	2,8	4,4	11,0

Fuente: Enciclopedia de refrigeración.

Para este caso el sol solo podrá afectar a la cámara en su ocaso, es decir al este.

La variación de la temperatura en la cámara se obtiene a partir de:

$$t' = 2.2^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura por radiación solar.}$$

$$\Delta T = te - ti + t' \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$\Delta T = 31.2^\circ\text{C} \quad \text{Variación de temperatura.}$$

La carga total de calor por transmisión de calor se obtiene sumando las cargas de cada panel.

$$Q_{ts} = K_s \cdot A_s \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Q_{ts} = 65.09\text{W}$$

Para el suelo consideramos además del aislante una serie de materiales del cual esta constituido.

$$Q_{tp} = K_p \cdot A_p \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$Q_{tp} = 278.15\text{W}$$

$$Q_t = Q_{ts} + Q_{tp} \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$Q_t = 343.24\text{W}$$

## Aire exterior entrante en la cámara

Es necesario proceder a una aireación de la cámara, que se realiza en la apertura de las puertas para la entrada o salida del producto.

**Tabla 3.2. Renovación del aire diario por las aberturas de puertas para las condiciones normales de explotación**

n=18

Numero de renovaciones de aire por día

Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Renovación de aire diario n/d	
	-	+		-	+		+	-		-	+
2,5	52	70	<u>20</u>	<u>16,5</u>	<u>22</u>	100	6,8	9	600	2,5	3,2
3,0	47	63	25	14,5	19,5	150	5,4	7	800	2,1	2,8
4,0	40	53	30	13,0	17,5	200	4,6	6	1.000	1,9	2,4
5,0	35	47	40	11,5	15,0	250	4,1	5,3	1.500	1,5	1,95
7,5	28	38	50	10,0	13,0	300	3,7	4,8	2.000	1,3	1,65
10,0	24	32	60	9,0	12,0	400	3,1	4,1	2.500	1,1	1,45
15,0	19	26	80	7,7	10,0	500	2,8	3,6	3.000	1,05	1,30

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

**Tabla 3. 3 Calor del aire en KJ/m<sup>3</sup> para el aire exterior que penetra en la cámara.**

t <sub>i</sub>	t <sub>e</sub>	+5 °C		+10 °C		+15 °C		+20 °C		+25 °C		+30 °C		+35 °C		+40 °C	
		70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R
		15 °C	—	—	—	—	—	—	2,77	7,0	16,8	23,3	34,5	42,7	56,4	66,4	81,4
10 °C	—	—	—	—	105,5	13,8	16,6	20,9	30,9	37,5	48,8	57,2	70,1	81,3	96,5	112	
5 °C	—	—	9,6	12,0	22,8	26,2	29,0	33,5	43,7	50,5	62,1	70,6	83,9	95,4	111	127	
0 °C	9,1	10,9	20,8	23,3	34,4	37,9	40,8	45,4	55,9	62,9	74,9	83,7	97,4	109	125	141	
<u>-5 °C</u>	19,2	20,9	31,0	33,5	44,6	48,2	51,2	55,8	66,4	<u>73,5</u>	85,5	94,4	108	120	136	153	
-10 °C	28,7	30,5	40,8	43,4	54,8	58,4	61,4	66,1	77,0	84,2	96,6	106	120	132	148	165	
-15 °C	37,8	39,7	50,2	52,8	64,5	68,2	71,3	76,1	87,2	94,6	107	116	131	143	160	177	
-20 °C	46,1	48,0	58,8	61,5	73,4	77,1	80,4	85,3	96,6	104	117	127	141	154	171	189	
-25 °C	55,1	57,1	68,0	70,8	82,9	86,8	90,1	95,1	107	114	127	137	152	165	183	201	
-30 °C	64,2	66,2	77,5	80,1	92,6	96,5	99,8	105	117	125	138	148	163	177	195	215	
-35 °C	73,3	75,3	86,7	89,6	102	106	110	115	127	135	149	159	174	188	207	225	
-40 °C	83,3	85,4	97,1	100	113	117	121	126	138	147	161	171	187	201	220	231	

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

En este caso se obtiene de la tabla una variación del calor del aire a partir de una temperatura interna de -4°C ,una externa de 25 °C y una humedad relativa de 60%.

$$\Delta h = 73.5 \frac{KJ}{m^3} \quad \text{Calor del aire}$$

La potencia Calorífica aportada por el aire se establece con la siguiente expresión.

$$Q_a = V \cdot (\Delta h) \cdot \frac{n}{86.4} \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$Q_a = 296.35W \quad \text{Potencia calorífica aportada por el aire}$$

### Calor liberado por la iluminación interior

Las lámparas utilizadas para iluminación en el interior de la cámara liberan un calor equivalente a:

$$p = 125W \quad \text{Potencia total de todas las lámparas en (W)}$$

$$t = 4 \frac{\text{horas}}{\text{días}} \quad \text{Duración o tiempo de funcionamiento}$$

$$Q_i = \frac{p \cdot t}{24} \quad \text{Ec. 3.15}$$

$$Q_i = 20.83W$$

### Calor liberado por las personas

**Tabla 3.4 Potencia calórica aportada por la personas**

Temperatura de la cámara (°C)	Potencia liberada por persona (W)
10	210
5	240
0	270
<u>-5</u>	<u>300</u>
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

De la tabla podemos obtener una potencia calorífica aportada por las personas a partir de nuestra temperatura interna que se definió en -4 °C.

$q = 300$	Calor por persona (Watts)
$tp = 3$	Tiempo permanencia (horas)
$np = 1$	Numero de personas

$$Qp = \frac{q \cdot np \cdot tp}{24} \quad \text{Ec. 3.16}$$

$$Qp = 37.5w$$

### Calor liberado por los motores

Este calor es liberado mayormente por los ventiladores del evaporador así también como de las resistencias para el descarche de la unidad evaporadora.

La siguiente expresión determina el calor liberado por los motores:

$P = 300W$	Potencia de cada motor
$t\_func = 16$	Tiempo de Funcionamiento

$$Qm = \left( \frac{P * t\_func}{24} \right) \quad \text{Ec. 3.17}$$

$$Qm = 200W$$

### Calor total de otras fuentes

Una vez obtenido todos los calores de otras fuentes que no sean propiamente dicho del producto a congelar, se procederá en sumarlos para conseguir un total.

$$Qf = Qt + Qa + Qi + Qp + Qm \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$Qf = 897.93W$$

## **Congelación de alimentos**

La carga calorífica correspondiente a la conservación de los alimentos se ha dividido según el caso en:

- Enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación.
- Congelación del producto.
- Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación.

Al no poseer datos exactos del comportamiento de la pulpa a bajas temperaturas se asume como características de la pulpa de guayaba igual a la del helado. Que a pesar de tener la misma composición, posee similar densidad y porcentaje de agua (50%-60%).

NOTA: Para el cálculo del calor total del Producto asumimos las condiciones mas criticas sin irse a un extremo y de esta forma no sobredimensionar la cámara.

Para esto tomamos en cuenta la producción diaria de la empresa que despulpa un máximo de 1 tonelada de producto. Así que la primera fase de enfriamiento del producto hasta la temperatura de congelación, que requiere de mas carga, no será mayor a lo equivalente a esta masa de Pulpa. Y también considerando el saldo de pulpa ya congelada y dentro de la cámara frigorífica, de esta forma tenemos:

### **Enfriamiento del producto**

En esta primera etapa el producto se enfría desde la temperatura de entrada del producto (24°C) hasta la temperatura de congelación, y el calor generado es el siguiente:

**Tabla 3.5 Temperaturas recomendadas, humedad relativa, calor máximo específico y calor de respiración de alientos refrigerados.**

Alimentos	Temperatura de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Duración de almacenamiento	Punto de congelación (°C)	Calor másico antes de la solidificación (kJ/kg K)	Calor másico después de la solidificación (kJ/kg K)	Calor de congelación kJ/kg	Calor de respiración kJ/kg/día
Crema glaseada	-18	—	1-2 meses		2,93	1,63	207	
Leche pasteurizada	+ 0,6	—	7 días	-0,6	3,77	2,51	290	
Leche condensada	+ 4	—	var. meses		1,75	—	93	
Leche alta. temp.	Temperatura ambiente	—	1 año		3,01	—	246	
Leche entera	+ 7/ +13	—	1 mes		0,92	—	9,3	
Leche descremada	+ 7/ +13	—	var. meses		0	—	—	
Huevos • crudos	- 2 / 0	85-90	5-6 meses	-2,2	92	—	9,3	
• frescos	0	—	1 año	-2,2	3,05	—	223	
<i>Alimentos diversos</i>								
Cerveza	+ 12		3-6 sem.	-2,2	3,85		300	
Pan	-18		4-6 meses		2,93	1,42	115	
Miel	< +10	—	1 año		1,46	1,10	60	
Lúpulo	-1,6 / 0	80-60	var. meses					
Helados	- 4	80	—			1,29		
Champiñón	+ 1,1	75,80	8 meses					
Maíz	0/ + 4	75-80	2 sem.					
Plantas verdes	0/ + 2	85-90	3-6 meses					
Aceite de mesa	+2,0		1 año					
Margarina	+2,0	60-70	1 año		1,34	1,05	51	

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

$$m_1 = 500 \frac{Kg}{día} \quad \text{Carga del producto que será llevado a la temperatura de congelación}$$

$$C_p = 1.46 \frac{KJ}{Kg * K} \quad \text{Calor específico másico antes de la congelación.}$$

$$T_e = 25 \text{ } ^\circ C \quad \text{Temperatura del producto al entrar en la cámara}$$

$$T_c = -2.2 \text{ } ^\circ C \quad \text{Temperatura de congelación}$$

$$Q_{c1} = \frac{C_p * m_1 * (T_e - T_c)}{86.4} \quad \text{Ec. 3.19}$$

$$Q_{c1} = 229.81W$$

### **Congelación del producto**

En esta siguiente fase el producto se congela y se realiza un cambio de estado a temperatura constante, el calor generado en esta fase es el siguiente:

$$L = 60 \frac{KJ}{Kg} \quad \text{Calor Latente de Congelación}$$

$$Q_{c_2} = \frac{L * m_1}{86.4} \quad \text{Ec. 3.20}$$
$$Q_{c_2} = 347.22W$$

### **Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación**

La última etapa el producto es llevado a una temperatura por debajo de la temperatura de congelación, el calor generado es el siguiente:

$$m_2 = 2500Kg \quad \text{Masa de la pulpa que queda como saldo de la que esta en la etapa de congelación.}$$

$$Cp_2 = 1.29 \frac{KJ}{Kg.K} \quad \text{Calor específico másico después de la congelación.}$$

$$Tf = -4 \text{ } ^\circ C \quad \text{Temperatura final del producto en la cámara.}$$

$$Q_{c_3} = \frac{Cp_2 * m_2 * (Tc - Tf)}{86.4} \quad \text{Ec. 3.21}$$
$$Q_{c_3} = 67.19W$$

### **Calor total del producto**

NOTA: Al ser un producto procesado y no en estado natural no se toma en cuenta el calor de respiración.

En el caso de frutas el calor por embalaje es de un 15% mayor al calor total del producto.

$$Qt = (Q_{c_1} + Q_{c_2} + Q_{c_3}) * 1.15 \quad \text{Ec. 3.2}$$
$$Qt = 740.86W$$

### Calor total de refrigeración

Una vez obtenido los calores de cada uno de los conceptos anteriores, se tendrá:

$$QT = Qf + Qt$$

$$QT = 1638.79W$$

Ec. 3.23

### Potencia nominal frigorífica

Suponiendo un funcionamiento diario de 16 horas, la potencia frigorífica necesaria será de:

$$Nf = Qt \frac{24}{16}$$

Ec. 3.24

$$Nf = 2458.18W$$

Ec. 3.25

$$Nf_{BTU} = Nf * 3.4144$$

Nota: 3.4144 factor de transformación Watts a Btu/hora

$$Nf_{BTU} = 8393.28 \frac{BTU}{h}$$

Potencia nominal frigorífica en BTU/h.

### Modelo de cálculo

El objeto de la realización del modelo de cálculo es asegurar el enfriamiento del producto y mantenerlo a temperatura inferior de las condiciones ambientales exteriores, dentro de valores adecuados de humedad.

En primer lugar se impondrá condiciones de trabajo al ciclo frigorífico, ya que este no es un sistema ideal sino que existe una serie de variaciones de temperatura y presión que va a influir en el rendimiento frigorífico.

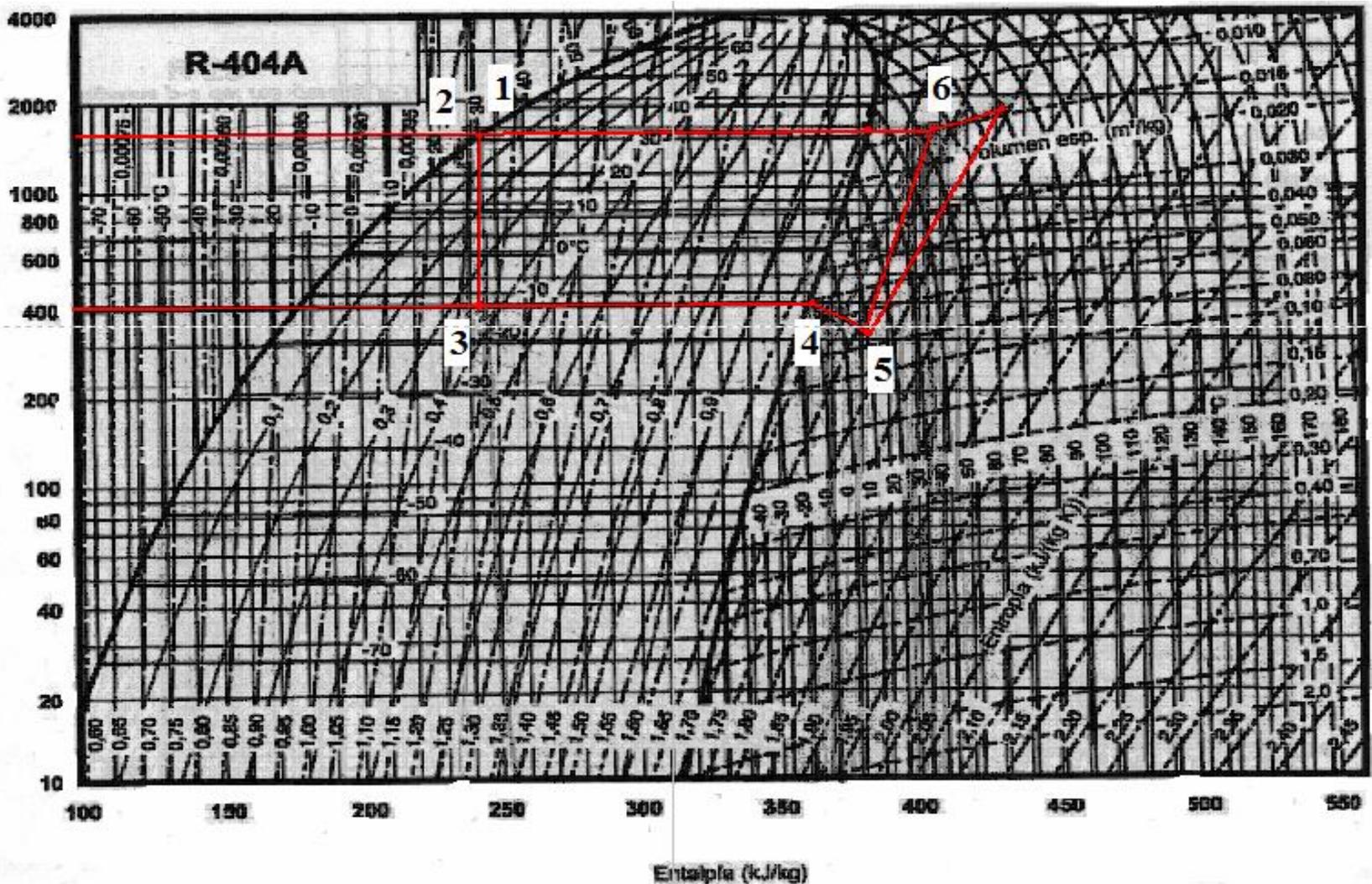


Figura 3.8 Diagrama P-h del Refrigerante R-404-A

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración

Así pues definido las condiciones de diseño y utilizando el diagrama P-h del refrigerante escogido, se podrá deducir la temperatura, presión, entalpías y volumen específico en cada punto del diagrama.

Definimos una temperatura de condensación que será 10°C mayor a la temperatura exterior de la cámara, es decir si la temperatura promedio es de 24 °C entonces:

$$T_{cond} = 34 \text{ } ^\circ C \quad \text{Temperatura de condensación}$$

Luego asumimos un subenfriamiento y pérdida de presión de 1 °C

$$T_{sub\_cond} = 1 \text{ } ^\circ C \quad \text{Subenfriamiento de condensación}$$

$$T_{pres\_cond} = 1 \text{ } ^\circ C \quad \text{Pérdida de Presión en la condensación}$$

El mismo procedimiento lo realizamos para la temperatura de evaporación donde tendremos una temperatura 10 °C menor que la temperatura interior deseada en la cámara, que de inicio se determino en - 4 °C.

$$T_{evap} = -16 \text{ } ^\circ C \quad \text{Temperatura de Evaporación}$$

Para este punto se experimenta un sobrecalentamiento en el evaporador de 5°C, un sobrecalentamiento en la línea de succión de 13 °C así como también una perdida de presión de 2 °C.

$$T_{recal\_evap} = 5 \text{ } ^\circ C \quad \text{Recalentamiento en el evaporador}$$

$$T_{recal\_asp} = 13 \text{ } ^\circ C \quad \text{Recalentamiento en la línea de aspiración}$$

$$T_{pre\_asp} = 2 \text{ } ^\circ C \quad \text{Pérdida de presión en la línea de aspiración}$$

Para la descarga tendremos un subenfriamiento de 10 °C y una perdida de presión a la entrada del condensador equivalente a 1 °C.

$T_{sub\_des} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$  Subenfriamiento en la descarga

$T_{pre\_cond} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$  Pérdida de Presión entrada del Condensador

Con estas condiciones tenemos las diferentes temperaturas en cada uno de los puntos del diagrama P-h, correspondiente al R-404-A.

Nota: Todos los valores que se utilizan para el cálculo del ciclo real de Refrigeración son asumidos pero apegados a los reales que solo nos ayudaran a hacer un diseño mas exacto y son obtenidos de recomendaciones de la bibliografía que se utilizo y de experiencia de personas involucradas en el campo.

Punto 1 34°C

Punto 2 33°C

Punto 3 -16°C

Punto 4 -11°C

Punto 5 2 °C

Punto 6 34 °C

De la tabla de Propiedades del refrigerante R-404-A obtenemos las Presiones en las zonas de vapor saturado y líquido saturado a las temperaturas antes definidas.

$P_{evap} = 357.8 \text{ Kpa}$

$P_{cond} = 1563.6 \text{ Kpa}$

Con ayuda del diagrama P-h y la tabla de propiedades del refrigerante, obtenemos las entalpías para cada punto.

$$h_1 = 253.83 \frac{KJ}{Kg}$$

$$h_2 = 253.83 \frac{KJ}{Kg}$$

La entalpía en el punto 2 se ha tomado la misma que en el punto 1 por estar muy cercana y ser despreciable la variación de entalpías.

$$h_3 = 253.83 \frac{KJ}{Kg}$$

En el punto 3 la entalpía es la misma que en el punto 2 por ser un proceso a temperatura y entalpia constante.

$$h_4 = 365 \frac{KJ}{Kg}$$

En el punto 4 tenemos vapor saturado es decir que el refrigerante pasa a estado gaseoso.

$$h_5 = 375 \frac{KJ}{Kg} \quad h_6 = 400 \frac{KJ}{Kg}$$

Las entalpías 5 y 6 son las correspondientes a las temperaturas en esos puntos.

$$P_5 = 680 \text{ KPa} \quad P_6 = 1800 \text{ KPa}$$

### **Rendimiento Volumétrico**

Este parámetro determina el aprovechamiento real del compresor respecto a su capacidad teórica de bombeo y compresión del refrigerante.

Puede utilizarse para su cálculo la siguiente expresión:

Donde 0.04 es el espacio muerto del volumen desplazado en el compresor que es un valor normal para compresores herméticos.

$$\eta_v = 1 - 0.04 \frac{P_6}{P_5} \quad \text{Ec. 3.26}$$

$$\eta_v = 0.89$$

## Rendimiento Mecánico

Como es conocido toda maquina tiene un rendimiento mecánico y es proporcionada por el fabricante. Por motivos de cálculos se asumirá un rendimiento mecánico de 0.9. Luego lo compararemos con el rendimiento real del equipo que se seleccione.

$$\eta_m = 0.9$$

NOTA: La Eficiencia mecánica de compresores, pueden tomarse valores entre 0.85 a 0.95. Fuente: Roy J Dossat. Principios de refrigeración.

## Rendimiento Isentrópico

Se denomina rendimiento isentrópico al producto de los valores del rendimiento mecánico y el rendimiento volumétrico, es decir:

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m \quad \text{Ec. 3.27}$$

$$\eta_i = 0.8$$

Para los puntos 7 y 8 los obtenemos a partir de la entalpía en 5 y el trabajo realizado por el compresor.

$$h_8 = h_5 + \frac{h_6 - h_5}{\eta_i} \quad \text{Ec. 3.28}$$

$$h_8 = 406.07 \frac{KJ}{Kg}$$

En el punto, h8, localizamos la isoterma de 38 °C

$$t_8 = 38 \text{ } ^\circ C$$

El punto 7 esta a la misma presión y con 10 °C por subenfriamiento

$$t_7 = t_8 - T_{sub\_des} \quad \text{Ec. 3.29}$$

$$t_7 = 28 \text{ } ^\circ C$$

La entalpía en el punto 7 es:

$$h_7 = 402 \frac{KJ}{Kg} \quad \text{Ec. 3.30}$$

### **Calor absorbido por el evaporador (Producción frigorífica específica)**

El calor que absorbe el refrigerante al pasar por el evaporador se determina con la variación de entalpía en el refrigerante a la entrada y la salida del evaporador.

$$qe = h_4 - h_3 \quad \text{Ec. 3.31}$$

$$qe = 111.17 \frac{KJ}{Kg}$$

### **Caudal másico de fluido frigorífico (R404A)**

Es importante determinar el caudal másico que debe bombear el compresor, capaz de proporcionar una potencia frigorífica determinada, Para lo cual se aplica la siguiente expresión:

$$m = \frac{Nf}{qe} \quad \text{Ec. 3.32}$$

$$m = 0.02 \frac{Kg}{s}$$

### **Volumen específico del R404A**

Volumen específico es obtenido del diagrama cuando el refrigerante (vapor) en el evaporador.

$$Ve = 0.08 \frac{m^3}{Kg}$$

### **Producción frigorífica volumétrica**

$$qv = \frac{qe}{Ve} \quad \text{Ec. 3.33}$$

$$qv = 1111.7 \frac{KJ}{m^3}$$

### Potencia frigorífica del evaporador

$$Q_v = m \cdot q_e \cdot 1000 \quad \text{Ec. 3.34}$$

$$Q_v = 2458.18 \text{ W}$$

### Caudal Volumétrico del Compresor

$$V_g = \frac{m}{V_e} \quad \text{Ec. 3.35}$$

$$V_g = 0.275 \frac{m^3}{s}$$

### Caudal real

$$V_r = \frac{V_g}{\eta_v} \quad \text{Ec. 3.36}$$

$$V_r = 0.305 \frac{m^3}{s}$$

### Relación de compresión

$$r = \frac{P_6}{P_5} \quad \text{Ec. 3.37}$$

$$r = 2.65$$

### Trabajo específico de compresión

$$W_c = \frac{h_7 - h_5}{\eta_i} \quad \text{Ec. 3.38}$$

$$W_c = 33.55 \frac{KJ}{Kg}$$

### Potencia real del compresor

Para hallar la potencia que necesita el compresor para bombear el volumen de refrigerante capaz de proporcionar la potencia frigorífica deseada se emplea la siguiente expresión:

$$N_c = \left( \frac{m * W_c * 1.1}{\eta_v} \right) * 1.25 \quad \text{25 \% coeficiente de seguridad} \quad \text{Ec. 3.39}$$

$$N_c = 1.14 \frac{KJ}{s}$$

NOTA: Por motivos de seguridad la potencia calculada se aumenta un 25%

$$N_{c\_hp} = \frac{N_c}{0.746} \quad \text{Ec. 3.40}$$

$$N_{c\_hp} = 1.53 \quad \text{Hp} \quad \text{Potencia real del compresor en Hp}$$

### **Coeficiente de rendimiento**

En un ciclo de refrigeración puede expresarse la eficiencia del mismo como la relación entre el calor absorbido por el evaporador en la cámara y la energía térmica equivalente que se necesita proporcionar al compresor.

$$COP = \frac{q_e}{W_c} \quad \text{Ec. 3.41}$$

$$COP = 3.31$$

### **Potencia Indicada**

$$N_i = \frac{N_f}{COP} \quad \text{Ec. 3.42}$$

$$N_i = 0.74 Kw$$

# CAPITULO IV

## CONTROL DE PARAMETROS OPERATIVOS

### 4.1 VARIABLES DE CONTROL

#### 4.1.1 Temperatura.

La temperatura con la que se va a conservar la pulpa es de  $-4^{\circ}\text{C}$  por las razones antes expuestas. Por este motivo debemos tener un control adecuado de la temperatura de que esta no baje ni suba, la pulpa debe permanecer congelada de lo contrario podría descomponerse.

Las temperaturas a controlar en un sistema de refrigeración son las de salida tanto en el evaporador, compresor, condensador como a la entrada del compresor.

La temperatura con la cual sale el gas del evaporador debe tener un máximo de sobrecalentamiento de  $10^{\circ}\text{C}$ , en consecuencia si sobrepasa este rango una fracción menor de refrigerante se evapora. Tomando como parámetro los valores de temperatura entre el establecido en la válvula de expansión termostática y el de un sensor colocado a la salida del evaporador.

Para el caso de la temperatura de entrada del refrigerante en forma de gas al compresor esta no debe sobrepasar un rango de 10 a  $15^{\circ}\text{C}$  para que el refrigerante no se evapore muy rápidamente acumulando un exceso de vapor en el evaporador y provocando un aumento de presión y que a su vez causara un aumento en la temperatura de ebullición del liquido afectando el funcionamiento del compresor. Pero siendo también este sobrecalentamiento necesario para que el refrigerante se evapore totalmente y se consiga que no llegue liquido al compresor para que no ocurran daños en el.

La temperatura de descarga es la temperatura a la que sale el vapor del compresor en la cual se maneja el parámetro de vapor sobrecalentado.

Esta temperatura va actuar como medida de seguridad para el mismo, donde se establece un valor de temperatura en la salida del compresor y mediante un sensor que se encuentra en ese punto se establece una diferencia de temperaturas, en la cual si sobrepasa el grado de vapor sobrecalentado el compresor se apaga automáticamente y cuando la diferencia de temperatura se encuentra dentro del rango se enciende. La capacidad de un compresor debe ser tal que el vapor producido en el evaporador sea sacado a la misma velocidad que el mismo es generado por la acción de ebullición del refrigerante.

La temperatura del condensante es aquella en la cual el refrigerante en forma de gas, cambia su estado a líquido y es un diferente para cada refrigerante.

Para tener un efecto refrigerante continuo, el vapor condensante debe ser condensado a la misma velocidad con la cual el refrigerante es evaporizado.

La temperatura de condensación es constante durante el proceso de condensación y los parámetros a controlar son la diferencia de temperatura entre la lectura de un sensor ubicado a la salida del condensador y e valor que se ingresa como grado de condensación.

#### **4.1.2 Presión.**

La presión es un parámetro muy importante dentro de un sistema de refrigeración donde la presión de condensación es la de saturación correspondiente a la temperatura de la mezcla vapor-liquido en el condensador. Cuando el compresor empieza a trabajar, el vapor bombeado hacia el condensador no empezara de inmediato a condensarse debido a que no tiene un diferencial de temperatura entre el refrigerante y el medio condensante, por lo cual no existirá transferencia de calor.

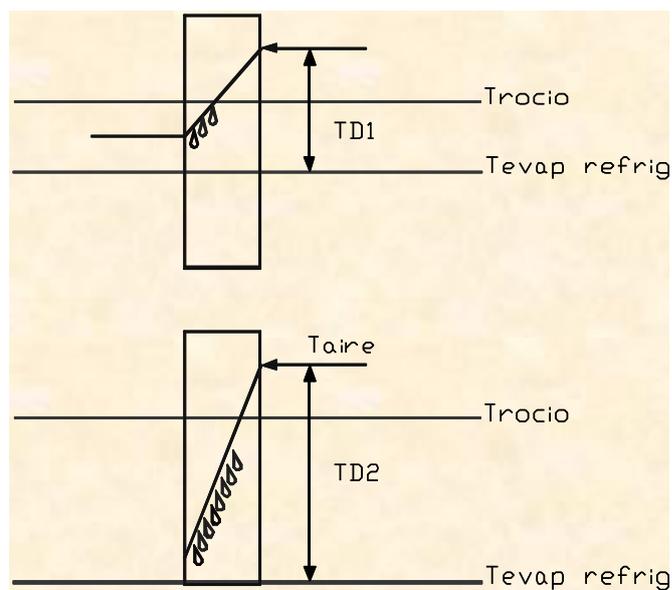
La presión del vapor en el condensador se aumentara hasta un punto en que la temperatura del vapor sea lo bastante alta que permita tener la velocidad requerida de transferencia de calor entre el refrigerante y el medio condensante.

#### 4.1.3 Humedad

Para nuestro caso la humedad no es un aspecto indispensable de controlar pero si debe estar dentro de ciertos parámetros, para que el producto no se deshidrate y que el serpentín del evaporador no se escarche e impida la transferencia de calor del producto al refrigerante.

La humedad esta relacionada directamente con el TD que esta definido como la diferencia de temperatura entre el aire que llega al evaporador y la temperatura de saturación del refrigerante correspondiente a la presión de la salida del evaporador.

Las capacidades de casi todos los evaporadores están basadas en el TD del evaporador. La conservación de alimentos y otros productos no dependen no solo de la temperatura dentro de la cámara sino también de la humedad de la misma. Cuando es muy baja la humedad del espacio, se produce una deshidratación excesiva.



**Figura 4.1 Esquema de  $\Delta t$  entre el evaporador y el ambiente**

Fuente: Roy J. Dossat.

El factor más importante que regula la humedad es el TD del evaporador. Mientras menor sea la diferencia de temperatura entre el refrigerante en el evaporador y el ambiente interior de la cámara, mayor será la humedad relativa en el espacio y de igual forma si al contrario el TD es mayor, menor será la humedad relativa dentro de la cámara.

**Tabla 4.1 Relación Humedad Relativa y Circulación de Aire**

Humedad Relativa, %	Diseño DT °F	
	Convección Natural	Convección Forzada
95-91	12-14	8-10
90-86	14-16	10-12
85-81	16-18	12-14
80-76	18-20	14-16
75-70	20-22	16-18

Para temperaturas de 10°F y menores, una DT del evaporador de 10°F generalmente se usa para evaporadores de convección forzada.

Fuente: Roy J Dossat.

## **CAPITULO V**

### **CRITERIOS DE SELECCION DE MEJOR ALTERNATIVA.**

#### **5.1 SELECCIÓN DE UNIDADES EVAPORADORAS.**

El evaporador es el elemento que proporciona finalmente la temperatura y humedad necesaria para la conservación de los productos, mediante el cambio de estado en su interior del refrigerante a una presión y temperatura dada.

Por esta razón es indispensable el correcto diseño y selección de la mejor alternativa en unidades evaporadoras.

Para la selección de unidades evaporadoras se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Carga de refrigeración.
- Temperatura y humedad requerida.
- Requerimientos especiales del producto.
- Dimensiones del cuarto.
- Circulación de aire.
- Sistema de descongelado
- Ubicación del Evaporador
- Nivel Sonoro
- Área de transferencia de calor

#### **Carga de refrigeración**

La carga de refrigeración es calculada según la carga frigorífica total y corregida bajo ciertas consideraciones y factores que a continuación explicamos:

**Tabla5.1 Valores del coeficiente de Corrección f1**

$\Delta t$ (°C)	$t_1$ (°C)									
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
4	0,37	3,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28
5	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36
6	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	0,49	0,47	0,46	0,45
7	0,70	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61	0,58	0,57	0,55	0,53
8	0,82	0,79	0,77	0,74	0,73	0,71	0,68	0,67	0,65	0,63
9	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,75	0,71
10	1,06	1,03	1,00	0,96	0,94	0,92	0,88	0,86	0,84	0,81
11	1,25	1,17	1,11	1,07	1,05	1,02	0,99	0,96	0,94	0,90
12	1,39	1,30	1,22	1,18	1,16	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

$f_1 = 1.03$  Coeficiente de Corrección por salto térmico.

$f_2 = 0.75$  Coeficiente de Corrección por cambio de Refrigerante.

$N_f$  Carga frigorífica Nominal

$N_{fc}$  Capacidad de Unidad Evaporadora

Nota: Los valores de  $f_2$  varían desde 0.75 hasta 0.95. Para lo cual tomaremos el valor de 0.75 por ser el más crítico.

$$N_{fc} = \frac{N_f}{f_1 * f_2} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$N_{fc} = 3182.11W$$

$$N_{fc\_BTU} = N_{fc} * 3.4144 \quad \text{Ec. 5.2}$$

$$N_{fc\_BTU} = 10865.08 \frac{BTU}{h}$$

Este es el resultado de la capacidad calorífica que va a disipar la unidad evaporadora y debemos encontrar un equipo con capacidad calorífica nominal que sea mayor pero aproximadamente igual a la calculada.

### Temperatura y humedad requerida.

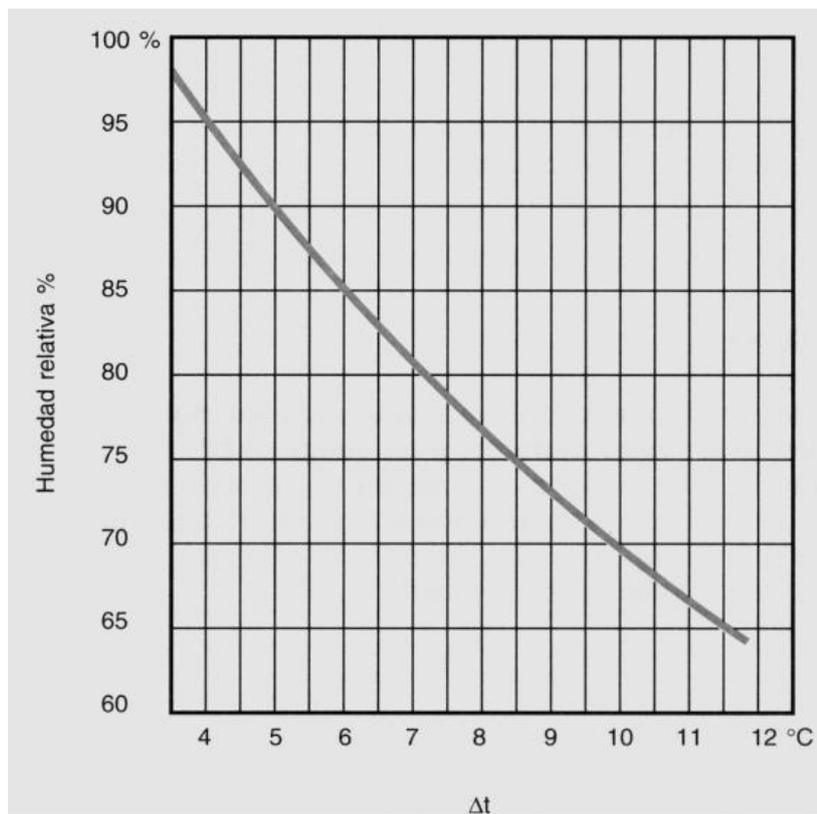
El factor de más relevancia a tomar en cuenta para la selección del evaporador para su adecuado funcionamiento es el salto térmico. Que se define como la diferencia entre la temperatura deseada en la cámara y la temperatura de vaporización del refrigerante que para nuestro caso tenemos:

$$\Delta t = tr - ts$$

$$\Delta t = -10^{\circ}C$$

Ec. 5.3

Pues a menor salto térmico mayor será la humedad relativa de la cámara y viceversa como se puede observar en la figura 5.1



**Figura 5.1 Diagrama Humedad relativa vs.  $\Delta t$ .**

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

Gráfico representando la relación entre humedad relativa y salto térmico para evaporadores de aire forzado

**Tabla 5.2 Valores recomendados de  $Hr/\Delta t$  en convención natural y forzada**

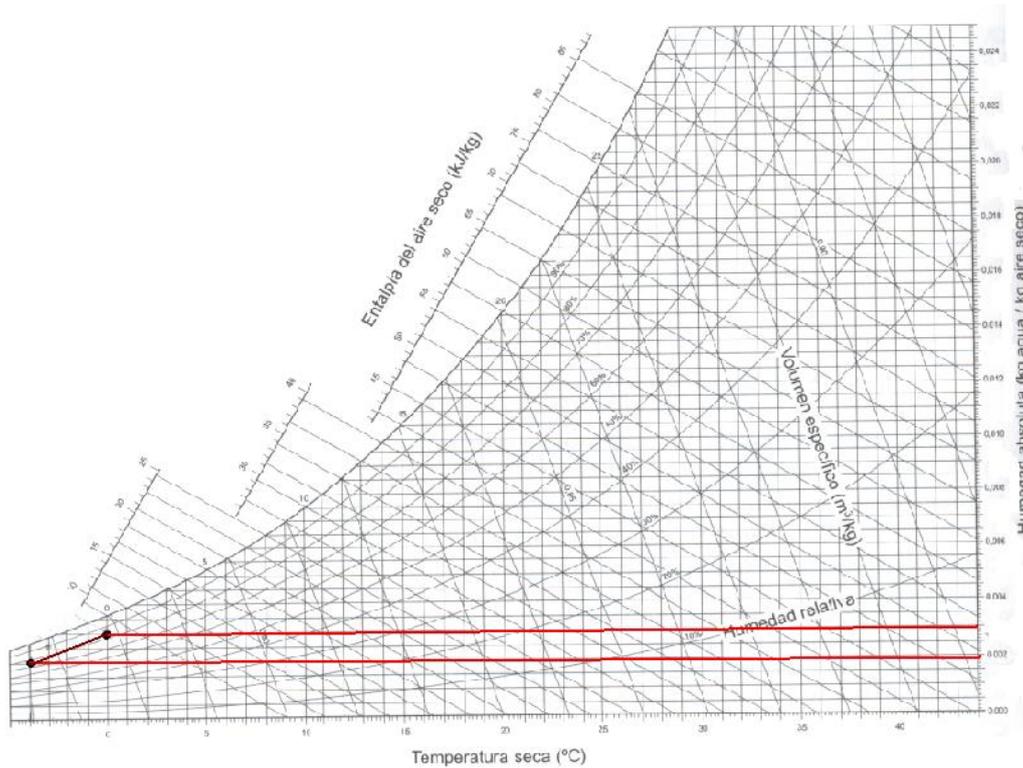
HUMEDAD RELATIVA HR (%)	$\Delta t$ DE DISEÑO (°C)	
	CONVECCION NATURAL	CONVECCION FORZADA
95-91	6,6-7,7	4,4-5,5
90-86	7,7-8,8	5,5-6,6
85,81	8,8-10,0	6,5-7,7
80-76	10,0-11,0	7,7-8,8
<u>75-70</u>	11,0-12,0	<u>8,9-10,0</u>

F

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

Con la humedad que nos hemos definido dentro de la cámara a la cual vamos a someter al producto, confirmamos mediante la tabla que el  $\Delta t$  con el cual realizamos los cálculos es el adecuado.

Para la obtención de caudales másico y volumétricos movidos por el ventilador y la cantidad de agua que absorberá la unidad evaporadora, recurrimos al diagrama psicométrico.



**Figura 5.2 Diagrama Psicométrico del aire.**

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración

Datos obtenidos de Diagrama psicrométrico.

$$h_e = 7 \frac{KJ}{Kg} \quad \text{Entalpías correspondientes al estado inicial del aire.}$$

$$h_i = 2 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\Delta h = h_e - h_i \quad \text{Ec. 5.4}$$

$$\Delta h = 5 \frac{KJ}{Kg}$$

Caudal Másico necesario a mover por los ventiladores del evaporador:

$$m_{seg} = \frac{Nf}{\Delta h} \quad \text{Ec. 5.5}$$

$$m_{seg} = 0.49 \frac{Kg}{s}$$

$$m = m_{seg} * 3600 \quad \text{Ec. 5.6}$$

$$m = 1769.89 \frac{Kg}{h}$$

Volumen específico del aire se obtiene haciendo intervenir el volumen específico del aire.

$$V_e = 0.77 \frac{m^3}{Kg}$$

$$V = m * V_e \quad \text{Ec. 5.7}$$

$$V = 1362.81 \frac{m^3}{h}$$

$P_i = 0.004$  Punto inicial Kg de agua por cada kg. de aire

$P_f = 0.002$  Punto final Kg de agua por cada Kg. de aire.

$$\Delta m = P_i - P_f \quad \text{Ec. 5.8}$$

$\Delta m = 0.002$  Kg. de agua / Kg. de aire

$$m_{H_2O} = \Delta m * V \quad \text{Ec. 5.9}$$

$$mH_2O = 2.73 \frac{Kg}{h} \quad \text{Cantidad de agua que se absorberá por hora}$$

### **Requerimientos especiales del producto.**

En el caso de la pulpa de guayaba, es un producto que como ya definimos se mantendrá a una temperatura de  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y no existirá ningún problema en cuanto a la humedad relativa a la que este expuesta dentro de la cámara, puesto que la pulpa esta deshidratada y en caso de reducir aun mas su humedad relativa se secura el producto y nos ayudara a la conservación de la misma.

También cabe acotar que el producto no respira como lo realizaría una fruta en estado natural, debido a que la fruta esta procesada y se mantiene dentro de empaque de polietileno.

### **Dimensiones del cuarto.**

Un problema con el que nos encontramos el momento de seleccionar la unidad evaporadora, es la disponibilidad del espacio que va a ocupar el equipo dentro de la cámara. Puesto que existen varios tipos de evaporadoras con diferentes medidas. En nuestro caso seleccionamos una evaporadora de bajo perfil y con medidas adecuados para las dimensiones del cuarto.

### **Circulación de aire**

El tipo de circulación de aire que se selecciono en el de convección forzada, es decir con ventiladores que recircularan el aire. Lo que logramos con este sistema es que todo el aire se enfrié uniformemente, y mejoran la eficiencia de la unidad evaporadora. Este fenómeno se realiza gracias a que el aire frío por ser mas denso baja mientras que el aire caliente con menor densidad sube y es absorbido por el ventilador para luego enfriarlo y votado al ambiente dentro del cuarto.

### Sistema de descongelado

Sistema de Descarche por resistencias eléctricas.

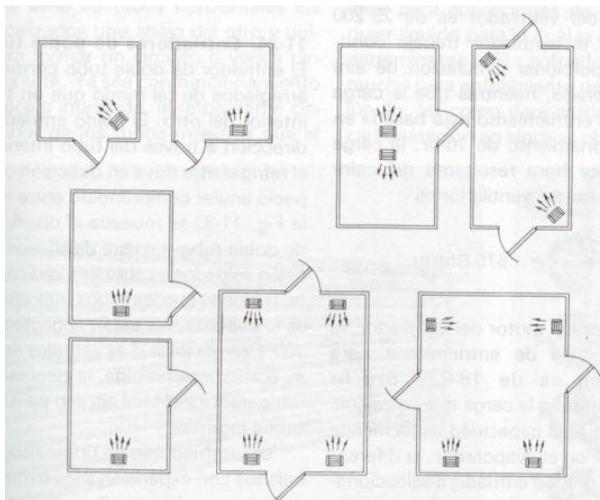
Es un sistema cómodo, fácil de instalar y relativamente sencillo de regular y controlar. Consiste en un juego de resistencias eléctricas acopladas en el evaporador, en íntimo contacto con las aletas que calientan hasta fundir el hielo por completo. Este tipo de descongeladores son niquelinas que se colocan en los evaporadores.



### Ubicación del Evaporador

La obtención de toda la capacidad de los evaporadores depende de una adecuada ubicación de éstos en el espacio a refrigerar, así como el de mantenerlos razonablemente libres de escarcha gracias a un ciclaje adecuado de descongelamiento.

La ubicación de la unidad evaporadora dentro del cuarto se puede observar en los anexos A en los planos de construcción.



**Figura 5.3 Posibles ubicaciones de Evaporadoras.**

Fuente: Roy J. Dossat

## Nivel Sonoro

Depende de la localización de la unidad, de las dimensiones del cuarto y del tipo de pared, techo y producto.

En los cuartos de trabajo los niveles sonoros deben cumplir con los requerimientos de la OSHA.

Las medidas de decibeles son a 10 pies frente a la unidad y decaen 6 dBA por cada duplicación de la distancia.

## Área de transferencia de Calor

A continuación calcularemos aproximadamente el área del serpentín del evaporador, es decir el área de transferencia de calor para luego buscar en catálogos un equipo con una similar superficie.

$t_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  Temperatura de entrada de aire.

$H_{re} = 85 \text{ } \%$  Humedad relativa Entrada del Aire.

$t_s = -4 \text{ } ^\circ\text{C}$  Temperatura de Salida

$t_r = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$  Temperatura del refrigerante en el evaporador

$H_r = 75 \text{ } \%$  Humedad relativa Entrada del Aire.

$$\Delta t_{ml} = \frac{(t_e - t_r) - (t_s - t_r)}{\ln\left(\frac{t_e - t_r}{t_s - t_r}\right)} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$\Delta t_{ml} = 11.89^\circ\text{C}$  Diferencia Media Logarítmica de temperaturas

$K = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$  Coeficiente global de transferencia de calor.

$$A_{evap} = \frac{Q_v}{K * \Delta t_{ml}} \quad \text{Ec. 5.2}$$

$$A_{evap} = 17.84\text{m}^2$$

Después de tomar en cuenta todos los aspectos que se presentaron anteriormente recurrimos a un catalogo de marca Bohn, para escoger la unidad evaporadora adecuada para nuestras necesidades.

Tabla 5.3 Modelos de Unidades Evaporadoras con deshielo Eléctrico

MODELOS LET/LLE DESHIELO ELECTRICO 60 HZ CON MOTORES PSC														
MODELOS LET/LLE	CAPACIDAD BTUH/kcal/Hr 10 °F/ 6 °C DT -20 °F/-29 °C TSS		Datos del Ventilador			Datos del Motor PSC, PSC-TE (Amps. Tot./Watts)					Resistencias para el Deshielo (Amps. Totales)			
			CFM/m <sup>3</sup> H	No.	HP	208-230/ 1/60 Watts		460/ 1/60 Watts		Watts	230/ 1/60	230/ 3/60	460/ 1/60	
<b>MODELOS LET 6 ALETAS POR PULGADA</b>														
LET 035	3,500	862	700	1,189	1	1/15	0.5	91	0.4	117	900	3.9	2.3	2.0
LET 040	4,000	1,008	700	1,189	1	1/15	0.5	91	0.4	117	900	3.9	2.3	2.0
LET 047	4,700	1,184	650	1,104	1	1/15	0.5	91	0.4	117	900	3.9	2.3	2.0
LET 065	6,500	1,637	1,400	2,379	2	1/15	1.0	182	0.8	234	1800	7.8	4.5	3.9
LET 075	7,500	1,889	1,300	2,209	2	1/15	1.0	182	0.8	234	1800	7.8	4.5	3.9
LET 090	9,000	2,267	1,300	2,209	2	1/15	1.0	182	0.8	234	1800	7.8	4.5	3.9
LET 120	12,000	3,023	2,100	3,566	3	1/15	1.5	273	1.2	351	2700	11.7	6.8	5.9
LET 140	14,000	3,526	1,950	3,313	3	1/15	1.5	273	1.2	351	2700	11.7	6.8	5.9
LET 160	16,000	4,030	2,600	4,418	4	1/15	2.0	364	1.6	468	3600	15.7	9.0	7.8
LET 180	18,000	4,534	2,600	4,418	4	1/15	2.0	364	1.6	468	3600	15.7	9.0	7.8
LET 200	20,000	5,038	3,250	5,522	5	1/15	2.5	455	2.0	585	4500	19.6	11.3	9.8
LET 240	24,000	6,045	3,900	6,627	6	1/15	3.0	546	2.4	702	5400	23.5	13.6	11.7
LET 280	28,000	7,063	3,900	6,627	6	1/15	3.0	546	2.4	702	5400	23.5	13.6	11.7
<b>MODELOS LLE 4 ALETAS POR PULGADA</b>														
LLE 041	4,100	1,033	690	1,172	1	1/15	0.5	91	0.4	117	900	3.9	2.3	2.0
LLE 068	6,800	1,713	1,380	2,345	2	1/15	1.0	182	0.8	234	1800	7.8	4.5	3.9
LLE 080	8,000	2,015	1,380	2,345	2	1/15	1.0	182	0.8	234	1800	7.8	4.5	3.9
LLE 102	10,200	2,569	2,170	3,687	3	1/15	1.5	273	1.2	351	2700	11.7	6.8	5.9
LLE 136	13,600	3,426	2,760	4,690	4	1/15	2.0	364	1.6	468	3600	15.7	9.0	7.8
LLE 170	17,000	4,282	3,450	5,862	5	1/15	2.5	455	2.0	585	4500	19.6	11.3	9.8
LLE 204	20,400	5,139	4,140	7,035	6	1/15	3.0	546	2.4	702	5400	23.5	13.6	11.7
LLE 235	23,500	5,919	4,140	7,035	6	1/15	3.0	546	2.4	702	5400	23.5	13.6	11.7

Fuente: Catalogo de unidades condensadoras BOHN

Existen 1 modelos que cumplen nuestros requerimientos y pero por objeto de no sobredimensionar la capacidad del evaporador y por ser mas aproximada escogemos el modelo LET 120 de 3 aletas por pulgada Cuadrada con descongelamiento eléctrico y que trabaja con motor de 208/1/60.

A continuación se procede en obtener del mismo catalogo del fabricante todas las características físicas de la unidad evaporadora para el momento adecuar su ubicación el momento de su montaje.

Tabla 5.4 Datos dimensionales Unidades Evaporadoras.

DATOS DIMENSIONALES PARA TODOS LOS MODELOS									
MODELOS DESHIELO POR AIRE	MODELOS DESHIELO POR GAS CALIENTE Y ELÉCTRICO		No. De Vents.	Dimensiones (Pulg. / mm)					
	6 APP	4 APP		A	B	C	D		
040	035	—	1	29.50	749.3	17.25	438.1	—	—
052	040	—	1	29.50	749.3	17.25	438.1	—	—
065	047	041	1	29.50	749.3	17.25	438.1	—	—
070	—	—	2	45.50	1,155.7	33.25	845.0	—	—
090	065	—	2	45.50	1,155.7	33.25	845.0	—	—
104	—	—	2	45.50	1,155.7	33.25	845.0	—	—
120	075	068	2	45.50	1,155.7	33.25	845.0	—	—
130	090	080	2	45.50	1,155.7	33.25	845.0	—	—
140	120	102	3	61.50	1,562.1	49.25	1,251.0	—	—
156	—	—	3	61.50	1,562.1	49.25	1,251.0	—	—
180	140	—	3	61.50	1,562.1	49.25	1,251.0	—	—
208	160	—	4	77.50	1,968.5	65.25	1,657.0	—	—
—	180	136	4	77.50	1,968.5	65.25	1,657.0	—	—
260	200	170	5	93.50	2,374.9	81.25	2,064.0	48.63	32.63
312	240	204	6	109.5	2,781.3	97.25	2,470.0	48.63	48.63
370	280	235	6	109.50	2,781.3	97.25	2,470.0	48.63	48.63

NOTA: LOS SOPORTES DE SUJECION ACEPTARAN BARRAS DE SUJECION DE 3/8" / 9.5 mm

Fuente: Catalogo de unidades evaporadoras BOHN.

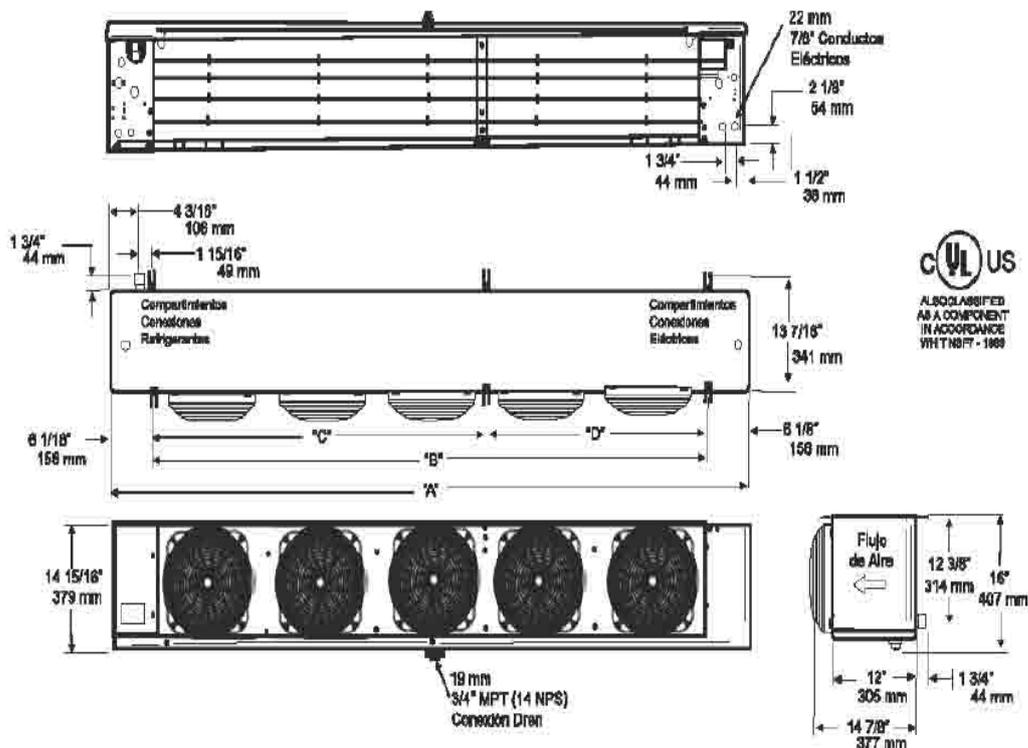


Figura 5.4 Detalle dimensional de unidades evaporadoras

Fuente: Catalogo de unidades evaporadoras BOHN

## 5.2 SELECCIÓN DE UNIDADES CONDENSADORAS.

### Potencia Calorífica desprendida por el condensador

En base a lo anteriormente calculado, el calor que será necesario evacuar en el condensador será:

Siendo este calor igual al producto de la variación de la entalpía en la entrada y salida del compresor y el caudal másico.

$$Q_c = m \cdot (h_8 - h_2) \quad \text{Ec. 5.11}$$
$$Q_c = 3.37 \text{ KW}$$

$$Q_{c\_BTU} = Q_c \cdot 3.4144 \cdot 1000 \quad \text{Ec. 5.12}$$
$$Q_{c\_BTU} = 11493.83 \text{ BTU}$$

### Capacidad del Condensador

El condensador que hemos escogido es el condensador por aire debido a que es para aplicaciones frigoríficas no excesivamente muy altas y por la cada vez mayor escasez de agua.

Es muy importante tomar en cuenta que el coeficiente de transmisión térmica entre el aire y el vapor condensante es muy bajo, por lo que se hace necesario un correcto caudal de aire para remover el calor.

$t_c = 38 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura de Condensación del Refrigerante

$t_s = 32 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura de entrada del Aire al Condensador

$t_e = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura de salida del Aire del condensador

$$\Delta t_{ml} = \frac{(t_c - t_e) - (t_c - t_s)}{\ln\left(\frac{t_c - t_e}{t_c - t_s}\right)}$$

Ec. 5.13  
Temperatura Media Logarítmica entre el medio condensante y el Refrigerante

$$\Delta t_{ml} = 9.05$$

$$K = 20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coeficiente global aproximado de transferencia térmica para condensadores de tipo de calor Sensible por aire de circulación por aire forzado.

$$A = \frac{Q_c * 1000}{K * \Delta t_{ml}}$$

Ec. 5.14  
Superficie de Condensador

$$A = 18.59 m^2$$

Después de calcular la capacidad del condensador escogemos del catalogo de Danfoss, una unidad condensadora adecuada para nuestra aplicación. La seleccionada es la HGZ 028.

La forma con la que escogimos este modelo es basándonos en los valores calculados como capacidad del condensador, los datos de temperatura Ambiente a la que va a ser expuesta la unidad condensadora y la temperatura de evaporación del líquido refrigerante.

De esta forma con -15 °C de temperatura de evaporación en el eje X como temperatura ambiente de 25°C en el eje Y, y una capacidad calculada en 11493 BTU/h tenemos:



**Figura 5.5 Ejemplo unidad condensadora**

Fuente: Catalogo de unidades condensadoras DANFOSS

Tabla5.5 Selección de Condensador para refrigerantes R404A/R507A



HGZ R404A / R507A PERFORMANCE DATA

Model	TE	+ 10°C		+ 5°C		0°C		- 5°C		- 10°C		- 15°C		- 20°C		- 25°C		- 30°C	
	TA	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.	RF.	P.A.
HGZ 018	27	5017	1.6	4314	1.5	3642	1.4	3099	1.2	2521	1.2	1996	1.1	1471	1.0	1121	0.8	839	0.7
	32	4489	1.7	3854	1.6	3256	1.5	2627	1.3	2154	1.2	1681	1.1	1261	1.0	927	0.8	654	0.7
	38	3857	1.8	3316	1.7	2794	1.5	2206	1.4	1839	1.2	1471	1.1	1051	1.0	720	0.8	464	0.7
	46	-	-	-	-	2187	1.6	1681	1.4	1418	1.3	1103	1.1	840	1.0	545	0.8	322	0.7
HGZ 022	27	6595	2.2	5746	2.0	4928	1.8	4150	1.7	3467	1.5	2732	1.2	2101	0.9	1606	0.9	1186	0.8
	32	5930	2.3	5175	2.1	4452	1.9	3835	1.8	3152	1.6	2521	1.4	1891	0.9	1420	0.9	1020	0.8
	38	5067	2.4	4446	2.2	3842	2.0	3257	1.8	2627	1.6	2101	1.4	1681	1.1	1181	0.9	811	0.7
	46	-	-	3348	2.3	2925	2.1	2521	1.8	1944	1.6	1576	1.4	1208	1.1	864	0.9	546	0.6
HGZ 028	27	8385	2.7	7245	2.4	6175	2.2	5253	2.2	4413	1.8	3572	1.6	2650	1.5	2065	1.3	1580	1.1
	32	7588	2.8	6564	2.6	5594	2.4	4728	2.2	3887	1.9	3152	1.7	2360	1.5	1800	1.3	1340	1.1
	38	6601	2.9	5724	2.7	4888	2.5	4097	2.3	3362	2.0	2732	1.7	2010	1.5	1500	1.3	1060	1.0
	46	-	-	4622	2.9	3895	2.6	3467	2.3	2837	2.0	2101	1.7	1576	1.5	1148	1.3	766	1.0
HGZ 032	27	8863	3.3	7685	3.0	6590	2.7	5562	2.3	4532	2.2	3657	2.0	2833	1.6	2186	1.5	1644	1.3
	32	7957	3.5	6923	3.2	5928	2.8	4996	2.6	4120	2.3	3296	2.0	2524	1.6	1901	1.5	1377	1.3
	38	6843	3.7	5974	3.3	5131	3.0	4429	2.7	3502	2.4	2833	2.1	2215	1.7	1549	1.6	1055	1.3
	46	-	-	-	-	4054	3.2	3451	2.9	2833	2.5	2266	2.2	1700	1.7	1203	1.6	773	1.3
HGZ 036	27	10768	3.7	9290	3.3	7906	3.0	6627	2.8	5472	2.5	4437	2.3	3542	2.1	2831	1.8	2224	1.5
	32	9773	3.8	8439	3.5	7190	3.2	6027	2.9	4969	2.7	4011	2.4	3188	2.1	2495	1.8	1909	1.6
	38	8501	4.1	7360	3.7	6269	3.4	5267	3.1	4324	2.8	3486	2.5	2746	2.2	2135	1.9	1583	1.6
	46	-	-	5953	4.1	5038	3.7	4231	3.2	3485	2.9	2807	2.6	2203	2.3	1703	2.0	1227	1.7
HGZ 040	27	12574	4.2	10844	3.9	9224	3.5	7774	3.2	6304	2.8	5043	2.6	3887	2.3	2928	1.9	2172	1.6
	32	11461	4.4	9899	4.1	8424	3.7	7144	3.3	5883	3.0	4518	2.7	3572	2.3	2623	2.0	1884	1.7
	38	10077	4.6	8722	4.2	7438	3.8	6304	3.4	5043	3.1	3992	2.8	3047	2.4	2209	2.0	1522	1.7
	46	-	-	7062	4.4	6045	4.0	5358	3.5	4518	3.2	3467	2.9	2732	2.4	1887	2.1	1233	1.7
HGZ 050	27	17177	4.7	14615	4.4	12275	4.0	10401	3.4	8195	3.5	6724	3.2	5253	2.9	4098	2.5	3219	2.1
	32	15606	4.9	13288	4.6	11153	4.3	9035	3.8	7354	3.6	6093	3.3	4623	2.9	3545	2.6	2686	2.2
	38	13671	5.3	11638	4.8	9735	4.4	8195	4.2	6304	3.7	5253	3.4	3992	3.0	2906	2.6	2096	2.3
	46	-	-	9380	5.3	7844	4.7	6724	4.3	5253	3.8	4202	3.5	2942	3.0	2175	2.6	1510	2.3

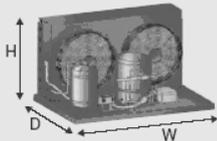
HGZ 064	27	19818	6.2	17182	5.7	14667	5.4	12607	4.7	10296	4.4	8405	4.0	6514	3.6	4966	3.0	3714	2.6
	32	17982	6.6	15621	6.2	13342	5.6	11557	4.8	9245	4.5	7249	4.1	5778	3.6	4355	3.1	3116	2.7
	38	15704	7.1	13665	6.4	11701	5.8	10296	5.2	8195	4.7	6619	4.3	4833	3.7	3472	3.2	2389	2.8
	46	-	-	11108	6.9	9423	6.1	7985	5.5	6724	4.8	5253	4.5	3887	3.7	2716	3.3	1766	2.8
HGZ 080	27	24964	8.1	21801	7.5	18716	6.9	15759	6.1	13343	5.6	10716	5.2	8720	4.6	6793	4.0	5170	3.4
	32	22716	8.6	19821	7.8	17055	7.2	14708	6.4	12292	5.7	9455	5.3	7564	4.7	5692	4.1	4174	3.5
	38	19907	9.0	17383	8.3	14987	7.5	12922	6.7	10506	6.0	8510	5.5	6724	4.8	4957	4.2	3461	3.6
	46	-	-	14225	8.9	12142	7.9	10086	7.2	8930	6.2	6829	5.7	5253	4.9	3694	4.3	2395	3.7
HGZ 100	27	30324	8.8	26077	8.2	22083	7.6	18540	6.9	15244	6.6	12154	6.1	9270	5.5	7062	4.6	5393	4.0
	32	27492	9.4	23663	8.7	20046	8.2	16892	7.4	13802	6.8	11124	6.3	8549	5.5	6497	4.8	4903	4.2
	38	23861	9.9	20622	9.1	17507	8.5	14729	7.7	11948	7.1	8961	6.6	7416	5.6	5598	5.0	4112	4.3
	46	-	-	16705	9.9	13957	9.1	11742	8.2	9682	7.2	7931	6.7	5665	5.6	4233	5.0	2875	4.3
HGZ 125	27	42135	11.0	36160	10.4	30613	9.5	25214	8.8	21012	8.2	16810	7.5	12817	6.7	9948	5.6	7738	5.0
	32	38600	11.5	33134	10.6	28037	10.0	22063	9.3	18701	8.5	14813	7.7	12187	7.0	8756	6.0	6619	5.2
	38	34037	12.4	29228	11.4	24692	10.5	19436	9.7	16810	9.0	13238	8.0	9981	7.1	7412	6.2	5410	5.4
	46	27604	13.3	23768	12.4	20116	11.3	16810	10.2	13658	9.2	10506	8.2	8405	7.2	6224	6.4	4382	5.6
HGZ 144	27	46126	13.0	39774	12.0	33864	11.1	28366	10.0	23533	9.3	18911	8.8	15234	8.0	11853	6.8	9087	5.9
	32	42179	13.5	36405	12.7	30975	11.6	25214	10.5	20487	9.7	16179	9.0	13133	8.1	9970	7.0	7591	6.1
	38	37130	14.5	32076	13.3	27296	12.1	22063	11.0	18175	10.2	14708	9.3	11557	8.2	8625	7.2	6355	6.3
	46	-	-	26020	14.2	22209	12.8	17860	11.5	15444	10.5	11977	9.5	9245	8.5	6690	7.4	4754	6.4
HGZ 160	27	49572	15.5	42976	13.8	36618	12.6	30403	11.5	25214	10.5	21012	9.5	17230	8.8	13723	7.5	10772	6.6
	32	45037	16.0	39131	14.6	33456	13.5	27946	12.0	22693	11.0	18386	10.0	14919	9.0	11686	7.8	8938	6.8
	38	39492	16.8	34376	15.2	29468	14.0	24990	12.5	19972	11.5	16179	10.5	13224	9.3	10148	8.0	7520	7.0
	46	-	-	27540	16.5	23460	15.1	19331	13.0	16284	12.0	13448	11.0	10506	9.7	7973	8.3	5732	7.2
HDZ 200	27	55370	18.5	48094	17.1	41108	15.8	34477	14.5	28388	13.2	22908	11.9	18097	10.6	14010	9.3	10669	8.1
	32	50241	19.4	43663	17.9	37273	16.5	31256	15.0	25684	13.7	20634	12.3	16157	11.0	12312	9.7	9091	8.4
	38	43979	20.4	38216	18.7	32620	17.2	27343	15.6	22411	14.1	17924	12.7	13904	11.3	10401	9.9	7403	8.6
	46	-	-	-	-	-	-	22013	16.2	18021	14.3	14367	12.9	11053	11.4	8114	9.9	5531	8.6
HDZ 250	27	61955	25.1	54922	22.9	47890	20.7	41020	18.8	34429	16.9	28337	15.2	22851	13.4	18061	11.8	14039	10.2
	32	55875	26.2	49601	23.8	43296	21.5	37101	19.4	29022	17.8	22244	16.1	16614	14.4	11965	12.7	8128	11.0
	38	-	-	-	-	37705	22.4	32321	20.2	27127	18.0	22219	16.1	17678	14.2	13573	12.5	9975	10.9
	46	-	-	-	-	-	-	-	-	21831	18.7	17902	16.6	14.2	14.6	10794	12.7	7694	11.0

LEGEND  
 P.F. cooling capacity W      TE evaporating temperature °C (dew temperatures)  
 P.A. power input kW      TA ambient temperature °C  
 PERFORMANCE DATA IS BASED ON:  
 50 Hz • Superheat 18 K • Subcooling 3 K.

Fuente: Catalogo de unidades condensadoras DANFOSS

Una vez seleccionado la unidad condensadora mas conveniente para esta aplicación se obtiene también del catalogo proporcionado por el fabricante todos las características eléctricas y dimensiones que no servirán para el momento del montaje e instalación de los equipos.

**Tabla 5.6 Detalles dimensionales unidad condensadora.**

Model		Voltage Code					Overall dimensions
		Comp. 400V / 3ph Fans 400V / 3ph	Comp. 400V / 3ph Fans 230V / 3ph	Comp. 400V / 3ph Fans 400V / 1ph	Comp. 230V / 1ph Fans 230V / 1ph	Comp. 230V / 3ph Fans 230V / 1ph	
		D	E	F	G	H	W x D x H (mm)
HGZ 018	1 cylinder	●	●	●	●	●	700x500x392
HGZ 022		●	●	●	●	●	800x600x442
HGZ 028		●	●	●	●	●	
HGZ 032		●	●	●	●	●	
HGZ 036		●	●	●	●	●	
HGZ 040	2 cyl.	●	●	●	●	●	1000x800x555
HGZ 050		●	●	●	●	●	
HGZ 064		●	●	●	●	●	
HGZ 080	4 cylinders	●	●	●	●	●	1200x800x671
HGZ 100		●	●	●	●	●	
HGZ 125		●	●	●	●	●	
HGZ 144		●	●	●	●	●	
HGZ 160	Tandem 2 x 4	●	●	●	●	●	1500x870x975
HDZ 200		●	●	●	●	●	
HDZ 250		●	●	●	●	●	

Fuente: Catalogo de unidades condensadoras DANFOSS

**Tabla 5.7 Características eléctricas de unidad condensadora.**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS											
Model		Compressor				Fan assembly					
		Max continuous current MCC (A)			Max current (A)		Power input (W)				
		400V / 3ph	230V / 1ph	230V / 3ph	400V / 3ph	230V / 1ph	400V / 1ph	400V / 3ph	230V / 1ph	400V / 1ph	
HGZ 018	1 cylinder	5	12	-	-	2x0.32	2x0.2	-	2x70	2x70	
HGZ 022		6	12	11	2x0.35	2x0.85	-	2x135	2x170	-	
HGZ 028		7.5	15	16	2x0.35	2x0.85					
HGZ 032		8	16	18	2x0.35	2x0.85	-	2x200	2x230	-	
HGZ 036		9	20	17	2x0.5	2x1.2					
HGZ 040		10	-	15	2x0.5	2x1.2					
HGZ 050		12	-	18	2x0.7	2x1.3	-	2x250	2x240	-	
HGZ 064		15	-	23	2x1.2	2x1.7					
HGZ 080		23	-	29	2x1.2	2x1.7	-	2x500	2x400	-	
HGZ 100		22	-	35	2x1.2	2x1.7					
HGZ 125		27	-	43	2x1.45	2x1.45					
HGZ 144		30	-	51	2x1.45	2x1.45					
HGZ 160		36	-	51	2x1.45	2x1.45	-	2x680	2x700	-	
HDZ 200		2x22	-	2x35	2x1.45	2x1.45					
HDZ 250		2x27	-	2x43	2x1.45	2x1.45					
Model			400V / 3ph	230V / 1ph	230V / 3ph	400V / 3ph	230V / 1ph	400V / 1ph	400V / 3ph	230V / 1ph	400V / 1ph
LGZ 022		1 cylinder	6	15	-	-	2x0.32	2x0.2	-	2x70	2x70
LGZ 028	7.5		16	-	2x0.35	2x0.85	-	2x135	2x170	-	
LGZ 040	8.7		-	-	2x0.35	2x0.85					
LGZ 044	10		-	18	2x0.5	2x1.2	-	2x200	2x230	-	
LGZ 050	12		-	18	2x0.5	2x1.2					
LGZ 088	22		-	35	2x1.2	2x1.7					
LGZ 100	27		-	43	2x1.2	2x1.7	-	2x500	2x400	-	
LDZ 176	2x22		-	2x35	2x1.45	2x1.45					
LDZ 200	2x27		-	2x43	2x1.45	2x1.45	-	2x680	2x700	-	

Fuente: Catalogo de unidades condensadoras DANFOSS

### 5.3 SELECCIÓN DE REFRIGERANTE.

En la actualidad la industria en el Ecuador exige que los procesos de embalaje y almacenamiento que se realice en cámaras frías se utilicen refrigerantes que causen un mínimo impacto en el ambiente. Siendo este el aspecto de mayor importancia para su selección.

Por otro lado no podemos olvidar las características termo físicas de los refrigerantes que deben ser analizados cuidadosamente para obtener los mínimos consumos de potencia y que los requerimientos de refrigeración sean alcanzados.

#### Propiedades de Seguridad de Impacto Ambiental

- Los refrigerantes, deben ser químicamente inertes en su estado puro como cuando están mezclados con humedad del aire en cierta proporción.
- El refrigerante no debe contaminar de ninguna manera los productos alimenticios.
- El refrigerante no debe alterar las condiciones naturales del medio ambiente, en el caso que los sistemas de refrigeración tengan alguna fuga, su grado de impacto en la destrucción de la capa de ozono debe ser nula.
- Baja afectación en el efecto invernadero.
- La toxicidad en los refrigerantes tiene que ser nula, es decir de grado 6 ya que en concentraciones muy grandes son nocivos para la persona que esta expuesta.
- La inflamabilidad para cualquier concentración de refrigerante con aire debe ser nula.

Las propiedades termofísicas que influyen en la capacidad y eficiencia del sistema de refrigeración son:

El calor latente de vaporización: debe ser alto para que sea mínimo el peso del refrigerante que circule por el sistema.

El volumen específico: debe ser bajo para que conjuntamente con el calor latente alto, en condiciones de vapor tenga un incremento en la capacidad y eficiencia del compresor.

La diferencia entre la presión de condensación y evaporización: debe ser baja para obtener un consumo menor de potencia y alta eficiencia volumétrica.

La temperatura baja en la descarga: Reduce la posibilidad de sobrecalentamiento del compresor y contribuye para el incremento de la vida útil del compresor.

Presión condensante razonablemente baja: esto permite usar materiales de peso ligero en la construcción del equipo de condensación así reduce el tamaño y costo del equipo.

Y consideraciones muy importantes como:

Disponibilidad del refrigerante en el mercado Nacional

Costo del refrigerante.

### **Alternativas viables en la selección del refrigerante.**

En nuestro análisis se tomara en cuenta los refrigerantes que se encuentran en el mercado ecuatoriano como son: R-12, R-22, R-502, R-134A, R404A.

Siendo este ultimo el mas comercializado y utilizado por equipos de procedencia internacional.

Para este fin realizamos una matriz de decisión evaluando todos los aspectos anteriores.

**Tabla 5.8 Características Termo físicas de seguridad e impacto ambiental de los Refrigerantes**

CARACTERISTICAS	REFRIGERANTE				
	R-12	R-22	R-502	R-134A	R-404A
Calor Latente de vaporización (BTU/lb)	66	88.45	64.008	84.307	73.95
Volumen Especifico de vapor (ft3/lb)	0.82	0.71	0.487	1.041	0.51
Efecto Refrigerante (BTU/h)	49	64.24	41.59	58.867	43.86
hp por tonelada de refrigeración	0.96	1.13	0.66	1.06	1.19
Coeficiente de Rendimiento (C.O.P.)	4.9	4.16	7.07	4.41	3.92
Temperatura de descarga del compresor (°C)	48.8	60	48.8	48.8	50
Presión Evaporador (Psi)	48	76.314	86.98	44.915	101.52
Presión Condensante (Psi)	150	243.4	260.5	161.04	290.07
Inflamabilidad y explosividad	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Ozone Depeletion Potential (ODP)	1	0.05	0.33	0	0
Costo de Refrigerante 24lb. (USD)	97.94	85.7	134.67	183.64	202
Disponibilidad en el mercado	SI	SI	SI	SI	SI

**Tabla 5.9 Matriz de evaluación para selección de diferentes alternativas de refrigerantes**

CARACTERISTICAS	REFRIGERANTE				
	R-12	R-22	R-502	R-134A	R-404A
Calor Latente de vaporización (BTU/lb)	1	3	1	3	2
Volumen Especifico de vapor (ft <sup>3</sup> /lb)	2	2	1	3	1
Efecto Refrigerante (BTU/h)	3	1	3	1	3
hp por tonelada de refrigeración	2	3	1	2	3
Coefficiente de Rendimiento (C.O.P.)	2	2	3	2	2
Temperatura de descarga del compresor (°C)	2	3	2	2	2
Presión Evaporador (Psi)	1	2	2	1	3
Presión Condensante (Psi)	1	2	2	1	3
Inflamabilidad y explosividad	3	3	3	3	3
Ozone Depeletion Potential (ODP)	0	0	0	3	3
Costo de Refrigerante (USD)	3	3	3	2	2
Disponibilidad en el mercado	3	3	3	3	3
Suma	23	27	24	26	30

Nota: Mediante este análisis y bajo criterios de valoración definidos por nosotros, podemos concluir que el refrigerante que nos da mas beneficios es el R-404-A que a pesar de tener un costo mas elevado, nos brinda menos impacto ambiental y mejores características termofísicas.

## HFC - R404A

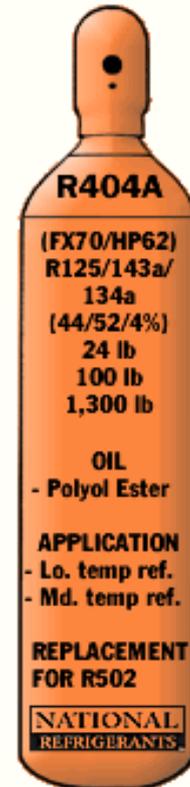
Refiriéndose a la composición química del refrigerante Hidro Fluoruro de Carbono indica que el refrigerante esta compuesto de Hidrogeno, fluor y carbón.

Es una mezcla de R-125, R-143a, y R-134a destinado para aplicaciones de refrigeración de baja temperatura, dónde antes se utilizaba R-502 .La mayoría de los nuevos equipos de refrigeración se ha construido para R-404A (o R-507).

También es posible el retroalimentar los sistemas de R-502 con R-404A.

R-404A tiene presiones ligeramente más baja que R-507 (de la pequeña cantidad de R-134a agregado), y generalmente ambas mezclas tienen las presiones ligeramente más altas que 502.

R-404A requiere poliéster (POE) lubricante que normalmente es cargado dentro del nuevo equipo. Si existe retroalimentaciones el equipo nuevo el aceite original debe vaciarse y debe reemplazarse con POE.



**Figura 5.6 Características y esquema del R-404-A**

Fuente [www.refrigerants.com](http://www.refrigerants.com)

## 5.4 SELECCIÓN DE TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS

### Tubería de refrigerante

Es obvio que entre los diferentes elementos que configuran una instalación frigorífica no pueden faltar canalizaciones para llevar el refrigerante de un estado a otro, es por ello que es indispensable la determinación de dichos ductos o tuberías de circulación del fluido frigorífico.

Un método muy aproximado para el cálculo de los diámetros de tubería es por medio de ábacos que simplificaran los cálculos.

Para la obtención de los datos en el ábaco partimos de los siguientes parámetros como:

$N_f = 2458.18W$  Producción frigorífica.

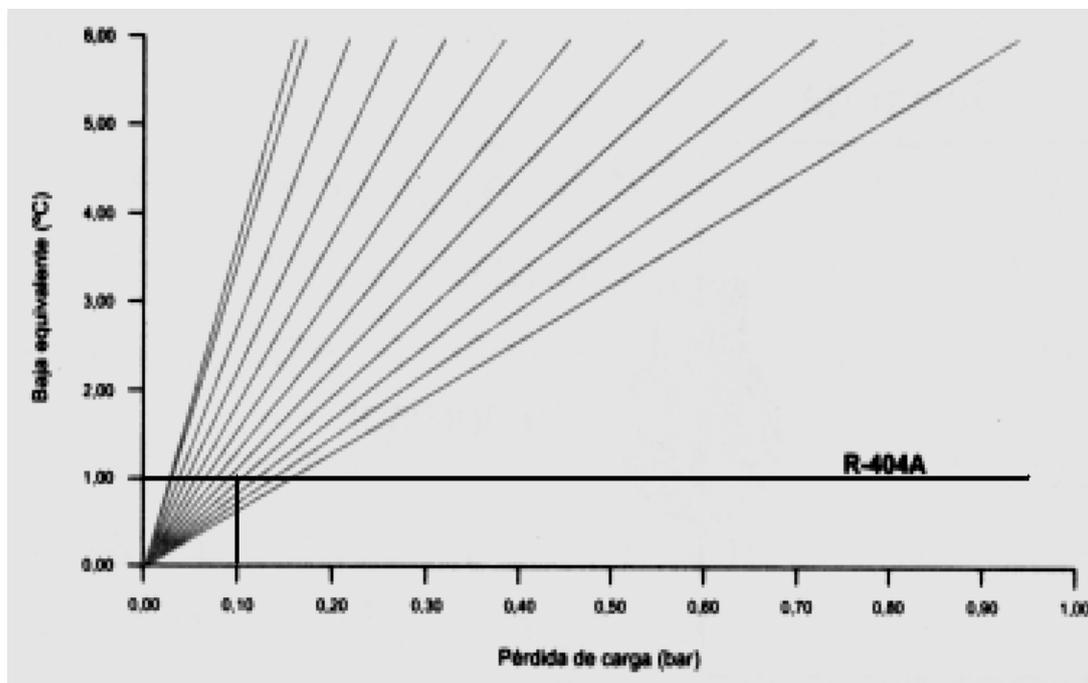
$T_{evap} = -15\text{ }^\circ C$  Temperatura de evaporación

Obtenemos la pérdida de carga a través de la figura de relación entre la caída de presión y la temperatura, para lo cual utilizamos una temperatura de  $1\text{ }^\circ C$  según recomendación de la Tabla 5.10

**Tabla 5.10 Pérdidas de carga equivalente de la temperatura de evaporización en  $^\circ C$ . Valores normales admitidos.**

Tubería de aspiración	$1\text{ }^\circ C$
Tubería de descarga	0,5 a $1\text{ }^\circ C$
Tubería de líquido	0,5 a $1\text{ }^\circ C$

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.



**Figura 5.7 Gráfico relación caída de presión vs. Temperatura.**

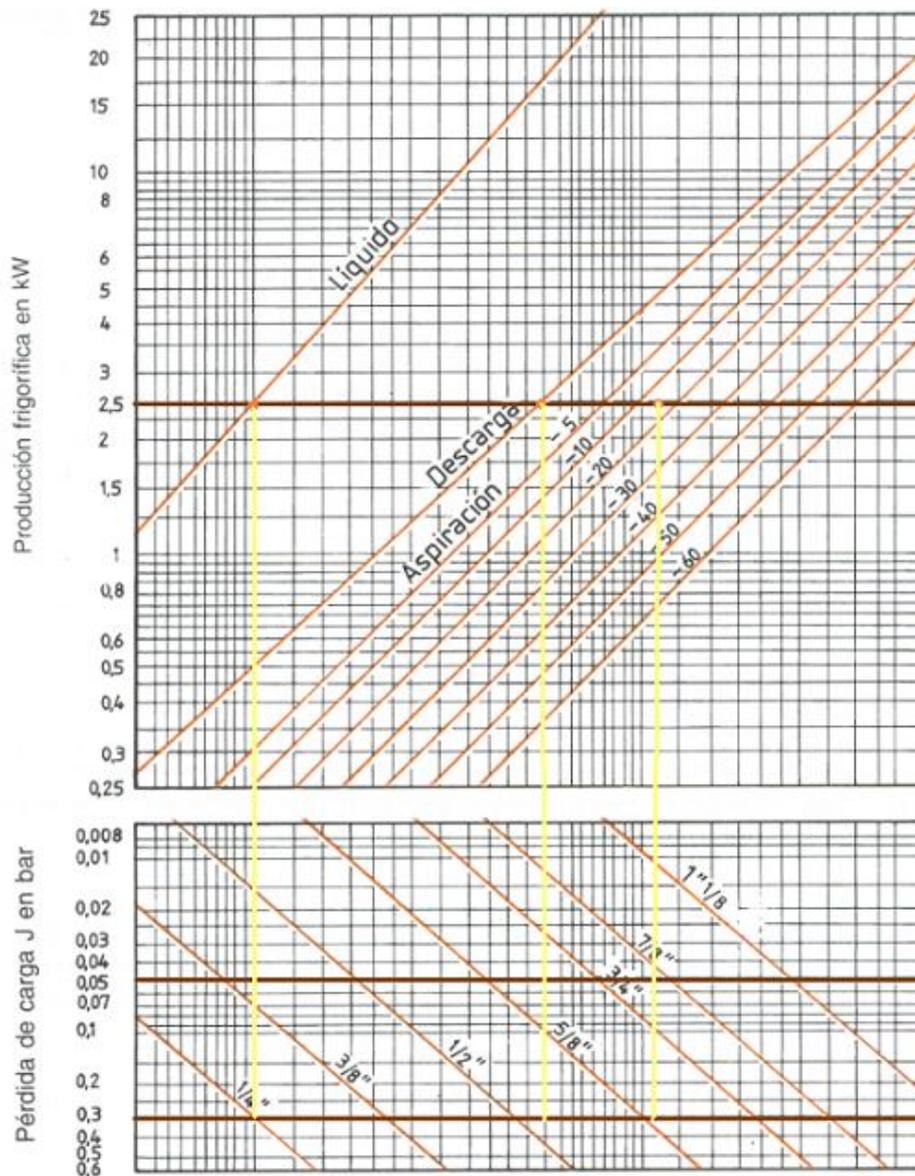
Fuente: Enciclopedia de la refrigeración.

Como nuestra tubería promedio establecida es de 3m debemos hacer una corrección en la caída de presión.

$$J_3 = \frac{0.1 \cdot 10}{3} = 0.33 \quad \text{Caída de presión para un tramo de 4 m en la succión}$$

$$J_3 = \frac{0.1 \cdot 10}{3} = 0.03 \quad \text{Caída de presión para un tramo de 3 m en la descarga}$$

$$J_3 = \frac{0.1 \cdot 10}{3} = 0.33 \quad \text{Caída de presión para un tramo de 3 m en la línea del líquido}$$



**Figura 5.8** Ábaco para evaluar las pérdidas de carga dinámicas en tuberías de 10m de longitud.

Fuente: Enciclopedia de la refrigeración

Nota: Recuérdese que este ábaco incluye una cantidad media de accesorios y pérdidas por rozamiento

Ingresando estos datos al ábaco obtenemos los siguientes diámetros.

Succión  $\phi$  3/4"

Descarga  $\phi$  1/2"

Líquido  $\phi$  1/4"

**Tabla 5.11 Datos Físicos de Unidades Evaporadoras con deshielo Eléctrico.**

DATOS FISICOS DESHIELO ELECTRICO							
MODELOS LET/LLE	No. de Ventiladores	Conexiones (pulgadas)				Peso Neto Aprox. Lbs/kg	
		Entrada del Serpentín	Succión	Igualador Externo	Dren		
<b>MODELOS LET 6 ALETAS POR PULGADA</b>							
LET 035	1	1/2 DE	5/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	24	11
LET 040	1	1/2 DE	5/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	26	12
LET 047	1	1/2 DE	5/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	29	14
LET 065	2	1/2 DE	5/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	43	20
LET 075	2	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	45	21
LET 090	2	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	48	22
LET 120	3	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	60	28
LET 140	3	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	62	29
LET 160	4	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	81	37
LET 180	4	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	84	39
LET 200	5	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	101	46
LET 240	6	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	121	55
LET 280	6	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	124	57
<b>MODELOS LLE 4 ALETAS POR PULGADA</b>							
LLE 041	1	1/2 DE	5/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	28	13
LLE 068	2	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	44	21
LLE 080	2	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	47	22
LLE 102	3	1/2 DE	7/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	59	27
LLE 136	4	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	80	37
LLE 170	5	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	100	46
LLE 204	6	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	120	55
LLE 235	6	1/2 DE	1-1/8 DI	1/4 DE	3/4 MPT	123	56

Fuente: Catalogo de unidades evaporadoras

Como podemos observar en el calculo de diámetros de tuberías y los diámetros recomendados por el fabricante que se encuentran en la tabla 5.11 Comprobamos que los valores son muy aproximados y cumplen con nuestros requerimientos.

### **Válvula de Expansión Termostática**

Las válvulas de expansión termostáticas regulan la inyección de refrigerante líquido en los evaporadores. La inyección se controla en función del recalentamiento del refrigerante.

Por tanto las válvulas son especialmente adecuadas para inyección de líquido en evaporadores secos en los cuales el recalentamiento a la salida del evaporador es proporcional a la carga de este.

Para la selección de este accesorio partimos de la capacidad frigorífica en watts, Temperatura de evaporización, Temperatura de condensación y de los diámetros de la tubería.

## CAPITULO VI

### 6.1 ANALISIS ECONOMICO

#### 6.1.1 Inversión

La inversión que se realizó estuvo a cargo de la empresa “El guayabal” y tiene por objeto mejorar la calidad de la materia prima con la cual realiza sus dulces mediante la implementación del sistema de Refrigeración. Para obtener una correcta inversión se procederá a un correcto diseño y construcción, además de una minuciosa selección del equipo, accesorios y demás elementos estructurales.

**Cuadro 6.1 Costos de diseño e ingeniería**

Costos de Diseño e Ingeniería				
ítem	Descripción	Cantidad	P/U	Total
1	Honorarios Profesionales	1	\$200.00	\$200.00
2	Costos Generales Indirectos	1	\$40.00	\$40.00
3	Uso de Taller	1	\$60.00	\$60.00
Total				\$300.00

**Cuadro 6.2 Costos de obra civil**

Costos Obra Civil					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P/U	Total
1	Desbanque y nivelación	m2	9	\$2.50	\$22.50
2	Hormigón pobre 100 Kg/m2 Es:8cm	m3	0.68	\$70.00	\$47.60
3	Lamina polietileno	m2	9	\$1.20	\$10.80
4	Poliuretano	m2	9	\$26.00	\$234.00
5	Losa Uniforme 175 Kg/cm2	m2	9	\$12.50	\$112.50
6	malla electro soldada 6X15	Kg.	50	\$1.20	\$60.00
7	masillado paleteado	m2	9	\$2.50	\$22.50
8	Punto PVC 110mm	Pto	1	\$15.00	\$15.00
Total					\$524.90

**Cuadro 6.3 Costos de elementos estructurales**

Costos Elementos Estructurales					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P/U	Total
1	Lamina Galvanizada de e=0.7mm	u	34	\$13.25	\$450.50
2	Lamina Acero Inoxidable e=0.7 mm	U	1	\$46.50	\$46.50
3	Corte y Dobles de Laminas	U	400	\$0.12	\$48.00
4	Estructura de Madera del Panel	U	10	\$24.50	\$245.00
5	Poliuretano	m2	32.8	\$32.00	\$1,049.60
6	Clavo 1 1/2"	lb.	2	\$0.76	\$1.52
7	Cemento de Contacto	Gal	0.5	\$5.46	\$2.73
8	Caucho para sello	Kit	1	\$20.00	\$20.00
9	Juego de Bisagras y Manija	Kit	1	\$97.00	\$97.00
10	Perfiles para Sujeción de Estructura	U	1	\$60.00	\$60.00
<b>Total</b>					<b>\$2,020.85</b>

**Cuadro 6.4 Costos de Equipos**

Costos Equipos					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P/U	Total
1	Unidad condensadora 12.000 BTU, Compresor de 2 hp, refrigerante R-404-A, 208/220V, 60 Hz, 1Ph	U	1	\$1,115.00	\$1,115.00
2	Unidad Evaporadora 12.000 BTU, con dos ventiladores y descarche con resistencia eléctrica	U	1	\$1,130.00	\$1,130.00
<b>Total</b>					<b>\$2,245.00</b>

**Cuadro 6.5 Costos de Accesorios**

Costos Accesorios					
ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P/U	Total
1	Válvula de expansión TEX, R-404, con orificio	u	1	\$ 53.00	\$ 53.00
2	Válvula solenoide 1/2 marca con bobina 220V	u	1	\$ 69.00	\$ 69.00
3	Visor 1/2, marca mod SGI-12.	u	1	\$ 17.00	\$ 17.00
4	Filtro secador Danfoss DML-164	u	1	\$ 15.00	\$ 15.00
5	Trampa sifón 1 1/8	u	1	\$ 14.80	\$ 14.80
6	Intercambiador de calor 5/8 x 1/2	u	1	\$ 55.00	\$ 55.00
7	Contactador de 30 Amp 2P – 220V	u	2	\$ 11.00	\$ 22.00
8	Protector de Voltaje monofásico marca Breakermatic PFA-220	u	1	\$ 33.00	\$ 33.00
9	Tubería flexible de 5/8"USA.	rollo	1	\$ 82.43	\$ 82.43
10	Tubería flexible de 1/2"USA.	rollo	1	\$ 60.22	\$ 60.22
11	Rubatex de 5/8 x 1/2"	u	8	\$ 2.60	\$ 20.80
12	Cilindro de gas refrigerante R-404A, de 24 libras.	u	1	\$ 202.00	\$ 202.00
13	Sistema de control electrónico con microprocesador digital con gestión para control de temperatura, descarche, termómetro, operación del evaporador y compresor.	u	1	\$ 175.00	\$ 175.00
14	Válvula despresurizadora de cámara frigorífica	u	1	\$45.00	\$ 45.00
15	Resistencia de desagüe 12 feet x 220V	u	1	\$45.00	\$ 45.00
				<b>Total</b>	<b>\$ 909.25</b>

**Cuadro 6.6 Resumen de costos**

RESUMEN	
Costos de Diseño e Ingeniería	\$300.00
Costos Obra Civil	\$524.90
Costo Elementos Estructurales	\$2,020.85
Costos Equipos	\$2,245.00
Costo Accesorios	\$ 909.25
<b>Total</b>	<b>\$6,000.00</b>

## 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO.

### 6.2.1 Análisis costo beneficio

Para el análisis costo beneficio se analizara el costo total de la implementación del sistema de refrigeración de la pulpa de guayaba y además de considerar el costo de la guayaba cuando no este en temporada y tomando en cuenta el tiempo que se tendrá este sobreprecio. De esta forma evaluaremos el costo beneficio de este proyecto y calcularemos el tiempo de recuperación de la inversión que realizo la empresa “El Guayabal” y calificar si es beneficiosa o no para la misma. Este análisis no contempla el beneficio que se obtendrá de mejorar la calidad del producto así como de las facilidades en la producción.

Para comenzar plantearemos todos los parámetros presentes en este análisis como son:

$C_c = 6000$ USD	Costo de la cámara frigorífica
$C_g = 0.25$ USD	Costo del Kg. de guayaba cuando esta en temporada
$C_s = 0.50$ USD	Costo del Kg. de guayaba cuando no es temporada
$te = 5$ Meses	Tiempo de escasez de guayaba al año.
$M_p = 3000$ Kg.	Masa de pulpa utilizada en el mes.

Definido estos parámetros obtenemos el sobreprecio anual de la guayaba que la empresa el Guayabal posee mediante la siguiente ecuación:

$$S = (C_s - C_g) * te * M_p = 3750 \text{ USD/año} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Dividiendo este sobre precio para los meses del año tenemos un sobreprecio mensual de:

$$S_m = \frac{S}{12} = 312.5 \text{ USD/mes} \quad \text{Ec. 6.2}$$

Para el consumo energético del compresor tendremos que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

$P = 2$	hp.	Potencia mecánica del compresor.
$D = 30$		Días promedios de un mes.
$H = 24$		Horas del día.
$f1 = 0.8$		Factor de rendimiento del compresor.
$f2 = 0.4$		Factor de utilización del compresor.
$C_{Kw-h} = 0.1$		Costo de Kw. por hora

El factor de rendimiento del compresor es un factor de corrección que hemos definido en 0.8 debido a que el compresor no siempre estará trabajando al 100% de su capacidad sino dependiendo de la carga de la cámara frigorífica.

Otro factor importante es el de utilización, que nos hemos planteado como 0.4. Este factor nos indica que el compresor no estará trabajando todo el tiempo sino solo cuando sea requerido por el sistema cuando exista una ganancia de calor.

Nota: El cálculo de consumo eléctrico es aproximado ya que depende de muchos factores que hacen que se incremente o disminuya la carga, como es la masa que se encuentre dentro de la cámara, los números de veces que se abre la puerta, el numero de personas que se encuentren trabajando dentro, etc.

Los factores que hemos utilizado son factores críticos, para garantizar que el consumo energético nunca sobrepasara el calculado en este análisis.

Mediante la siguiente ecuación tenemos el costo mensual por consumo eléctrico del compresor:

$$Q = 0.74 * P * D * H * f1 * f2 = 34.37 \text{ USD mensuales. Ec. 6.3}$$

Para obtener la recuperación de la inversión y hacer un análisis costo beneficio igualamos el costo mensual en la que se va a pagar el equipo mas el consumo eléctrico mensual, con el gasto mensual por sobreprecio de la pulpa y de esta forma obtenemos:

$$Cc + tm * Q = tm * Sm \quad \text{Despejando } tm \text{ tenemos:} \quad \text{Ec. 6. 4}$$

$$tm = \frac{Cc}{Sm - Q} = 21.57 \text{ Meses}$$

Es decir que la empresa el guayabal recupera su inversión en un tiempo menor a 2 años, después de ese tiempo su ahorro por sobreprecio es neto. Al finalizar este análisis podemos concluir que el proyecto es atractivo y beneficioso para la empresa que reducirá su costo de producción manteniendo la calidad en el producto que oferta.

**Cuadro 6.7 Beneficio/Costo**

Beneficio/Costo	
Costo Total de Cámara Frigorífica	\$6,000.00
Ahorro Primer año	3750
Ahorro Segundo año	3750

BENEFICIO / COSTO EL PRIMER AÑO      0.63

BENEFICIO / COSTO EL SEGUNDO AÑO    1.67

Para el segundo año después de implementar la cámara de refrigeración en la empresa “El Guayabal” el índice es mayor a uno, demostrando que este proyecto es atractivo.

## **CAPITULO VII**

### **MANUAL DEL USUARIO**

Es básico y necesario que el operador o usuario del cuarto frío este familiarizado con todos los componentes que este posee, de esta manera se consigue una mejor utilización, cuidado y sobre todo se evita la mala operación reduciendo el riesgo de errores y accidentes.

Tomando en cuenta esto se ha elaborado un manual dividido en dos partes; la primera, el manual de operación en el que se detalla los componentes de la cámara y los pasos a seguir para poner en funcionamiento el cuarto, en la segunda parte se ha diseñado un manual de mantenimiento preventivo para evitar posibles averías en el equipo que pueden causar daños si no se toma en cuenta, en adición también un manual correctivo en donde se explica que los dispositivos si no tienen un adecuado cuidado y mantenimiento tendrían que cambiarse, o en su defecto el tiempo, el uso, y las condiciones propias hacen que estos tengan que ser sustituidos por nuevos.

#### **7.1 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CAMARA FRIGORIFICA.**

##### **7.1.1 Descripción de la cámara frigorífica**

Vista frontal exterior



Vista lateral derecha Exterior



Vista Interior



### 7.1.2. Descripción del Equipo

Unidad Evaporadora: Marca Bohn Modelo LET 120 de 6 aletas por pulgada de 12.000 BTU/h con deshielo eléctrico, Tubería de succión 7/8" y tubería de liquido de 1/2", 220V/1P/60Hz. Peso 29 Kg.



Unidad Condensadora: Marca Heatcraft Modelo HGZ028 de 12.000 BTU/h, 220V/1P/60Hz.



### 7.1.3 Descripción de los componentes

Entre los principales componentes del sistema de refrigeración tenemos:

Válvula de expansión Danfoss TEX, R-404, con orificio



Válvula solenoide 7/8 marca Danfoss con bobina 220V

Visor 1/2", marca Danfoss mod SGI-12.



Filtro secador Emerson ADK-083 1/2"

Orificio Válvula Expansión #3





Contactor de 30 Amp 2P – 220V

Protector de Voltaje monofásico marca Breakermatic PFA-220



Tubería flexible de 7/8" y 1/2".

Aislante para tubería de Succión. 7/8"x 1/2"



Cilindro de gas refrigerante R-404A, de 24 libras.

Sistema de control electrónico con microprocesador digital con gestión para control de temperatura, descarche, termómetro, operación del evaporador y compresor, incluye display luminoso y dos sondas EKC101



Resistencia de desague 12 feet x 220V

#### **7.1.4 Instalación y ensamble**

Para la realización de los diagramas de instalación y ensamblaje del cuarto frío se utilizara la siguiente codificación detallada a continuación:

XX: Abreviatura de Proceso

YY: Orden Secuencial de todo el Sistema

ZZ: Orden Secuencial de cada proceso.

#### **Obra Civil**

**PA** Planos Arquitectónicos.

**PE** Planos Estructurales.

**UC** Ubicación del Cuarto Frio

**AP** Aislamiento de Piso

**AF** Acabados finales

#### **Anclaje de Estructura de Cámara Frigorífica.**

**EP** Ensamblaje de Paneles.

**SP** Sujeción de Paneles con pernos.

**CA** Colocación de ángulos bases.

**SE** Sello de esquinas con aislante plástico.

**LF** Limpieza final de Estructura de Cámara frigorífica.

#### **Montaje de equipos de Refrigeración.**

**FBUC** Fabricación de base de Unidad Condensadora.

**EUE** Empotramiento de la Unidad Evaporadora al techo del cuarto.

**EUC** Empotramiento de base de Unidad Condensadora a la pared

#### **Instalación Tubería de Alta**

**MCA** Medir y Cortar Tubería de Alta 7/8 ”

**LT** Limpieza de Tubería de 7/8”.

**SAV** Soldar absorbedor de vibraciones a salida de unidad Condensadora.

**SF** Soldar Filtro a la Tubería de 7/8 ”.

**STE** Soldar Tubería de 7/8” a Unidad Evaporadora.

### **Instalación Tubería de Baja.**

**MCB** Medir y Cortar Tubería de Baja 1/2 ”.

**LT** Limpieza Tubería de 1/2 ”.

**SVF** Soldar visor de flujo a la tubería de 1/2 ”.

**SFTB** Soldar Filtro a Tubería de 1/2”.

**SLP** Soldar llave de paso a Tubería de 1/2”

**STC** Soldar tubería de 1/2” a la unidad Condensadora.

### **Instalación Eléctrica**

**MC** Medir y cortar cable.

**CE** Conexión eléctrica a la caja de fuerza y tierra desde toma principal.

**CSC** Conexión de Sistema de control, interruptor automático de corriente, contactores y Protector de voltaje.

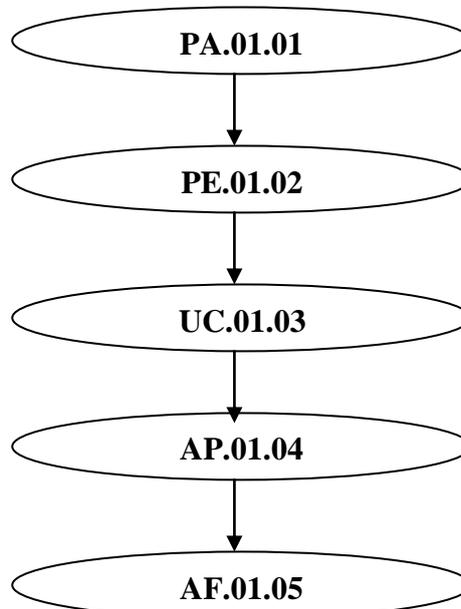
**CEUE** Conexión eléctrica a la unidad evaporadora.

**CEUC** Conexión eléctrica a la unidad Condensadora.

**CEL** Conexión eléctrica a la Lámpara.

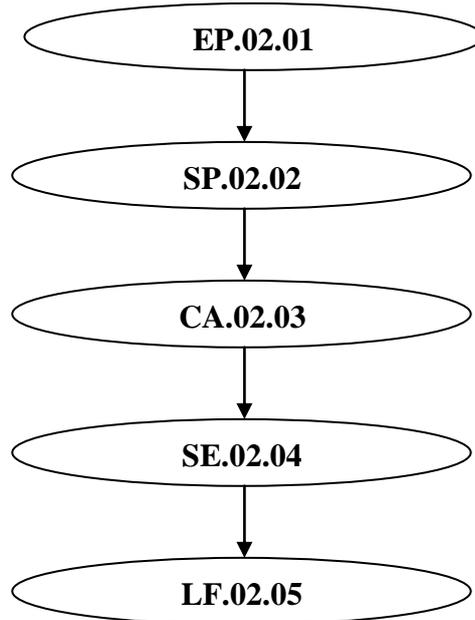
**IF** Inspección final.

### **Paso No.1**



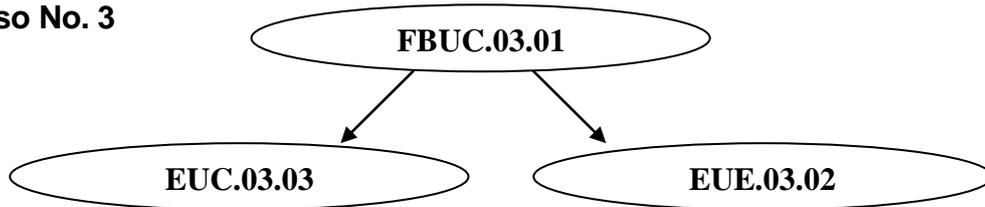
**Figura 7.1 Diagrama de Obra Civil.**

**Paso No. 2**



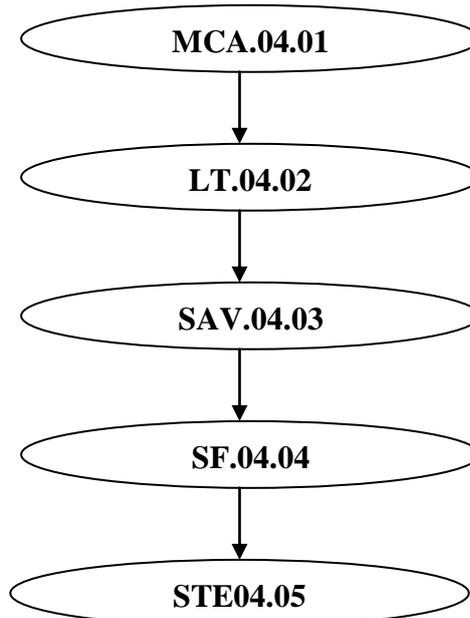
**Figura 7.2 Diagrama de Anclaje de Estructura de Cámara Frigorífica.**

**Paso No. 3**



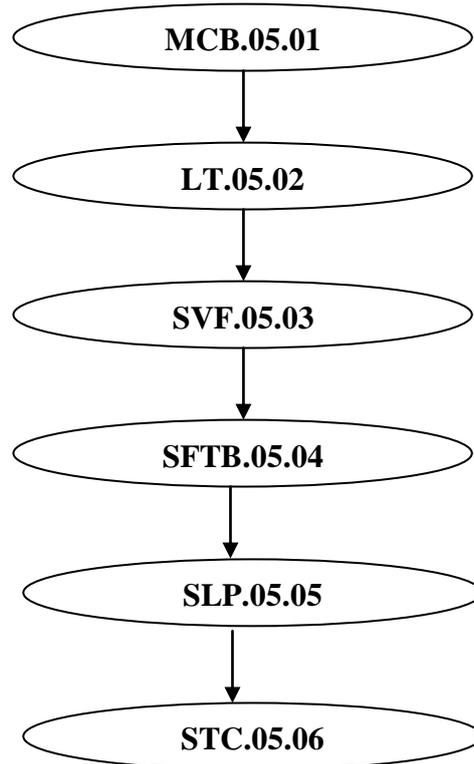
**Figura 7.3 Diagrama de Montaje de equipos de Refrigeración.**

**Paso No. 4**



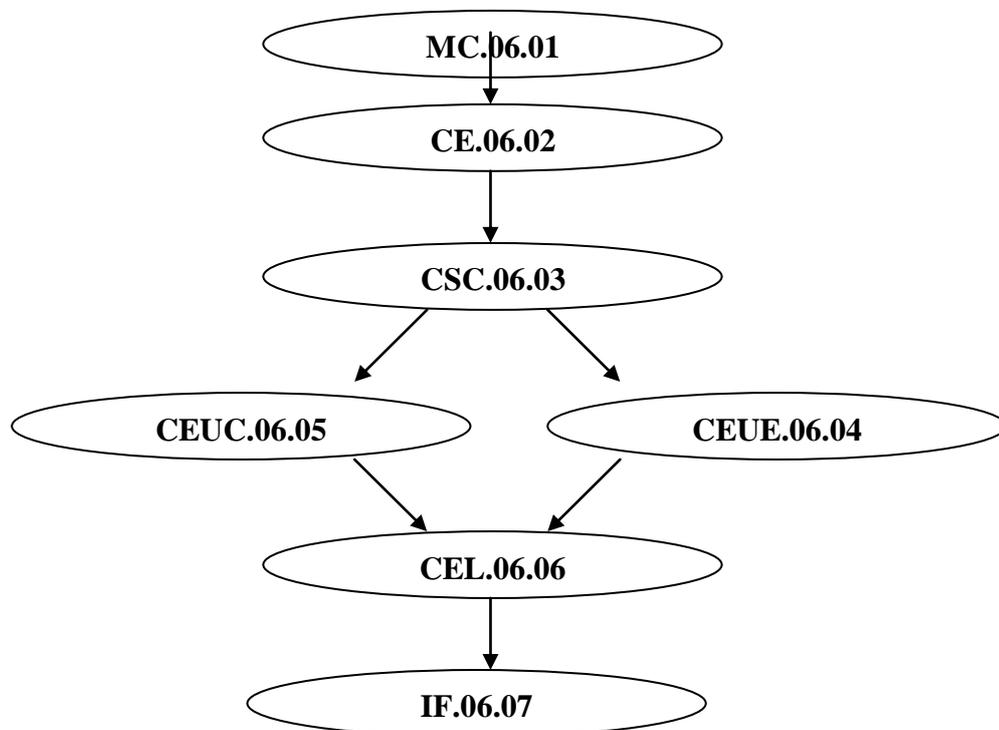
**Figura 7.4 Diagrama de Instalación Tubería de Alta .**

**Paso No. 5**



**Figura 7.5 Diagrama de Instalación Tubería de Baja .**

**Paso No. 6**



**Figura 7.6 Diagrama de Instalación Eléctrica.**

### **7.1.5 Encendido.**

El encendido es muy sencillo solo se gira la manija que se encuentra en el tablero de control en sentido horario y de esta forma se energizara los equipos y comenzara el ciclo de refrigeración.

### **7.1.6 Control de la cámara frigorífica.**

El control de la cámara frigorífica es automatizado completamente ya que un sistema de control electrónico es el encargado de realizar esta operación por el usuario. Este sistema de control mide la temperatura dentro del espacio refrigerado y manda una señal que hace que el compresor y el ventilador dentro de la unidad evaporadora se enciendan o se apaguen según se requiera.

### **7.1.7 Calibración y Pruebas.**

Una vez terminado la instalación de la cámara frigorífica, se efectúa la presurización y detección de fugas para finalmente realizarse la carga del fluido refrigerante (R-404A).

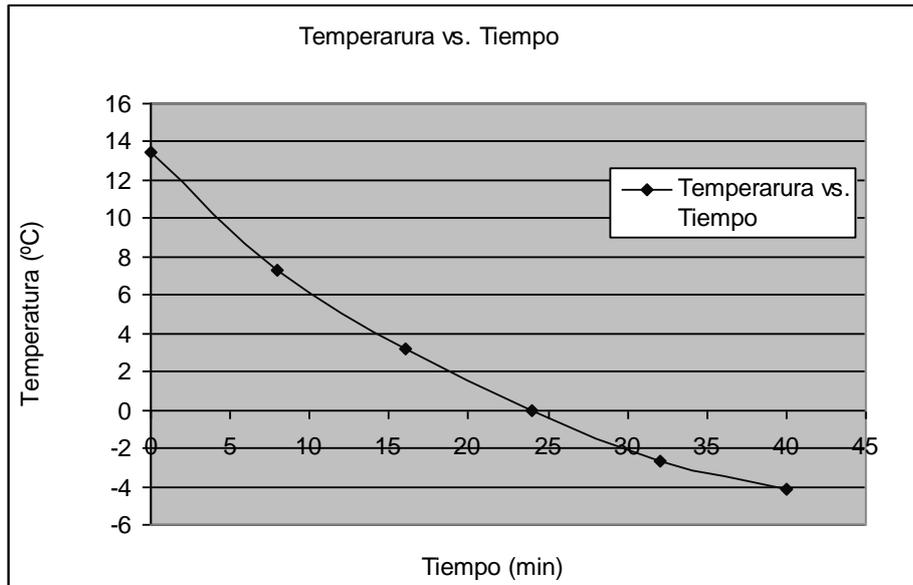
Para las condiciones del cuarto frío se calibra a sistema de control electrónico para que el compresor encienda cuando la temperatura interior del cuarto llegue un poco mas de 0°C, y se apague cuando esta alcance una temperatura un poco inferior a -5°C.

Definidos estos parámetros se procede a realizar las pruebas del sistema de refrigeración. Estos resultados se resumen a continuación.

**Cuadro 7.1 Datos del sistema de refrigeración.**

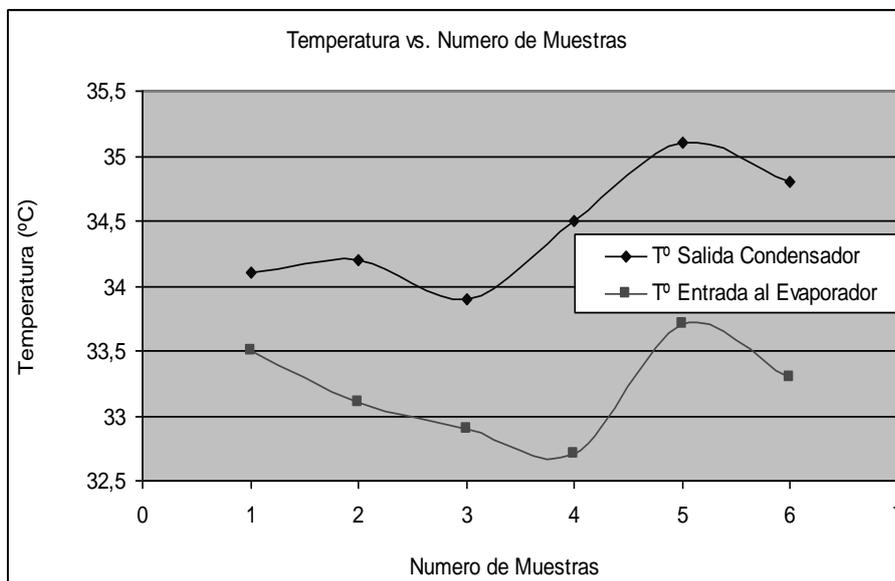
	Tiempo	T° Exterior	T° evaporador	T° Entrada evaporador	T° Salida Evaporador	Temperatura cámara	Presión lado de alta	Presión lado de Baja	T° Salida condensador	T° entrada al compresor	T° salida del compresor	Sobrecalentamiento	Subenfriamiento	
U.	min.	°C	°C	°C	°C	°C	Bar	Bar	°C	°C	°C	°C	°C	
1	0	18	14.4	34.2	-11.7	13.5	15.2	4.5	35.1	-1.2	36.5	10.5	2.3	
2	8	18	7.9	33.1	-12.3	7.5	15.2	4.6	34.2	-0.4	36.2	11.9	3.1	
3	16	18	4.6	32.9	-12.5	4.6	15.3	4.6	33.7	-0.7	36.9	11.8	4	
4	24	18	1.7	31.4	-12.2	1.5	15.2	4.5	34.5	-1.1	35.7	11.1	4.3	
5	32	18	-1.2	33.7	-12.3	-2.7	15.1	4.5	35.1	-0.3	35.8	12	2.1	
6	40	18	-3.8	33.3	-12.8	-4.3	15.2	4.5	34.8	-0.1	37.1	12.7	3.8	
7	46.56	Se apaga el compresor						15.2	4.6					

NOTA: El cuadro muestra las mediciones de presión y temperatura tomadas en diferentes puntos del ciclo de refrigeración.



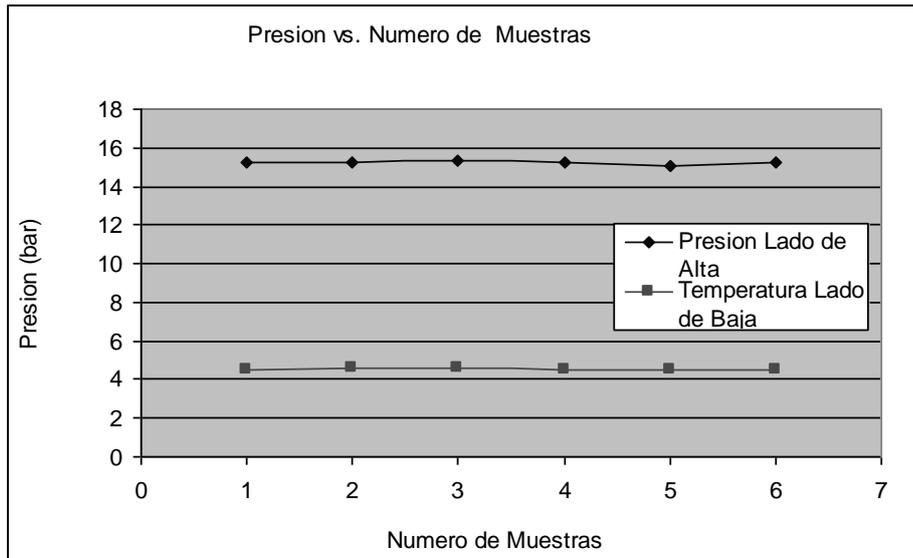
**Figura 7.7 Diagrama Temperatura vs. Tiempo.**

En este diagrama se puede observar mas claramente la variación de temperatura en el transcurso del tiempo tomando los datos del cuadro 7.1, en el momento que la cámara se enciende de una temperatura ambiente a la deseada.



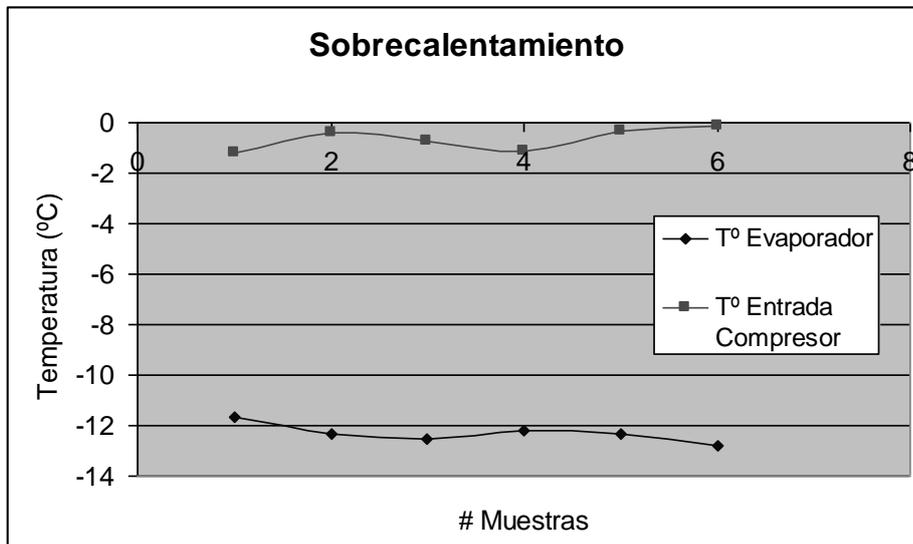
**Figura 7.8 Temperatura vs. Numero muestras.**

El diagrama muestra la perdida de calor que cede el liquido refrigerante al ambiente en la línea del liquido (Lado de Alta). Como se puede observar la temperatura a la entrada del evaporador es siempre menor a la temperatura a la salida del condensador.



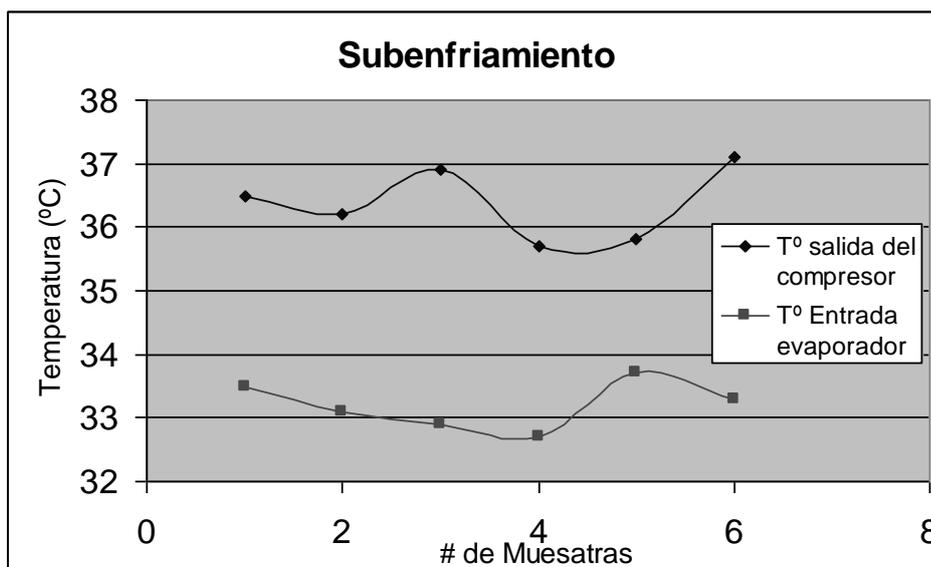
**Figura 7.9 Presión vs. Numero de muestras.**

En la lectura de este diagrama podemos observar mas didácticamente las presiones de trabajo en los lados de baja y alta. Donde a la entrada del compresor la presión es menor que a la salida.



**Figura 7.10 Diagrama Sobrecalentamiento en la succión.**

El sobrecalentamiento producido en la línea de succión se observa en la figura 7.10. Este fenómeno es un método de seguridad para que al compresor no entre condensado y no lo dañe.



**Figura 7.11 Diagrama Subenfriamiento en la línea del líquido.**

El subenfriamiento se produce en la línea del líquido donde el refrigerante sometido a alta presión cede calor al ambiente. Este fenómeno mejora el rendimiento del ciclo al aumentar el efecto refrigerante.

La medición fue realizada con un termómetro digital de pruebas y un manómetro de presión, que arrojó datos de alta precisión.

Como se puede observar en el cuadro el sistema de refrigeración alcanzó la temperatura deseada y se apagó en un tiempo de 46 minutos 56 segundos. Tomando en cuenta que para la recopilación de datos se tuvo que abrir la puerta varias veces provocando ganancia de calor del aire y de la persona que ingresó.

Con respecto a la temperatura de subenfriamiento en la entrada del evaporador obtenido en las prácticas, se determinó que la temperatura asumida en el diseño es similar a la real.

Así mismo la práctica arrojó datos muy similares al de diseño en la temperatura de sobrecalentamiento en la succión.

De esta forma se comprobó que el diseño realizado es correcto y cumple con los objetivos planteados en un principio.

### **7.1.8 Apagado.**

Para el apagado se realiza el mismo procedimiento que en el encendido pero en sentido contrario es decir se gira la manija que se encuentra en el tablero de control en sentido anti horario. En el Tablero de control existen dos luces indicadoras, para la Unidad Condensadora la luz roja y para la Unidad Evaporadora la luz verde.

## **7.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA CAMARA FRIGORIFICA.**

### **7.2.1 Manual de Instalación de la cámara Frigorífica.**

#### **1. Cuidados y seguridad de la cámara frigorífica**

- a. La instalación y el mantenimiento deben ser efectuados únicamente por personal calificado quienes estén familiarizados con este tipo de equipó.
- b. Asegúrese que todas las conexiones eléctricas de campo están hechas conforme a las necesidades del equipo y de acuerdo a los códigos locales y nacionales.
- c. Evite el contacto con el filo de las superficies del serpentín y cabeceras. Constituye una fuente potencial de peligro.
- d. Esté seguro de que todas las alimentaciones eléctricas estén desconectadas antes de efectuar cualquier servicio a los equipos.

#### **2. Espacio y localización requeridos.**

- a. Un punto muy importante que debemos considerar cuando tengamos que decidir donde colocar un equipo enfriado por aire en el lugar donde se instalará. Esté deberá proveer la cantidad suficiente de aire ambiente al condensador y disipar el aire caliente del área de la unidad condensadora. De no seguirse estas recomendaciones se obtendrán valores más altos en la presión de descarga provocando un mal funcionamiento y fallas en la potencia del equipo. No colocar las unidades en ambientes próximos a salidas de humos, aire caliente o vapor.

- b. Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es al instalar la unidad lejos de áreas sensibles al ruido y además tengan un soporte adecuado para evitar transmisión de ruido y vibraciones en la construcción o edificio. Las unidades deben ser montadas a través de pasillos, áreas utilitarias, sanitarios y otras áreas auxiliares donde los niveles del ruido no son un factor importante.

### **3. Válvulas de Expansión.**

- a. Para un máximo rendimiento es importante seleccionar una válvula de expansión de la capacidad correcta y carga seleccionada. Estas deben instalarse tan cerca al evaporador como sea posible. Para obtener un mejor rendimiento la salida de la válvula de expansión, deberá ser instalada directamente al cuerpo del distribuidor si esto no es posible la distancia entre la salida de la válvula y el distribuidor no deberá exceder los 24" (61cms). El tubo que conecta la salida de la válvula y el distribuidor puede ser más pequeño para conservar la velocidad del refrigerante y mejorar la distribución.
- b. Colocar el bulbo de la válvula de expansión sobre un tramo horizontal de la línea de succión tan cerca al cabezal de succión como sea posible. El bulbo deberá ser sujeto perfectamente bien con abrazadera metálica en la línea de succión y cubierto con un aislante de tipo impermeable. El bulbo nunca debe colocarse sobre uniones o acoplamientos que no permitan hacer 100% contacto con la línea de succión. No se recomienda colocar el bulbo en la parte inferior de la línea de succión o en trampas.

### **4. Recomendaciones en la instalación de las Unidades.**

- a. Siempre evitar colocar la unidad evaporadora arriba de las puertas y evite abrir las puertas frecuentemente, en donde la temperatura es mantenida y de hecho donde sea posible para aplicaciones de media temperatura.
- b. Permitir el espacio suficiente entre la pared posterior del evaporador y la pared para evitar el libre retorno del aire.

- c. Siempre instale trampas individuales en las líneas de drenado para prevenir la migración de vapor.
- d. Las trampas de los evaporadores de baja temperatura deben instalarse fuera de los espacios refrigerados. Las trampas sujetas a temperaturas de congelación deben envolverse con cinta térmica y aislarse.

### **5. Montaje y sujeción de la unidad condensadora.**

Todas las unidades están provistas de barrenos para su montaje. Tener precaución al mover las unidades, para prevenir daños al carter durante la sujeción, los cables o cadenas usados deben mantenerse en forma separada por las barras espaciadoras. La plataforma de montaje debe estar a nivel y colocada de tal manera que permita el libre acceso de alimentación de aire.

- a. Montaje a nivel del piso.
- b. Una losa de concreto elevada 6 pulg (15.24 cms) arriba del nivel del piso proporciona una base adecuada, protección contra tierra, agua y otros materiales. En todos los casos debe ser colocada con un espacio libre en todas las direcciones igual a la altura de la unidad como mínimo. Una unidad condensadora instalada en una esquina formada por dos paredes puede colocar una recirculación del aire de descarga, con la consecuente pérdida de capacidad.

### **6. Montaje en azoteas.**

- a. Debido al peso de las unidades puede requerirse antes del montaje un análisis estructural de un ingeniero calificado. Estas unidades deben ser instaladas a nivel sobre canales de acero o vigas tipo I capaces de soportar el peso de la unidad.
- b. Resortes de montaje del compresor.
- c. Los compresores son rígidamente sujetos para asegurar que no sufran daños durante su transportación. Antes del arranque de la unidad, es necesario seguir estos pasos.
- d. Quitar la tuerca superior y arandelas.
- e. Desplazar los espacios de embarque.

- f. Instalar los espaciadores.( estos se encuentran en el tablero de control o van atados al compresor).
- g. Colocar nuevamente las tuercas superiores de montaje y arandelas.
- h. Permitir un espacio de 1/16” (0.16 cms) entre la tuerca de montaje / arandela y los espaciadores.
- i. Revisar que no se hayan aflojado los pernos de montaje debido a las vibraciones producidas durante el embarque.

## **7. Tubería del refrigerante.**

- a. Se debe tener mucho cuidado durante la instalación de la tubería para prevenir la entrada de material extraño.
- b. Instalar todos los componentes de los sistemas de refrigeración de acuerdo a los códigos nacionales y locales aplicables; usar los métodos de trabajo adecuados para obtener un buen funcionamiento del sistema.
- c. Seleccionar el tamaño de la tubería del refrigerante. El diámetro de la tubería de interconexión no es necesariamente que el mismo diámetro que las conexiones de la unidad condensadora o el evaporador.
- d. Seguir los siguientes procedimientos para la instalación.
- e. No deje los compresores expuestos a la atmósfera, así como también los filtros de la unidad condensadora por más tiempo del absolutamente necesario.
- f. Use únicamente tubería de cobre para refrigeración (tipo K ó L), sellada adecuadamente contra elementos contaminantes.
- g. Las líneas de succión tendrán una pendiente de ½ pulg (1.27 cms) por 10 pies (304.8 cms) de longitud hacia el compresor.
- h. Cada elevador de succión vertical de 4 pies (122 cms) o más de altura, debe llevar una trampa tipo “P” en su base, para mejorar el retorno de aceite al compresor.
- i. Para el método deseado de medición del sobrecalentamiento debe instalarse un conector de presión en cada línea de succión del evaporador, próximo al bulbo de la válvula de expansión.

- j. Cuando se suelden líneas de refrigerante, un gas inerte deberá circular a través de la línea a baja presión para evitar la formación de escamas y oxidación dentro de la tubería. Se prefiere nitrógeno seco.
- k. Use únicamente una soldadura de aleación de plata adecuada, en las líneas de líquido y de succión.
- l. Límite la soldadura y el fundente al mínimo requerido para prevenir la contaminación interna de la unión soldada.
- m. Si se instalan válvulas para aislar el evaporador del resto del sistema deberán usarse válvulas de bola.
- n. Normalmente cualquier parte de tubería recta tiene que sujetarse por lo menos en dos puntos cerca de cada extremo, las líneas de refrigerante deben ser apoyadas y sujetadas adecuadamente. Como guía para tuberías de 3/8" a 7/8" deben apoyarse cada 5 pies (152 cms); 1-1/8" y 1-3/8" cada 7 pies (213 cms); 1-5/8 y 2-1/8 de 9 a 10 pies (274 a 305 cms).
- o. Los soportes deberán ser colocados máximo a 2 pies en cada dirección a partir de la esquina. No usar codos de radio pequeño.

#### **8. Tuberías de succión.**

- a. Las líneas horizontales de succión deben tenderse desde el evaporador hacia el compresor con una pendiente de 1/4" (0.64 cms) por 10" (304.8 cms) para un buen retorno de aceite. Cuando se conectan múltiples evaporadores en serie usando una línea de succión común, las derivaciones de la línea de succión deberán conectarse por la parte superior a la línea común. Para sistemas dual o múltiples evaporadores, el diámetro de las líneas de derivación, quedará determinado por la capacidad de cada evaporador. El diámetro de la línea común principal quedará determinado por la capacidad total del sistema. Si la línea de succión debe elevarse a un punto más alto que la conexión de succión en el evaporador, instalar una trampa en la línea de succión a la salida del evaporador.

## **9. Tuberías del líquido.**

- a. Estas líneas deberán ser diseñadas para una caída de presión mínima para prevenir el “Flasheo”. El “Flasheo” en las tuberías del líquido provocan una caída de presión adicional y una pobre expansión en la operación de la válvula.
- b. Las pérdidas deberán ser calculadas para determinar si es o no requerido un intercambiador de calor para subenfriar el líquido no más de 20°F (11°C) y para prevenir el Flasheo en sistemas de alta presión.
- c. Generalmente los intercambiadores de calor no son recomendables en sistemas de baja temperatura con R-22. Sin embargo ha sido conveniente su uso en tuberías cortas y bien aisladas con el objeto de suministrar el sobrecalentamiento al compresor.

## **10. Prueba contra fugas.**

- a. Después de conectar todas las líneas, realizar la prueba contra fugas en todo el sistema. Este deberá ser presurizado a no más de 150 psig, con refrigerante y nitrógeno seco o (“CO<sub>2</sub>” seco). Como un chequeo adicional se recomienda que esta presión se mantenga 12 horas y nuevamente verificar el sistema para obtener una instalación satisfactoria.
- b. En los últimos años los fabricantes han desarrollado sistemas de detección de fugas, de sustancias fluorescentes para usarse con los refrigerantes. Estas sustancias se mezclan con el lubricante y cuando se exponen a una luz ultravioleta dan el efecto fluorescente, indicando la localización de las fugas.
- c. Después de la prueba final de fugas, las líneas de refrigerante expuestas a condiciones ambientales altas deberán ser aisladas para reducir la transferencia de calor y prevenir el “Flasheo” del refrigerante en las líneas del líquido.
- d. Las líneas de succión deberán ser aisladas con ¾” (2 cms) de espesor, las líneas de líquido deberán aislarse con aislamiento de ½” (1.27 cms) de espesor o mayor.

## **11. Instrucciones para la carga de refrigerante.**

- a. Instalar un filtro deshidratador en la línea de suministro de refrigerante entre el manómetro de servicio y el puerto de servicio de líquido del receptor. Este filtro deshidratador extra asegurará que todo el refrigerante suministrado al sistema esté limpio y seco.
- b. Cuando cargue por primera vez un sistema el cual este en vacío el refrigerante en estado líquido puede ser agregado directamente dentro del tanque receptor.
- c. La capacidad del sistema debe estar al 90% de la capacidad del receptor. Pesar el cilindro del refrigerante antes de cargarlo y llevar un control preciso del peso de refrigerante agregado al sistema.
- d. Si el refrigerante tiene que ser agregado al sistema a través del lado de la succión del compresor, cargarlo solamente en forma de vapor. La carga en fase líquida debe ser hecha en el lado de alta únicamente y con dispositivos de restricción y medición de líquido para proteger al compresor.

## **12. Conexiones eléctricas.**

- a. Antes de poner en funcionamiento la unidad, realizar un doble chequeo de toda la instalación eléctrica, incluyendo las terminales de fábrica; durante el embarque pueden desconectarse algunas terminales debido al movimiento.
- b. La placa de identificación de la unidad indica las características eléctricas para la instalación de la misma.
- c. Para una instalación eléctrica correcta, consultar el diagrama eléctrico, de la unidad evaporadora y condensadora.
- d. El tipo de cable deberá ser un conductor de cobre únicamente y del calibre adecuado para manejar la carga conectada.
- e. Conectar la unidad a tierra.
- f. Para sistemas de evaporadores múltiples, los controles de terminación de deshielo deberán conectarse en serie.

- g. Si se utiliza un reloj de deshielo remoto, el reloj debe colocarse fuera del espacio refrigerado.
- h. En condensadores enfriados por aire, debido a los motores múltiples de bajo amperaje, recomendamos una protección tipo fusible con retardador en lugar del interruptor de circuito normal.

### **13. Revisión final y arranque.**

- a. Después de que la instalación ha sido terminada los siguientes puntos tendrán que ser cubiertos antes de que el sistema sea puesto en operación.
- b. Cheque todas las conexiones eléctricas y de refrigerante. Asegúrese de que estén correctas y apretadas.
- c. Observe el nivel de aceite del compresor antes de arrancarlo. El nivel de aceite deberá estar a  $\frac{1}{4}$  o ligeramente arriba de  $\frac{1}{4}$  del nivel de cristal mirilla.
- d. Quitar las tuercas de montaje del compresor. Permitiendo el espacio entre la tuerca de montaje y el espaciador.
- e. Verifique los controles de alta y baja presión, válvulas reguladoras de presión, control de seguridad de presión de aceite y todo tipo de control de seguridad y ajústelos si es necesario.
- f. Verifique el termostato de cuarto para su buen funcionamiento.
- g. Leer y archivar para futuras referencias diagramas de alambrado, boletines de instrucciones, etc., atados al compresor o unidad condensadora.
- h. En todos los motores de ventiladores en condensadores enfriados por aire, evaporadores, etc., debe ser checado el sentido de giro. El montaje de los motores ventiladores debe ser checado cuidadosamente para una fijación y alineación adecuada.
- i. Los motores de los ventiladores de evaporadores por deshielo eléctrico y gas caliente, deberán ser conectados temporalmente para una operación continua hasta que la temperatura de la cámara se haya estabilizado.
- j. Observar las presiones del sistema durante la carga y la operación inicial.

No agregue aceite al sistema mientras tenga poco refrigerante, a menos que el nivel de aceite este peligrosamente bajo.

- k. Continúe cargando hasta que el sistema tenga el refrigerante suficiente para una buena operación. No sobrecargue.
- l. No desatienda la unidad hasta que el sistema haya alcanzado sus condiciones normales de operación y la carga de aceite haya sido ajustada adecuadamente para mantener el nivel de aceite.

#### **14. Revisión final de funcionamiento.**

- a. Después de que el sistema a sido cargado y operado durante dos horas por lo menos en condiciones normales, sin ningún indicio de mal funcionamiento, deberá ser operado durante toda la noche con los controles automáticos; entonces un chequeo completo del sistema en operación deberá efectuarse como se indica.
- b. Cheque las presiones en la descarga y succión del compresor. Si no están dentro de los límites de diseño del sistema, determine el porque y tome la acción correctiva.
- c. Cheque el funcionamiento de la válvula de expansión. Si hay indicios de ser requerido más refrigerante en la línea de líquido pruebe contra fugas todas las conexiones y componentes del sistema y repare cualquier fuga antes de agregar refrigerante.
- d. Observe el nivel de aceite en el cárter del compresor. Agregue tanto aceite como sea necesario.
- e. Las válvulas de expansión deben ser chequeadas para ajustar el sobrecalentamiento adecuado. Los bulbos sensores deben estar en contacto positivo con la línea de succión y deberán aislarse.
- f. Usando instrumentos adecuados, verifique cuidadosamente el voltaje de línea y el amperaje en las terminales del compresor. El voltaje debe ser +- 10% del voltaje indicado en la placa de datos de la unidad condensadora.
- g. Verifique el ajuste de los controles de deshielo para el inicio y fin de ciclo y la duración del período de deshielo. Ajustar el termostato de seguridad a periodos de deshielo de +25%.

- h. Verifique el ajuste de los controles de presión de alta para climas fríos.

#### **15. Balanceo del sistema – sobrecalentamiento del compresor.**

- a. Este punto es muy importante en cualquier sistema de refrigeración. El sobrecalentamiento en el compresor debe ser chequeado de la siguiente manera.
- b. Medir la presión de succión en la válvula de servicio de succión del compresor y determinar la temperatura de saturación correspondiente a esta presión.
- c. Medir la temperatura de succión en la línea de succión aproximadamente a 30.48 cms antes del compresor.
- d. Restar la temperatura saturada de la temperatura real de la línea de succión. La diferencia es el sobrecalentamiento.

#### **16. Sobrecalentamiento del evaporador.**

- a. Revisar el sobrecalentamiento después de que se alcanzado la temperatura de la cámara. Generalmente los sistemas con un diseño de 10°F (5.55°C) de T.D. deben tener un valor de sobrecalentamiento de 6°F a 10°F (3.33°C a 5.55°C) para una máxima eficiencia. Para sistemas funcionando a TD's más altos, el sobrecalentamiento puede ser ajustado de 12°F a 15 °F (6.66°C a 8.33°C).
- b. Para determinar el sobrecalentamiento del evaporador el siguiente procedimiento es el recomendable.
- c. Medir la temperatura de la línea de succión próximo al lugar donde se localiza el bulbo sensor remoto de la VET.
- d. Obtener la presión de succión que existe en la línea de succión cerca donde el bulbo es colocado.
- e. Convertir la presión obtenida a temperatura de saturación del evaporador.
- f. Restar la temperatura de saturación de la temperatura real de la línea de succión. La diferencia es el sobrecalentamiento

## 7.2.2 Manual de mantenimiento preventivo.

El sistema lo hemos dividido en 4 grupos principales:

1. Unidad Evaporadora de Capacidad de 12.000 BTU/h
2. Unidad Condensadora de capacidad de 12.000 BTU/h
3. Tubería de cobre, Línea de Succión y de liquido.
4. Valvulería y accesorios

**Cuadro 7.1 Mantenimiento preventivo de Unidad Evaporadora**

<b>Mantenimiento preventivo de Unidad Evaporadora</b>	día	semana	mes	6 meses	año
Revisión de parámetros eléctricos (ventiladores, Resistencias eléctricas, etc.)					
Revisión de parámetros de presión y temperatura					
Revisión, limpieza y ajuste del tablero eléctrico					
Limpieza exterior					
Revisión y limpieza de la bandeja de condensado.					
Revisión y limpieza de filtros.					
Ajustes generales.					
Carga de refrigerante en caso de ser necesario.					

**Cuadro 7.2 Mantenimiento preventivo de Unidad Condensadora**

<b>Mantenimiento preventivo de Unidad Condensadora</b>	día	semana	mes	6 meses	año
Revisión de parámetros eléctricos (compresores, ventiladores, etc.)					
Revisión de parámetros de presión y temperatura					
Revisión, limpieza y ajuste del tablero eléctrico					
Limpieza exterior					
Revisión y limpieza de filtros					
Carga de refrigerante en caso de ser necesario.					

**Cuadro 7.3 Mantenimiento preventivo de tubería de cobre.**

<b>Mantenimiento preventivo de tubería de cobre</b>	día	semana	mes	6 meses	año
Ajustes generales revisión de posibles fugas en la tubería					
Limpieza de tubería					
Reemplazo de Aislante si es necesario					

**Cuadro 7.4 Mantenimiento preventivo de valvulería y accesorios.**

<b>Mantenimiento preventivo de valvulería y accesorios.</b>	día	semana	mes		año
Revisión de presostatos de baja y alta.					
Revisar sistema de drenaje					

**Tabla7.1 Posibles fallas del sistema y su solución.**

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSAS POSIBLES</b>	<b>MEDIDAS CORRECTIVAS POSIBLES</b>
El compresor no funciona	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interruptor principal abierto.</li> <li>2. Fusible fundido.</li> <li>3. Los protectores térmicos de sobrecarga abren.</li> <li>4. Contactor o bobina defectuosa.</li> <li>5. Los mecanismos de seguridad paran el sistema.</li> <li>6. No se requiere enfriamiento.</li> <li>7. La solenoide de la línea de líquido no abre.</li> <li>8. Problemas en el motor eléctrico.</li> <li>9. El cableado está suelto.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cerrar el interruptor.</li> <li>2. Revisar si hay algún corto circuito o toma a tierra en los circuitos eléctricos o el bobinado del motor. Investigue la posibilidad de sobrecarga. Cambie el fusible después de haber corregido el problema.</li> <li>3. Los protectores de sobrecarga se restablecen automáticamente. Examine la unidad rápidamente una vez que está vuelva a operar.</li> <li>4. Reparar o reemplazar.</li> <li>5. Determine el tipo y la causa del paro y solucione el problema antes de restablecer el interruptor de seguridad.</li> <li>6. Ninguna. Espere hasta que lo vuelva a requerir.</li> <li>7. Reparar o reemplazar la bobina.</li> <li>8. Revisar si el motor tiene desconexiones.</li> <li>9. Revise todas las uniones de los cables.</li> </ol>

<p>Compresor ruidoso o vibra.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inundación de refrigerante dentro del carter.</li> <li>2. Soporte inadecuado de las tuberías de la línea de líquido y de succión.</li> <li>3. Compresor deteriorado o desgastado.</li> <li>4. Rotación invertida del compresor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revise el ajuste de la válvula de expansión.</li> <li>2. Vuelva a colocar, elimine o añada abrazaderas según sea necesario.</li> <li>3. Reemplazar.</li> <li>4. Recablear para cambiar fase.</li> </ol>
<p>Presión de descarga alta.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gases no condensables en el sistema.</li> <li>2. Sistema sobrecargado de refrigerante.</li> <li>3. Válvula de cierre de descarga parcialmente cerrada.</li> <li>4. Ventilador no funciona.</li> <li>5. Control de alta presión mal calibrado.</li> <li>6. Serpentín del condensador sucio.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminar los gases no condensables.</li> <li>2. Eliminar exceso de refrigerante.</li> <li>3. Abrir la válvula completamente.</li> <li>4. Revisar el circuito eléctrico.</li> <li>5. Ajustarlo.</li> <li>6. Limpiarlo.</li> </ol>

<p>Presión de descarga baja.</p>	<p>1. Regulación incorrecta de la temperatura del condensador.</p> <p>2. La válvula de cierre de succión se encuentra parcialmente cerrada.</p> <p>3. No hay suficiente refrigerante en el sistema.</p> <p>4. Presión de succión baja.</p> <p>5. Funcionamiento variable de la válvula del lado de alta.</p>	<p>1. Compruebe el funcionamiento del control del condensador.</p> <p>2. Abra la válvula completamente.</p> <p>3. Revisar contra fugas el sistema. Reparar y agregar refrigerante.</p> <p>4. Consultar las medidas correctivas indicadas para casos de presión de succión baja.</p> <p>5. Revisar el ajuste de la válvula.</p>
<p>Presión de Succión Alta</p>	<p>1. Carga excesiva.</p> <p>2. Sobrealimentación de la válvula de expansión.</p>	<p>1. Reduzca la carga o agregar más equipo.</p> <p>2. Revisar el bulbo sensor. Regular el sobrecalentamiento.</p>
<p>Presión de succión baja.</p>	<p>1. Falta de refrigerante.</p> <p>2. Evaporador sucio o escarchado.</p> <p>3. Filtro deshidratador de la línea de líquido obstruido.</p> <p>4. Línea de succión o filtros del gas de succión del compresor obstruido.</p>	<p>1. Revisar contrafugas al sistema reparar y agregar refrigerante.</p> <p>2. Limpiarlo.</p> <p>3. Cambie el o los cartuchos.</p> <p>4. Limpiar filtros.</p>

	<p>5. Mal funcionamiento de la válvula de expansión.</p> <p>6. Temperatura de condensación demasiado bajo.</p> <p>7. V.E.T. inadecuada.</p>	<p>5. Revisar o volver a ajustar para el sobrecalentamiento adecuado.</p> <p>6. Revisar los instrumentos para regulación de la temperatura de condensación.</p> <p>7. Revisar que la capacidad de la V.E.T. sea la adecuada.</p>
<p>Presión de aceite baja o inexistente.</p>	<p>1. Filtro de succión de aceite obstruido.</p> <p>2. Líquido excesivo en el carter.</p> <p>3. El interruptor de seguridad para la presión baja del aceite es defectuoso.</p> <p>4. Bomba de aceite deteriorada o desgastada.</p> <p>5. El mecanismo de inversión de la bomba de aceite esta bloqueado en una posición incorrecta.</p> <p>6. Los cojinetes están desgastados.</p>	<p>1. Limpiarlo.</p> <p>2. Revisar el calentador del carter. Reajustar la válvula de expansión para sobrecalentamientos más altos. Compruebe el funcionamiento de la válvula solenoide de la línea de líquido.</p> <p>3. Reemplazarlo.</p> <p>4. Reemplazarlo.</p> <p>5. Invierta la dirección de rotación del compresor.</p> <p>6. Cambie el compresor.</p>

	<p>7. Bajo nivel de aceite.</p> <p>8. Adaptador sello en la línea de aceite.</p> <p>9. La junta de la carcasa de la bomba tiene fugas.</p>	<p>7. Agregar aceite.</p> <p>8. Revise y ajuste el sistema.</p> <p>9. Reemplazar la junta.</p>
Perdida de aceite en el compresor.	<p>1. Falta de refrigerante.</p> <p>2. Desgaste excesivo de los anillos del compresor.</p> <p>3. Inundación de refrigerante en el compresor.</p> <p>4. Tuberías o trampas inadecuadas.</p>	<p>1. Revise si hay fugas. Agregue refrigerante.</p> <p>2. Cambie el compresor.</p> <p>3. Mantenga el sobrecalentamiento adecuado en el compresor.</p> <p>4. Corregir la tubería.</p>
El interruptor del protector térmico del compresor abierto.	<p>1. Funcionamiento más allá de las condiciones de diseño.</p> <p>2. Válvula de descarga parcialmente cerrada.</p> <p>3. Serpentín del condensador sucio.</p> <p>4. Sistema sobrecargado.</p>	<p>1. Añada dispositivos para que las condiciones se encuentren dentro de los límites perdidos.</p> <p>2. Abrir la válvula completamente.</p> <p>3. Limpiar el serpentín.</p> <p>4. Reducir carga.</p>

## **CAPITULO VIII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 CONCLUSIONES.**

- Al finalizar el proyecto de tesis se concluyó que se cumplió el objetivo general que es satisfacer la necesidad de la empresa “El Guayabal “para conservar su producto mediante un sistema de refrigeración eficiente, que no afecte al ambiente y que sea económico.
- La selección de todos los equipos y accesorios que forman parte del sistema de refrigeración fue realizada correctamente, tomando en cuenta todos los requerimientos y necesidades, de esta forma optimizar los recursos.
- La pulpa de guayaba mantuvo sus características después de aplicar bajas temperaturas y de esta forma conservar su calidad. Esto nos aseguro un producto final adecuado para el consumo humano.
- El sistema de control implementado permitió hacer mas eficiente el proceso de refrigeración, y controlar parámetros indispensables como son la temperatura, presión y humedad dentro del recinto donde se aplica el frío.
- El análisis costo/beneficio arrojó unos valores positivos que nos permitió definir a este proyecto como atractivo. Puesto que la empresa recuperara la inversión en menos de 2 años y de a partir de este tiempo el gasto por sobreprecio es nulo.

## **8.2 RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda a todos aquellos que se inclinen por esta área de la mecánica y piensen en diseñar un Sistema de Refrigeración, que tomen en cuenta el producto el cual se va a conservar, de esta forma se optimizará al máximo todos los recursos. Ya que uno de los errores que encontramos en el diseño de cámaras frigoríficas es el calcular la capacidad del cuarto solo tomando como referencia el tamaño de la cámara y la temperatura de conservación. Esto podría llevar a dos problemas: el sobredimensionar la cámara o lo que sería más crítico que es subdimensionarla, donde tendría serios problemas de funcionamiento.
- Otro factor que se debe tomar en cuenta para el diseño de la cámara de refrigeración, es la humedad que se requiera dentro del cuarto frío. Puesto que de este factor dependerá la correcta elección del TD y por ende de la elección de la Unidad evaporadora.
- Se recomienda tener mucho cuidado en el momento de escoger los implementos de control como son: válvulas, reguladores de presión, sensores de temperatura.
- En cuanto a la construcción se recomienda en tener un presupuesto adicional que cubra todos los costos imprevistos, que pueden ser fabricación de bases de equipos, accesorios que absorban vibración, sellantes, etc.
- Para el mantenimiento del sistema de refrigeración y de todas sus partes se recomienda que sea realizado por personal capacitado.

### **8.3 BIBLIOGRAFÍA.**

- Juan Antonio Ramírez, Nueva Enciclopedia de la Refrigeración, Grupo editorial Ceac, Barcelona 2000.
- Roy J. Dossat, Principios de refrigeración, Compañía Editorial Continental, S.A. 1997.
- ASHRAE Hand Book (2006), Refrigeration Systems and Application, 1-P Edition N.E, Atlanta. Tullie Circle.
- Catálogos y publicaciones de las compañías LU-VE, BOHN, HEATCRAFT, DANFOSS.
- Catalogo de Instalación de Megafrió
- Otras fuentes provienen de folletos y Catálogos de equipos.

# ANEXO A

**Fotos de construcción en Instalación de Cámara frigorífica.**











# ANEXO B

## **Garantía Técnica de Equipos**

## **Garantía Técnica**

Se garantiza que los equipos suministrados e instalaciones realizadas son de buena calidad y cumplen con normas establecidas para cada una de las aplicaciones. El tiempo que cubre la garantía es de un año contado a partir de la firma del acta de entrega recepción, y/o, fecha de facturación de equipos y trabajos realizados.

Esta garantía cubre defectos de fabricación debidamente comprobados, daños ocasionados por una inadecuada instalación.

La garantía queda sin efecto por los siguientes motivos:

- Falta de mantenimiento del equipo: El mantenimiento se lo debe realizar por lo menos una vez cada tres meses, poniendo énfasis en la limpieza de intercambiadores de calor, ajustes de conexiones eléctricas, calibración de parámetros de funcionamiento (presiones, intensidades de corriente eléctrica).
- El suministro de energía eléctrica no deberá tener variaciones mayores al +/- 5% del voltaje solicitado para el correcto uso funcionamiento de los equipos, se deberá evitar cortes o interrupciones del suministro eléctrico para no causar daños a los equipos por variaciones extremas de voltaje.
- Averías ocasionadas por un inadecuado transporte del equipo y/o materiales cuando este transporte lo realice el cliente.
- Cuando se realice un manejo inadecuado o negligencia en la utilización del equipo.
- Aplicación o capacidad inadecuada
- Catástrofes naturales: incendio, terremoto, inundación, etc.

La garantía será solicitada directamente con los ingenieros a cargo, por escrito presentando una copia del acta entrega-recepción y/o factura, No De serie del equipo o equipos, y motivo de la solicitud de garantía.

El trámite de la garantía seguirá los siguientes pasos:

- Solicitud de la garantía.
- Coordinación para inspección y revisión por parte del departamento técnico.
- Informe técnico, mediante el cual se confirmara o no la aplicación de la garantía.
- De ser aplicable la garantía se procederá con la reparación o cambio si es necesario de la parte o accesorio.

Esta garantía será aplicable siempre y cuando sea aprobada por los ingenieros a cargo, luego de realizar un análisis del problema y causas.

Para la unidad colocada a usted se recomienda el primer mantenimiento por lo menos al mes de iniciado su operación y luego cada cuatro meses, es lo que se recomienda.

Atentamente,

Ing. Juan Carlos García

Ing. Andrés Novoa Sandoval

# ANEXO C

## Planos de cámara frigorífica