

**SELECCION DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE SOBRECALENTAMIENTO Y
SUBENFRIAMIENTO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE
ACONDICIONADO**

**CARLOS MARIO CARTAGENA TOBÓN
YAZUHAKIN ERNESTO CUESTA GARCÍA
EDWIN DAVID VELÁSQUEZ URBIÑEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2014**

**SELECCION DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE SOBRECALENTAMIENTO Y
SUBENFRIAMIENTO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE
ACONDICIONADO**

**CARLOS MARIO CARTAGENA TOBÓN
YAZUHAKIN ERNESTO CUESTA GARCÍA
EDWIN DAVID VELÁSQUEZ URBIÑEZ**

Trabajo de grado para optar por el título de tecnólogo mecánico

**Asesor
ARLEY SALAZAR HINCAPIE
Ingeniero Mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2014**

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, Mayo de 2014.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien hace posible todo lo que hemos logrado con el don de vida que nos ha regalado.

A nuestros padres que con su apoyo y motivación nos han forjado como profesionales íntegros.

A la institución universitaria Pascual Bravo y todos los docentes que han formado parte de nuestra educación universitaria.

A Arley Salazar Hincapié, asesor y líder del proyecto por su tiempo, dedicación y empeño en la construcción del laboratorio de refrigeración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. MARCO TEÓRICO	14
4.1 LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA O VÁLVULA DE TERMO- EXPANSIÓN	14
4.2 LÍNEA DE SUCCIÓN	15
4.3 LÍNEA DE LÍQUIDO	15

4.4 TEMPERATURA DE SATURACIÓN	15
4.5 CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN	16
4.6 CALOR SENSIBLE	16
4.7 EVAPORACIÓN COMPLETA	16
4.8 RELACIONES ENTRE TEMPERATURA Y PRESIÓN	16
4.9 Principios del sobrecalentamiento	18
4.9.1 Importancia del sobrecalentamiento.	20
4.9.2 Limite de temperatura de vapor a la salida del evaporador.	21
4.9.3 Medición del sobrecalentamiento.	21
4.10. EL SOBRECALENTAMIENTO	25
4.11 SUBENFRIAMIENTO	28
4.11.1 Aplicaciones del subenfriamiento.	28
4.11.2 Tipos de subenfriamiento.	29
4.12 COEFICIENTE DE OPERACIÓN	30
5. METODOLOGÍA	31
5.1 RECURSOS	32
5.1.1 Humanos.	32

5.1.2 Técnicos.	33
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	34
6.1 VÁLVULA DE EXPANSIÓN	34
6.1.1 Funcionamiento de una válvula de expansión termostática.	35
6.2 MEDICIÓN DEL RECALENTAMIENTO	36
6.3 MEDICIÓN DEL SUBENFRIAMIENTO	37
6.4 CÁLCULO PARA EL CONTROL DEL SOBRECALENTAMIENTO	40
6.4.1 Ejemplo 1.	40
6.4.2 Ejemplo 2.	41
6.4.3 Ejemplo 3.	42
7. CONCLUSIONES	43
8. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla Presión Vs Temperatura	22

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efecto del calor sobre el agua a la presión atmosférica	18
Figura 2. Refrigerante 12 a la presión atmosférica	19
Figura 3. Ejemplo de medición de sobrecalentamiento del evaporador	23
Figura 4. Ejemplo de medida para el compresor	24
Figura 2. Diagrama para medir el sobrecalentamiento en un compresor	27
Figura 6. Componentes principales de una válvula termostática	35
Figura 7. Presiones fundamentales de la válvula termostática	36
Figura 8. Medición de recalentamiento	37
Figura 9. Medición de subenfriamiento	38
Figura 10. Montaje de la válvula termostática	39

INTRODUCCIÓN

El sobrecalentamiento y subenfriamiento son parámetros que pueden ser monitoreados y controlados en un sistema de refrigeración por compresión de vapor con el objetivo de determinar las condiciones de consumo y eficiencia bajo las cuales el ciclo opera. Su medición debe de hacerse teniendo en cuenta el tipo de refrigerante que circula a través del ciclo, su presión y respectiva temperatura de saturación, tal media puede realizarse a través de instrumentos que contienen una amplia base de datos con los valores de presión y temperaturas correspondientes. Una vez determinada la condición de sobrecalentamiento en el proceso de evaporación y subenfriamiento en el proceso de condensación, es posible realizar la calibración del sistema para aumentar el efecto de enfriamiento en el evaporador y de esta manera también el coeficiente de operación del ciclo (COP).

El laboratorio de refrigeración y aire acondicionado de la Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con 4 sistemas, todos operan bajo el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, 3 de ellos operan con refrigerante R22 y el otro sistema con refrigerante R502, los equipos a seleccionar deben de contar con la base de datos suficiente para determinar los valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento en base a estos 2 refrigerantes.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ahorro energético se enfoca en que los sistemas empleados consuman sólo la cantidad de electricidad necesaria para funcionar adecuadamente. Para lograrlo, se deben fabricar controles que respondan a las necesidades cada vez más precisas del mercado. El control debe garantizar a los usuarios que ahorrarán energía; de otro modo, prescindirá de usarlo. En otras palabras, el ahorro se cuantifica por metro mediante la medición y recopilación de datos de consumo en cada uno de los equipos instalados dentro de recintos específicos: consumo claro y preciso. De igual forma, la operación de los sistemas de control debe ser sencillo y no presentar dudas para el cliente, que ya ha dado el paso importante: buscar un consumo responsable. Es aquí donde se vuelve importante la operatividad, ya que la facilidad y practicidad en el manejo de los sistemas fomentarán su difusión. Si el equipo presenta dificultades al usuario, de modo que se vuelve más un problema que una solución, no llegará a representar una opción para mejorar el funcionamiento de los sistemas HVAC. En cambio, si la claridad del manejo está al alcance de los usuarios como una característica imprescindible, tomada en cuenta desde el diseño por el fabricante, la implementación de sistemas de monitoreo será cada vez una práctica más cotidiana.

Actualmente el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado de la Institución Universitaria Pascual Bravo no cuenta con un sistema idóneo para la medición del sobrecalentamiento y subenfriamiento de todos los sistemas allí instalados, lo que implica una operación no exactamente en el punto de máxima eficiencia de todos los equipos, incurriendo de esta manera en un exceso de consumo de energía que puede ser disminuido si estos parámetros se encontrasen en sus puntos adecuados de operación.

2. JUSTIFICACIÓN

La calidad de las practicas realizadas al interior del laboratorio contribuirán a una mejor formación en los estudiantes y así mismo se considera un aporte desde la academia hacia la industria el contar con profesionales en capacidad de proponer soluciones simples a problemas típicos de aquellas empresas que de una u otra forma involucren en sus procesos productivos sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

Con este proyecto se pretende llevar las prácticas laborales que se hacen en una empresa o industria al laboratorio de clases, con el fin de ampliar y fortalecer el conocimiento adquirido durante la etapa de profesionalización, además este proyecto ayudaría a que los estudiantes puedan ver los procesos y tener la facultad de realizar proyectos de investigación para mejorar dichos procesos. Para lograr esto se contó con la ayuda de expertos en el tema como lo es el ingeniero Arley Salazar.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar la instrumentación para medir el sobrecalentamiento y subenfriamiento de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación sobre el sobrecalentamiento en un sistema de aire acondicionado que operan con válvula de expansión termostática.
- Compilar toda la información relacionada de sobrecalentamiento y subenfriamiento en sistemas de refrigeración y su medición.
- Realizar ejemplos para el cálculo para control del sobrecalentamiento en un sistema de refrigeración para conservación y congelación.

4. MARCO TEÓRICO

Los sistemas de refrigeración actuales tienen menos posibilidades de fallar a corto plazo con la adopción de medidas tecnológicas, por lo que se hace hincapié en la reducción de las emisiones mediante la optimización del funcionamiento y el control del sistema. Esto permite que se tengan parámetros que definiremos en este numeral del proyecto y me determinaran que un sistema funcione correcta y eficientemente.

4.1 LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA O VÁLVULA DE TERMO-EXPANSIÓN

“Es un dispositivo de medición diseñado para regular el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador, en la misma proporción en que el refrigerante líquido dentro del evaporador se va evaporando.

Esto lo logra manteniendo un sobrecalentamiento predeterminado a la salida del evaporador (línea de succión), lo que asegura que todo el refrigerante líquido se evapore dentro del evaporador, y que solamente regrese al compresor refrigerante en estado gaseoso. La cantidad de gas refrigerante que sale del evaporador puede regularse, puesto que la termo-válvula responde a:

- La temperatura del gas que sale del evaporador
- La presión del evaporador.

En conclusión, las principales funciones de una válvula de termo expansión son: reducir la presión y la temperatura del líquido refrigerante, alimentar líquido a baja presión

hacia el evaporador, según la demanda de la carga, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.”¹

Para describir el funcionamiento de las válvulas de termo expansión, es conveniente recordar algunos conceptos de refrigeración que están asociados con su funcionamiento:

4.2 LÍNEA DE SUCCIÓN

Es el tramo de tubería que une al evaporador con el compresor y por donde circula el vapor sobrecalentado o gas de succión.

4.3 LÍNEA DE LÍQUIDO

Es el tramo de tubería que une al Condensador con la VTE, y en el cual circula refrigerante líquido a alta presión.

4.4 TEMPERATURA DE SATURACIÓN

Es la temperatura a la que se evapora el refrigerante dentro del evaporador. También se le conoce como temperatura de evaporación; en ese punto, el vapor y el líquido tienen la misma temperatura.

¹ Descripción de dispositivos de expansión termostática en sistemas de refrigeración. Universidad Veracruzana facultad de ingeniería mecánica eléctrica. director de trabajo recepcional, ing. César Ignacio Valencia Gutiérrez. Febrero 2011. Pág. 53.

4.5 CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN

Es el calor recogido por el refrigerante al pasar de líquido a vapor. No hay aumento en la temperatura.

4.6 CALOR SENSIBLE

Es el calor utilizado por el refrigerante para aumentar su temperatura, ya sea que esté en fase líquida o de vapor; es decir, por abajo o arriba de su temperatura de saturación. Cuando está en forma de vapor, este calor le ocasiona el sobrecalentamiento al refrigerante.

4.7 EVAPORACIÓN COMPLETA

Es el punto dentro del evaporador en el que el refrigerante líquido se convierte a vapor. Este punto lo determina la cantidad de líquido que entra al evaporador y después de este punto, el calor que recoge el vapor es calor sensible y es sobrecalentado.

4.8 RELACIONES ENTRE TEMPERATURA Y PRESIÓN

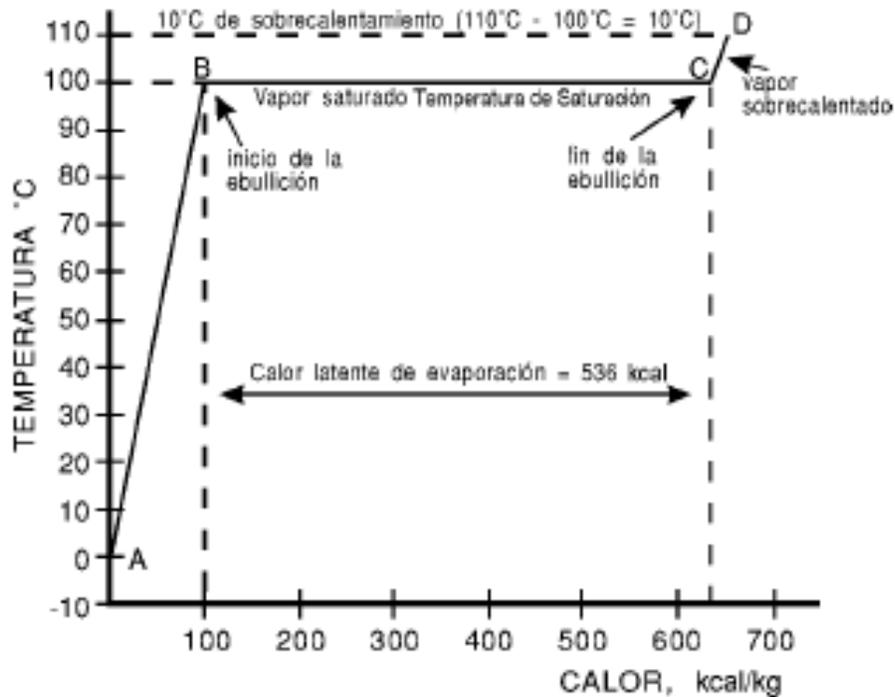
Esta relación es fundamental analizarla para cualquier fluido ya que es importante conocerlo para entender lo que es el sobrecalentamiento del sistema.

Cuando aplicamos calor a una sustancia y la presión permanece constante, la sustancia tendrá algunos cambios, tales como variaciones en su temperatura o cambios de

estado. En la Figura 1, se muestran los cambios que ocurren cuando se le aplica calor a un kilogramo de agua que se encuentra originalmente a 0 °C y a la presión atmosférica:

1. La línea A-B representa el calor sensible, necesario para elevar la temperatura del líquido desde 0 °C (punto de congelación), hasta 100°C (punto de ebullición). Se requiere un total de 100 kilocalorías.
2. A partir de este punto ("B"), si se sigue agregando continuamente calor, la temperatura del agua no cambia, permanece en 100°C, lo que cambia es su estado pasando de líquido a vapor. Esta condición continúa hasta que se evapora la última gota de agua (punto "C"). El vapor producido durante la ebullición, tiene la misma temperatura que el líquido y se le conoce como vapor saturado. El calor total requerido para evaporar un kilogramo de agua es de 536 kilocalorías y se conoce como calor latente de evaporación.
3. Si todo el vapor producido por el kilogramo de agua se sigue calentando, se elevará su temperatura arriba de 100°C. Este calor se llama sensible. La temperatura arriba de 100°C es el sobrecalentamiento y también se mide en grados. En el punto "D" de la figura, se muestra claramente que el vapor a 110°C y presión atmosférica es vapor que ha sido sobrecalentado 10°C.

Figura 1. Efecto del calor sobre el agua a la presión atmosférica



Fuente: Descripción de dispositivos de expansión termostática. Universidad Veracruzana. Director de trabajo, ing. César Ignacio Valencia Gutiérrez. Febrero 2011. Pág. 56

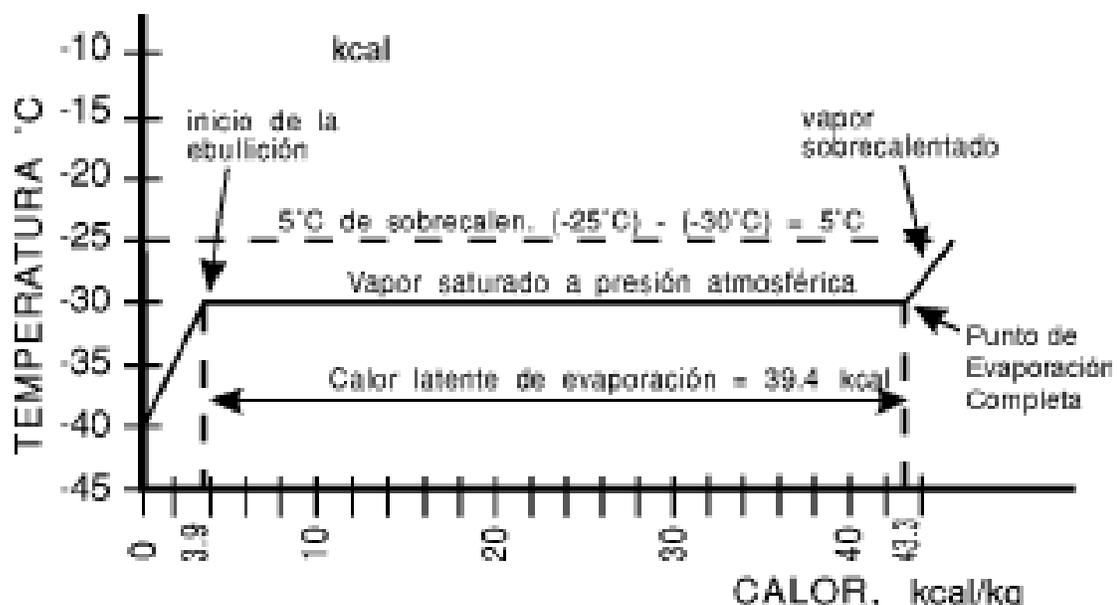
4.9 PRINCIPIOS DEL SOBRECALENTAMIENTO

Para cualquier otro fluido diferente al agua, el comportamiento es similar, sólo que los cambios se llevan a cabo en un rango de temperaturas distinto. En la Figura 2, se muestran los cambios que se llevan a cabo cuando se aplica calor al refrigerante 12. Como ya sabemos, la temperatura de ebullición del R-12, a la presión atmosférica, es de -30 °C. De manera similar que al agua, cuando todo el líquido se ha evaporado, cualquier cantidad de calor adicional, aumentará la temperatura del vapor por arriba de la de saturación, sobrecalentándolo. Como podemos ver en la Figura 2, para aumentar

la temperatura de un kilogramo de R-12 líquido desde $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, su temperatura de ebullición, se requieren aproximadamente 3.9 kilocalorías. Para evaporar todo el kilogramo de R-12 se requerirán 39.4 kilocalorías más, lo que sería el calor latente de evaporación.

El vapor formado se sigue calentando, el calor agregado sería calor sensible y sólo serviría para sobrecalentar el vapor. Así, si se eleva la temperatura del vapor hasta $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, tendrá un sobrecalentamiento de $(-30)-(-25)$, es decir, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En conclusión, el sobrecalentamiento no es solamente una temperatura, es una diferencia de temperaturas. Su valor es igual a los grados de temperatura que el vapor tiene por arriba de la temperatura de saturación.

Figura 2. Refrigerante 12 a la presión atmosférica



Fuente: Descripción de dispositivos de expansión termostática. Universidad Veracruzana. Director de trabajo recepcional, ing. César Ignacio Valencia Gutiérrez. Febrero 2011. Pág. 56

4.9.1 Importancia del sobrecalentamiento.

Significa que es la condición en la cual el refrigerante, completamente evaporado, comienza a calentarse al absorber más calor y no existe más líquido que se evapore. Es decir, si se tiene un sobrecalentamiento correcto se va a lograr que el equipo opere eficientemente y además no va a existir el riesgo de que regrese líquido al compresor, ya que todo el gas que regrese a éste va a estar en fase de vapor. El sobrecalentamiento recomendado, según la aplicación a la salida del evaporador, es el siguiente:

- Para temperatura alta:
(Temperatura de evaporación: cero grados centígrados o mayor). El sobrecalentamiento debe estar entre los 6 y los 7 grados centígrados.
- Para temperatura media:
(Temperatura de evaporación: -18 a 0 grados centígrados) El sobrecalentamiento debe estar entre los 3 y los 6 grados centígrados.
- Para temperatura baja:
(Temperatura de evaporación: debajo de -18 grados centígrados)
El sobrecalentamiento debe estar entre 1 y 3 grados centígrados.

Para todos los compresores de refrigeración, el sobrecalentamiento debe estar en 11° C ó 20° F para garantizar su funcionamiento correcto, independientemente de la aplicación y del tamaño. La lectura de temperatura debe hacerse en la succión del compresor. Este dato puede variar ligeramente dependiendo de la marca del mismo.

4.9.2 Limite de temperatura de vapor a la salida del evaporador.

Para diferenciales de temperatura de diseño (DT) de evaporación de 5.55 °C (10 °F), se recomienda un sobrecalentamiento de 3.33 °C a 5.55 °C (6 °F a 10 °F) para la mejor eficiencia de su sistema de refrigeración.

Para otros sistemas seleccionados con diferenciales de temperatura (DT) de evaporación mayor, un buen valor de sobrecalentamiento es de 6.7 °C a 8.33°C (12 °F a 15 °F).

Los DT de evaporación del orden de 5.55 °C (10 °F) normalmente se emplean en sistema de refrigeración en donde se desee altas humedades relativas interiores para conservar productos tales como: cárnicos, frutas y verduras, productos del mar, etc., y evitar que estos se deshidraten. Mientras que para DT mayores su uso principalmente se puede encontrar en aplicaciones tales como: salas de corte y/o proceso, productos farmacéuticos, cavas de vinos, etc., en donde es común tener bajas humedades relativas interiores.

4.9.3 Medición del sobrecalentamiento.

Existen varios métodos de medir el sobrecalentamiento a continuación se describen los dos más importantes

- **El sobrecalentamiento del evaporador.**

En el evaporador o como la mayoría de los mecánicos instaladores llamaría “el difusor”. El sobrecalentamiento del evaporador lo medimos de acuerdo a lo siguiente:

1. Medir la temperatura en el bulbo sensor de la válvula de expansión o cerca de éste y tomar dicho registro.
2. Medir la presión de succión, normalmente los evaporadores BOHN traen en su cabezal de succión una válvula pivote para facilitar la medición de dicho valor de presión. En caso de que su evaporador no cuente con esta válvula, recomendamos medir la presión lo más cerca de la conexión del igualador externo.
3. Con la ayuda de la Tabla 1 presión temperatura y con la presión medida y el tipo de refrigerante usado en su sistema de refrigeración localice la temperatura que le corresponde a esta presión.

Tabla 1. Tabla Presión Vs Temperatura




BCT-028
UL LISTED PRODUCT NUMBER
REGISTERED UNDER FILE NO. 24-04040-0002

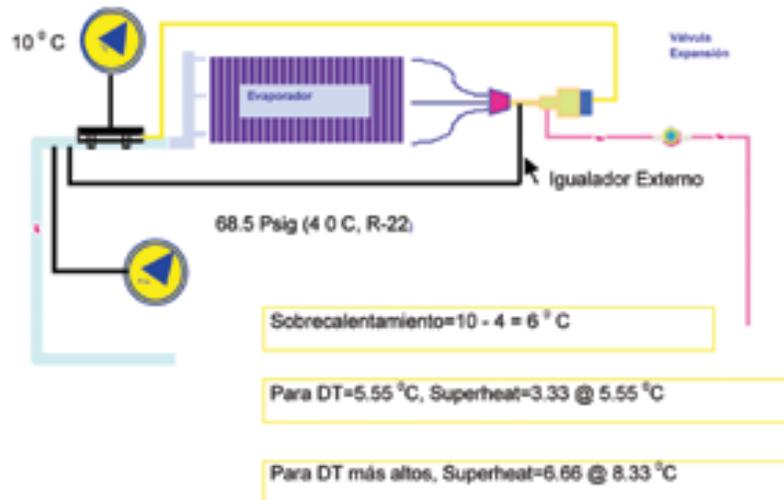
TABLA TEMPERATURA-PRESION
VALORES EN ROJO=VACIO
VALORES EN AZUL=PRESION DE VAPOR (PSIG)
VALORES EN AZUL INTENSO=PRESION DE LIQUIDO (PSIG)

°C	°F	R-12	R-22	R-502	R-134a	AZ-50 (R-507)	HP-62 (R-604A)
-45.6	-50	15.4	6.2	0.2	18.4	0.9	0.0
-44.4	-48	14.6	4.8	0.7	17.7	1.7	0.8
-43.3	-46	13.8	3.4	1.5	17.0	2.6	1.6
-42.2	-44	12.9	2.0	2.3	16.2	3.5	2.5
-41.1	-42	11.9	0.5	3.2	15.4	4.5	3.4
-40.0	-40	11.0	0.5	4.1	14.5	5.5	5.5
-38.9	-38	10.0	1.3	5.0	13.7	6.5	6.5
-37.8	-36	8.9	2.2	6.0	12.8	7.6	7.5
-36.7	-34	7.8	3.0	7.0	11.8	8.7	8.6
-35.6	-32	6.7	4.0	8.1	10.8	9.9	9.7
-34.4	-30	5.5	4.9	9.2	9.7	11.1	10.8
-33.3	-28	4.3	5.9	10.3	8.6	12.4	12.0
-32.2	-26	3.0	6.9	11.5	7.7	13.7	13.2
-31.1	-24	1.6	7.9	12.7	6.2	15.0	14.5
-30.0	-22	0.3	9.0	14.0	4.9	16.4	15.8
-28.9	-20	0.6	10.1	15.3	3.6	17.8	17.1
-27.8	-18	1.3	11.3	16.7	2.3	19.3	18.5
-26.7	-16	2.1	12.5	18.1	.8	20.9	20.0

Fuente: BOHN SA. Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo. México. 2008.

4. El sobrecalentamiento será el valor absoluto resultante de la resta de la temperatura medida en el paso No. 1 menos la temperatura de succión del paso No. 3.

Figura 3. Ejemplo de medición de sobrecalentamiento del evaporador



Fuente: BOHN SA. Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo. México. 2008.

De acuerdo con el ejemplo antes descrito en la Figura 3, el sobrecalentamiento podemos decir que es aceptable y que no hay razón alguna para que se le siga cargando refrigerante al sistema. El valor del el sobrecalentamiento anterior nos indica que nuestro sistema se encuentra ajustado correctamente y que estamos garantizando la adecuada operación del mismo.

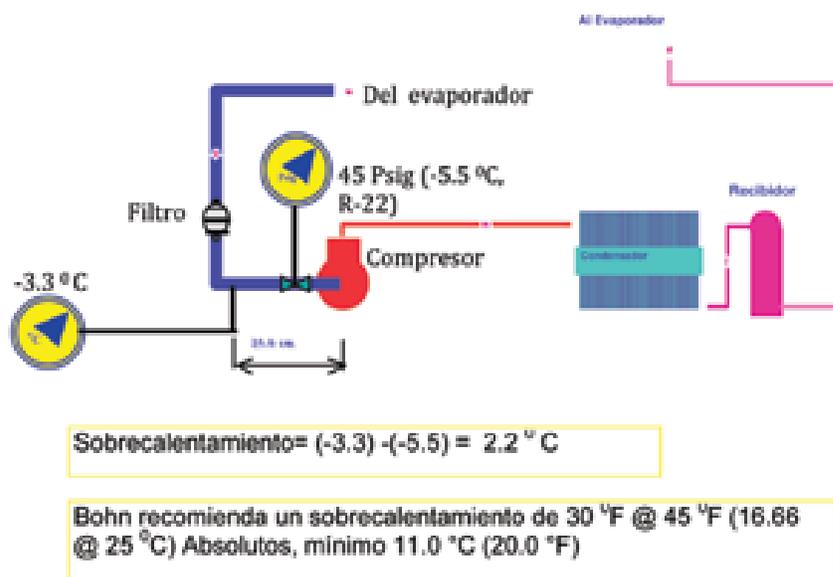
Cuando el sobrecalentamiento se encuentra dentro de los valores recomendados y el cristal mirilla de líquido se encuentre aun burbujeando, por favor ya no cargue refrigerante a su sistema, el burbujeo se puede deber a alguna obstrucción en una tubería y/o filtro, etc.

- **El Sobrecalentamiento del compresor.**

El sobrecalentamiento del compresor. Este lo podemos medir de acuerdo a los siguientes pasos.

1. Mida la presión de succión del compresor y tome nota de esta.
2. Con la ayuda de la tabla presión temperatura encuentre la temperatura de evaporación (temperatura de succión) correspondiente a esta presión y tome nota.
3. Mida la temperatura sobre la tubería de succión del compresor a una distancia de 15 centímetros a 25 centímetros (6 pulgadas a 10 pulgadas) de la válvula de succión del compresor.
4. El sobrecalentamiento será el valor absoluto del resultado de la resta de la temperatura del paso número 3 menos la temperatura del paso número 2.

Figura 4. Ejemplo de medida para el compresor



Fuente: BOHN SA. Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo. México. 2008.

De acuerdo con este ejemplo ilustrativo de la Figura 4 de medición del sobrecalentamiento en el compresor podemos deducir que nuestro sistema se encuentra con un grave problema debido a que éste se encuentra muy por debajo del valor recomendado que es 11.0 °C como valor mínimo. Lo más seguro es que con este valor le esté regresando el vapor refrigerante demasiado frío o en estado líquido lo cual es un serio problema para nuestro compresor, si lo dejamos así, en cualquier momento tendrá una falla prematura. Algunas de las soluciones a este problema es verificar lo siguiente:

- Tamaño de la válvula de expansión.
- ¿La válvula es la adecuada para la aplicación?, ¿Es de media o baja temperatura su válvula de expansión?
- Carga de refrigerante.
- Funcionamiento de los motores ventiladores del evaporador.
- Colocación del bulbo sensor de la válvula de expansión.
- Se encuentra aislado el bulbo sensor
- En qué estado se encuentra el serpentín del evaporador ¿Se encuentra limpio? ¿Escarchado? ¿Es adecuado el evaporador para el tamaño de su unidad condensadora y/o compresor?

4.10. EL SOBRECALENTAMIENTO

“Es la diferencia de temperatura medida simultáneamente por un termómetro en un punto menos la temperatura de vapor saturado medida por un manómetro en el mismo

punto o mejor aún consultada en tablas dada la presión del manómetro más la presión atmosférica. Muchos manómetros tienen escalas de temperatura promedio y usarlas en lugar de las de vapor saturado introduce un error sistemático en la medición con los refrigerantes no azeotrópicos, por lo que recomendamos el uso de tablas adecuadas.”²

En los procedimientos de adecuación de gases y de técnicas de diagnóstico de fallas se conoce un concepto que se llama sobrecalentamiento. Pero, ¿qué es el sobrecalentamiento? Éste se define como la diferencia de la temperatura medida a la salida del evaporador y la temperatura de la tabla P/T de los gases, es decir:

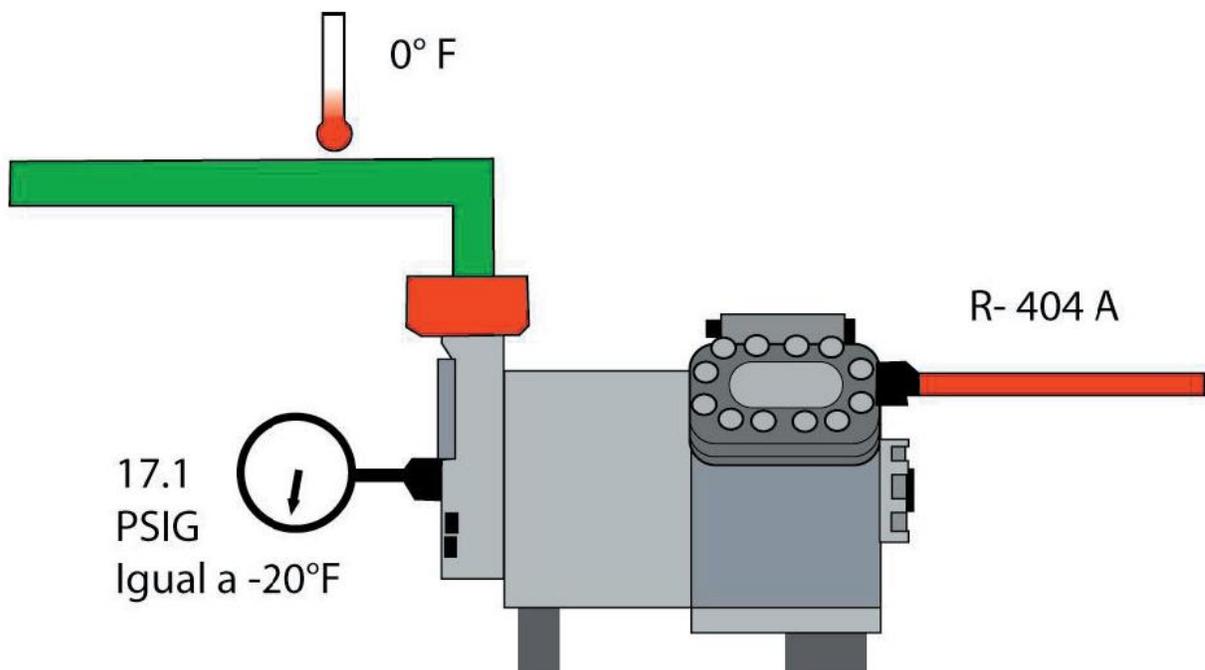
1. Se determina primero la presión de succión mediante la lectura del manómetro a la salida del evaporador. En instalaciones pequeñas o en equipos auto contenidos, la medición se puede hacer en la conexión de succión del compresor.
2. De las tablas P/T, se determina la temperatura de saturación, a la presión de succión observada.
3. Se toma la lectura de la temperatura del gas de succión, próximo al lugar donde se localiza el bulbo sensor remoto, de la válvula de expansión termostática.
4. Si la tabla P/T con la que se mida el sobrecalentamiento dice psi, es necesario sumarle 14.7 psi para convertir la presión absoluta en presión manométrica (PSI).

² Variables operativas que permiten diagnosticar un Sistema de Refrigeración Mecánica de Expansión Directa y Seca. Tomás Cané, Ing. Industrial PUC. Revista Frío y Calor n°85 - Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G. 2014. Pág. 4.

5. Se resta la temperatura de saturación leída de las tablas, en el paso N° 2, de la temperatura leída en el paso N° 3. La diferencia es el sobrecalentamiento del gas de succión.

En la Figura 5 se muestra la forma en la que se realiza la medición del sobrecalentamiento de un compresor y la escala en grados a la que debe estar.

Figura 5. Diagrama para medir el sobrecalentamiento en un compresor



Fuente: BOHN SA. Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo. México. 2008.

4.11 SUBENFRIAMIENTO

“En la refrigeración, el subenfriamiento es el proceso por el cual un refrigerante líquido saturado se enfría por debajo de la temperatura de saturación, lo que obliga a cambiar su fase completamente. El líquido resultante se denomina líquido subenfriado y es conveniente el estado en el que los refrigerantes pueden someterse a las etapas restantes de un ciclo de refrigeración. Normalmente, un sistema de refrigeración tiene una etapa de subenfriamiento, permitiendo a los técnicos para estar seguro de que la calidad, en el que el refrigerante alcanza el siguiente paso en el ciclo, es el deseado, este puede tener lugar en los intercambiadores de calor y fuera de ellos. Siendo ambos procesos similares e inversa, subenfriamiento y sobrecalentamiento son importantes para determinar la estabilidad y el buen funcionamiento de un sistema de refrigeración.”³

4.11.1 Aplicaciones del subenfriamiento.

Se utiliza normalmente para que cuando el refrigerante llega a la válvula de expansión termostática, su totalidad es en su forma líquida, por lo tanto, permitiendo que la válvula funcione correctamente.

Otra aplicación importante y muy común de subenfriamiento es su uso indirecto en el proceso de recalentamiento. Sobrecalentamiento es análoga a subenfriamiento en una forma operativa, y ambos procesos se puede acoplar usando un intercambiador de calor interno. Subenfriamiento aquí sirve a sí mismo desde el supercalentamiento y viceversa, permitiendo que el calor fluya desde el refrigerante a una presión más alta, a la que con presión más baja. Esto crea una equivalencia energética entre el

³ Subenfriamiento, Aplicaciones. E-centro. Manual técnico. admisionesareandina.com. 2014. Pag 2

subenfriamiento y los fenómenos de sobrecalentamiento cuando no hay pérdida de energía.

“Normalmente, el fluido que se está subenfriado es más caliente que el refrigerante que se está sobrecalentado, lo que permite un flujo de energía en la dirección necesaria. Sobrecalentamiento es crítica para el funcionamiento de los compresores debido a un sistema que carece que puede proporcionar el compresor con una mezcla de gas líquido, situación que generalmente conduce a la destrucción del compresor de gas debido a líquido es incompresible. Esto hace que subenfriamiento una fuente fácil y generalizada de calor para el proceso de recalentamiento.”⁴

4.11.2 Tipos de subenfriamiento.

- **Subenfriamiento en el condensador.**

El subenfriamiento del líquido dentro del condensador, puede ser determinado mediante la diferencia de temperatura de condensador y la del líquido a la salida del condensador. Cuando es subenfriado no hay pérdida en su presión de vapor.

- **Subenfriamiento total.**

Abarca desde el subenfriamiento del condensador con líquido saturado o la mezcla líquido-vapor hasta el dispositivo del control de líquido del sistema (válvula de expansión, tubo capilar, etc.), esto significa que en el subenfriamiento de total se incluye el del condensador, y el de cualquier otro subenfriamiento que tenga lugar después de

⁴ Copeland Corporation, Manual de Refrigeración, Parte 1, Principios de Refrigeración. 2002.

este, se puede subenfriar en el recibidor, en el filtro secador, tubería o línea de líquido, hasta el dispositivo de control de líquido.

4.12 COEFICIENTE DE OPERACIÓN

El coeficiente de operación es la cantidad de potencia que requiere el sistema por ciertas unidades de calor extraído.

Dados estos conceptos estamos en capacidad de realizar las mediciones necesarias para calcular el sobrecalentamiento y el subenfriamiento en los sistemas que operan bajo el ciclo de refrigeración por compresión de vapor del Laboratorio de Refrigeración y Aire acondicionado del Pascual Bravo

5. METODOLOGÍA

El proyecto se dividirá en dos fases, en la fase 1 se debe de realizar la fundamentación teórica relacionada con los temas de sobrecalentamiento y subenfriamiento en sistemas de refrigeración por compresión de vapor, mientras que la fase 2 centrara sus esfuerzos en describir los procedimientos específicos para cada uno de los equipos que componen el laboratorio, realizado medidas de campo y operación de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado instalados en el laboratorio del IUPB.

Fase 1 Fundamentación Teórica y Técnica

Como punto de partida se han de describir los procedimientos generales para la medida de los valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento para sistemas de expansión directa, tal información se ha de consultar en bibliografía de autores reconocidos y expertos en el tema. El procedimiento debe de incluir cuales son los puntos correctos para realizar la medición de presión y temperatura, lectura de las tablas de P vs T de cada refrigerante, tipos de equipos para la medición de temperatura, finalmente un procedimiento de análisis de estos valores.

Fase 2 Diseño e implementación de guías de laboratorio.

Una vez adquiridos los equipos los integrantes del grupo deberán de describir el procedimiento puntual para cada uno de los equipos que componen el laboratorio, teniendo en cuenta que cada uno de estos opera con un refrigerante. Se deberán realizar mediciones de la siguiente forma:

- Medición de sobrecalentamiento en el módulo mini Split de 18000BTU/h.

- Medición de subenfriamiento en el módulo mini Split de 18000 BTU/h.
- Medición de sobrecalentamiento en el sistema Split Central de 5 TR.
- Medición de subenfriamiento en el sistema Split Central de 5 TR.
- Medición de sobrecalentamiento en los sistemas de congelación y conservación.
- Medición de subenfriamiento en los sistemas de congelación y conservación.

Una vez realizadas estas medidas se debe de realizar un comparativo que permita determinar las eficiencias del ciclo en cada sistema mediante la siguiente formula

$$COP = \frac{\text{Efecto Refrigerante}}{\text{Trabajo en el Compresor}}$$

$$COP = \frac{h_s - h_e}{h_s - h_{dc}}$$

Donde h_s es la entalpia en la salida del evaporador, h_e es la entalpia en la entrada del evaporador, y h_{dc} es la entalpia a la descarga del compresor.

5.1 RECURSOS

5.1.1 Humanos.

Se contara con el apoyo de personal profesional con experiencia de campo y en la academia relacionada con el área de la refrigeración y el aire acondicionado.

5.1.2 Técnicos.

Las referencias bibliográficas a fines al tema serán de apoyo para la estructuración de la fase 1, mientras que la fase 2 se desarrollará con el apoyo de manuales e información por parte de proveedores, quien en base a nuestras necesidades de medición ofertarán los equipos que cumplan con los requisitos para la medición de los valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento en los equipos de refrigeración existentes en el laboratorio de la IUPB.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

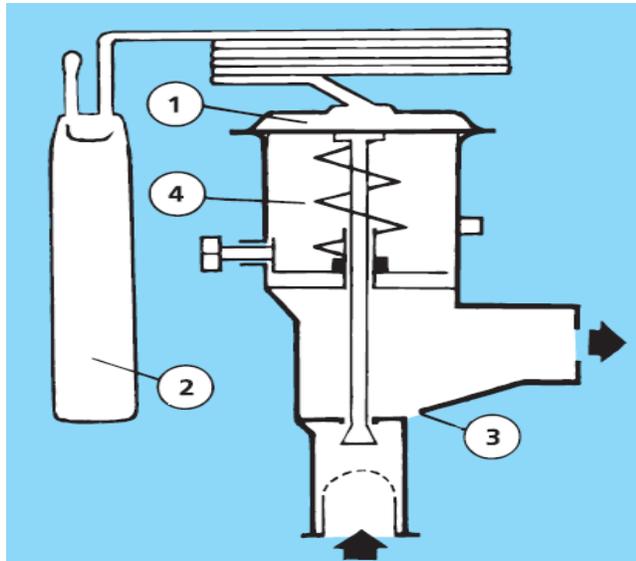
A continuación se mencionará la importancia de la medición del sobrecalentamiento así como el cálculo de este, también se menciona la medida del subenfriamiento y se hablará sobre la válvula de expansión y su funcionamiento ya que es importante tenerla en cuenta porque su buen funcionamiento depende de la medición de un sobrecalentamiento del sistema.

6.1 VÁLVULA DE EXPANSIÓN

“La Figura 6 ilustra los componentes principales de una válvula de presión y consta de un elemento termostático (1) separado del cuerpo de válvula por una membrana. El elemento termostático está en contacto con un bulbo (2) a través de un tubo capilar, un cuerpo de válvula (3) y un muelle (4).”⁵

⁵ Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

Figura 6. Componentes principales de una válvula termostática



Fuente: Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

6.1.1 Funcionamiento de una válvula de expansión termostática.

El funcionamiento está determinado por 3 presiones fundamentales:

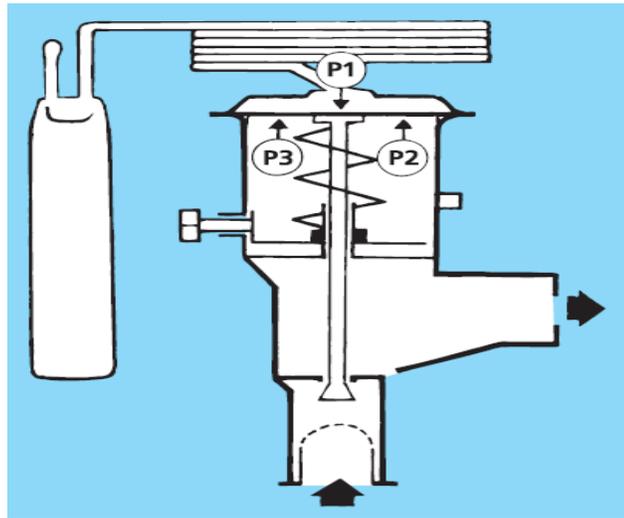
P1: La presión del bulbo que actúa en la parte superior de la membrana y en la dirección de la apertura de la válvula.

P2: La presión del evaporador, que influye en la parte inferior de la membrana y en la dirección del cierre de la válvula.

P3: La presión del muelle, que igualmente actúa en la parte inferior de la membrana y en la dirección del cierre de la válvula.

Como se muestra en la Figura 7 Cuando la válvula regula, hay un balance entre la presión del bulbo por un lado de la membrana y la presión de evaporación y del muelle por el lado opuesto de la membrana. Por medio del muelle se ajusta el recalentamiento.

Figura 7. Presiones fundamentales de la válvula termostática

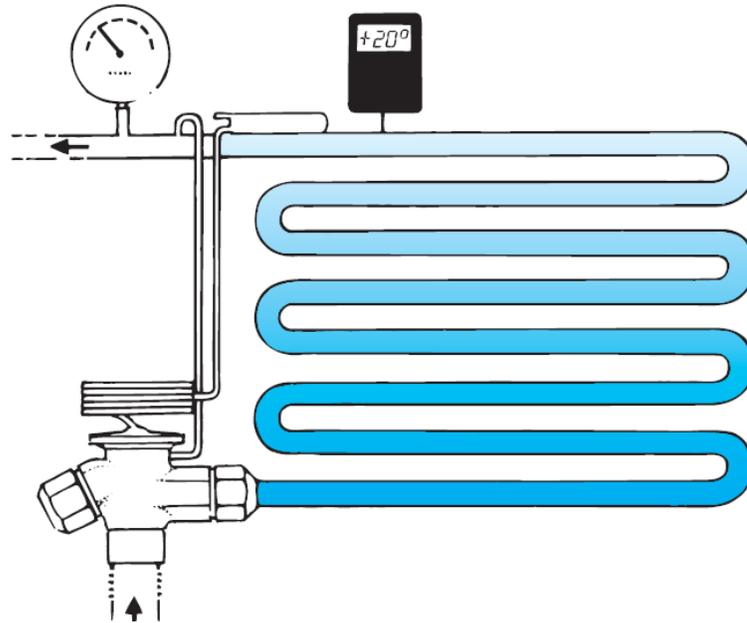


Fuente: Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

6.2 MEDICIÓN DEL RECALENTAMIENTO

El recalentamiento se mide (Figura 8) en el lugar donde está situado el bulbo en la tubería de aspiración, el resultado es la diferencia entre la temperatura existente en el bulbo y la presión de evaporación / temperatura de evaporación en el mismo lugar. El recalentamiento se mide en Kelvin (K) o en °C y se emplea como señal reguladora de inyección de líquido a través de la válvula de expansión.

Figura 8. Medición de recalentamiento

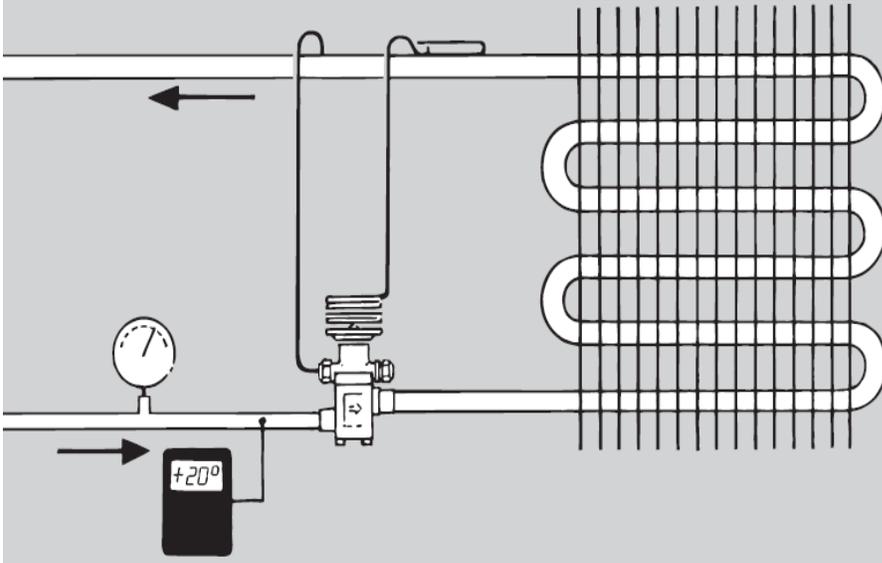


Fuente: Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

6.3 MEDICIÓN DEL SUBENFRIAMIENTO

El subenfriamiento se define como la diferencia entre la temperatura del líquido y la presión/temperatura de condensación a la entrada de la válvula de expansión. El subenfriamiento se mide (Figura 9) en Kelvin (K) o en °C. El subenfriamiento del refrigerante es necesario para evitar burbujas de vapor en el líquido delante de la válvula. Las burbujas de vapor merman la capacidad de la válvula y por consiguiente reducen el suministro de líquido al evaporador. Un subenfriamiento de un valor de 4-5K es suficiente en la mayoría de los casos.

Figura 9. Medición de subenfriamiento



Fuente: Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

6.3.1 Identificación de la válvula.

El elemento termostático está equipado con una etiqueta (parte superior del diafragma). El código indica el refrigerante para el que está diseñada la válvula:

X = R 22

Z = R 407C

N = R 134a

L = R 410A

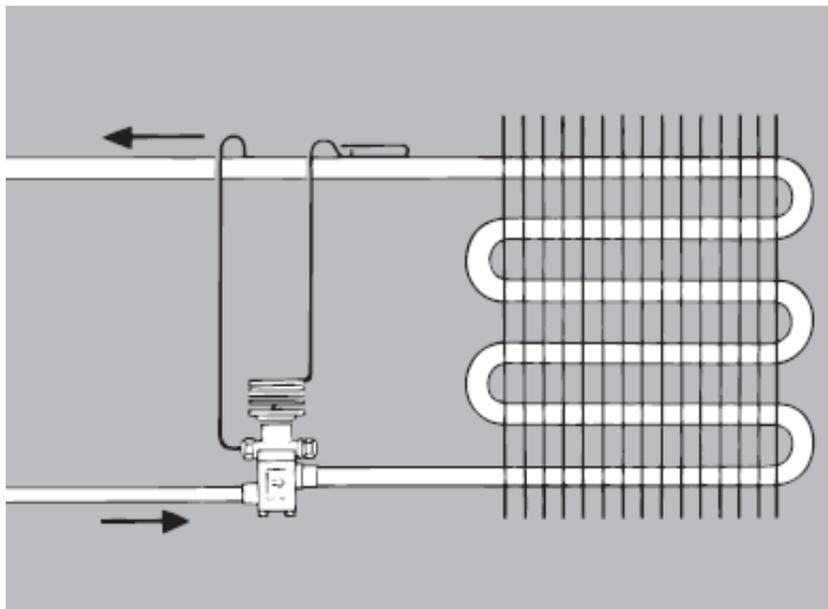
S = R 404A/ R507

La etiqueta indica así mismo, el tipo de válvula, rango de temperatura de evaporación, punto MOP, refrigerante, y presión máxima de prueba PS/MWP. En las válvulas TE 20 y TE 55 la capacidad nominal está sellada en una etiqueta adherida a la válvula.

6.3.2 Montaje.

La válvula de expansión se monta en la tubería de líquido delante del evaporador como se muestra en la Figura 10, y su bulbo se sujeta a la tubería de aspiración lo más cerca posible al evaporador. En caso de que haya igualación de presión externa, la tubería de igualación deberá conectarse a la tubería de aspiración inmediatamente después del bulbo.

Figura 10. Montaje de la válvula termostática



Fuente: Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003.

6.4 CÁLCULO PARA EL CONTROL DEL SOBRECALENTAMIENTO

“Es necesario que no entre líquido al compresor, por tal motivo se aplica un sobrecalentamiento a la salida del evaporador. Es práctica común hacer que el refrigerante salga del evaporador ligeramente sobrecalentado. Se recomienda que la válvula controle un sobrecalentamiento de 4 a 8 °C, por otra parte, un exceso de sobrecalentamiento indica que la superficie de transferencia de calor no se utiliza con eficiencia. La válvula de expansión termostática puede operar para controlar un sobrecalentamiento constante, en las condiciones de salida del evaporador. A continuación se muestra varios ejemplos de cómo controlar el sobrecalentamiento”⁶

6.4.1 Ejemplo 1.

Se tiene un sistema de refrigeración usando M049 plus, se desean 5°C de sobrecalentamiento a la salida del evaporador, la válvula de expansión está en estado estable, la temperatura del evaporador es de -7°C, por consiguiente la presión del evaporador es de 285.30kPa. La presión del resorte se ha ajustado a 51.02 kPa = 7.4 Psi. La fuerza total de cierre es igual a la suma de ambas presiones por ($P_b = P_r + P_e$).

$$P_b = (285.30 + 51.02)kPa = 336.32kPa$$

Debido a que la carga del bulbo también está cargado con M049 plus, el cual se encuentra es estado de saturación es posible determinar la temperatura a 336.32 kPa tomando de las tablas de las propiedades termodinámicas se tiene -2.5°C, esta es la

⁶ Instituto Politécnico Nacional. Ing. Cuauhtemoc Jiménez Castillo. Tesis de investigación. México. Enero 2012. Pag 32.

temperatura del refrigerante a la salida del evaporador, puesto que la línea de succión y del bulbo están unidos a otro y tienen buen contacto térmico, por tal motivo se tiene:

$$\text{Sobrecalentamiento} = -7^{\circ}\text{C} - (-2.5^{\circ}\text{C}) = -5^{\circ}\text{C} = |5^{\circ}\text{C}|$$

6.4.2 Ejemplo 2.

La presión de evaporación de un sistema de refrigeración usa M049 plus, con una VET cargada con líquido es de 255.10kPa, ¿Cuál debe ser la temperatura del bulbo (la temperatura de succión), a la salida del evaporador para obtener un sobrecalentamiento de 8°C? ¿Cuál esta presión del resorte para esta condición?

La temperatura de evaporación del M049 plus corresponde a 255.10kPa es de -10°C por lo tanto la temperatura de succión debe ser:

$$T_{bulbo} = T_{evaporación} + \text{sobrecalentamiento}$$

$$T_{bulbo} = (-10 + 8)^{\circ}\text{C}$$

$$T_{bulbo} = -2^{\circ}\text{C}$$

La presión del bulbo a -2°C es de 340.90 kPa, por consiguiente del resorte es:

$$P_r = P_b + P_e = (340.90 - 255.10)\text{kPa}$$

$$P_r = -85.80\text{kPa}$$

6.4.3 Ejemplo 3.

Si la unidad del ejemplo anterior aumenta la presión del resorte a 300.20 kPa haciendo girar el vástago de ajuste ¿Cuál es el efecto el sobre el funcionamiento del sistema?

La presión del bulbo está dada por ($P_b = P_r + P_e$):

$$P_b = (300.20 - 255.10)kPa$$

$$P_b = 555.30kPa$$

A esta presión la temperatura de carga del M049 plus, de acuerdo con las tablas es 12,5°C. Por consiguiente el sobrecalentamiento del refrigerante sale del evaporador a:

$$[12.5 - (-10)^\circ C = 22.5^\circ C]$$

Esto indica que gran parte de la superficie del evaporador no se está utilizando para obtener el efecto de refrigeración útil, y que se le está subalimentando.

7. CONCLUSIONES

- A través de la implementación de un sistema de medición para determinar los valores de sobrecalentamiento y subenfriamiento se pretende generar un método para mejorar el funcionamiento y consumo energético de los equipos de refrigeración y aire acondicionado existentes en el laboratorio de la IUPB.
- El sobrecalentamiento a la salida del evaporador indica si está siendo bien alimentado por el dispositivo de expansión, si el compresor está operando en forma segura sin que le llegue refrigerante líquido y si el sistema está operando en forma estable.
- Para lograr un buen diagnóstico preventivo, se debe establecer primero un conjunto de valores base llamada “línea de referencia” que definen el comportamiento “normal” del sistema y desviaciones de esos valores deben ser investigados.
- Las variables que permiten establecer una base de operación de un sistema son presión de alta, presión de succión, amperaje, voltaje, temperatura de descarga, sobrecalentamiento a la salida del evaporador, subenfriamiento a la salida del condensador, subenfriamiento a la entrada del dispositivo de expansión, presión a la entrada del dispositivo de expansión y cantidad de refrigerante cargada en el sistema.

8. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que el valor de la humedad relativa interior dependerá no solo de los equipos de refrigeración sino también de que usted evite las infiltraciones excesivas de aire exterior, de las condiciones climáticas, etc.". Si no se controlan estas infiltraciones, será imposible mantener la humedad en los niveles requeridos. Por consiguiente, será mejor que vaya pensando en utilizar un sistema de humidificación o des humidificación según lo requiera la aplicación.
- Es mejor cargar el refrigerante por peso en kilogramos o libras.
- Para el sobrecalentamiento, su monitoreo y/o ajuste se lleve a cabo cuando el sistema de refrigeración se está acercando a la temperatura de operación deseada y su cuarto frío se encuentre por lo menos con una ocupación del 50 % de carga de producto. De la mano con el sobrecalentamiento, también se debe de monitorear la temperatura de la tubería de descarga del compresor y así poder evitar el desgaste prematuro del aceite lubricante y el desgaste prematuro de las partes internas del mismo. Para esto las temperaturas de descarga deberán estar de acuerdo a la siguiente características para que el técnico u operador la pueda medir de la manera siguiente:
 1. Mida la temperatura sobre la tubería de descarga del compresor a una distancia de 15 centímetros (6 pulgadas) de la válvula de descarga del compresor.
 2. Esta temperatura debe de estar de acuerdo a lo siguiente:
 - 107.0 °C es una operación normal
 - 121.0 °C es un peligro de falla
 - 135.0 °C es una falla segura

BIBLIOGRAFÍA

Descripción de dispositivos de expansión termostática en sistemas de refrigeración. Universidad Veracruzana facultad de ingeniería mecánica eléctrica. director de trabajo recepcional, ing. César Ignacio Valencia Gutiérrez. Febrero 2011. Pág. 53.

WHITMAN, William C.; JOHNSON, William M. Refrigeration and Air conditioning technology, ESPAÑA. Artes gráficas cuesta, S.A. 2000.

HERNÁNDEZ, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. MÉXICO. Limusa, 2009.

Formulario del Frio, Pierre Rapin, Patrick Jacquard, Alfaomega Marcombo, España p37, (2001)

Descripción de dispositivos de expansión termostática. Universidad Veracruzana. Director de trabajo recepcional, ing. César Ignacio Valencia Gutiérrez. Febrero 2011. Pág. 56

BOHN SA. Las fallas más comunes de su sistema de refrigeración y su solución en campo. México. 2008.

Variables operativas que permiten diagnosticar un Sistema de Refrigeración Mecánica de Expansión Directa y Seca. Tomás Cané, Ing. Industrial PUC. Revista Frío y Calor n°85 - Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G. 2014. Pág. 4

Subenfriamiento, Aplicaciones. E-centro. Manual técnico. admisionesareandina.com. 2014. Pag 2

Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003

Instituto Politécnico Nacional. Ing. Cuauhtemoc Jiménez Castillo. Tesis de investigación. México. Enero 2012. Pag 32

¹Copeland Corporation, Manual de Refrigeración, Parte 1, Principios de Refrigeración. 2002

¹Refrigeration and Air Conditioning. DANFOSS. Controls. RZ1AH205 Danfoss A/S (ESSC/jr), 02-2003

Instituto Politécnico Nacional. Ing. Cuauhtemoc Jiménez Castillo. Tesis de investigación. México. Enero 2012. Pag 32