

**ADQUISICIÓN E IMPLEMENTACION DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE
SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO EN SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

**JUAN DAVID GUERRERO CRESPO
LUIS FELIPE MONTOYA MONTOYA
JUAN CAMILO SÁNCHEZ MARTÍNEZ**

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

**ADQUISICIÓN E IMPLEMENTACION DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE
SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO EN SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

**JUAN DAVID GUERRERO CRESPO
LUIS FELIPE MONTOYA MONTOYA
JUAN CAMILO SÁNCHEZ MARTÍNEZ**

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	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA O VÁLVULA DE TERMO- EXPANSIÓN	16
4.2 LÍNEA DE SUCCIÓN	17
4.3 LÍNEA DE LÍQUIDO	17
4.4 TEMPERATURA DE SATURACIÓN	17
4.5 CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN	18
4.6 CALOR SENSIBLE	18
4.7 EVAPORACIÓN COMPLETA	18
4.8 RELACIONES ENTRE TEMPERATURA Y PRESIÓN	18
4.9 PRINCIPIOS DEL SOBRECALENTAMIENTO	20
4.9.1 Importancia del sobrecalentamiento.	22
4.9.2 Limite de temperatura de vapor a la salida del evaporador.	23
4.9.3 Medición del sobrecalentamiento.	23
• El sobrecalentamiento del evaporador.	23

• El Sobrecalentamiento del compresor.	27
4.10 EL SOBRECALENTAMIENTO	29
4.11 SUBENFRIAMIENTO	31
4.11.1 Aplicaciones del subenfriamiento.	31
4.11.2 Tipos de subenfriamiento.	32
Subenfriamiento en el condensador.	33
Subenfriamiento total.	33
4.12 COEFICIENTE DE OPERACIÓN	33
5. METODOLOGÍA	34
5.1 RECURSOS	35
5.1.1 Humanos.	35
5.1.2 Técnicos.	36
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	37
6.1 TESTO 550 ANALIZADOR DE REFRIGERACIÓN DIGITAL	37
6.1.1 Datos técnicos	38
6.1.2 Mantenimiento del producto.	43
Limpiar el instrumento.	43
Mantener limpias las conexiones.	43
Eliminar los residuos de aceite.	44
Asegurar la exactitud de medición.	44
6.2 CALCULADOR COMPACTO DE SUBENFRIAMIENTO/SOBRECALENTAMIENTO	44
6.2.1 Descripción.	44
6.2.2 Procedimiento de calibración del termopar.	46
6.2.3 Mantenimiento del Instrumento.	46
Limpiar el instrumento.	46
Mantener limpias las conexiones.	47
Asegurar la exactitud de medición.	47

6.3 TERMÓMETRO DIGITAL 52228	47
6.3.1 Características Técnicas.	47
6.3.3 Mantenimiento del Instrumento.	48
Limpiar el instrumento.	48
Mantener limpias las conexiones.	48
Asegurar la exactitud de medición.	49
6.5 CARTA DIGITAL PRESIÓN/TEMPERATURA 52245	49
6.6 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN.	50
6.6.1 Calculadora compacta de sub-enfriamiento/sobre-calentamiento	50
6.6.2 Analizador de refrigeración digital testo 550	56
6.6.3 Carta digital presión/temperatura 52245	66
6.6.4 Termómetro digital 52228	69
7. CONCLUSIONES	73
8. RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla Presión Vs Temperatura	25
Tabla 2. Datos técnicos del analizador Testo 550 (1)	38
Tabla 3. Datos técnicos del analizador Testo 550 (2)	39
Tabla 4. Datos técnicos del analizador Testo 550 (3)	40
Tabla 5. Parámetros de medición	43

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efecto del calor sobre el agua a la presión atmosférica	20
Figura 2. Diagrama para medir el sobrecalentamiento en un compresor	30
Figura 3. Refrigerante 12 a la presión atmosférica	21
Figura 4. Ejemplo de medición de sobrecalentamiento del evaporador	26
Figura 5. Ejemplo de medida para el compresor	27
Figura 6. Testo 550 Analizador de refrigeración digital	37
Figura 7. Visualizador de elementos y control	41
Figura 8. Calculador compacto de subenfriamiento/sobrecalentamiento	45
Figura 9. Termómetro digital 52228	468
Figura 10. Carta digital presión/temperatura 52245	49
Figura 11. Práctica de medición del sobre-calentamiento en equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	50
Figura 12. Medición del sobre-calentamiento en succión equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	52
Figura 13. Medición sub-enfriamiento en línea de líquido equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	52

Figura 14. Medición temperatura empleando termopar tipo K, en la salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	53
Figura 15. Medición temperatura entrada condensador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	54
Figura 16. Práctica de medición equipo testo 550 del sobre-calentamiento en succión equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB..	56
Figura 17. Equipo testo 550 para medición sobrecalentamientos y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB	57
Figura 18. Tabla funciones de las teclas TESTO 550	58
Figura 19. Ajuste de equipo testo 550 para medición sobrecalentamiento y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	58
Figura 20. Sonda de temperatura de equipo testo 550 para medición sobrecalentamiento y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.	60
Figura 21. Disposición de mangueras equipo testo 550	61
Figura 22. Practica operación carta digital presión/temperatura 52245 laboratorios de refrigeración IUPB..	67
Figura 23. Practica operación carta digital presión/temperatura 52245, lectura equipo presión y temperatura, laboratorio de refrigeración IUPB.	67

Figura 24. Practica operación carta digital presión/temperatura 52245, lectura equipo presión y temperatura, cambio valor temperatura vs presión laboratorio de refrigeración IUPB.	68
Figura 25. Termómetro digital 52228 Mastercol, funciones	69
Figura 26. Practica operación Termómetro digital 52228, lectura temperatura, laboratorio de refrigeración IUPB	71

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

Adquirir e implementar las herramientas tecnológicas y académicas para determinar las condiciones de sobrecalentamiento y subenfriamiento de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el analizador de refrigeración digital idóneo para medir el sobrecalentamiento de un sistema.
- Describir técnicamente el analizador seleccionado con sus respectivas partes
- Describir el mantenimiento del instrumento así como los parámetros de medición de este.

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

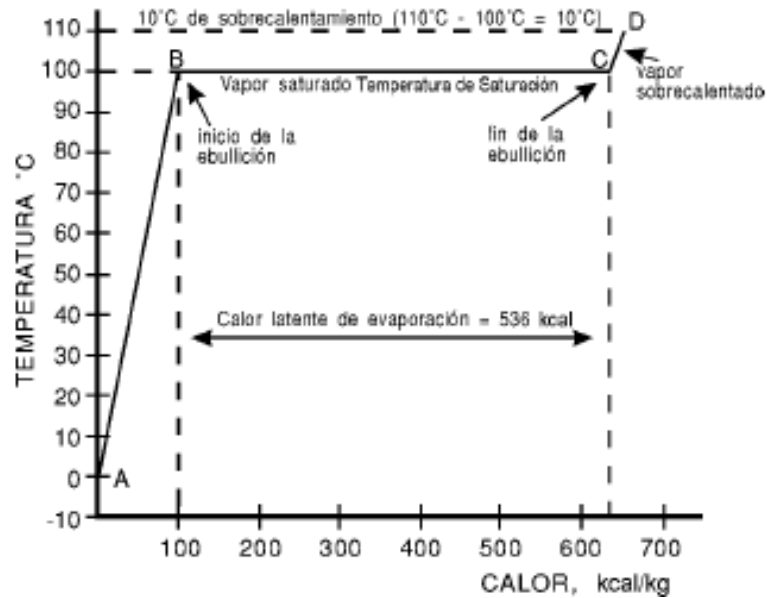
Esta relación es fundamental analizarla para cualquier fluido ya que es importante conocerlo para entender lo que es el sobrecalentamiento del sistema.

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

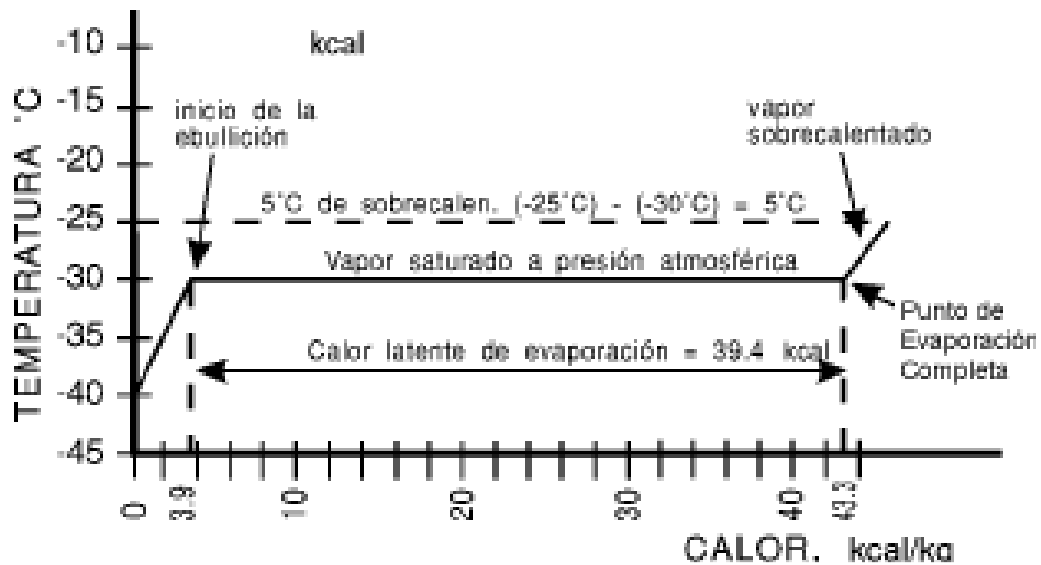
4.9 PRINCIPIOS DEL SOBRECALENTAMIENTO

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 3, 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 3, para aumentar la temperatura de un kilogramo de R-12 líquido desde -40 °C hasta -30 °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°C, tendrá un sobrecalentamiento de (-30)-(-25), es decir, 5 °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

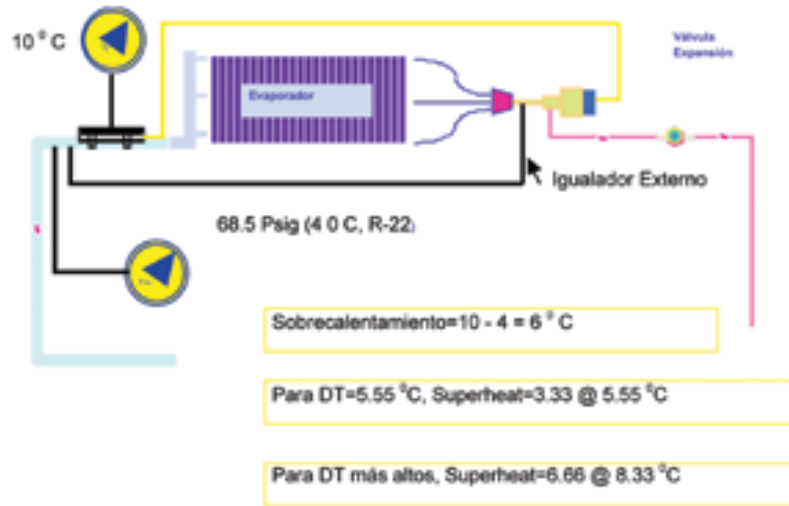
TABLA TEMPERATURA-PRESION
VALORES EN ROJO=VACIO
VALORES EN AZUL=PRESION DE VAPOR (PSIG)
VALORES EN AZUL INTENSO=PRESION DE LIQUIDO (PSIG)

°C	°F	R-12	R-22	R-502	R-134a	AZ-50 (R-607)	HP-62 (R-404A)
-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 4, 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 sobrecalentamiento anterior nos indica que nuestro sistema se encuentra ajustado correctamente y que estamos garantizando la adecuada operación del mismo.

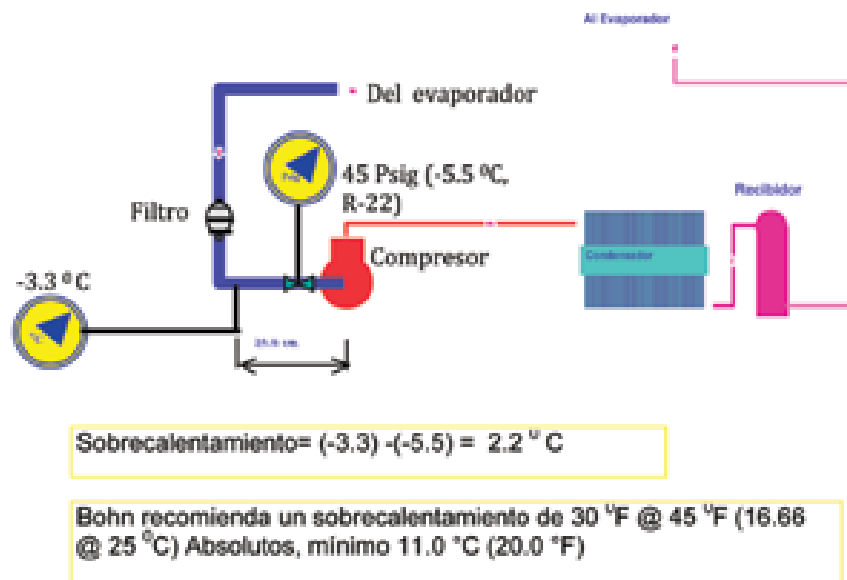
Cuando el sobrecalentamiento se encuentra dentro de los valores recomendados y el cristal mirilla de líquido se encuentre aun burbujeando, por favor ya no cargue refrigerante a su sistema, el burbujeo se puede deber a alguna obstrucción en una tubería y/o filtro, etc..

- **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 en la Figura 5 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

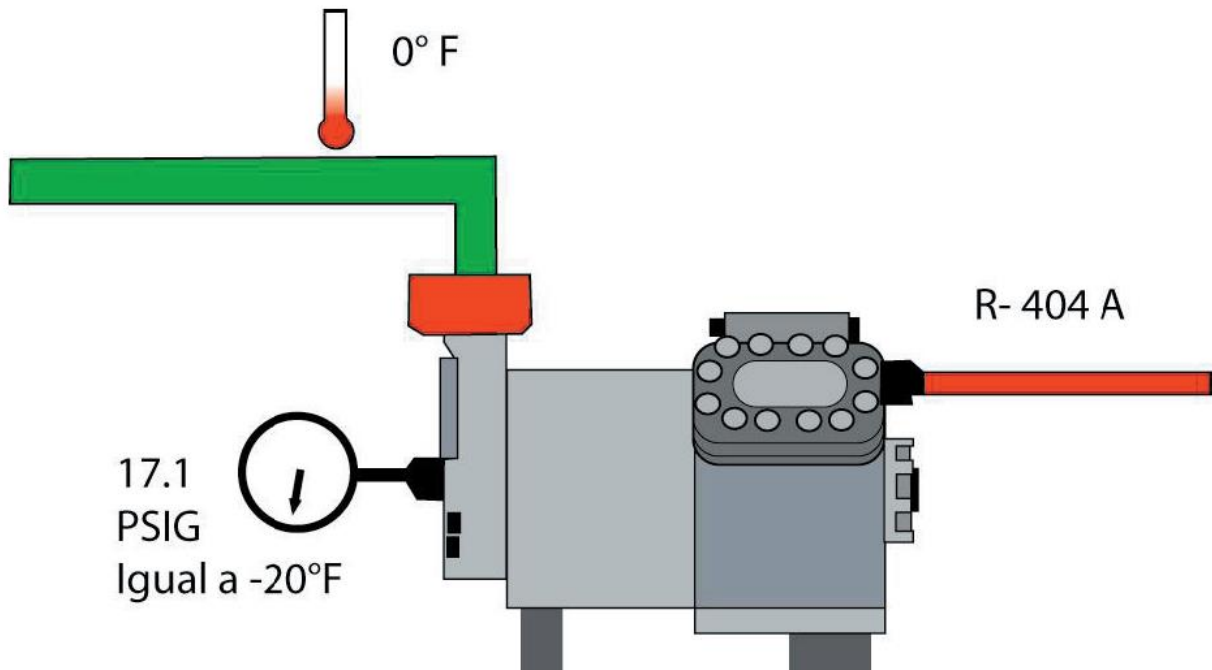
En los procedimientos de adecuación de gases y de técnicas de diagnóstico de fallas se conoce un concepto que se llama sobrecalentamiento. Pero, ¿qué es el sobrecalentamiento? Éste se define como la diferencia de la temperatura medida a la salida del evaporador y la temperatura de la tabla P/T de los 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 (Figura 2), próximo al lugar donde se localiza el bulbo sensor remoto, de la válvula de expansión termostática.

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.

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).
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.

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

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

la que con presión más baja. Esto crea una equivalencia energética entre el 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.

En un sistema de aire acondicionado se tienen dos tipos de subenfriamiento:

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

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 este, se puede subenfriar en el receptor, 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, quienes 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 describen las características de los equipos seleccionados con base a las necesidades del laboratorio de la Institución Universitaria Pascual Bravo, y a los fundamentos teóricos investigados y consultados con expertos.

6.1 TESTO 550 ANALIZADOR DE REFRIGERACIÓN DIGITAL

Figura 6. Testo 550 Analizador de refrigeración digital



Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

El testo 550 es un analizador de refrigeración digital que sirve realizar trabajos de servicio y mantenimiento de sistemas de refrigeración y bombas de calor. Debe ser utilizado únicamente por personal especializado. Este sustituye a los analizadores de refrigeración mecánicos, los termómetros y las tablas de presión/temperatura. Las presiones y temperaturas se pueden aplicar, adaptar, comprobar y controlar. Además es compatible con la mayoría de refrigerantes no corrosivos, el agua y el glicol. El testo 550 no es compatible con los refrigerantes que contienen amoníaco.

6.1.1 Datos técnicos

Tabla 2. Datos técnicos del analizador Testo 550 (1)

Propiedad	Valores
Parámetros de medición	Presión: kPa/MPa/bar/psi Temperatura: °C/°F/K
Sensor de medición	Presión: 2 sensores de presión Temperatura: 2 NTC
Intervalo de medición	0,75 s
Canales de medición	Cantidad: 4

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

Tabla 3. Datos técnicos del analizador Testo 550 (2)

Propiedad	Valores
Interfaces	Conexiones de presión: 3 x 7/16" UNF Medición NTC
Rangos de medición	Rango de medición de presión alta presión/baja presión: de -1 a 40 bar (rel)/de -14,7 a 580 psi (rel)/de -100 a 4000 kPa (rel)/de -0,1 a 4 MPa (rel) Rango de medición de temperatura: de -50 a +150 °C/de -58 a 302 °F
Sobrepresión	60 bar, 6000 kPa, 6 MPa, 870 psi
Resolución	Resolución de presión: 0,01 bar/0,1 psi/1 kPa/0,001 MPa Resolución de temperatura: 0,1 °C/0,1 °F
Exactitud (temperatura nominal 22 °C/71,6 °F)	Presión: ±0,75% del fondo escala (±1 dígito) Temperatura: ±0,5 K (±1 dígito)
Cantidad de refrigerantes	32
Refrigerantes seleccionables	Ningún refrigerante, R12, R22, R123, R134a, R290, R401A, R401B, R402A, R402B, R404A, R406A, R407A, R407C, R408A, R409A, R410A, R414B, R416A, R417A, R420A, R421A, R421B, R422A, R422B, R422D, R424A, R434A, R437A, R502, R503, R507, R718 (H2O)
Medios mensurables	Medios mensurables: todos los medios guardados en el testo 550. No mensurable: amoníaco (R717) y otros refrigerantes que contengan amoníaco
Condiciones ambientales	Temperatura de utilización: de -10 a 50 °C/de 14 a 122 °F Temperatura de almacenamiento: de -20 a 60 °C/de -4 a 140 °F Humedad de utilización: de 10 a 90%HR
Caja	Material: ABS/PA/TPU Medidas: 265 x 135 x 75 mm Peso: aprox. 1000 g (sin pilas)

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

Tabla 4. Datos técnicos del analizador Testo 550 (3)

Propiedad	Valores
Alimentación	Fuente de alimentación: 4 pilas (recargables) de 1,5 V, tipo AA/LR6 Vida de la pila: aprox. 40 h (iluminación del visualizador apagada)
Visualizador	Tipo: LCD iluminado Tiempo de respuesta: 0,5 s
Directivas, normas y controles	Directiva CE: 2004/108/CE
Garantía	Duración: 2 años Condiciones de garantía: véase la

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

Figura 7. Visualizador de elementos y control





Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

1. Entrada de sonda mini DIN para sondas de temperatura NTC, con tapa
2. Dispositivo para colgar abatible, con orificio para candado (Parte posterior).
3. Visualizador. Símbolos de estado del instrumento:

Símbolo	Significado
	Carga de la pila: >75% / >50% / >25% / <10%
	Seleccionar el modo de medición; véase Seleccionar el modo de medición , página 15

4. Compartimento para pilas. No es posible recargar pilas en el interior del instrumento.

5. Teclas de función:

Tecla	Función
[Set]	Ajustar las unidades
[R, Start/Stop]	Seleccionar el refrigerante/inicio-parada de la comprobación de estanqueidad
[Mode]	Conmutación del modo de medición
[Min/Max/Mean]	Visualizar los valores mín./máx./medios
[▲]	Tecla "arriba": cambiar la vista del visualizador.
[p=0]	Cero de la presión
	Tecla de luz: poner en marcha/desconectar la iluminación del visualizador
[▼]	Tecla "abajo": cambiar la vista del visualizador.
	Poner en marcha y desconectar el instrumento

6. Mirilla para el flujo de refrigerante.

7. 2 Posicionador de válvula

8. 3 soportes para mangueras de refrigerante

9. 3 conexiones de 7/16" UNF, latón.

Izquierda/derecha: baja presión/alta presión, para mangueras de refrigerante con unión roscada rápida, el paso se puede cerrar mediante posicionador de válvula.

Centro: por ejemplo, para botellas de refrigerante, con caperuza de cierre.

Tabla 5. Parámetros de medición

Denominación		Descripción
Δtoh	SH	Sobrecalentamiento, presión de evaporación
Δtcu	SC	Subenfriamiento, presión de condensación
to	Ev	Temperatura de evaporación del refrigerante
tc	Co	Temperatura de condensación del refrigerante
toh	T1	Temperatura medida, evaporación
tcu	T2	Temperatura medida, condensación

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

6.1.2 Mantenimiento del producto.

Limpiar el instrumento.

- En caso de suciedad, limpie la caja del instrumento con un paño húmedo.
- No utilice productos de limpieza o disolventes agresivos. Puede utilizar detergentes o soluciones jabonosas neutras.

Mantener limpias las conexiones.

- Mantener las conexiones roscadas limpias y sin grasa ni otros sedimentos; en caso necesario, limpiarlas con un paño húmedo.

Eliminar los residuos de aceite.

- Sacar mediante soplado con aire comprimido los residuos de aceite del bloque de válvulas

Asegurar la exactitud de medición.

- Comprobar regularmente la estanqueidad del instrumento.
Respetar el rango de presión permitido.
- Comprobar regularmente el instrumento (recomendación: anualmente).

6.2 CALCULADOR COMPACTO DE SUBENFRIAMIENTO/SOBRECALENTAMIENTO

6.2.1 Descripción.

Pre-programado con los 37 refrigerantes más conocidos

- Se incluye pinza termopar Tipo-K- para conseguir una medición de temperatura precisa
- Para ver la temperatura de burbuja y rocío de las presiones correspondientes en una pantalla grande LCD
- Fácil selección de temperatura de sobrecalentamiento o subenfriamiento con solo tocar una tecla
- Fácil de ver la temperatura de saturación usando la presión de cualquiera de los set de medidores
- La función HOLD mantiene la información en el LCD incluso cuando el termopar esta desconectado

Especificaciones

- 37 Refrigerantes pre-programados
(R22, R32, R114, R123, R124, R134, R134a, R141B, R142B, R290, R401A, R401B, R404A, R407A, R407B, R407C, R407D, R407F, R408A, R409A, R410A, R411A, R411B, R414A, R414B, R417A, R421A, R422A, R422B, R422C, R422D, R427A, R434A, R437A, R438A, R441A, R507A)
- Temperatura en °F o °C
- Muestra Temperaturas de Burbuja, Saturación y Punto de Rocío
- Muestra Presión en Kg/cm², MPa, Bar, PSI (0-600 PSI)

Figura 8. Calculador compacto de subenfriamiento/sobrecalentamiento



Fuente: Mastercool Inc. 52246 compact subcool/superheat calculator. Description

6.2.2 Procedimiento de calibración del termopar.

Este procedimiento requiere una precisa temperatura ambiente y una temperatura de referencia precisa para el termopar.

1. Gire el 52246 sucesivamente. Cuando la "R " comienza a parpadear, pulse ENTER y uno de los botones de flecha
2. Mantenga pulsado el botón POWER y el botón de flecha hacia arriba (▲) al mismo tiempo. Se mostrará toda la pantalla.
3. Presione ENTER dos veces hasta que aparezca el número 2 y una lectura de la temperatura.
4. Esta es la temperatura de referencia placa de circuito. Después de que esté seguro de que las temperaturas se han estabilizado a la temperatura ambiente, use las flechas para ajustar la temperatura de la lectura para que coincida con su referencia la temperatura ambiente.
5. Presione ENTER. El número 3 se mostrará y dos temperaturas. Una de ellas será la temperatura ambiente ajustada previamente y la otra será la lectura del termopar. Con el termopar a una temperatura de referencia conocida (colocar el termopar [clamp] en un granizado de hielo picado y agua o colocar la pinza en un tubo de cobre de espesor, con un indicador de temperatura calibrada sujeta a él también.), Ajuste la temperatura para que coincida la temperatura de referencia.
6. Presione ENTER. La unidad se apagará.
7. La próxima vez que pulse el botón de encendido, la unidad volverá a la operación normal.

6.2.3 Mantenimiento del Instrumento.

Limpiar el instrumento.

- En caso de suciedad, limpie la caja del instrumento con un paño húmedo.
- No utilice productos de limpieza o disolventes agresivos. Puede utilizar

detergentes o soluciones jabonosas neutras.

Mantener limpias las conexiones.

- Mantener las conexiones roscadas limpias y sin grasa ni otros sedimentos; en caso necesario, limpiarlas con un paño húmedo.

Asegurar la exactitud de medición.

- Comprobar regularmente la estanqueidad del instrumento.
Respetar el rango de presión permitido.
- Comprobar regularmente el instrumento (recomendación: anualmente).

6.3 TERMÓMETRO DIGITAL 52228

Este instrumento es un termómetro digital para usar con cualquier termopar tipo K como sensor de temperatura. La Indicación de temperatura sigue los estándares y tablas de temperatura según la IEC584 / tensión para los termopares de tipo K. El termómetro digital diferencial provee la medición de dos puntos simultáneamente. (T1, T2) y T1-T2.

6.3.1 Características Técnicas.

- Máxima función de Retención
- Función de Retención de datos
- Temperatura en °F ò °C
- Diferencial T1 – T2
- Termopar de entrada tipo K
- Gama de temperaturas: -50 a 1999°F (-50 a 1300°C)

- Resolución: 1°F (1°C).

Figura 9. Termómetro digital 52228



Fuente: Mastercol Inc. THERMOMETERS. Manual técnico. Pág. 2

6.3.3 Mantenimiento del Instrumento.

Limpiar el instrumento.

- En caso de suciedad, limpie la caja del instrumento con un paño húmedo.
- No utilice productos de limpieza o disolventes agresivos. Puede utilizar detergentes o soluciones jabonosas neutras.

Mantener limpias las conexiones.

- Mantener las conexiones roscadas limpias y sin grasa ni otros sedimentos; en caso necesario, limpiarlas con un paño húmedo.
-

Asegurar la exactitud de medición.

- Comprobar regularmente la estanqueidad del instrumento.
Respetar el rango de presión permitido.
- Comprobar regularmente el instrumento (recomendación: anualmente).

6.5 CARTA DIGITAL PRESIÓN/TEMPERATURA 52245

Es un instrumento digital compacto de presión y temperatura. Este aparato tiene rapidez y exactitud en referencias de temperaturas exhibidas en una pantalla LCD de fácil lectura. La característica de cortar automáticamente la potencia, permite que la unidad se apague 5 minutos después de la última orden, para asegurar así la duración de la batería. La lectura de presión, está disponible en PSI, BAR y MPa. La lectura de temperaturas se puede tomar en grados Fahrenheit ò en grados Celsius.

Temperatura: -40 a 200°F

Figura 10. Carta digital presión/temperatura 52245



Fuente. Mastercool Inc. Herramientas de diagnóstico portátil. Manual de instrucciones Digital pressure 52245

6.6 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN.

A continuación se describen procedimiento de operación de los equipos seleccionados con base a las necesidades y a los fundamentos teóricos investigados, manuales de los equipos y practica de laboratorio realizada en el laboratorio de refrigeración de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

6.6.1 Calculadora compacta de sub-enfriamiento/sobre-calentamiento

Figura 11. Práctica de medición del sobre-calentamiento en equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Obtener temperatura de saturación cuando la presión de saturación es conocida (pt chart)

- Presione el botón [POWER].
- Usar los botones ▲ y ▼ para seleccionar el refrigerante requerido.

- Presione el botón [ENTER].
- Presione cualquiera de los botones con la flechas para que se vea la presión, después use los mismos botones ▲ o ▼ para ajustar la presión de saturación

NOTA: Para cambiar rápidamente la presión, mantenga el botón () presionado con la FLECHA HACIA ABAJO.

- Lea la temperatura saturada al lado de la presión saturada.

NOTA: Para refrigerantes con delis térmico (glide), use el botón SH/SC para ver las temperaturas de los puntos de BURBUJA o EBULLICION (BBL) y/o de Rocío (DP).

Obtener sobre-calentamiento o sub-enfriamiento cuando la presión de saturación es conocida

Para obtener sobre-calentamiento, use el lado de baja (succión) para la presión de saturación y use el tubo del lado de succión del compresor para la temperatura actual, ver Figura 12.

Para obtener sub-enfriamiento, use el lado de alta para la presión de saturación (ideal línea de líquido) y use la línea cercana a la conexión de salida del condensador (línea de líquido) para obtener la temperatura real, ver Figura 13.

Figura 12. Medición del sobre-calentamiento en succión equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Figura 13. Medición sub-enfriamiento en línea de líquido equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

- Presione el botón POWER.
- Use los botones ▲ y ▼ para ver en la pantalla el refrigerante del sistema. 3. Presione el botón ENTER.
- Presione cualquiera de los botones con la flechas para ver la presión, después use los mismos botones ▲ o ▼ para ajustar la l presión saturada.

NOTA: Para cambiar rápidamente la presión, mantenga el botón con la FLECHA HACIA ABAJO presionada.

- Proceda a conectar el enchufe del Termopar al costado de la unidad.
- Coloque la pinza termopar en el tubo apropiado.
- Presione el botón SH/SC para ver ya sea sobre-calentamiento y/o sub-enfriamiento.
- 8. Una vez que la temperatura se haya estabilizado, lea las temperaturas de sobre-calentamiento y/o sub-enfriamiento.

NOTA: La unidad no mostrara temperaturas negativas de sobre-calentamiento y/o sub-enfriamiento. En su reemplazo mostrara --. Revise el lado donde está leyendo su presión y la ubicación de la pinza termopar.

Figura 14. Medición temperatura empleando termopar tipo K, en la salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Figura 15. Medición temperatura entrada condensador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Funciones adicionales

- **Función Mantener**

Para “congelar” la lectura de temperatura que se está recibiendo del Termopar en la pantalla, presione HOLD.

HOLD se verá en forma intermitente debajo de la lectura de temperatura del termopar. Los valores de presión todavía pueden ser cambiados y los valores de sobre-calentamiento y sub-enfriamiento pueden ser actualizados. El termopar puede ser desconectado de la unidad y las lecturas de temperaturas se mantendrán en la unidad. Apague la unidad y las lecturas de temperatura se borrarán.

Para “descongelar” la lectura de temperatura del termopar, presione nuevamente el botón HOLD o apague la unidad.

- **Para Cambiar Unidades**

- Con el Calculador de Sub-enfriamiento /Sobre-calentamiento apagado, presione el botón POWER.
- Presione y mantenga presionada el botón ENTER por dos a tres segundos hasta que la unidad de temperatura se vea en la pantalla.
- Use los botones ▲ o ▼ para seleccionar la unidad de temperatura deseada.
- Presione el botón ENTER para guardar la información. La unidad de presión se verá en la pantalla
- Use los botones ▲ o ▼ para seleccionar la unidad de presión deseada.
- Presione el botón ENTER para guardar la información. La unidad volverá a su estado normal de operación.

- **Para actualizar la lista de refrigerantes**

Para instrucciones, por favor, visite: www.mastercool.com/pages/software_updates.html

- **Procedimiento de calibración del termopar**

Este procedimiento requiere una habitación con una temperatura ambiente adecuada para la unidad como así también una temperatura de referencia para la pinza termopar.

- Encienda la unidad 52246. Cuando la “R” comience a encenderse y apagarse en forma intermitente, presione ENTER y uno de los botones con las flechas.
- Presione y mantenga presionadas los botones POWER y LA FLECHA HACIA ARRIBA al mismo tiempo. Se mostrara todo en la pantalla.
- Presione dos veces el botón ENTER hasta que se vea el número 2 y la lectura de temperatura.

- Esta es la temperatura de referencia en el circuito impreso. Una vez que esté seguro de que las temperaturas se han estabilizado a temperatura ambiente de la habitación, use las flechas (hacia arriba/hacia abajo) para ajustar la lectura de la temperatura a la lectura de referencia ambiente de la habitación.
- Presione el botón ENTER. Se verá el número 3 y dos temperaturas. Una de las temperaturas será la que ajusto a la temperatura de la habitación y la otra será la temperatura del termopar. Con el termopar a una temperatura de referencia conocida (coloque la pinza del termopar en un recipiente con agua y hielo o coloque la pinza termopar en un tubo grueso de cobre con un medidor de temperatura calibrado adherido al mismo). Ajuste la temperatura a la temperatura de referencia.
- Presione el botón ENTER. La unidad se apagará. El termopar ha sido calibrado.
- La próxima vez que Ud. encienda la unidad, esta volverá a operar normalmente.

6.6.2 Analizador de refrigeración digital testo 550

Figura 16. Práctica de medición equipo testo 550 del sobre-calentamiento en succión equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Poner en marcha el instrumento

- Pulsar [POWER]

Fase de inicialización:

- Todos los segmentos del visualizador se iluminan (duración:2 s).
- Se abre el modo de medición, ver Figura 17.

Figura 17. Equipo testo 550 para medición sobrecalentamientos y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Realizar ajustes

- Pulsar [SET]

Se abre el menú de configuración y el parámetro ajustable parpadea.

- Ajustar el parámetro:

Funciones de las teclas, ver Figura 18.

Figura 18. Tabla funciones de las teclas **TESTO 550**

Símbolo	Explicación
[▲] o bien [▼]	Modificar parámetros, seleccionar la unidad
[Set]	Seleccionar unidades/parámetros
Parámetros ajustables	
Símbolo	Explicación
°C, °F	Ajustar la unidad de temperatura.
bar, kPa, MPa, psi	Ajustar la unidad de presión.
Pabs, Prel o psia, psig	En función de la unidad de presión seleccionada: Alternar entre presión absoluta y relativa.
29.92 inHg/ 1.013 bar	Ajustar la presión absoluta actual (encontrará los valores de presión atmosférica actuales de su región, por ejemplo, en su servicio meteorológico local o en internet).
☀ / ❄ / ☀❄	Seleccionar el modo de medición; véase Seleccionar el modo de medición,

Fuente: Manual testo 550 analizador de refrigeración digital

- Los ajustes se aplican tras llevar a cabo la última selección, ver figura 19.

Figura 19. Ajuste de equipo testo 550 para medición sobrecalentamientos y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

Manejar el posicionador de válvula

Respecto al recorrido del refrigerante, el analizador de refrigeración digital funciona como un analizador convencional de dos vías. Abriendo las válvulas se abren los pasos. La presión aplicada se mide tanto con las válvulas cerradas como con las válvulas abiertas.

- Abrir la válvula: girar el posicionador de válvula en sentido contrario al de las agujas del reloj.
- Cerrar la válvula: girar el posicionador de válvula en el sentido de las agujas del reloj.

NOTA: Apretar los posicionadores de válvula solo manualmente. No utilizar herramientas para apretarlos, ya que de lo contrario se podría dañar la rosca.

Preparar la medición

- **Acoplar la sonda de temperatura**

Para medir la temperatura en el interior de la tubería y calcular automáticamente los sobrecalentamientos y subenfriamientos debe haber acoplada una sonda de temperatura NTC (accesorio).

Las sondas se deben acoplar antes de poner en marcha el instrumento para que este las reconozca, ver Figura 19.

Figura 20. Sonda de temperatura de equipo testo 550 para medición sobrecalentamiento y subenfriamiento salida evaporador equipo mini-Split laboratorio de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

- **Poner en marcha el instrumento**

- Pulsar [POWER].

- Hacer el cero de los sensores de presión
- Haga el cero de los sensores de presión antes de cada medición.
- Las conexiones del lado de baja presión y de alta presión deben estar despresurizadas (presión ambiente).

- Pulsar la tecla [P=0] para hacer el cero.

- **Empalmar las mangueras de refrigerante.**

NOTA: Antes de cada medición, comprobar si las mangueras de refrigerante están intactas.

- **Los posicionadores de válvula están cerrados.**
 - Empalmar al instrumento las mangueras de refrigerante para el lado de baja presión (azul) y el lado de alta presión (rojo) al instrumento.
 - Empalmar al sistema las mangueras de refrigerante.

Figura 21. Disposición de mangueras equipo testo 550



Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

NOTA: En caso de caída del instrumento de medición o de cualquier otra carga mecánica comparable, pueden romperse los sectores de tubo de las mangueras de refrigerante. También pueden resultar dañados los posicionadores de válvula, lo que a su vez puede causar más daños en el interior del instrumento de medición no detectables desde el exterior.

Para su propia seguridad, envíe el instrumento de medición al Servicio Técnico Testo para que este realice una comprobación técnica.

Por lo tanto, sustituya las mangueras de refrigerante por mangueras nuevas sin daños cada vez que se caiga el instrumento de medición o se produzca una carga mecánica comparable.

Ajustar el refrigerante

- Pulsar [R, Start/Stop].
 - Se abre el menú de refrigerantes y el refrigerante actualmente seleccionado parpadea.
- Ajustar el refrigerante:
- Funciones de las teclas

Símbolo	Explicación
[▲] o bien [▼]	Modificar el refrigerante
[R, Start/Stop]	Confirmar el ajuste y salir del menú de refrigerantes.

Refrigerantes ajustables

Símbolo	Explicación
R...	Número del refrigerante según ISO 817
...T	Denominación especial de testo para refrigerantes determinados
---	Ningún refrigerante seleccionado.




Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador

Ejemplo "Ajustar el refrigerante R401B"

- Pulsar [▲] o bien [▼] varias veces hasta que R401B parpadee.
- Pulsar [R, Start/Stop] para confirmar el ajuste.
- Finalizar la selección de refrigerante
 - Pulsar [R, Start/Stop] o automáticamente 30 s después de accionar la última tecla.

Seleccionar el modo de medición

- Pulsar [Set] varias veces
- Seleccionar la función con [▲] o bien [▼].
- Guardar ajustes: pulsar set.
- Se muestra el modo de medición.

Texto del visualizador	Modo	Función
	Sistema de refrigeración	Funcionamiento normal del analizador de refrigeración digital
	Bomba de calor	Funcionamiento normal del analizador de refrigeración digital
	Modo automático	Si el modo automático está activado, el analizador de refrigeración digital testo 550 conmuta automáticamente la visualización de la alta y baja presión. Esta conmutación automática tiene lugar cuando la presión en el lado de baja presión es 1 bar más alta que la presión en el lado de alta presión. Al realizarse la conmutación se muestra Load (2 s) en el visualizador. Este modo es especialmente adecuado para sistemas de aire acondicionado que refrigeran y calientan.

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

NOTA: Peligro de lesiones debido a refrigerantes a alta presión, calientes, fríos o tóxicos.

Llevar gafas y guantes protectores.

Antes de aplicar presión al instrumento: fijar siempre el instrumento en el dispositivo para colgar para evitar que se caiga (peligro de rotura)

Antes de cada medición, comprobar si las mangueras de refrigerante están intactas y correctamente empalmadas. No utilizar herramientas para empalmar las mangueras; apretar las mangueras solo manualmente (par de apriete máx. 5,0 Nm/3,7 ft*lb).

Medición

- Aplicar presión al instrumento de medición.
- Leer los valores de medición.

NOTA: En los refrigerantes zeotrópicos, la temperatura de evaporación t_o/E_v se muestra tras la evaporación completa, y la temperatura de condensación t_c/C_o se muestra tras la condensación completa.

La temperatura medida se debe asignar al lado de sobrecalentamiento o subenfriamiento ($t_{oh} \leftrightarrow t_{cu}$). En función de esta asignación se mostrará, según la visualización seleccionada, $t_{oh}/T1$ o bien $\Delta t_{oh}/SH$ o bien $t_{cu}/T2$ o bien $\Delta t_{cu}/SC$.

- El valor de medición y la iluminación de la pantalla parpadean:
- 1 bar antes de alcanzar la presión crítica del refrigerante.
- al sobrepasarse la presión máxima admitida de 40 bar.

Funciones de las teclas

- [▲] o bien [▼]: Modificar la visualización del valor de medición.
- Posibles combinaciones de visualización:

Presión de evaporación Temperatura de evaporación del refrigerante t_{oh}/Ev	Presión de condensación Temperatura de condensación del refrigerante t_c/Co
o bien (solo con sonda de temperatura acoplada)	
Presión de evaporación Temperatura medida $t_{oh}/T1$	Presión de condensación Temperatura medida $t_{oh}/T1$
o bien (solo con sonda de temperatura acoplada)	
Presión de evaporación Sobrecalentamiento $\Delta t_{oh}/SH$	Presión de condensación Subenfriamiento $\Delta t_{cu}/SC$

Fuente: Manual de instrucciones. Testo 550 analizador.

- Con dos sondas NTC acopladas se muestra adicionalmente Δt .
 - [Mean/Min/Max]: retención de valores de medición, mostrar valores de medición mín./máx., medios (desde la puesta en marcha).

Comprobación de estanqueidad/comprobación de caída de presión.

NOTA: Con la comprobación de estanqueidad con temperatura compensada se puede comprobar la estanqueidad de las instalaciones. Para ello se mide la presión de la instalación y la temperatura ambiente durante un tiempo definido. Con este fin se puede acoplar una sonda de temperatura para medir la temperatura ambiente recomendación: sonda de aire NTC, núm. de artículo 0613 1712).

Como resultado se obtiene información acerca de la presión diferencial con temperatura compensada y acerca de la temperatura al principio/final de la comprobación. Si no hay ninguna sonda de temperatura acoplada, la comprobación de estanqueidad se puede llevar a cabo sin temperatura compensada.

- Pulsar [Mode]
 - Se abre el modo de comprobación de estanqueidad. Se muestra ΔP .
- Iniciar la comprobación de estanqueidad: pulsar [R,Start/Stop].
 - Finalizar la comprobación de estanqueidad: pulsar [R,Start/Stop].
- Se muestra el resultado.
- Confirmar el mensaje: pulsar [Mode].
- Salto automático al modo evacuación/visualización de vacío.

Evacuación/visualización de vacío

Nota: La medición se lleva a cabo en el lado de baja presión.

- Pulsar [Mode].
 - Se muestra VAC
- Pulsar [Mode].
 - - Se visualiza el menú principal.

6.6.3 Carta digital presión/temperatura 52245

Instrucciones de funcionamiento:

- Pulse el botón ON / OFF para encender la unidad
- Pulse ARRIBA o ABAJO para seleccionar el refrigerante deseado.
- Pulse ENTER para confirmar la selección
 - después de refrigerante ha sido introducido, el símbolo de la presión (PSI, BAR o MPa) parpadeará, ver Figura 22.

Figura 22. Practica operación carta digital presión/temperatura 52245 laboratorios de refrigeración IUPB.



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

- Pulse ARRIBA o ABAJO para seleccionar lectura de la presión en PSI, BAR o MPa
- Pulse ENTER para confirmar la selección después de la unidad de presión se ha introducido, el símbolo F o C parpadeará.
- Pulse ARRIBA o ABAJO para seleccionar la lectura de la temperatura en F o C.
- Pulse ENTER para confirmar la selección, ver Figura 23.

Figura 23. Practica operación carta digital presión/temperatura 52245, lectura equipo presión y temperatura, laboratorio de refrigeración IUPB



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

- Utilizar ARRIBA o ABAJO para seleccionar la lectura de la temperatura.
- La lectura de la presión cambiará automáticamente para que corresponda con la lectura de la temperatura, ver figura 24.

Figura 24 Practica operación carta digital presión/temperatura 52245, lectura equipo presión y temperatura, cambio valor temperatura vs presión laboratorio de refrigeración IUPB



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

NOTA: las mezclas de refrigerantes, series, tales como 400, presentan una característica "deslizarse". Para "subenfriar" en la parte superior derecha de la pantalla. El recalentamiento indica el punto de "rocío" del diagrama * PH. El subenfriamiento indica el punto de la "burbuja" del diagrama * PH.

50F (10C) es la temperatura de referencia para el cambio de recalentamiento para subenfriar

6.6.4 Termómetro digital 52228

Este instrumento es un termómetro digital para usar con cualquier termopar tipo K como sensor de temperatura. Indicación de la temperatura siguiendo los parámetros de la oficina nacional de estándares y tablas de temperatura IEC584 / tensión para el termopar tipo K, ver Figura 25.

Figura 25 Termómetro digital 52228 Mastercol, funciones.



Fuente: Mastercol Inc. THERMOMETERS. Manual técnico. Pág. 2

- **Encendido.**

Pulsar el botón de encendido / apagado.

- **conectar los termopares.**

El termómetro se utiliza con uno o dos termopares.

El enchufe termopar en los conectores de entrada T1 y T2

- **seleccionar la escala de temperatura.**

La lectura se visualizan ya sea en grados Celsius o Fahrenheit para cambiar la escala de temperatura, presione el botón C / F

- **Medición de la temperatura con un solo termopar:**

El termómetro muestra la temperatura del termopar que está conectado a la entrada seleccionada.

Pulse el botón T2 para mostrar la temperatura de los termopares conectados a la entrada T2.

Pulse el botón T1 para mostrar la temperatura de los termopares conectados a la entrada T1.

Si el termopar seleccionado es desconectado o en circuito abierto, el termopar mostrar un error

- **Medición de la temperatura diferencial:**

Para la Medición de la diferencia de temperatura

- Pulse botón T1-T2, Este muestra la diferencia de temperatura entre los dos termopares (la temperatura de termopar T1 menos la temperatura de termopar T2), ver Figura 26.

Figura 26. Practica operación 25 Termómetro digital 52228, lectura temperatura, laboratorio de refrigeración IUPB



Fuente: Práctica laboratorio refrigeración registro fotográfico.

- Si cualquiera de las termocuplas está desenchufada o en circuito está abierto, los termómetros muestran el resultado como un error. Entonces tiene que volver a la temperatura con un solo termopar y presionar de nuevo el botón T1-T2.

- **Modo de espera**

- Pulse el botón hold (espera)

Cuando se selecciona el modo de espera, se detiene en el termómetro toda medida anterior.

al pulsar el botón de pausa se cancela el modo de espera, haciendo que el termopar reanude la toma de medidas

- **Procedimiento de Re calibración:**

El termómetro debe ser calibrado una vez al año para asegurar su exactitud está dentro de las especificaciones del equipo necesario se enumeran a continuación:

1. 0°C adjust VR0
2. OUTPUTS Sign 0.0mVDC adjust VR4 (at 0°C)
3. 0°F adjust VR2
4. 952°F adjust VR3
5. OUTPUTS Sign 952mVDC adjust VR5 (at 952°F)
6. 511°C adjust VR6

- Presione ON / OF para apagar la unidad

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

- 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 recomendamos que 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 encuentra 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 eso las temperaturas de descarga deberán estar de acuerdo a la siguiente recomendación y Usted la puede medir como sigue.
 - 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.

 - 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

- No se debe utilizar el analizador testo 550 en atmósferas potencialmente explosivas.

BIBLIOGRAFÍA

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, AlfaomegaMarcombo, España p37, (2001)

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

Fuente: 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

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