

**MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO DE PROTECCIÓN PARA EL CUARTO  
DE CONGELACIÓN DE ALIMENTOS**

**DIONIS RAVELES ALCALA  
SEBASTIAN PEREZ PALACIO  
JAVIER ARREDONDO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO ELECTROMECAÁNICO**

**ARLEY SALAZAR HINCAPIE**  
Asesor

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA  
MEDELLÍN  
2.013**

**NOTAS DE ACEPTACIÓN.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Medellín, Mayo 31 de 2.013**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A Dios todo poderoso que en su infinita misericordia me permitió terminar los estudios.

A nuestro asesor y guía ing. ARLEY SALAZAR HINCAPIÉ por toda su orientación y dedicación en la ejecución de esta tesis.

A cada uno de nosotros que formamos parte de esta tesis por la entrega y dedicación en su ejecución.

Y todas aquellas personas que de una forma directa o indirectamente aportaron para la realización de esta tesis.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 OBJETIVOS GENERALES	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. CONCEPTOS TEÓRICOS	13
4.1 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	13
4.2 VAPOR SATURADO	14
4.3 LIQUIDO SATURADO	14
4.4 MEZCLA DE VAPOR Y LÍQUIDO	14
4.5 ENTALPIA Y ENERGÍA INTERNA	16
4.5.1 Energía interna	16
4.5.2 Entalpia	16
4.6 PROCESO DE COMPRESIÓN	16
4.7 PROCESO DE EXPANSIÓN	17
4.8 DIAGRAMA T-S	17
4.8.1 Entropía	17
4.8.2 Diagrama T-S	18
4.9 EL CICLO DE CARNOT INVERTIDO	19
4.10 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN	20
4.11 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN	21

5.	METODOLOGÍA	23
5.1	CÁLCULOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	24
5.1.1	Flujo másico de refrigerante	24
5.1.2	Calor expulsado en el condensador	25
5.1.3	Máxima eficiencia del sistema	25
5.2	DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA	25
5.3	SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE	34
6.	RESULTADOS DEL PROYECTO	35
6.1	MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO DE PROTECCIÓN PARA EL CUARTO	35
7.	CONCLUSIONES	36
8.	RECOMENDACIONES	37
9.	BIBLIOGRAFÍA	38
10.	CIBERGRAFÍA	39
11.	ANEXOS	40

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Datos del compresor	23
Tabla 2. Diagrama p-h del refrigerante r404a	24
Tabla 3. Listado de refrigerantes	34

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama t-v para el agua	15
Figura 2. Diagrama de las tres fases para una sustancia	15
Figura 3. Diagrama t_s para una sustancia	18
Figura 4. Ciclo de Carnot	19
Figura 5. Ciclo ideal de refrigeración	20
Figura 6. Ciclo real de refrigeración	22
Figura 7. Sistema de refrigeración	27
Figura 8. Tuberías sistema de refrigeración	28
Figura 9. Válvulas manuales de selección de expansor del refrigerante	29
Figura 10. Compresor	30
Figura 11. Capilar y válvula de estrangulamiento	31
Figura 12. Tablero de control	32
Figura 13. Expansor	33

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Dimensiones del compresor	40
Anexo B. Deshumidificador	41
Anexo C. Mirilla	42



## INTRODUCCIÓN

El proceso de refrigeración es hoy en día muy utilizado en la mayoría de los hogares del mundo, gracias a este se pueden conservar los alimentos durante tiempos más prolongado si los comparamos con el tiempo que duraban estos antes de divulgarse ampliamente este.

Se pueden obtener mejores resultados almacenando las frutas y verduras en atmosfera controladas, lo cual se basa en el mantenimiento de la temperatura y de la humedad relativa en valores óptimos y también involucra la regulación de la composición del gas en el almacenamiento.

La presente es una tesis de grado, en la que se analizan todos los aspectos que se deben tener en cuenta para diseñar un sistema de refrigeración, se analizan todos los conceptos teóricos básicos que están implicados en dicho proceso, además se explica desde el ciclo de Carnot invertido, desde en ciclo ideal y real de refrigeración, se utilizan los diagramas h-s de los mismos.

Se analiza posterior mente si se logró cumplir con los objetivos de este trabajo, se sacan y dan a conocer las conclusiones, se da información detallada de la bibliografía utilizada

Por último se hacen los cálculos que son necesarios para determinar la taza de refrigeración del sistema, se explican los criterios que se deben de tener en cuenta para la selección del refrigerante, se da una explicación detallada de cada una de las partes que componen este y su respectiva función dentro del mismo.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el laboratorio de refrigeración de la institución universitaria pascual bravo, se tiene un sistema de refrigeración con fines didácticos, este montaje se llevó a cabo sin un análisis teórico pero aun así cumple con los objetivos para el cual se elaboró, el trabajo presente busca realizar una explicación detallada de cada uno de los aspectos necesarios y a tener en cuenta en el diseño de un sistema de refrigeración, una vez comprendido el funcionamiento de un sistema de refrigeración se aplicaran estos conceptos para describir la función que cumple en el sistema cada componente en el montaje ubicado en el laboratorio de refrigeración.

Se hace necesario la descripción de los accesorios de tipo mecánicos en el cuarto frio para el optimó desempeño del mismo, previendo de la manera más adecuada las condiciones internas y externas en las cuales se van a desarrollar las acciones de refrigeración y congelación; de esta manera haciendo uso de las herramientas adecuadas de cálculo y dimensionamiento para plasmar de la forma más correcta que estos mismos soporten la carga térmica deseada.

Debido a sus espacios cerrados como serpentines, bandejas de condensados, tuberías de desagües, privados de luz a temperatura estable, con humedad y suciedad provocan el crecimiento de bacterias patógenas, hongos y virus, estos se transmiten fácilmente mediante los conductos de tuberías se hace necesario implementar estos accesorios mecánicos para que suplan esta necesidad.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

El conocimiento del proceso desde el punto de vista teórico, nos permite conocer maneras de optimizarlo, o hacer alguna propuesta derivada del conocimiento de esta, en el presente trabajo se ejecuta un análisis del funcionamiento de un sistema de refrigeración existente, este análisis se realiza desde el punto de vista teórico, teniendo en cuenta los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para un análisis de estos.

Este conocimiento nos permitió predecir las condiciones en las que debe estar funcionando el sistema existente con solo conocer algunas de las condiciones de trabajo.

A pesar de que el proyecto en su forma general ya ha avanzado en cierto porcentaje se debe tener el propósito de que los accesorios mecánicos a utilizar no se sobredimensionen y no cumplan la función para los que fueron seleccionados.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación en la institución Pascual Bravo, y aplicar estos a la interpretación de fenómenos de tipo práctico.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1.** Aplicar a problemas de la vida diaria conceptos tales como expansión, condensación, refrigerante, ciclo termodinámico de refrigeración.
- 2.** Conocer cuál sería la máxima eficiencia que se podría alcanzar con un ciclo de refrigeración.
- 3.** Conocer qué criterios se deben tener en cuenta para el diseño y puesta en funcionamiento de un sistema de refrigeración.
- 4.** Qué criterios deben tener en cuenta para la selección del refrigerante.
- 5.** Conocer porque repercusiones tiene en el ambiente el funcionamiento del ciclo de refrigeración.
- 6.** Elaborar un manual donde se documente la operación, funcionamiento y mantenimiento del sistema mecánico de protección para el cuarto de congelación de alimentos, indicando claramente el modo de uso, los parámetros a controlar y las medidas de seguridad que se deban adoptar para su correcta manipulación.
- 7.** Realizar un trabajo investigativo que indique el tipo de accesorios necesario mecánicos para este tipo de sistema de refrigeración, su función y principio de funcionamiento.

## 4. CONCEPTOS TEÓRICOS

### 4.1 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

La energía fluye de lugares donde hay mayor temperatura a otro donde existe menor temperatura, si están separados por una superficie conductora, cuando la superficie no es conductora el proceso recibe el nombre de adiabático, esta forma de energía que pasa de un lugar a otro a través de una superficie se llama calor.

En la medida en la que aumenta la presencia de calor en las sustancias se puede percibir empíricamente con un incremento en la temperatura, este lo podemos medir con la ayuda de un termómetro.

No todas las sustancias incrementan su temperatura de igual manera con la transferencia de calor, más bien cada sustancia posee un incremento característico de su temperatura con el calor, esta característica se ve reflejada con el calor específico de cada una.

El calor específico se define como la cantidad de energía (Joules por ejemplo) que se le debe agregar a una sustancia para que a esta se le incremente la temperatura en un grado centígrado, si analizamos el agua, esta posee un alto calor específico ( $4.18\text{kJ/kg}^\circ\text{k}$ ) si lo comparamos con el hierro ( $0.45\text{kJ/kg}^\circ\text{k}$ ), esta es la razón por la que el hierro se calienta más fácil que el agua.

Si a una sustancia se le agrega calor esta puede pasar por los tres principales estados de la materia, esto es: sólido, líquido, gaseoso, esto significa que la materia dependiendo de la temperatura y presión puede experimentar cualquiera de las 3 fases.

Cuando por ejemplo tenemos el agua en forma sólida (hielo) a una atmósfera de presión y  $-10^\circ\text{C}$ , y le transferimos calor, esta experimentará un incremento de temperatura hasta que llegue a los  $0^\circ\text{C}$ , en este punto se empieza a presentar un cambio de fase (empieza a aparecer agua mezclada con el hielo), en este punto la temperatura se conserva en cero grados hasta que todo el hielo se transforme en agua, solo cuando se ha transformado todo el hielo en agua puede seguir creciendo la temperatura, un caso similar se presenta cuando se desea pasar de agua a vapor, este calor que se agrega mientras la temperatura se mantiene constante se llama calor latente de fusión (hielo a agua) y de vaporización (de agua a vapor).

## **4.2 VAPOR SATURADO**

En el ejemplo del agua arriba mencionado, cuando se tiene está a una presión de una atmosfera y a 100°C, solo cuando todo el agua pasa a ser vapor se puede seguir el incremento en la temperatura de esta, y a medida que le seguimos agregando calor se aumenta la temperatura, el estado en el cual toda el agua ha pasado a ser vapor se llama vapor saturado, es necesario destacar que esta temperatura de vaporización depende de la presión y entre mayor sea la presión mayor será la temperatura de vaporización.

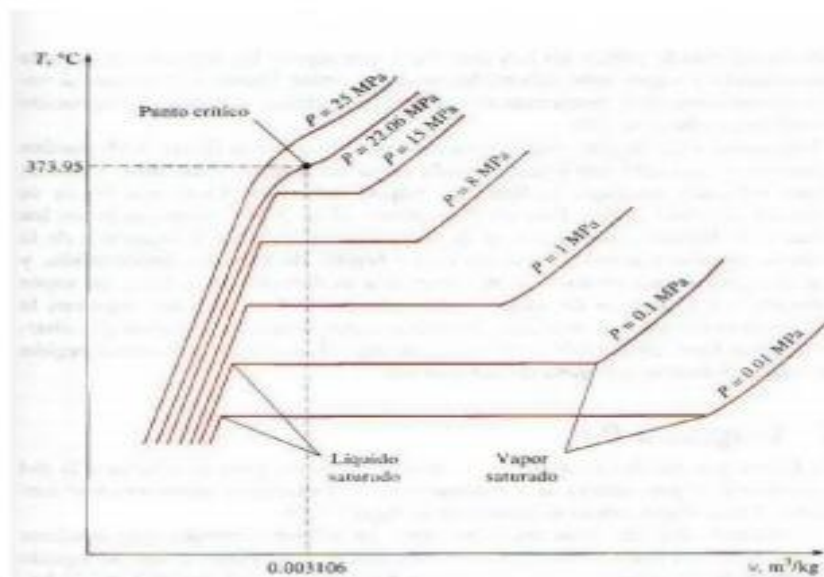
## **4.3 LIQUIDO SATURADO**

Si se hace uso igual del ejemplo del agua cuando todavía no se ha presentado el primer indicio de vapor en el agua, y está ya llego a los 100°C a una atmosfera de presión, esta se encuentra en estado de líquido saturado, si analizamos esto, podemos concluir sin mucha dificultad que la diferencia de estados entre liquido saturado y vapor saturado es el calor latente de fusión, y que la proporción de este calor agregado al líquido saturado se verá reflejado en la proporción del agua que se habrá transformado en vapor, presentándose una mezcla de fases de vapor y agua.

## **4.4 MEZCLAS DE VAPOR Y LÍQUIDO**

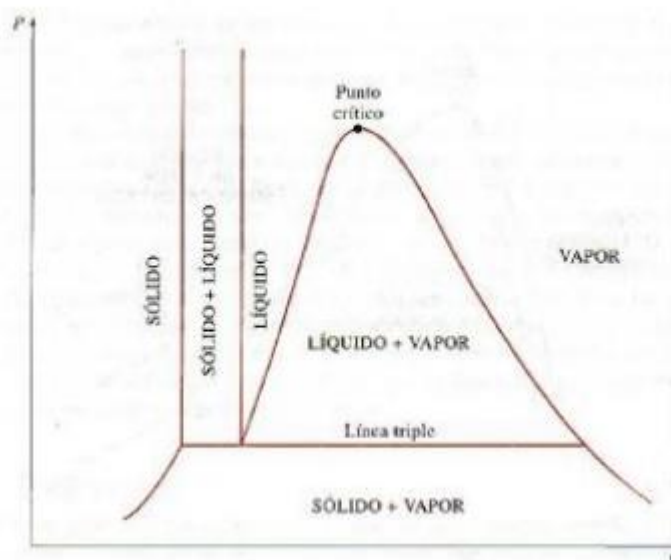
Como se había mencionado anteriormente, la temperatura de vaporización depende de la presión a la que es sometida la sustancia, además también se puede afirmar que entre más baja sea la presión, encontraremos el punto de vaporización a más baja temperatura, desde el punto de vista experimental se ha demostrado que el volumen específico a más baja presión experimenta un mayor incremento. (Véase figura 1)

**Figura 1. Diagrama t-v para el agua**



Fuente: Libro principios de la termodinámica para ingenieros de Jhon R. Howell, Richard O. Buckius.

**Figura 2. Diagrama p-v de las tres fases de una sustancia**



Fuente: Libro principios de la termodinámica para ingenieros de Jhon R. Howell, Richard O. Buckius

En la figura 1 se puede apreciar que a menor presión se obtiene una menor temperatura de vaporización, también podemos apreciar que durante el proceso de cambio de fase líquido vapor, la temperatura permanece constante. El punto crítico es aquel en el que el líquido pasa directamente a vapor en su totalidad sin necesidad de experimentar mezclas de líquido con vapor. para el agua este punto se encuentra a 22.06 MPA y 373.95°C.

## 4.5 ENTALPIA Y ENERGÍA INTERNA

**4.5.1 Energía interna (U).** La energía interna de una sustancia es la suma de las energías cinéticas y potencial de la misma, esto es a nivel de moléculas es la energía debido al desplazamiento, rotación, de las moléculas y a la atracción entre estas, estas energías son afectadas de manera proporcional a la temperatura de la misma, en otras palabras la energía interna de las sustancias se ve afectada por la temperatura de la misma.

**4.5.2 Entalpia (H).** Se ha demostrado que la energía cinética y potencia de las moléculas no solo dependen de la temperatura de la sustancia, sino que también depende de la presión de esta, o si se mantiene a presión constante, estas energías se ven afectadas por la variación del volumen específico, si recogemos todas estas formas de energía surge la expresión entalpia, esta es la suma de las energías internas más la variación de la presión o volumen específico.

$$h = u + pv \quad (1)$$

Note que cuando se tiene un sistema en el cual no hay variación de las fronteras, en este la energía solo puede variar por la variación de la temperatura, mientras que si estas fronteras experimentan variación, se puede concluir que la energía varía en función de la temperatura y en función de p y v.

## 4.6 PROCESO DE COMPRESIÓN

El proceso de compresión es aquel en el cual una sustancia experimenta una disminución del volumen específico, pero a cambio esta misma sustancia experimenta un incremento de la presión si el proceso se lleva a cabo con temperatura constante, con la ayuda de la ecuación de gas ideal se tiene:

$$pv = r^*t \quad (2)$$

De esta ecuación se puede deducir que la presión es inversamente proporcional al volumen específico cuando el proceso se lleva a cabo a temperatura constante, también podemos deducir que para variaciones en diferentes proporciones de la presión y el volumen específico se obtendría una variación de la temperatura del sistema (sustancia en este caso)

La ecuación de Bernoulli (ecuación 3), analiza para una línea de flujo entre dos puntos diferentes, en qué manera varía la presión, la velocidad así como la energía potencial.



Si poseemos dos puntos para un mismo fluido a una altura aproximadamente igual, podemos deducir de la ecuación de Bernoulli, que un fluido (gas o líquido) que pasa a través de un conducto no necesariamente con las mismas secciones transversales, que si este gana velocidad, entonces pierde presión o por el contrario, si se incrementa velocidad, entonces gana presión, si gana presión, entonces se experimentaría un proceso de compresión, si se experimenta compresión entonces se gana entalpia.

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2 \quad (3)$$

En un sistema de refrigeración, el proceso de compresión se lleva a cabo en el compresor.

#### **4.7 PROCESO DE EXPANSIÓN**

Para una línea de flujo a la cual se le hace el análisis, a una misma altura para los dos puntos de observación, si se experimenta una reducción en la sección trasversal, se produce un incremento en la velocidad del mismo, esto es debido a que la misma cantidad de masa que entra al volumen de control es la misma que sale, generando por ende una reducción en la presión que está determinado por la ecuación de Bernoulli (ecuación 3), este proceso de reducción en la presión también trae como consecuencia una reducción en las propiedades térmicas del fluido (véase ecuación 1) y esto se cuantifica con una reducción de la entalpia del fluido.

En resumen: una reducción de la sección transversal por donde atraviesa el fluido aumenta la velocidad del mismo, pero el aumento en la velocidad del fluido trae una disminución en la presión (ecuación de Bernoulli), la reducción en la presión trae una disminución en la entalpia del mismo (la entalpia depende de la presión, a mayor presión mayor entalpia). En una válvula expansora de un sistema de refrigeración se lleva a cabo un proceso de expansión como el que acabamos de describir.

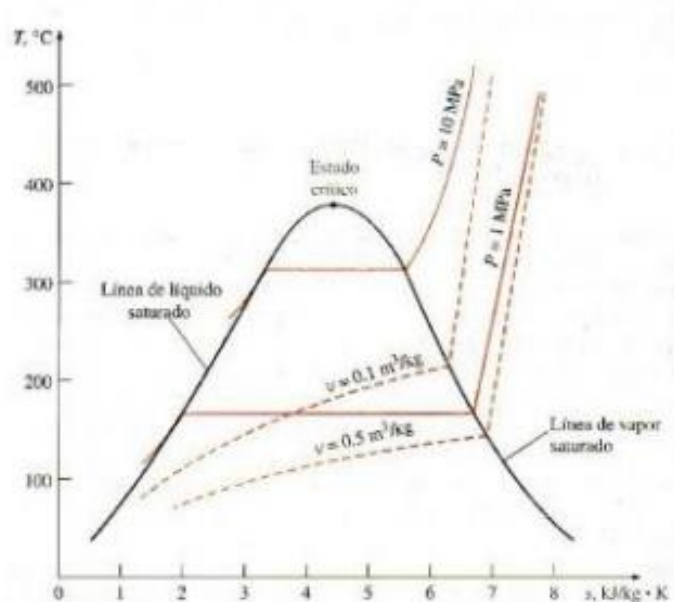
#### **4.8 DIAGRAMA T-S.**

**4.8.1 Entropía.** La entropía se define como el grado de irreversibilidad de un proceso, es decir este termino

En el diagrama h-s se muestra un análisis bidimensional del comportamiento de la entalpia frente a la entropía de un fluido, esto en las fases líquida y gaseosa, inclusive una mezcla de estas dos.

**4.8.2 Diagrama T-S.** La entalpia es una de las propiedades de las sustancias (puede ser un refrigerante) que es directamente proporcional a la temperatura de esta, por eso cuando observamos un diagrama t-s estamos observando también un diagrama h-s, ya que el comportamiento de la entalpia en función de la entropía toma valores iguales a los que toma cuando se enfrenta la entropía con la temperatura, esto con ligeras diferencias. En la figura 3 podemos apreciar cómo se comporta la entalpia (eje vertical) frente a la entropía (eje horizontal), para dos líneas de presión constante ( $p = 10 \text{ mpa}$  y  $1 \text{ mpa}$ ), en este se aprecia que a mayor presión se obtienen valores más grandes de entalpia, en esta misma grafica se pueden apreciar las líneas de volumen especifico constante (líneas punteadas naranjadas), de  $0.1$  y  $0.5 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Donde el volumen especifico se define como el volumen que ocupa en estas condiciones una sustancia por cada kilogramo del mismo.

**Figura 3. Diagrama t-s de una sustancia**



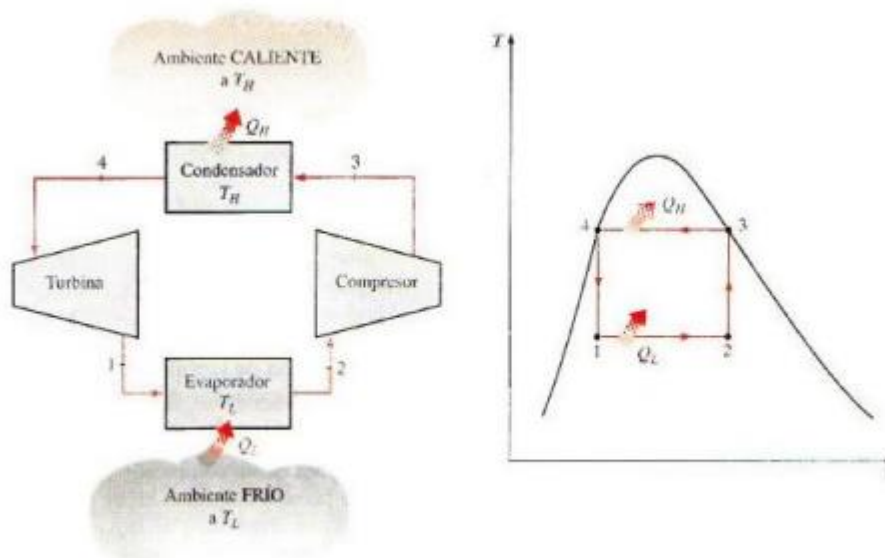
Fuente: <http://share.pdfonline.com/0a40ecf12bac4d64868e974b5686dcde/ENTROPIA.htm>

Al observar una línea de presión constante, se puede apreciar que la entalpia crece para la región que está a la izquierda de la línea de líquido saturado, en esta región toda la sustancia está en forma de agua, en la región que está entre la línea de líquido saturado y vapor saturado no se presenta incremento en la entalpia y tampoco en la temperatura pese a que si lo hay para la entropía y el volumen especifico de la sustancia ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ). Solo la entalpia y la temperatura vuelven a crecer cuando se llega a la línea de vapor saturado, esto es: toda la sustancia se ha logrado convertir en vapor. Si hacemos el mismo análisis para dos líneas de volumen especifico constante, observamos que a menor presión mayor volumen especifico, esto es algo lógico.

## 4.9 EL CICLO DE CARNOT INVERTIDO

El ciclo de Carnot es un ciclo térmico ideal y de máxima eficiencia entre dos temperaturas conocidas, esta última característica es usada para comparar cualquier ciclo entre las mismas condiciones, este está comprendido por dos procesos isentropicos y dos procesos de recepción y de expulsión de calor reversibles, como es un proceso reversible se puede ejecutar en dirección Contraria. Es precisamente el ciclo de Carnot invertido una primera aproximación al ciclo de refrigeración o de bomba de calor.

**Figura 4. El ciclo de Carnot invertido**



Fuente: <http://share.pdfonline.com/7c78839cf3394018b834320f008028e0/tema-2-ciclos-de-refrigeracion1.htm>

En la figura 4 podemos apreciar el ciclo de Carnot invertido, en este podemos apreciar que el ciclo inicia en la etapa 1-2, en este proceso la sustancia que puede ser el refrigerante pasa de ser una mezcla de líquido y vapor (mayoría líquido) y mediante un proceso de expansión se transforma en una mezcla rica en vapor, para obtener este nuevo estado debió de absorber calor del medio y a baja temperatura (comparada con la temperatura de expulsión), este es la etapa en la cual se absorbe calor de un lugar cerrado y se experimenta la sensación de frío. La etapa 2-3 es un proceso de compresión isentrópica, podemos observar que al mismo tiempo se eleva la temperatura y la presión y el refrigerante llega al estado de vapor saturado, la etapa 3-4, es un proceso de expulsión de calor al medio a alta temperatura, esto puede ocurrir gracias a un condensador, cuando el refrigerante pasa de 3 a 4 llega en 4 a un estado de líquido saturado, de 4 a 1 el refrigerante experimenta un proceso de expansión isentrópica en una turbina, esto es pasa de un estado en el cual es líquido en su totalidad a un estado de menos presión y parte de este se ha convertido en vapor.

En la realidad el proceso de Carnot dista de ser ese proceso que nos describa el ciclo de refrigeración ya que el proceso de compresión (2-3) debe hacerse con un compresor que comprima líquido y gas al mismo tiempo, lo cual en la práctica es muy complejo, por otro lado se necesitaría un proceso de expansión de una mezcla muy húmeda en la turbina, aparentemente se puede eliminar estos problemas llevando la región de trabajo fuera del área de saturación, pero en esta región se presenta el problema de poder determinar la temperatura de trabajo. En síntesis este ciclo de Carnot invertido se utilizaría solo para determinar la eficiencia máxima que se podría alcanzar con un ciclo real. Esta máxima eficiencia está determinada por la siguiente ecuación:

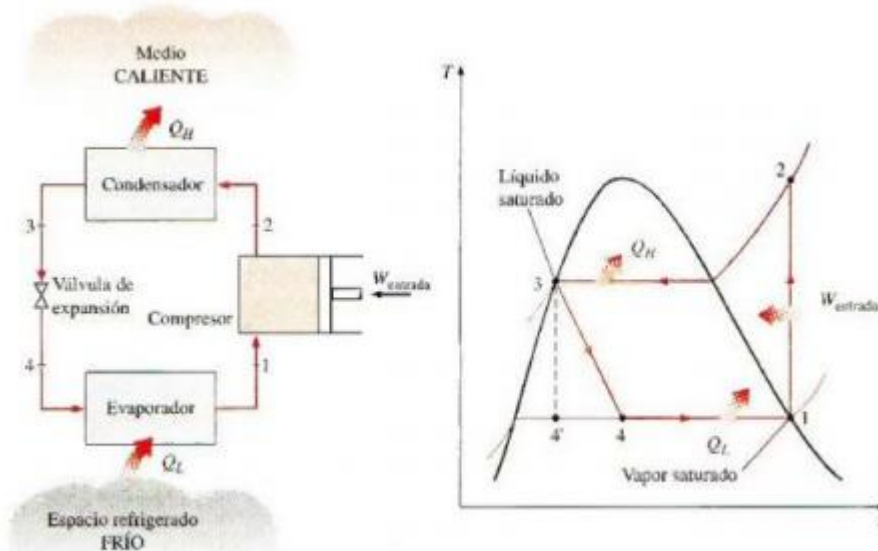
$$COP_r = \frac{1}{\frac{T_h}{T_l} - 1} \quad (4)$$

En esta ecuación podemos observar que entre más estrecha sea la diferencia de las temperaturas más alta eficiencia se obtendría en el ciclo.

#### 4.10 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN

Si se toma el ciclo de Carnot y se realiza el proceso de compresión en el área de vapor saturado del refrigerante, y además si se sustituye la turbina por una válvula de expansión o tubo capilar, se solucionarían los problemas del ciclo de Carnot véase figura 5.

**Figura 5. Ciclo de refrigeración ideal**



Fuente: <http://share.pdfonline.com/7c78839cf3394018b834320f008028e0/tema-2-ciclos-de-refrigeracion1.htm>

En el ciclo ideal de refrigeración se observan las etapas:

- 1-2 Etapa de compresión de vapor saturado.
- 2-3 Proceso de condensación a presión constante.
- 3-4 Proceso de expansión a través de válvula o tubo capilar.
- 4-1 Proceso de absorción de calor a presión constante en el evaporador.

La etapa 1-2 se lleva a cabo en el compresor y en esta todo el refrigerante está en forma de vapor tanto al inicio como al final de la etapa, durante la etapa 2-3 se lleva a cabo una condensación a presión constante, note que esta etapa ocurre en el condensador, y en esta la temperatura del fluido debe ser superior a la temperatura ambiente, esto con el fin de que se lleve a cabo la transferencia de calor, el refrigerante al final de esta etapa llega en forma de líquido comprimido.

Durante la etapa 3-4 el refrigerante que está en su totalidad en forma de líquido comprimido experimenta un proceso de expansión al pasar por una válvula estranguladora (o tubo capilar), este elemento posee o conecta una diferencia de presiones, esta diferencia es la que genera el proceso de expansión, a final de esta etapa el refrigerante posee forma de una mezcla de vapor y líquido, a baja temperatura.

La etapa 4-1 ocurre en el evaporador, y el refrigerante en forma de mezcla se ve obligado a absorber calor del medio circundante, esto ocurre porque este ha experimentado un paso de líquido a vapor, obligado a absorber el calor latente de vaporización del medio, esta es la razón por la cual el medio a refrigerar experimenta una disminución de la temperatura.

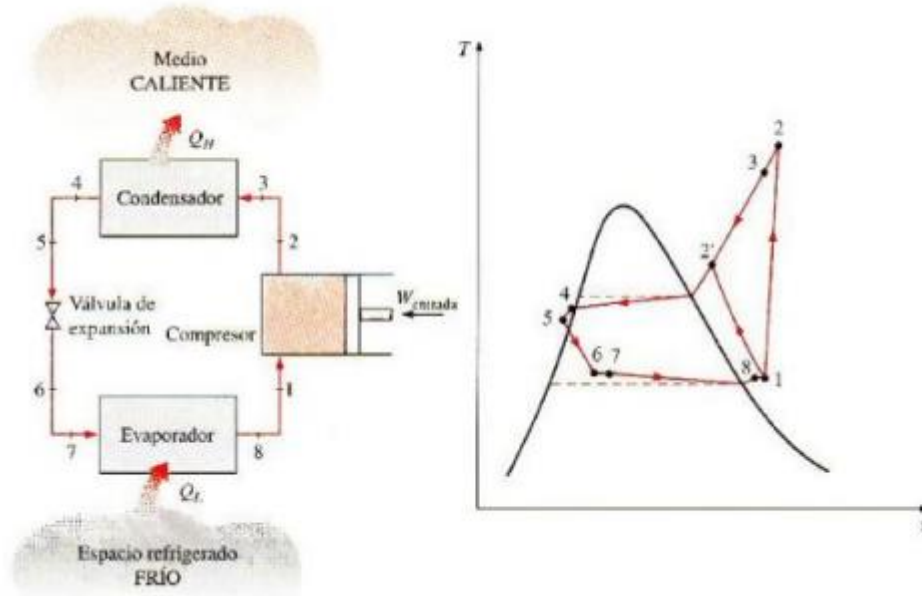
#### **4.11 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN**

En la práctica existen ciertas características del proceso que lo desclasifican como proceso ideal, tal es el caso que genera: la fricción del fluido y la transferencia de calor entre el fluido y los alrededores a través de los conductos, véase figura 6.

Cuando el fluido se dirige por el evaporador existe primero que todo fricción con el conducto, esto ocasiona caídas de presión en el fluido (7-8), cuando este llega al compresor debe existir un ligero sobrecalentamiento (8-1), esto porque el fluido llega como un líquido en estado de vapor saturado, este ligero sobrecalentamiento ocurre a la entrada del compresor y garantiza la no existencia de líquido dentro del compresor, durante el proceso de compresión puede existir fricción así como transferencia de calor hacia el medio (1-2') o desde el medio circundante (1-2), en los dos casos ocurre que el proceso se sale de ser isoentropico, siendo más deseable si el proceso ocurre como 1-2', ya que en este caso el trabajo que se entrega al ciclo a través del compresor

y es menor que el ocurrido en 1-2, esto nos recomienda que el fluido deba ser refrigerado durante el proceso de compresión.

**Figura 6. Ciclo de refrigeración real**



Fuente: <http://share.pdfonline.com/7c78839cf3394018b834320f008028e0/tema-2-ciclos-de-refrigeracion1.htm>

En el proceso de condensación (3-4) también existe caída de presión debido a la transferencia de calor hacia el medio y a la gran distancia que debe recorrer el fluido mientras esta en el condensador, una vez terminado se debe sub enfriar el fluido antes de que entre a la válvula o al tubo capilar, ya que es indeseable que este entre en forma de mezcla a este.

La válvula de estrangulamiento se debe colocar muy cerca al evaporador para evitar la caída de presiones entre estos.

## 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Para el análisis del sistema de refrigeración, se propone para el refrigerante las temperaturas de trabajo siguientes:

Temperatura del refrigerante en el condensador es de 20°C, ya que es aconsejable que está este ubicada por encima de la temperatura ambiente, de no ser así, no podría ocurrir la transferencia de calor.

La temperatura del refrigerante en el evaporador es de -20°C, esto con el fin de que la cavidad a refrigerar este alrededor de los 10°C, esta diferencia de temperaturas entre el refrigerante y la cavidad garantiza el flujo de calor. El sistema de refrigeración que se tiene en el laboratorio de refrigeración del pascual bravo funciona con refrigerante r404a, y tiene una tasa de enfriamiento de unos 18000btu por hora (5 BTU por segundo esto equivale a 5,275 KW).

El motor del sistema suministra 1 hp (0.746 KW) de potencia (véase tabla 1).

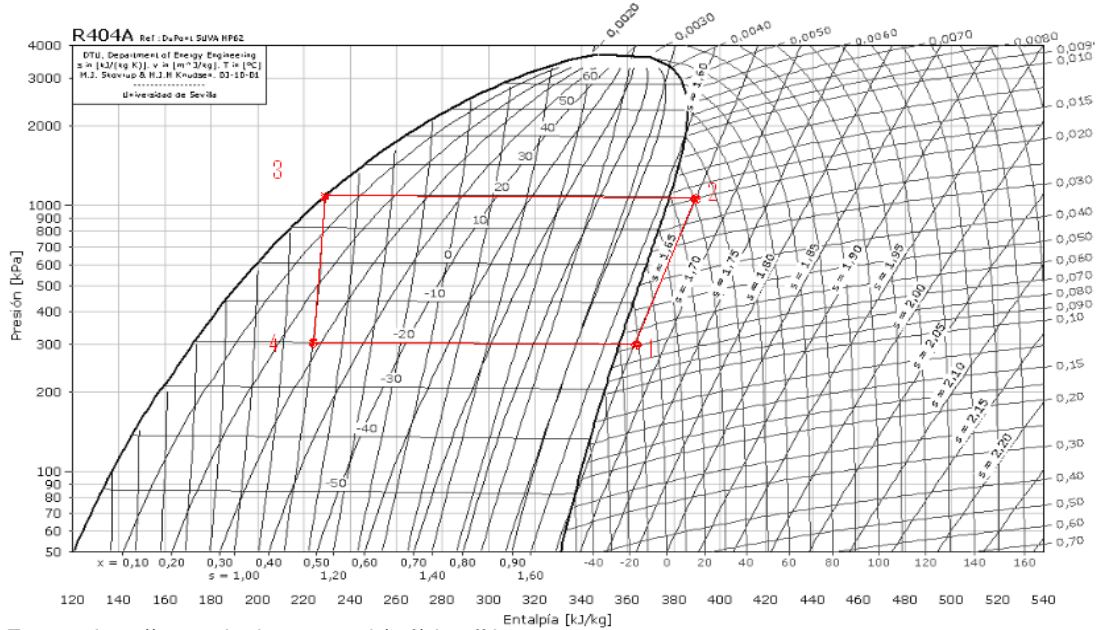
El fabricante suministra un diagrama p-h del refrigerante, este diagrama será útil para obtener los diferentes valores de la entalpia del mismo para el proceso.

**Tabla 1. Datos del compresor**

AEZ/CAE/CAJ/FH 220-240 Volt/1/50 Hz							R22									
Medium and high back pressure																
Type	Horse power	Displacement cm <sup>3</sup>	Oil charge cm <sup>3</sup>	Expansion (1)	Cooling (2)	Co-ARI-Standard *7.2°C / +54.5 °C Watt	Connections				max input Amp	Starting input Amp	Height mm	Gross weight kg	codes	
							Suction		Discharge							
							Valve	Tube	Valve	Tube						
AEZ 4425E	1/5	4.50	480	C/V	F	553	-	1/4"	-	3/16"	2.5	9.0	188	10.1	RLH 2201	
AEZ 4430E	3/8	5.70	480	C/V	F	718	-	1/4"	-	3/16"	3.1	11.0	188	10.5	RLH 2202	
AEZ 9940T	3/8	7.55	600	C/V	F	980	-	3/8"	-	1/4"	2.9	12.0	194	14.6	RLH 2200	
CAE 9450T	1/2	9.50	600	C/V	F	1212	-	3/8"	-	1/4"	3.7	13.0	207	14.6	RLH 2203	
CAE 9460T	1/2	11.30	480	C/V	F	1514	-	3/8"	-	1/4"	5.0	15.2	207	14.6	RLH 2204	
CAJ 9480T *	5/8	15.20	887	C/V	F	2103	1/2"	-	-	5/16"	5.5	22.0	282	23.0	RLH 2205	
CAJ 9510T *	1	18.30	887	C/V	F	2510	5/8"	-	-	5/16"	7.1	29.0	282	23.0	RLH 2208	
CAJ 9513T *	1 1/8	24.20	887	C/V	F	3272	5/8"	-	-	5/16"	8.8	30.0	282	23.0	RLH 2209	
CAJ 4517E	1 1/4	25.95	887	C/V	F	3629	5/8"	-	-	3/8"	10.0	35.5	282	23.0	RLH 2010	
CAJ 4519T	1 1/2	34.45	887	C/V	F	4738	5/8"	-	-	3/8"	13.9	44	282	26	RLH 2213	
FH 4524 F	2	43.50	1480	C/V	F	5706	5/8"	-	-	1/2"	9.75	50.0	388	32.9	RLH 2016	
FH 4531 F	2 1/2	56.65	1480	C/V	F	7528	7/8"	-	-	1/2"	12.7	52.0	388	36.0	RLH 2018	

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/atlas-copco-oil-free-air-and-water-cooled-rotary-screw-compressor-model-ze-3-ze-4-za-5-za-6-666304145.html>

**Tabla 2. Diagrama p-h del refrigerante r404a**



Fuente: <http://www.alephzero.co.uk/ref/circeff.htm>

En la tabla 2 se puede apreciar:

1-2 Etapa de elevación de presión en el compresor en estado de vapor sobrecalentado a entropía constante.

2-3 Etapas en el condensador a presión constante.

3-4 Etapa en la válvula de estrangulamiento a entropía constante, en esta etapa se introduce el refrigerante en estado de líquido saturado y sale en forma de mezcla de líquido vapor, con aproximadamente un 28% de vapor y un 72% de líquido.

4-1 Etapa en el evaporador a presión constante con un ligero sobrecalentamiento.

## 5.1 CÁLCULOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

**5.1.1 Flujo másico de refrigerante.** Para el cálculo del flujo másico del refrigerante hacemos uso del análisis en el evaporador.

Se tiene en esta etapa:

$$Q_{EN} = \dot{M}R (h_1 - h_4)$$

Siendo:



**MR:** El flujo másico del refrigerante.

**QEN:** El flujo de calor que entra al sistema, esto es 18000 BTU por hora, (5.275 KW)

**h1:** entalpia a la entrada del compresor, esto es: 365kj/kg (dato sacado de la gráfica 8)

**h4:** entalpia al ingresar al evaporador, esto es: 225 kj/kg (dato tomado de la gráfica 8)

Al despejar después de remplazar obtenemos:

$$MR = 0.0376 \text{ kg/seg}$$

Es decir con un flujo másico de unos 37 gramos de refrigerante por cada segundo a través del sistema se logra absorber la cantidad de calor requerida.

**5.1.2 Calor expulsado en el condensador.** El calor expulsado en el condensador se obtiene sumando en calor que entra más el trabajo en el compresor.

$$QSAL = QEN + w$$

$$QSAL = 5.275\text{kw} + 0.746\text{kw} = 6.021 \text{ kw}$$

**5.1.3 Máxima eficiencia del sistema.** La máxima eficiencia sería una eficiencia hipotética y sería la obtenida con el ciclo de Carnot, Esto es:

$$Copr = (5.275\text{kw}/0.746\text{kw}) = 7.07$$

Es decir que el sistema está eliminando 7 unidades de calor por cada unidad de energía eléctrica que se le agrega.

## **5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA.**

El sistema de refrigeración ubicado en el laboratorio de refrigeración del instituto pascual bravo es un sistema de refrigeración comercial, a continuación se muestra un listado de las partes más importantes que lo componen.

1. Barómetro de alta presión. (figura 7).
2. Barómetro de baja presión. (figura 7).
3. Condensador. (figura 7).
4. Conducto de refrigerante recubierto con aislante. (figura 7).
5. Válvula solenoide. (figura 7).
6. Deshumidificador. (figura 7).
7. Válvula manual. (figura 7).
8. Depósito de refrigerante. (figura 7).
9. Tubería de cobre. (figura 7).
10. Mirilla. (figura 8).
11. Boquillas. (figura 8).
12. Válvula para el capilar. (figura 9).
13. Válvula para la válvula estranguladora. (figura 9).
14. Compresor. (figura 10).
15. Tubería de cobre entre compresor y condensador. (figura 10).
16. Válvula estranguladora. (figura 11).
17. Capilar. (figura 11).
18. Tablero de control. (figura 12).
19. Expansor. (figura 13)

**Figura 7. Sistema de refrigeración**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

**Figura 8. Tuberías sistema de refrigeración**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

**Figura 9. Válvulas manuales de selección de expansor del refrigerante**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

**Figura 10. Compresor**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

**Figura 11. Capilar y válvula de estrangulamiento**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

**Figura 12. Tablero de control**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles



**Figura 13. Expansor**



Fuente: Fotografía. Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado del IUPB. Dionis Raveles

### 5.3 SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE

El sistema de refrigeración le aplica varias etapas de un proceso termodinámico a una sustancia que posee ciertas características específicas que favorecerían el proceso, esta sustancia debe absorber calor del medio que se desea refrigerar (evaporador) además este mismo debe expulsar este calor absorbido, así como el calor que se le transfirió en forma de trabajo en el compresor, durante su paso por el condensador, además la presión dentro del refrigerados debe ser superior a la presión atmosférica, ya que mediante esto se evita la filtración de gases o líquidos al interior del refrigerador.

Este además debe ser económico, no toxico y amigable con el medio ambiente, con el paso del tiempo se ha logrado perfeccionar los diferentes refrigerantes empleados en los diferentes sistemas de refrigeración, pasando a ser más efectivos y menos tóxicos con el medio ambiente.

A continuación (tabla 3) se puede apreciar diferentes refrigerantes con sus propiedades.

**Tabla 3. Lista de refrigerantes**

Clasificación	Grupo L	Grupo seguridad	Refrigerante 2) N.º	DENOMINACIÓN (composición = % peso)	Fórmula	Masa Molar (MM) 3) kg/kmol	Limite Práctico 4) 5) kg/m³	Punto de ebullición a 1,013 bar a 9) °C	Inflamabilidad				Potencial de calentamiento atmosférico 6) PCA 100	Potencial agotamiento de la capa de ozono 7) PAO	Clasif. según: 8) REP
									Temp. Auto-ignición °C	Limites de inflamabilidad					
										Limite inferior kg/m³ % v/v	Limite superior kg/m³ % v/v				
1	A1	R-11		Triclorofluorometano	CCl <sub>3</sub> F <sup>(1)</sup>	137.4	0.3	23.8	-	-	-	-	3 800	1	2
1	A1	R-12		Diclorodifluorometano	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	120.9	0.5	-29	-	-	-	-	8 100	1	2
1	A1	R-12B1		Bromoclorodifluorometano	CB <sub>2</sub> ClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	165.4	0.2	-4	-	-	-	-	1 300	3	2
1	A1	R-13		Clorotrifluorometano	CClF <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	104.5	0.5	-81.4	-	-	-	-	14 000	1	2
1	A1	R-13B1		Bromotrifluorometano	CB <sub>2</sub> F <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	148.9	0.6	-58	-	-	-	-	5 400	10	2
1	A1	R-22		Clorodifluorometano	CHClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	86.5	0.3	-40.8	635	-	-	-	1 500	0.055	2
1	A1	R-23 <sup>(1)</sup>		Trifluorometano	CHF <sub>3</sub>	70	0.68	-82.15	-	-	-	-	11 700	0	2
1	A1	R-113		1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoretano	CCL <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	187.4	0.4	47.6	-	-	-	-	4 800	0.8	2
1	A1	R-114		1,2-Dicloro-1,1,2,2-tetrafluoretano	CCLF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	170.9	0.7	3.8	-	-	-	-	9 800	1	2
1	A1	R-115		2-Cloro-1,1,1,2,2-pentafluoretano	CF <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	154.5	0.6	-39	-	-	-	-	7 200	0.6	2
1	A1	R-124		2-Cloro-1,1,1,2-tetrafluoretano	CF <sub>3</sub> CHClF <sup>(1)</sup>	136.5	0.11	-12.1	-	-	-	-	470	0.022	2
1	A1	R-125		Pentafluoretano	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	120	0.39	-48.1	-	-	-	-	2 800	0	2
1	A1	R-134a <sup>(1)</sup>		1,1,1,2-Tetrafluoretano	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102	0.25	-26.2	743	-	-	-	1 300	0	2
1	A1	R-218 <sup>(1)</sup>		Octofluoropropano	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	188	1.84		-	-	-	-	7 000	0	2
1	A1	R-C318 <sup>(1)</sup>		Octofluorociclobutano	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	200	0.81	-6	-	-	-	-	8 700	0	2
1	A1	R-500		R-12/152a (73.8/26.2)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> + CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	99.3	0.4	-33.5	*	-	-	-	6 000	0.74	2
1	A1	R-501		R-12/22 (25/75)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> + CHClF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	93.1	0.38	-41	-	-	-	-	3 150	0.29	2

Fuente: [http://legistec.coitiab.es/inst\\_frigo/reglamentos/if/IF\\_02.htm](http://legistec.coitiab.es/inst_frigo/reglamentos/if/IF_02.htm)

## **6. RESULTADOS DEL PROYECTO**

### **6.1 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO DE PROTECCIÓN PARA EL CUARTO DE CONGELACIÓN DE ALIMENTOS**

El sistema mecánico de protección del cuarto de congelación, tiene como finalidad asegurar el buen funcionamiento y extender la vida útil de los componentes principales del sistema de refrigeración, la descripción teórica de estos elementos aportó en gran parte a la recolección y suministro de datos técnicos, que los fabricantes de estos accesorios suministran en sus diferentes modalidades de fabricación; con múltiples ventajas de unos elementos sobre los otros según la tecnología empleada en su fabricación y los requerimientos del sistema, ofreciendo múltiples y mejores funcionalidades de operación garantizando el óptimo rendimiento del sistema de refrigeración.

Durante el avance en materia tecnológica, se han venido desarrollando diferentes métodos y dispositivos que cumplen con la misma finalidad en los sistemas de refrigeración. Esto ya que según la demanda del sistema y según su capacidad se implementaran distintos tipos de elementos con diferentes características constructivas pero que funcionan bajo el mismo principio para suplir las necesidades del sistema.

La refrigeración está directamente relacionada con el medio ambiente, ya que este funciona con un fluido altamente contaminante, mediante la descripción de los elementos se verá claramente evidenciado que estos elementos aportan al manejo adecuado y a la visualización de estos fluidos en caso de existir fugas, y de manera tomar las precauciones apropiadas, para su disposición final.

La selección de los componentes a instalar estará determinada por la eficacia y necesidad requerida de su uso, instalar componentes no necesarios no mejora el funcionamiento el sistema frigorífico, cuanto más sencilla es la instalación, es decir colocar los componentes necesarios para que el sistema funcione eficazmente.

## 7. CONCLUSIONES

Al llevar a cabo el presente trabajo se pudo aprender muchos aspectos que tienen que ver con un sistema de refrigeración.

De primera mano se pudo conocer el fenómeno de expansión y compresión que experimenta una sustancia al ser sometido a diferentes presiones.

Un sistema de refrigeración no es algo absoluto y definitivamente determinado, ya que este depende de las condiciones a entre las que trabajara, es decir temperatura de absorción y de expulsión.

Si el proceso inverso se aplica es decir: se emplea como una bomba de calor, podemos apreciar que el sistema presentaría más eficiencia que si solo se emplea energía eléctrica, es decir se obtendría una tasa más de calentamiento que si solo se empleara electricidad a través de una resistencia

Se conoció además en este trabajo que existen diferentes tipos de refrigerantes y que cada uno de estos se emplea en una aplicación particular.

Los intercambiadores de calor tanto de absorción como de expulsión poseen una geometría que favorece este intercambio, además estos ya se consiguen comercialmente.

## 8. RECOMENDACIONES

En un sistema frigorífico los diferentes dispositivos que componen el mismo están sujetos a factores que pueden presentar averías en los accesorios de protección y directamente al sistema como tal.

Tener en cuenta como precaución fundamental, en el elemento de expansión, que el gas instantáneo a la entrada de la válvula expansión obstruirá el flujo de refrigerante líquido, y por lo tanto, no alimentará lo suficiente al evaporador, esto se reflejará en la baja capacidad de enfriamiento del sistema y aumentara el sobrecalentamiento.

Realizar la selección de la tubería minuciosamente, para no tener problemas en la alimentación del evaporador, que esta misma viene asociada a la pérdida de carga.

Tener cuidado a la hora de seleccionar la tubería, en sistemas con múltiples evaporadores o con deshielo por gas caliente, en cada caso, esto para evitar pérdidas de carga.

Evitar en lo posible variaciones de temperatura importantes debe ajustarse al mínimo posible el diferencial de los presostatos.

Atender a las recomendaciones de uso de los filtros deshidratadores y su vida útil; esto para evitar restricciones de flujo hacia el evaporador.

Evitar la obstrucción del orificio del filtro deshidratador por efecto de agentes contaminantes presentes en la línea de líquido, esto causará una caída presión, resultando gas instantáneo.

Sujetar a la línea de succión, el bulbo de la válvula de expansión, cerca de la salida del evaporador, y si es posible, sobre un tramo horizontal.

Balancear los componentes del sistema, para los requerimientos de carga necesarios, para evitar un alto sobrecalentamiento se recomienda.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Yunus a.cenguel, Michael a. boles. Termodinámica segunda edición. Mc Grawn Hill.

George r. howell. Richard g. Buckius. Principios de termodinámica para ingenieros. Mc Grawn Hill.

George Rodríguez. Principios de termodinámica con aplicaciones en ingeniería.

PARRA CORONADO Alfonso. Técnicas de almacenamiento y conservación de frutas y hortalizas frescas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. p.132 (2007)

ENRIQUEZ HARPER. Manual de instalaciones electromecánicas. Limusa. P 170. México: 2006.

CARNICER ROYO, E. AIRE Acondicionado. THOMSON. 5Ed. p 223. España: 2002.

MILLER Rex, MILLER Mark. Air conditioning and Refrigeration. Estados unidos: Mc Graw Hill, 2006.

## 10. CIBERGRAFIA

Normas colombianas de refrigeración.

<http://www.acaire.org/normas.php>

El mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado y la certificación por competencias laborales.

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/cartilla\\_mantenimiento\\_refrigeracion\\_aire.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/cartilla_mantenimiento_refrigeracion_aire.pdf)

Refrigerantes para el sistema de refrigeración.

[http://legistec.coitiab.es/inst\\_frigo/reglamentos/if/if\\_02.htm](http://legistec.coitiab.es/inst_frigo/reglamentos/if/if_02.htm).

Normas de seguridad para sistemas de refrigeración.

[http://legistec.coitiab.es/inst\\_frigo/reglamentos/reglamento%20if.htm](http://legistec.coitiab.es/inst_frigo/reglamentos/reglamento%20if.htm)

Datos acerca del refrigerante r404a.

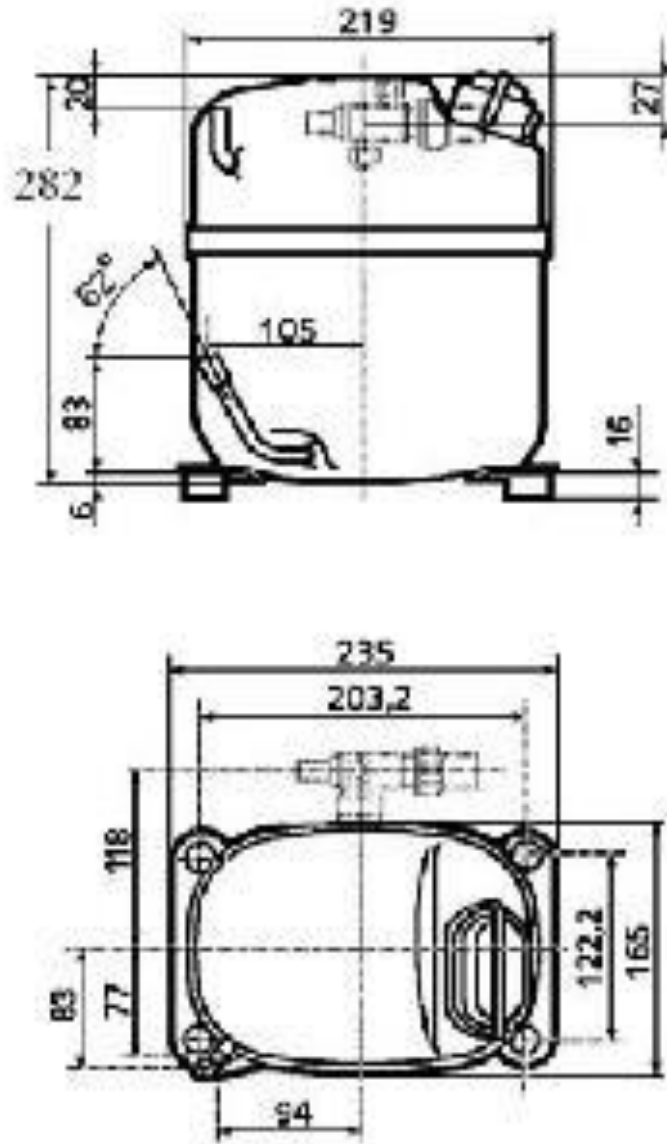
<http://www.lyrefrigerant.es/1-r404a-refrigerant-3.html>

Manómetros.

<http://www.chinaref.es/7-1-commercial-service-manifold.html>

## 11. ANEXOS

### Anexo A. Dimensiones del compresor caj9510t



Fuente: [http://es.made-in-china.com/co\\_huaqiang909/product\\_Tecumseh-Compressor-CAJ4492Y\\_esuoheugg.html](http://es.made-in-china.com/co_huaqiang909/product_Tecumseh-Compressor-CAJ4492Y_esuoheugg.html)



## Anexo B. Deshumidificador



Fuente: <http://www.conpac.mx/REFACCIONES.htm>

## Anexo C. Mirilla



Fuente: <http://www.conpac.mx/REFACCIONES.htm>