

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE UN
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN**

**EDINSON DURAN GOMEZ
JORGE CORREA ORDUZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2012

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE UN
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN**

**EDINSON DURAN GOMEZ
JORGE CORREA ORDUZ**

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

**Director:
ROSSVAN JOHAN PLATA VILLAMIZAR
Ingeniero mecánico.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2012

Notas de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 26 de Marzo de 2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.	13
1. OBJETIVOS.	15
1.1. Objetivo general.	15
1.2. Objetivos específicos.	15
2. MARCO TEORICO.	17
2.1 Consideraciones generales.	17
2.2 Ciclo de refrigeración ideal por vapor-compresión.	17
2.2.1Ciclo de refrigeración real por vapor-compresión.	21
2.3 ¿Qué es un banco de pruebas?	23
2.4 Diagnóstico efectivo de fallas.	26
2.4.1 Fugas: Tipos de fugas.	26
2.4.1.1Métodos de localización de fugas.	28
2.5 Sustitución de componentes.	28
2.5.1 Compresor.	29
2.5.2Ajuste del sistema a las nuevas condiciones de trabajo.	29
3. DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE DIAGNOSTICO.	30
3.1 Especificaciones del banco de diagnóstico de fallas de sistema de Refrigeración por compresión.	31

3.1.1 Selección de la pintura.	31
3.1.2 Selección de rodachines.	32
3.1.3 Selección de la válvula de expansión termostática.	36
3.1.4 Selección de interruptores.	38
3.1.5 Uso de la electroválvula.	39
3.1.5.1 ¿Qué es una electroválvula?	39
3.1.5.2 Las razones por las cuales se utilizo una electroválvula.	40
3.1.5.3 Características de la válvula solenoide que se empleo.	40
3.1.6 Carga térmica.	40
3.1.7 Cámara de refrigeración de acrílico.	41
3.1.8 Selección del Visor liquido / humedad.	41
3.2 Proceso de construcción del banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión.	41
3.3 Circuito frigorífico del Banco.	48
4. INSTALACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA.	48
4.1 Conexión frigorífica de los elementos del Banco.	48
4.2 Instalación del sistema eléctrico.	49
4.3 Comprobación de fugas y Vacío.	50
4.4 Análisis y pruebas de funcionamiento del sistema.	52
4.4.1 Apagado del motor del ventilador del condensador.	52
4.4.2 Apagado del motor del ventilador del evaporador.	53

4.4.3 Apagado del compresor	55
4.4.4 Cierre de la válvula de corte.	56
5. CONCLUSIONES	58
6. RECOMENDACIONES.	59

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Figura 2: Diagrama p-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Figura 3: Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Figura 4: Área transversal de la tubería del banco de refrigeración.

Figura 5. Válvula de Expansión Termostática Danfoss TEX2

Figura 6: Compra y descarga del refrigerante del equipo.

Figura 7: Separación del evaporador del equipo.

Figura 8: Construcción de la estructura metálica.

Figura 9: Ensamble de las bandejas.

Figura 10: Construcción de los soportes de la unidad evaporadora.

Figura 11: Aplicación de la Pintura Electroestática.

Figura 12: Tablero de control del banco de diagnostico de fallas.

Figura 13: Montaje de los elementos del banco de diagnostico de fallas.

Figura 14: Conexión de manómetros.

Figura 15. Adaptación de la cámara de refrigeración con sus respectivas resistencias.

Figura 16: Vacío y recarga de R22

Figura 17: Diagrama frigorífico del Banco.

Figura 18. Diagrama del circuito eléctrico modificado.

Figura 19. Aumento de la presión de alta.

Figura 20. Aumento de la corriente del compresor.

Figura 21. Congelación de las tuberías.

Figura 22. Caída de presión.

Figura 23. Corriente en el compresor cero.

Figura 24. Presiones de alta y baja iguales.

Figura 25. Vacío en los manómetros de baja.

Figura 26. Aumento de burbujas en la mirilla.

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1: Cuadro de análisis de desperfectos en equipos de aire acondicionado.

Tabla 2: Tubería de Acero Cold Rolled de calibre 18.

Tabla 3: Bandejas de Acero Cold Rolled de calibre 20.

Tabla 4: Bandejas de Aluminio de calibre 20.

Tabla 5: Masa total del sistema.

Tabla 6: Selección del número de orificio.

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. Guías de laboratorios.

Anexo B. Guía de mantenimiento.

Anexo C. Diagrama del Circuito eléctrico del banco de diagnostico de fallas.

Anexo D. Diagrama del Circuito eléctrico original del equipo LG W091CA.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

AUTOR(ES): Edinson Duran Gómez
Jorge Luis Correa Orduz

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Rossvan Villamizar

RESUMEN

En el siguiente trabajo de grado, se construyo un banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión que permite observar, analizar y discutir dichos fenómenos y sensibilizarse con la importancia de éste dentro de la Ingeniería Mecánica y su aplicación en múltiples casos en la industria. Así mismo, sirve como herramienta didáctica a los estudiantes de Ingeniería Mecánica en su formación en la materia de Refrigeración y Aire Acondicionado, por cuanto permite mostrar el funcionamiento de éste tipo de sistema de enfriamiento, su modo de operación, sus componentes y dispositivos de control.

PALABRAS CLAVES: temperatura, presión, refrigeración, refrigerante, ciclo, compresión, condensación, expansión.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: CONSTRUCTION OF A FAILURES DIAGNOSIS WORKBENCH OF A REFRIGERATION SYSTEM COMPRESSION

AUTHOR(S): Edinson Duran Gómez
Jorge Luis Correa Orduz

FACULTY: Faculty of Mechanical Engineering

DIRECTOR: Rossvan Villamizar

ABSTRACT

In this diploma work, was built a failures diagnosis workbench of a refrigeration system that allow us to monitor, analyze and discuss these phenomena and to be sensitive with its importance in mechanical engineering and its application in many cases for the industry. It also serves as a teaching tool for students of mechanical engineering at their training in the field of Refrigeration and Air Conditioning, as show the operation of this type of cooling systems, its mode of operation, components and control devices.

KEYWORDS: temperature, pressure, refrigeration, refrigerant, cycle, compression, condensation, expansion, evaporation.

INTRODUCCION

La utilización del frío es un proceso conocido ya desde la antigüedad; en el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; los árabes en el siglo XIII utilizaban métodos químicos de producción de frío mediante mezclas; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco), hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío.

En 1834, Perkins desarrolla su patente de máquina frigorífica de compresión de éter y en 1835 Thilorier fabrica nieve carbónica por expansión; Tellier construyó la primera máquina de compresión con fines comerciales, Pictet desarrolla una Máquina de compresión de anhídrido sulfuroso, Linde otra de amoníaco, Linde y Windhausen la de anhídrido carbónico, Vincent la de cloruro de metilo. Mención aparte merece Carré, propulsor de la máquina frigorífica de absorción y Le BlancCullenLeslie la de eyección.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial. La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (Barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras de carnes y verduras), productos farmacéuticos y materias para la industria (Plantas productoras de hielo, unidades de transporte de productos congelados, barcos, aviones, trenes, camiones.), en sistemas de acondicionamiento de aire y calefacción, etc. Esto da una idea del grandísimo interés universal que reviste el frigorífico industrial desde el punto de vista económico, humano y social. [9]

El estudio de la transferencia de calor demuestra como la energía de un medio que posee una alta temperatura puede ser absorbida por un medio de baja temperatura, este fenómeno puede ocurrir de manera natural, el cual no es el caso cuando lo que

queremos obtener es el efecto contrario, para lo cual se hace necesario la utilización de un sistema de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración, son dispositivos cíclicos, los cuales utilizan como fluido circulante un refrigerante como los hidrocarburos halogenados o freones y el amoníaco. Entre los cuales los freones son uno de los causantes del daño en la capa de ozono.

Dentro de los sistemas de refrigeración podemos ver el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, el cual vamos a utilizar en este proyecto, en el que intervienes cuatro componentes principales como lo son el evaporador, el condensador, la válvula o dispositivo de expansión y el compresor. El refrigerante ingresa en estado gaseoso al compresor donde su presión es aumentada al igual que su temperatura, luego es llevado hasta el condensador donde realiza una transferencia de calor con el medio circundante proceso en el cual reduce su temperatura y cambia a estado liquido, posteriormente ingresa al dispositivo de expansión donde su temperatura y presión debido a la estrangulación sufren un cambio drástico y por ultimo este refrigerante con baja temperatura pasa por el evaporador donde absorbe el calor del medio a refrigerar, volviendo así a cambiar a estado gaseoso, donde como vapor vuelve a ingresar a el compresor para así repetir el ciclo.

Teniendo en cuenta la importancia que tiene en los sistemas de refrigeración el ciclo de compresión de vapor que propone Carnot, se propone diseñar un banco de diagnostico de fallas para realizar ensayos de este ciclo en la Universidad Pontificia Bolivariana, con el propósito de mostrar a sus estudiantes el funcionamiento de éste tipo de sistema de enfriamiento, su modo de operación, sus componentes y dispositivos de control.

Con las experiencias prácticas se debe lograr comprender los fenómenos físicos y efectos de este campo de la refrigeración, además de permitir caracterizarlo y ratificar los datos teóricos.

OBJETIVOS

1.1 objetivos generales

1. Construir un banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión, para que el estudiante pueda desarrollar habilidades y competencias técnicas que le permitan diagnosticar y dar posibles soluciones a las fallas típicas de éste sistema de refrigeración mediante la implementación de dispositivos análogos que induzcan las fallas.

1.2 objetivos específicos

1. Elaborar un estudio sobre el estado del arte en bancos diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión, mediante la consulta y revisión de documentos y material bibliográfico (papers, libros, catálogos de fabricantes, etc.). **Resultado:** Cd con documento digital. **Indicador:** El Cd debe contener la compilación de las diferentes consultas de fuentes como papers, libros, catálogos de fabricantes, proyectos de grado y revistas electrónicas.
2. Diseñar un banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión, haciendo uso del estudio preliminar sobre el estado el arte. **Resultado:** Diseño del banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión. **Indicador:** el banco de diagnóstico de fallas debe simular como mínimo 4 tipos de fallas las cuales deben iniciar al operar una serie de interruptores y/o válvulas (netamente mecánicos), este banco va a utilizar un equipo comercial con una capacidad de hasta 12000 Btu/h.
3. Construir un banco para diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión. **Resultado:** Banco para diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión. **Indicador:** el correcto funcionamiento del banco.

4. Evaluar el comportamiento y los resultados obtenidos del banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión en pruebas preliminares de operación para verificar su adecuado desempeño y realizar los ajustes que sean necesarios. **Resultado:** Banco para diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión debidamente probado y con ajustes requeridos. **Indicador:** Protocolo de pruebas y ajustes del banco para diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión debidamente documentado y aprobado por el Docente de la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado.

5. Elaborar mínimo 4 guías de laboratorio para el desarrollo de las prácticas experimentales de los estudiantes de la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado. **Resultado:** Guías de laboratorio de la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado. **Indicador:** Guías de laboratorio de la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado con instrucciones de seguridad, marco teórico, procedimientos, herramientas a utilizar, materiales requeridos, datos a medir y análisis a efectuar.

MARCO TEORICO.

2.1 Consideraciones generales.

La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el transcurso del tiempo y el avance de la civilización; al igual que la mayoría de las ciencias y técnicas, ha sido el resultado de las necesidades que la misma sociedad va creando a medida que avanzan los inventos en diferentes campos.

Las aplicaciones de la refrigeración son muy numerosas, siendo unas de las más comunes la conservación de alimentos, acondicionamiento ambiental (tanto de temperatura como de humedad), enfriamiento de equipos y últimamente en los desarrollos tecnológicos de avanzada en el área de los ordenadores. [1]

2.2 ciclo de refrigeración ideal por vapor-compresión.

Muchos problemas relacionados con el ciclo invertido de Carnot pueden ser solucionados al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, y al sustituir la turbina por un dispositivo de estrangulamiento, como por ejemplo una válvula de expansión o un tubo capilar. Este ciclo se denomina: ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, y se ilustra en un diagrama T-s en la figura 1.

Se compone de cuatro procesos:

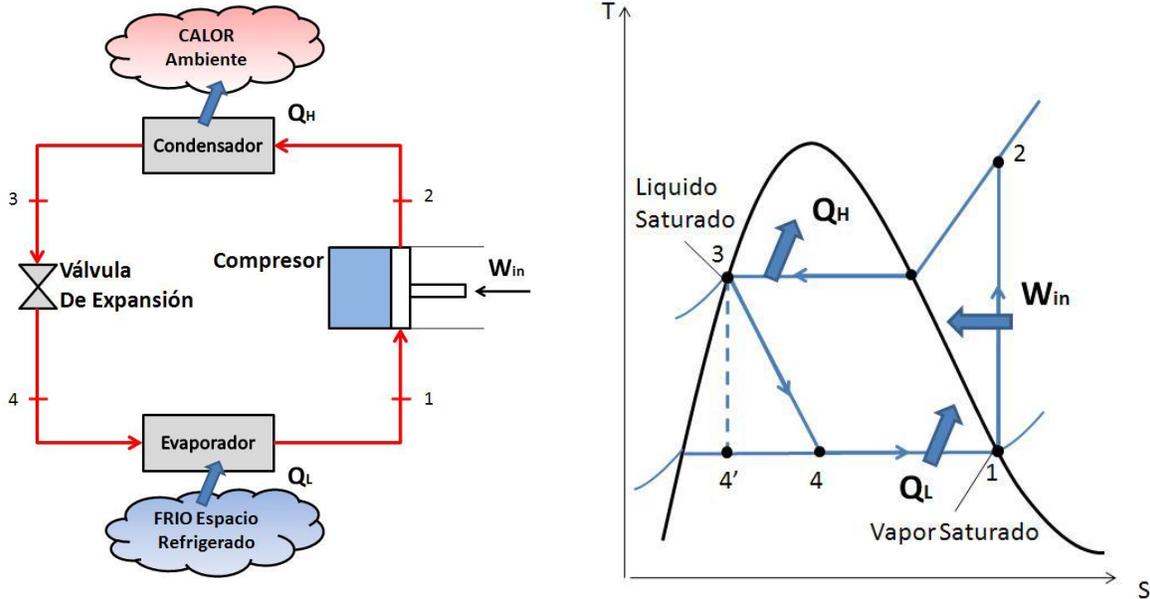
1-2 Compresión isentrópico en un compresor.

2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.

4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador.

Figura 1: Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: Adaptado de Yunus a. Cengel y Michael a. Boles. Termodinámica sexta edición. Mc Graw Hill.

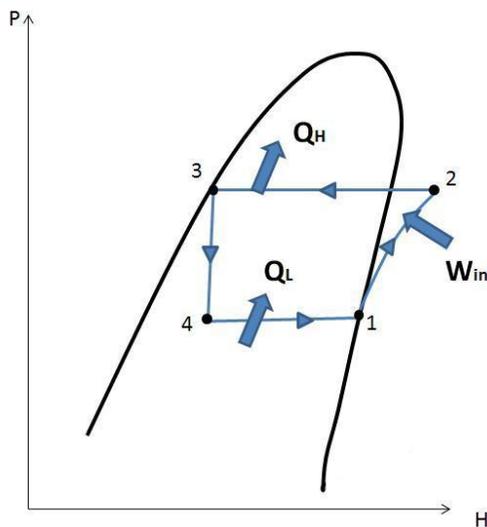
En este ciclo, se puede analizar que el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante se eleva durante el proceso de compresión isentrópica, hasta un valor bastante superior en comparación con el de la temperatura del medio ambiente. Luego refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como consecuencia del rechazo de calor hacia el ambiente. La temperatura del refrigerante en este estado se mantiene por encima de la temperatura ambiente.

El refrigerante líquido saturado en el estado 3 se obliga a pasar por una válvula de expansión o por un tubo capilar hasta llegar a la presión del evaporador. La temperatura del refrigerante cae por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante llega al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo

calor del espacio refrigerado. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando de esta forma el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Otro diagrama utilizado muy a menudo en el análisis de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor es el diagrama P-h, como se muestra en la figura 2.

Figura 2: diagrama p-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: Adaptado de Yunus a. Cengel y Michael a. Boles. Termodinámica sexta edición. Mc Graw Hill.

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor no es un ciclo internamente reversible puesto que incluye una irreversibilidad (estrangulamiento). Este proceso se mantiene en el ciclo para hacerlo un modelo más realista para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor. Si el dispositivo de estrangulamiento fuera sustituido por una turbina isentrópica, la capacidad de refrigeración se incrementaría y la entrada neta de trabajo disminuiría. Sin embargo, el cambio de la válvula de expansión por una turbina no es viable, ya que los beneficios adicionales no justifican el costo y la complejidad que se generan.

Los cuatro elementos principales del ciclo de refrigeración por compresión de vapor son dispositivos de flujo estacionario y por lo tanto cada proceso del ciclo se puede analizar como procesos de flujo estacionario. La energía potencial y la

energía cinética no se toman en cuenta puesto que son muy pequeñas en comparación con los términos de trabajo y transferencia de calor.

Entonces la ecuación de energía de flujo estacionario por unidad de masa se reduce a:

$$(1q_{in} - q_{out}) + (1W_{in} - 2W_{out}) = h_e - h_i$$

Donde:

q_{in} : Calor de entrada

q_{out} : calor de salida

w_{in} : trabajo de entrada

W_{out} : trabajo de salida

h_e : Entalpía de salida

h_i : Entalpía de entrada

El condensador y el evaporador no realizan ningún trabajo y el compresor puede tomarse como adiabático. Entonces los COP de refrigeradores y bombas de calor que operan en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor pueden expresarse como:

$$COPR = (q_L / w_{net, in}) = (h_1 - h_4) / (h_2 -$$

$h_1)$ Y

$$COPHP = (q_H / w_{net, in}) = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1)$$

Donde $h_1 = h_g @ P_1$, y $h_3 = h_f @ P_3$ para el caso ideal. [5] Donde:

COPR: Coeficiente de desempeño de un refrigerador

q_L : Calor de baja

$W_{net,in}$: trabajo neto de entrada

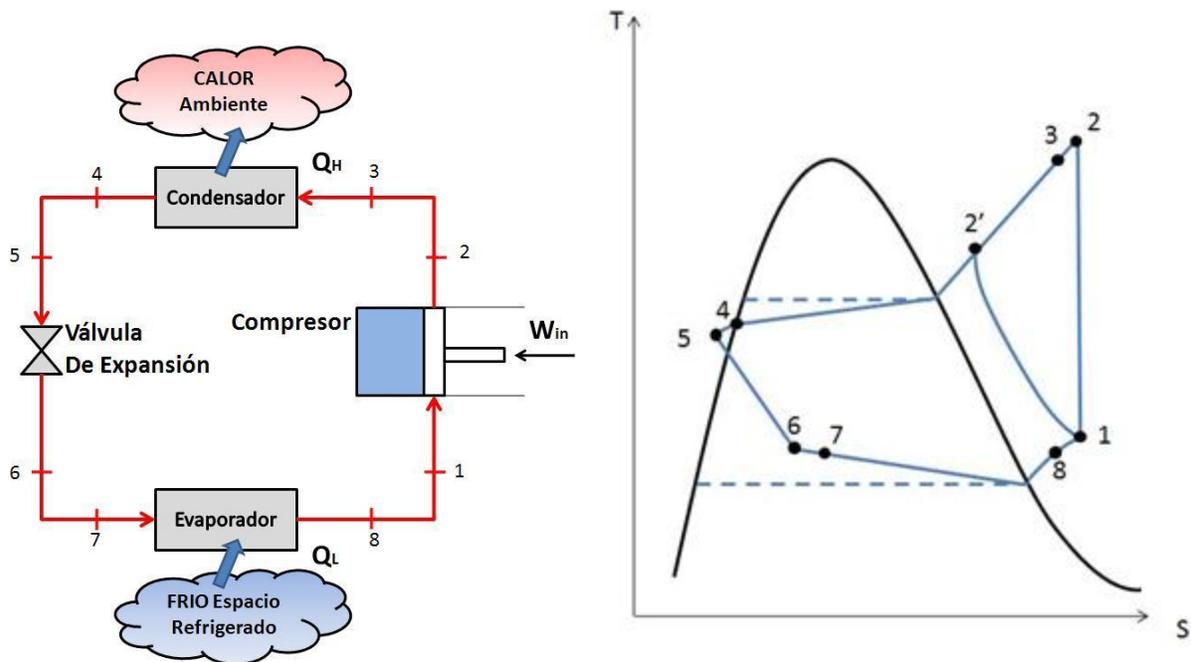
h : entalpía

q_H : Calor de alta

2.2.1 ciclo de refrigeración real por vapor-compresión.

La diferencia principal entre el ciclo real e ideal se encuentra en las irreversibilidades de algunos componentes del ciclo real. Dos fuentes típicas de irreversibilidad son la fricción del fluido y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores. El diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura 3.

Figura 3: Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: Adaptado de Yunus a. Cengel y Michael a. boles. Termodinámica sexta edición. Mc Graw Hill.

En el ciclo real es imposible tener un control exacto del estado del refrigerante cuando sale del evaporador y entra al compresor. Para solucionar este problema el refrigerante se sobrecaliente ligeramente en la entrada del compresor, este ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra al compresor. Otro punto a tener en cuenta es la caída de presión entre la línea del evaporador y compresor puesto que por lo general es muy larga y esta caída se debe a la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante. El resultado del sobrecalentamiento, de la ganancia de calor en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión, consiste en un incremento en el volumen específico y, por consiguiente, en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo de flujo estacionario es proporcional al volumen específico.

El proceso de compresión real tiene efectos de fricción, los cuales incrementan o disminuyen la entropía y la transferencia de calor. Por consiguiente, la entropía del refrigerante puede incrementarse (proceso 1-2) o disminuir (proceso 1-2') durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2' puede ser incluso más deseable que el proceso de compresión isentrópico debido a que el volumen específico del refrigerante y, por consiguiente, el requerimiento de entrada de trabajo son más pequeños en este caso. De ese modo, el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo. También es indeseable enviar el refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo. En consecuencia, el refrigerante se subenfria un poco antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. A pesar de todo esto. Se debe tener en mente dado que el refrigerante entra al evaporador con una entalpía inferior y por ello puede absorber más calor del espacio refrigerado. La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro, de modo que la caída de presión en la línea de conexión es pequeña. [5]

2.3 ¿Qué es un banco de pruebas?

Un banco de pruebas puede describirse como un grupo de elementos que interactúan entre sí para estudiar el comportamiento real de un sistema bajo ciertas Condiciones, llamadas parámetros, esto permite realizar un estudio intenso no sólo de los procesos particulares que constituyen el sistema, sino también de las relaciones que existen entre los diferentes componentes de dicho sistema, además de los efectos que un cambio en cualquiera de los procesos, tendría sobre el resto de los elementos que lo componen. [2]

Un banco de diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión es un sistema didáctico integrado diseñado para iniciar a los estudiantes en los fundamentos y componentes de un sistema de refrigeración mediante el uso de dispositivos comerciales e industriales. El equipo didáctico muestra claramente el funcionamiento de las configuraciones de los sistemas de refrigeración más comunes. Una serie de interruptores, permiten al instructor insertar fallas, con las que los estudiantes pueden desarrollar habilidades en el diagnóstico y solución de problemas utilizando el panel de control esquemático o analizando el comportamiento sospechoso de dispositivos y componentes. El material pedagógico totalmente integrado, guía al estudiante a través de diferentes configuraciones y controles del sistema. El banco incluye todo el equipo necesario para realizar los ejercicios que se encuentran en el material pedagógico. [3]

En otras palabras el banco busca Familiarizar al alumno con las instalaciones de refrigeración industriales.

Analizar la morfología de una instalación de refrigeración y de sus componentes principales. Identificar los distintos elementos que conforman tanto circuito frigorífico como la parte eléctrica y el circuito de control, y realizar un esquema de la instalación. [4]

En la tabla1 se muestran algunos casos que pueden presentarse en equipos de distinto tamaño y capacidad. Se enfatiza la necesidad de que el técnico de mantenimiento se familiarice con el/los manual/es de la instalación a la que está prestando servicio pues aquella información será mucho más específica para las situaciones de falla que se puedan presentar. Una vez localizada una posible fuente de falla, se recomienda consultar los cuadros de diagnóstico de fallas del componente o dispositivo sospechoso para mejorar el diagnóstico.[1]

Tabla 1:Cuadro de análisis de desperfectos en equipos de aire acondicionado

OBSERVACION	CAUSA PROBABLE	MEDIDA CORRECTIVA
Presión de descarga elevada en el lado de alta (condensador).	Aire aspirado al condensador muy caliente o insuficiente	Verificar si la capacidad del condensador es suficiente para la temperatura ambiente de la zona. Verificar limpieza del panel, verificar ventilador/es, aspas.
	Panal de condensador obstruido.	Eliminar obstrucciones, limpiar el panel
	GNC en el sistema de refrigeración	Purgar el sistema
	Válvula de retención "check valve" atascada.	Cambiar el componente.
	Sobrecarga de refrigerante.	Extraer el exceso con un equipo de recuperación.
	Ventilador del condensador no trabaja.	Confirmar si le llega energía. Revisar conexiones, reparar o sustituir motor.
Presión de descarga baja.	Aire aspirado al condensador muy frío.	Verificar si la capacidad del condensador está diseñada para esa condición climática.
	Válvulas del compresor dañadas o coquificadas.	Hacer mantenimiento mayor (compresor no hermético) o sustituir (hermético).
Presión de succión alta.	Insuficiente carga de refrigerante.	Inspeccionar fugas en el sistema, corregir si las hubiera (recuperar el gas, o almacenar en tanque receptor de líquido),

		agregar refrigerante.
	Sobrecarga de refrigerante.	Extraer el exceso con un equipo de recuperación.
Presión de succión baja.	Insuficiente carga de refrigerante.	Inspeccionar fugas en el sistema, corregir si las hubiera (recuperar el gas, o almacenar en tanque receptor de líquido), agregar refrigerante.
No enfría o el aire sale caliente.	Insuficiente carga de refrigerante.	Inspeccionar fugas en el sistema, corregir si las hubiera (recuperar el gas, o almacenar en tanque receptor de líquido), agregar refrigerante.
	Bulbo del termostato fuera de posición.	Colocar bulbo en la posición correcta.
	Termostato defectuoso.	Sustituir el termostato.
	Compresor desenergizado o dañado.	Revisar circuito eléctrico de alimentación. Revisar compresor, en caso necesario sustituir.
	Evaporador congelado.	Descongelar y corregir causa (filtro de succión muy sucio, obstrucción al flujo de aire, etc.).
Compresor ruidoso.	Retorno de líquido.	Chequear sobrecalentamiento TXV. Corregir situación.
	Falla de lubricación.	Compresor hermético: sustituir. Compresor no hermético: reparar.
	Componente interno desajustado o suelto.	Compresor hermético: sustituir. Compresor no hermético: reparar.
Compresor no arranca.	Presostatos de alta o baja accionados.	Verificar causa, corregirla.
	No recibe energía.	Revisar circuito eléctrico.
	Contactador que energiza al compresor no recibe señal del termostato.	Verificar presencia de señal de control. Corregir causa.
Presencia de escarcha en evaporador.	Caudal insuficiente de aire.	Motor de movimiento de aire del evaporador no gira a la velocidad requerida. La correa de transmisión desliza (en evaporadores de transmisión por correa).

Fuente: Puebla, Jorge Alberto. Manual de buenas prácticas en refrigeración. Venezuela: Fondoin, Pág. 106, 2005.

2.4 Diagnóstico efectivo de fallas.

Cuando un sistema se daña, bien sea porque se quema el bobinado del motor del compresor o por cualquier otra causa es necesario e importante efectuar un diagnóstico que permita determinar cuál fue la causa primitiva que provocó el daño al compresor o a cualquiera de los elementos que conforman el sistema.

Existe una gran variedad de causas que pudieron originar el desperfecto, es posible que la causa haya sido externa (alimentación eléctrica deficiente) o interna (componente auxiliar o de control del sistema de refrigeración defectuoso); o carga de gas incorrecta, por exceso o por defecto; empleo de técnicas de limpieza y evacuación del sistema incorrectas; incompatibilidad de lubricante-refrigerante, entre otras, es muy importante conocer el origen de la falla y corregirla (descartando que no haya sido falla interna del propio compresor) antes de sustituirlo; de otra manera, tarde o temprano la falla se repetirá.[1]

2.4.1 Fugas: Tipos de fugas.

Hay algunas excepciones en la consideración de lo que denominamos fugas que debemos conocer. La excepción más conocida, por su frecuencia es la que denominamos "De minimis", que significa simplemente el refrigerante que se fuga durante actos humanos de buena fe (sin mala intención), durante la recuperación, reciclaje o disposición de refrigerante.[1]

Las otras excepciones son:

- Refrigerantes que son emitidos durante el curso de operación normal de un equipo de refrigeración atribuible a pérdidas por sellos, poros en

mangueras, y en general fugas de muy baja intensidad y difícil detección (sin embargo, la reparación de toda fuga detectable es obligatoria).

- Mezclas de nitrógeno con vestigios de R22 que son empleadas como gases para detección de fugas.
- Pequeñas liberaciones de refrigerante como resultado del purgado de mangueras o durante la desconexión de estas después de una carga o servicio a un equipo.

Dicho lo anterior, se puede clasificar las fugas de refrigerantes en cuatro tipos. Estos son:

- a. Fuga accidental catastrófica: cuando una falla mecánica (por ejemplo la ruptura accidental de una tubería) causa la pérdida total, o una cantidad significativa, de la carga de refrigerante de un sistema. Como consecuencia de esto el equipo detendrá su funcionamiento inmediatamente. Son muy difíciles de eliminar pues en su gran mayoría son producidas por accidentes tales como colisiones o golpes provenientes de objetos externos u otras causas de difícil prevención.
- b. Fuga accidental gradual: cuando una fuga lenta se produce, por ejemplo como consecuencia de un sello mecánico defectuoso. Este tipo de fuga puede pasar desapercibida por largo tiempo pues el equipo seguirá funcionando hasta que la pérdida de carga sea detectada debido al accionamiento de algún dispositivo de protección o a la disminución de rendimiento del equipo. Su prevención dependerá de un buen programa de mantenimiento preventivo.
- c. Descarga de refrigerante en ocasión de un servicio: cuando una cantidad de refrigerante es liberado a la atmósfera por un técnico de servicio para desarrollar algún procedimiento en el equipo. Este tipo de fuga es evitable y por lo tanto inaceptable. Los técnicos deben aprender los procedimientos necesarios para evitarlas.

- d. Descarga de refrigerante en sistemas con dispositivos de purga de aire: cuando un dispositivo automáticamente descarga una mezcla de aire/refrigerante a la atmósfera. Un buen programa de revisión y registro periódico de los parámetros de funcionamiento del equipo puede ser de gran ayuda para prevenir estos eventos.[1]

2.4.1.1 Métodos de localización de fugas

- Lámparas detectoras de halógenos y detectores electrónicos de cloro no sirven con refrigerantes HFC. En estos casos deben usarse detectores de Flúor.
- Puede emplearse una solución espumosa de jabón con buenos resultados en la mayoría de los casos, teniendo la precaución de no emplear este método en la zona de baja temperatura del sistema donde el agua pueda congelarse sobre la superficie fría.
- No debe olvidarse verificar que no queden fugas en los puntos de conexión al sistema cada vez que se desenrosquen los conectores de las mangueras con que se haya estado prestando servicio.
- Recuerde que los gases refrigerantes son más pesados que el aire y por lo tanto, cuando busque fugas en un sistema comience por la parte superior de este.[1]

2.5 Sustitución de componentes.

Cuando se sustituyen componentes, debe asegurarse que el sustituto sea exactamente igual al sustituido, en lo que respecta a prestaciones; y de similar o mejor calidad. Si no se consigue uno que reúna estos requisitos, se deben analizar las consecuencias de aceptar las desviaciones y si eso implica el riesgo de que esta decisión no sea totalmente segura o satisfactoria, y si la necesidad de que el equipo reanude su funcionamiento lo antes posible, quizás sea necesario emplear este componente solo temporalmente para que el usuario pueda seguir utilizando

el equipo, pero se debe corregir el sistema a especificaciones originales tan pronto se consiga el componente que sí responda a las solicitudes de diseño.

Esto es de particular importancia cuando se trata de elementos de protección térmica o termo-amperimétricas y de dispositivos de arranque. En muchos casos se emplean sustitutos genéricos o aproximados que no garantizan protección en todos los casos de funcionamiento del sistema de refrigeración en condiciones extremas de aplicación. [1]

2.5.1 Compresor.

Si es necesario sustituir el compresor, surge la necesidad de decidir entre dos alternativas:

- 1) Sustituir por otro idéntico:

Que funcione con el mismo gas, o que funcione con un refrigerante sustituto de los llamados "drop in" [que pueden ser utilizados sin cambiar el tipo de lubricante].

- 2) Emplear un compresor diseñado:

Para que funcione con un gas refrigerante sustituto, incompatible con el lubricante del compresor original, en cuyo caso se deberá efectuar un "retrofit", que implica hacer ajustes a algunos componentes, sustitución de otros y efectuar una limpieza interna del sistema para eliminar el lubricante no compatible hasta los límites exigidos por el fabricante del compresor que se vaya a emplear.

La mejor solución es aquella que se basa en un diagnóstico acertado, solucione la causa primitiva de la falla del sistema y sea más simple y efectiva, dando como consecuencia una mayor vida útil de la instalación con la menor necesidad de efectuar servicios de reparación futuros.[1]

2.5.2 Ajuste del sistema a las nuevas condiciones de trabajo.

Después de haber modificado de alguna manera un sistema de refrigeración, por empleo de un refrigerante distinto al de diseño original del sistema, es preciso

verificar si es necesario ajustar el dispositivo de expansión, cuya calibración es crítica para asegurar que el equipo opere equilibradamente en todas las condiciones de trabajo del sistema. Ya sea tubo capilar o válvula termostática, se debe observar cómo opera el equipo en todas las situaciones de carga para verificar que el equilibrio se mantenga.

Asimismo debe observarse que la carga de nuevo refrigerante calculada sea la correcta para todas las condiciones de trabajo, puesto que ya la cantidad prevista de refrigerante mostrada en la placa del sistema no tendrá validez. Debido a que las propiedades físicas, tales como presiones y temperaturas críticas de las diversas sustancias puras y mezclas desarrolladas para sustituir refrigerantes SAO, no son idénticas a las de los refrigerantes sustituidos, deberá verificarse que las nuevas condiciones de trabajo no estén produciendo temperaturas o presiones que generen situaciones de riesgo en la instalación.[1]

3. DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE DIAGNOSTICO

A continuación se describe la metodología y los aspectos más relevantes que se llevaron a cabo para el desarrollo y construcción del banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión, junto con una presentación general de ésta.

El banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión, es una herramienta didáctica diseñada y construida con el objetivo de proporcionar a los estudiantes de la asignatura sistemas de refrigeración y aire acondicionado un nuevo objeto de aprendizaje para fortalecer su proceso de formación académica.

Por economía, confiabilidad y simplicidad, se selecciono un aire acondicionado de ventana LG W091CAde 9000 BTU de 115v El cual esta diseñado para refrigerar una carga térmica de 2637,6 KWh , carga que va a ser simulada en una cámara

de acrílico de 36 x 53 x 20 cm, a la cual se le instaló 3 bombillos incandescentes de 150 W cada uno para un total de 450 W.

3.1 Especificaciones del banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión.

3.1.1 Selección de la pintura

Para la construcción de este banco de refrigeración se optó por aplicarle pintura electrostática gracias a los múltiples beneficios que ésta tiene y el proceso que se lleva a cabo para dejar el banco de refrigeración con un acabado específico. Para entender más acerca de este proceso haremos una breve introducción de qué trata esta pintura y los beneficios por los cuales se seleccionó.

¿Que es pintura electrostática?

Esta pintura en polvo se añade mediante un proceso de recubrimiento electrostático. Las partículas de polvo de la pintura se cargan eléctricamente de manera opuesta al producto a pintar, causando en una atracción electrostática que permite adherirle al producto una película que envuelve toda su superficie de manera homogénea. Seguido de esto el producto pasa por un horno de curado en donde la pintura se funde y fija, permitiendo alcanzar algunas características de acabado, adherencia, resistencia a la corrosión y durabilidad muy superiores a los procesos de pinturas tradicionales. [6]

Beneficios que tiene el banco de refrigeración por la utilización de la pintura electrostática.

Durabilidad y resistencia

- Revestimiento de mayor durabilidad que el dado por las pinturas convencionales.
- Recubrimientos de mayor espesor que los dados por las pinturas convencionales.
- Dureza y durabilidad al impacto.
- Excelente calidad en terminaciones.
- Gran capacidad de retención de color.
- Gran resistencia a factores climáticos como efectos del sol, rayos ultravioleta, calor, frío, humedad y ambientes salinos.
- Resistencia a la abrasión, la corrosión, los químicos y las manchas. [6]

3.1.2selección de rodachines.

Calculo del peso.

Tabla 2: Tubería de Acero Cold Rolled de calibre 18

Longitud de barra (cm)	Numero de barras	Longitud Total (cm)
80	13	1040
72	2	144
120	2	240
25,5	1	25,5
15	1	15
	Total:	1464,5

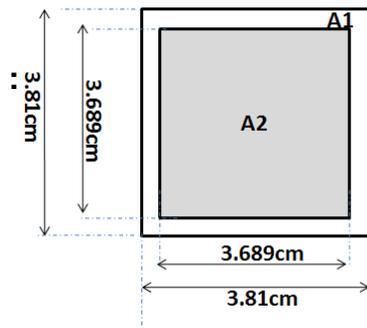
Fuente: los autores

Longitud total: 1464,5 cm

Densidad: 7.87 g/cm³ [12]

Espesor por calibre: 1,21 mm

Figura 4: Área transversal(A) de la tubería del banco de refrigeración.



$$A1: 3,81 * 3,81 = 14,5161 \text{ cm}^2$$

$$A2: 3,689 * 3,689 = 13,6087 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total (At): } 14,5161 \text{ cm}^2 - 13,6087 \text{ cm}^2 = 0,9074 \text{ cm}^2$$

Fuente: Los Autores.

Volumen total (Vt): At * Longitud

$$Vt: 0,9074 \text{ cm}^2 * 1464,5 \text{ cm}$$

$$Vt: 1328,8873 \text{ cm}^3$$

$$d = m/v \quad m = d * Vt \text{ d: Densidad m: Masa v: Volumen}$$

$$m1: 7,87 \text{ g/cm}^3 * 1328,8873 \text{ cm}^3$$

$$m1: 10458,3431 \text{ g} = 10,4583 \text{ Kg}$$

Bandejas de Acero Cold Rolled de calibre 18

$$\text{Área Bandeja frontal: } 80 \times 76 = 6080 \text{ cm}^2$$

Área Bandeja Posterior: $54 \times 76 = 4104 \text{ cm}^2$

Área Total = 10184 cm^2

Vt2 = Área Total x Espesor

Vt2 = $10184 \text{ cm}^2 \times 0,121 \text{ cm} = 1232,264 \text{ cm}^3 = \mathbf{Vt2}$

m2 = $d \times Vt2$ **m2** = $7,87\text{g/cm}^3 \times 1232,264 \text{ cm}^3$

m2 = $9697,9176 \text{ g} = 9,6979 \text{ kg}$

Tabla 3: Bandejas de Acero Cold Rolled de calibre 20.

Espesor = $0,91\text{mm}$

Áreas =

Ancho x Largo (cm)	Numero de bandejas	Área Total (cm ²)
84 x 76	2	12768
75,5 x 76	2	11476
54 x 36	2	3888
48x34	2	3264
	Total:	31396

Fuente: los autores.

At3 = 31396 cm^2

Vt3 = $31396 \text{ cm}^2 \times 0,091 \text{ cm} = 2857,036 \text{ cm}^3 = \mathbf{Vt3}$

m3 = $7,87\text{g/cm}^3 \times 2857,036 \text{ cm}^3$ **m3** = $22484,87 \text{ g} = 22,4849 \text{ kg}$

Tabla 4: Bandejas de Aluminio de calibre 20

Espesor = 0,91mm

Ancho x Largo (cm)	Área Total (cm²)
76 x 30	2280
40 x 17	680
40 x 14	560
15 x 12	180
Total:	3700

Fuente: LosAutores

$$Vt4 = 3700 \text{ cm}^2 \times 0,091 \text{ cm} = 336,7 \text{ cm}^3 = Vt4$$

$$M4 = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 336,7 \text{ cm}^3 = 0,90 \text{ kg}$$

Densidad: $2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ [11]

(<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>)

Masa aire acondicionado

Según catalogo LG

$$m5 = 34 \text{ kg} [10]$$

Nota: Este es el peso total del equipo sin embargo, a éste le fueron removidos su carcasa, rejilla y pasta frontal, peso que no se le resta y que se aproxima al peso de los tubos y accesorios montados en el banco.

Tabla 5: masa total del sistema.

Masas (kg)	Masa Total (Kg)
m1	10,4583
m2	9,6979
m3	22,4849
m4	0,90

m5	34
Total:	77,5411

Fuente: los autores

$$m_t = 77,5411 \text{ kg}$$

Cada rodachin soporta un peso total de 40kg y se le coloco al banco de refrigeración cuatro rodachines de iguales especificaciones lo que quiere decir que pueden soportar un peso de hasta máximo 160 kg y según los cálculos realizados el peso a soportar esta muy por debajo con lo cual podemos asegurar de que el banco de refrigeración no va a sufrir alguna clase de ruptura en éste componente.

3.1.3 selección de la válvula de expansión termostática.

Para este banco, fue necesario hacer un cambio en el dispositivo de expansión el cual de fábrica traía un tubo capilar y que fue remplazado por una válvula de expansión por fines didácticos.

Para este cambio se seleccionó una válvula de expansión de la marca Danfoss TEX2 con cuerpo externo para R22, su selección se basa principalmente en la capacidad de enfriamiento que es de 9000 Btu, y el tipo de refrigerante que es R22 en este caso.

Figura 5. Válvula de Expansión Termostática Danfoss TEX2



Fuente: <http://www.galpaexport.com/usa/en/products-view.php?id=2401.TEX2>

Por consiguiente estas válvulas trabajan con un dispositivo de orificio el cual varía con respecto a la capacidad de enfriamiento del equipo (9000 BTU) y el gas refrigerante (R22) para esto fue necesario consultar a la tabla suministrada por el proveedor.

Tabla 6: selección del número de orificio.

No. De Orificio	CAPACIDAD NOMINAL EN TONELADAS		
	R22	R134a	R404a R507
0X	0,15	0,11	0,11
00	0,3	0,25	0,21
01	0,7	0,5	0,45
02	1	0,8	0,6
03	1,5	1,3	1,2
04	2,3	1,9	1,7
05	3	2,5	2,2
06	4,5	3	2,6

Fuente: Proveedores de la marca Danfoss

Según las características del equipo el cual tiene una capacidad de 9000 Btu y trabaja con un refrigerante R22, por lo cual se obtuvo que el número de orificio a trabajar sería de 01.

Aunque 0,7 Toneladas de refrigeración equivalen a 8400 BTU se decide escoger por recomendaciones del proveedor este orificio, ya el siguiente es para 12000 Btu lo cual excede demasiado el diámetro adecuado para hacer una adecuada expansión.

3.1.4 selección de interruptores

Para este proceso lo primero que hizo fue verificar en las especificaciones del equipo LG W091CA, el cual tiene una corriente de operación de 9,2 A.

Para el banco de diagnóstico se hace necesario el poder simular fallas en el sistema por lo cual es necesario interrumpir la corriente que pasa por cada uno de los componentes eléctricos del sistema como lo son el compresor, los motores de los ventiladores, bombillos, y la electroválvula.

Para componentes como la electroválvula que consume una corriente de 0.087 A, el motor del ventilador del condensador que consume 0,7 A y para el motor del ventilador del evaporador que consume 1 A, se seleccionaron interruptores marca KEDU de referencia HY46 los cuales están diseñados para trabajar con corrientes de 10A.

Para el compresor se hace necesario la utilización de un interruptor de mayor amperaje y además el ofrecerle a una protección al mismo, por lo cual se hace necesario la utilización de un breaker que por recomendaciones del Ingeniero Rossvan Plata director del proyecto y por pruebas realizadas al compresor se determinó que el amperaje máximo fue de 17A en el pico de arranque y posteriormente estabilizaba su corriente a 5 y 6 Amperios.

Para los bombillos se utilizaron interruptores de 15A y 125 VCA con piloto de encendido.

Por ultimo se utilizo un breaker de 30A para proteger todo el circuito eléctrico del banco en general.

3.1.5 uso de la electroválvula.

3.1.5.1 ¿Qué es una electroválvula?

La electroválvula ó válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula. La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa. [7]

Una válvula de solenoide consiste de dos partes accionantes distintas, pero integrales: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula. Un electroimán es un imán en el cual las líneas de fuerza son producidas por una corriente eléctrica. Este tipo de imanes es importante para el diseño de controles automáticos, porque el campo magnético puede ser creado o eliminado al activar o desactivar una corriente eléctrica. [7]

3.1.5.2 Las razones por las cuales se utilizó una electroválvula.

- Se necesita controlar el flujo del refrigerante en posición completamente abierta o completamente cerrada.
- Mayor dificultad para el estudiante a la hora de identificar el tipo de falla que se le esta induciendo al sistema ya que no puede ver la posición de la misma.
- Un mayor nivel de confiabilidad de que el sistema se quede sin un paso de refrigerante cuando se le ordene.
- El interruptor que gobierna la electroválvula va a quedar ubicado en el tablero de mando.

3.1.5.3 Características de la válvula solenoide que se empleó.

Se empleó una válvula solenoide cuerpo danfoss ¼", teniendo en cuenta el diámetro de la tubería donde iba ser instalada.

Características del solenoide:

Referencia: 018F6260

- Voltaje: 115v
- Frecuencia: 60hz
- Potencia de consumo: 10w

3.1.6 Carga térmica.

Para la simulación de la carga térmica en la cámara de refrigeración del banco se utilizaron tres bombillos incandescentes cada uno con una capacidad de 150w, las razones principales para utilizar este tipo de resistencia fueron dos:

- Regulación de la carga térmica.
- Permite una visualización de cuanta carga térmica se esta empleando.

Se decidió colocar una carga térmica con un total de 450w ya que el compresor tiene una potencia de $\frac{3}{4}$ Hp que son 560W .

3.1.7 Cámara de refrigeración de acrílico.

Para simular el espacio de un recinto a climatizar se utilizó una caja de acrílico de 53x36x20centímetros con 2 cm de pestañas en cada lado de la caja para poder sujetarla firmemente al banco.

La caja esta hecha de un acrílico con un espesor de 2.5 mm que es suficiente para soportar el peso de los tres bombillos con sus respectivos plafones, y las pestañas tienen un espesor de 4 mm ya que se necesitaban perforar varios orificios para poder ser instalada al banco, y así lograr una rigidez adecuada.

3.1.8 Selección del Visor liquido / humedad.

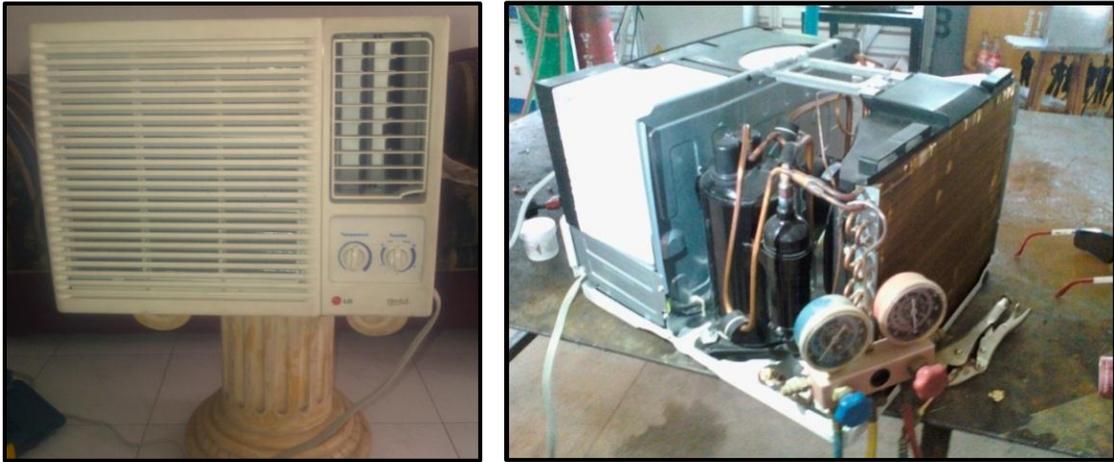
La selección del Visor liquido / humedad, se basa principalmente en el diámetro de la tubería donde va a ser instalado ($\frac{3}{8}$ ") y que tuviera un indicador de humedad con el fin de tener un control de este factor en el banco.

3.2 Proceso de construcción del banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión.

Después de haber conocido la selección de los componentes y las razones de su uso daremos a conocer detalladamente el proceso que se llevó a cabo para la construcción del banco.

1. Adquisición y extracción del refrigerante R-22

Figura 6: Compra y descarga del refrigerante del equipo.



Fuente: Los autores

2. separación de la unidad evaporadora del aire acondicionado

Figura 7: separación del evaporador del equipo.



Fuente: Los autores

3. ensamble de las barras que conforman la estructura metálica del sistema.

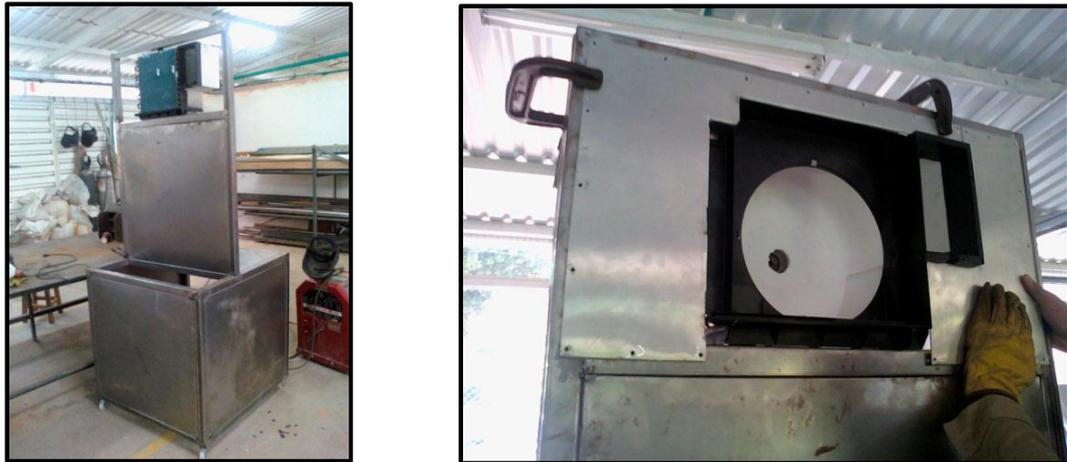
Figura 8: construcción de la estructura metálica.



Fuente: Los autores

4. Adaptación de las bandejas a la estructura metálica del equipo.

Figura 9: Ensamble de las bandejas.



Fuente: Los autores

5. Montaje y Construcción del soporte del evaporador y el motor del ventilador.

Figura 10: construcción de los soportes de la unidad evaporadora.



Fuente: Los autores

6. recubrimiento de la Pintura Electroestática al banco de diagnóstico de fallas.

Figura 11: Aplicación de la Pintura Electroestática.



Fuente: Los autores

7. Adecuación y conexión del tablero de control.

Figura 12: tablero de control del banco de diagnóstico de fallas.



Fuente: Los autores

8. Montaje de Válvula de Expansión, Electroválvula, Mirilla, termómetro digital y manómetros de alta y baja presión.

Figura 13: Montaje de los elementos del banco de diagnostico de fallas.



Fuente: Los autores

9. Conexión de manómetros con su respectiva línea y Soldadura de tuberías.

Figura 14: conexión de manómetros



Fuente: Los autores

10. Instalación de la cámara de refrigeración con sus resistencias.

Figura 15: Adaptación de la cámara de refrigeración con sus respectivas resistencias.



Fuente: Los autores

11. Vacío y recarga del sistema.

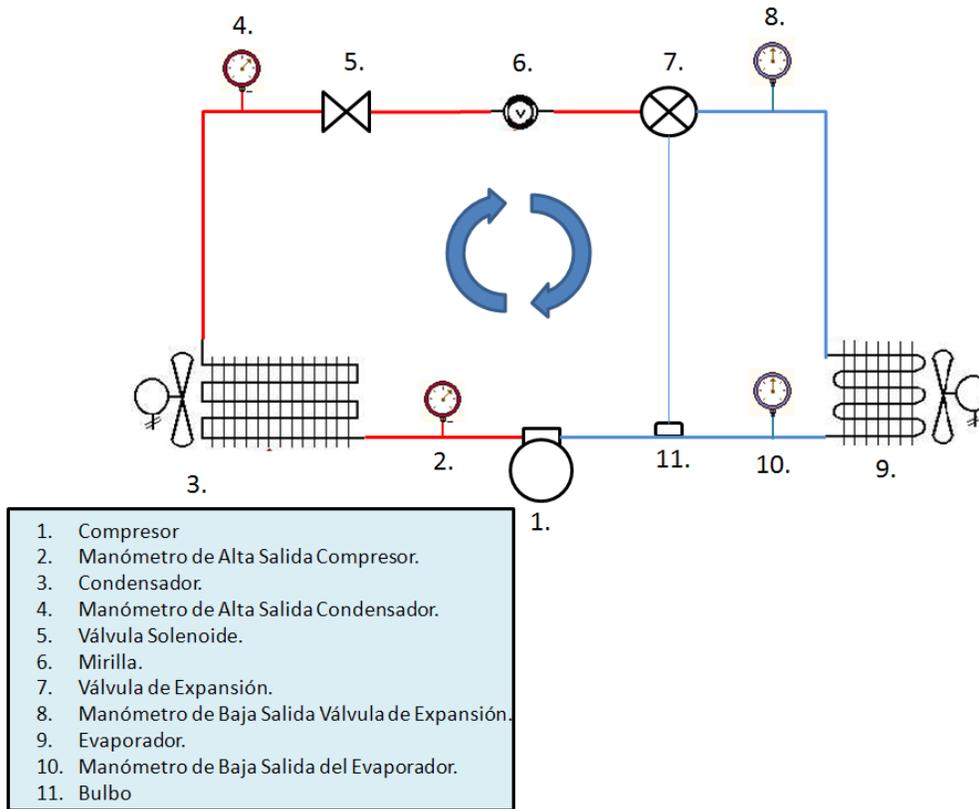
Figura 16: Vacío y recarga de R22



Fuente: Los autores

3.3 Circuito frigorífico del Banco.

Figura 17. Diagrama frigorífico del Banco.



Fuente: Los autores

4. INSTALACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 Conexión frigorífica de los elementos del Banco.

En el proceso de construcción se mostró la separación de la unidad evaporadora del equipo original, en este proceso por medio de un circuito de tuberías de cobre de $\frac{1}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ " se vuelve a conectar la unidad, además de adaptarle al sistema 4

manómetros dirigidos a los diferentes puntos cruciales del sistema en donde necesitamos tomar medidas de presión, adicionalmente se le instalan una mirilla, una válvula de expansión y una electroválvula de corte.

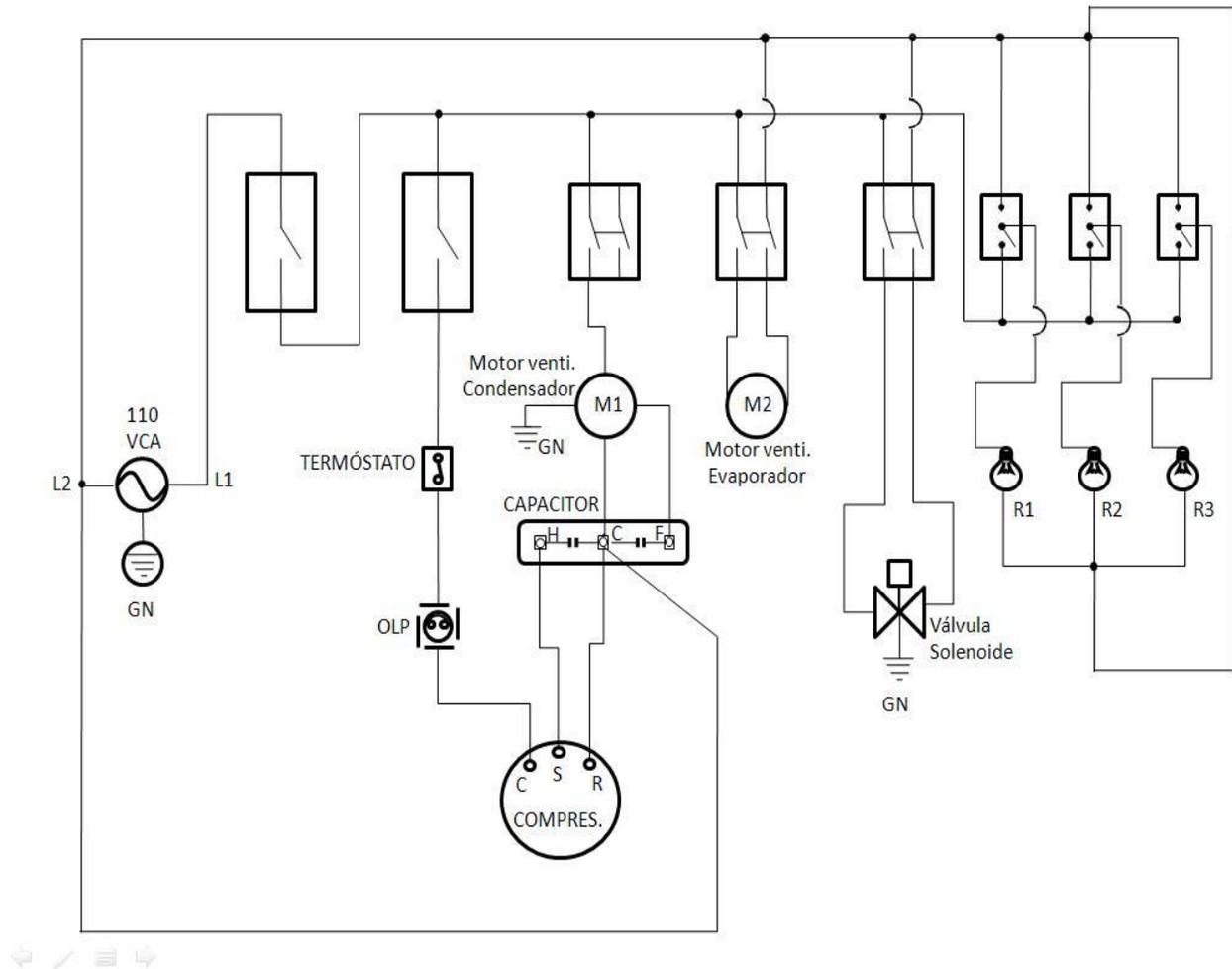
Para este paso se utilizo soldadura de plata con su respectivo fundente, y para la unión entre la tubería y los elementos que necesitaban acople se utilizaron racores tipo flare, copas de reborde y uniones de garbanzo todos estos de bronce.

4.2 Instalación del sistema eléctrico.

Para la construcción del banco fue necesaria la modificación del circuito eléctrico original del equipo LG W091CA.

En el siguiente diagrama se muestran todos los dispositivos por donde va a circular la corriente eléctrica que alimenta sistema. El esquema mostrado en la figura 16 muestra el circuito modificado e instalado en el proyecto.

Figura 18. Diagrama del circuito eléctrico modificado.



Fuente: Los autores

4.3 Comprobación de fugas y vacío.

Comprobación de fugas.

Para poder realizar el vacío y posterior recarga de refrigerante R22 al sistema, se hace necesaria la comprobación de fugas en el banco las cuales deben ser corregidas. Para tal fin se presurizó el sistema con R22 hasta 70 psi y se procedió a hacer la detección de fugas con una solución de agua-jabón y una esponja la

cual se usó para la producción de espuma en las zonas críticas del equipo como lo son las uniones, acoples y soldaduras.

En este proyecto se detectaron tres fugas; dos en los acoples de los manómetros de baja y una en el acople de la entrada de la válvula de expansión, el proceso correctivo fue el siguiente:

Apretar las conexiones de las roscas entre sus acoples utilizando dos llaves para poder hacer torsión entre la copa y el racor, éste proceso fue exitoso para la válvula de expansión pero no para los manómetros.

Para corregir la fuga entre los manómetros fue necesario soltar de nuevo los racores y aplicar una capa más gruesa de teflón en sus roscas, proceso que pudo corregir la falla adecuadamente.

Proceso de vacío.

El hacer vacío en los sistemas de refrigeración es de gran importancia ya que la propiedad higroscópica del aceite al tener contacto con la humedad produce hidratos que a un futuro puede obstruir las tuberías de cobre por donde se transporta el refrigerante lo que conlleva a problemas como las caídas de presión en el sistema.

Para evitar estos inconvenientes se hace un procedimiento de vacío del sistema el cual se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1) Conectar el manómetro a la válvula de carga del equipo.
- 2) Conectar la bomba de vacío al manómetro.
- 3) Encender la bomba de vacío.
- 4) Esperar un tiempo prudencial verificando que la mirilla nos muestre la ausencia de humedad en el sistema. Para este proyecto se dejó actuar la bomba durante 3 horas ya que se contó con una de doble etapa y de gran potencia.

5) Cerrar la llave del manómetro y luego desconectar la bomba de vacío.

4.4 Análisis y Pruebas de funcionamiento del sistema.

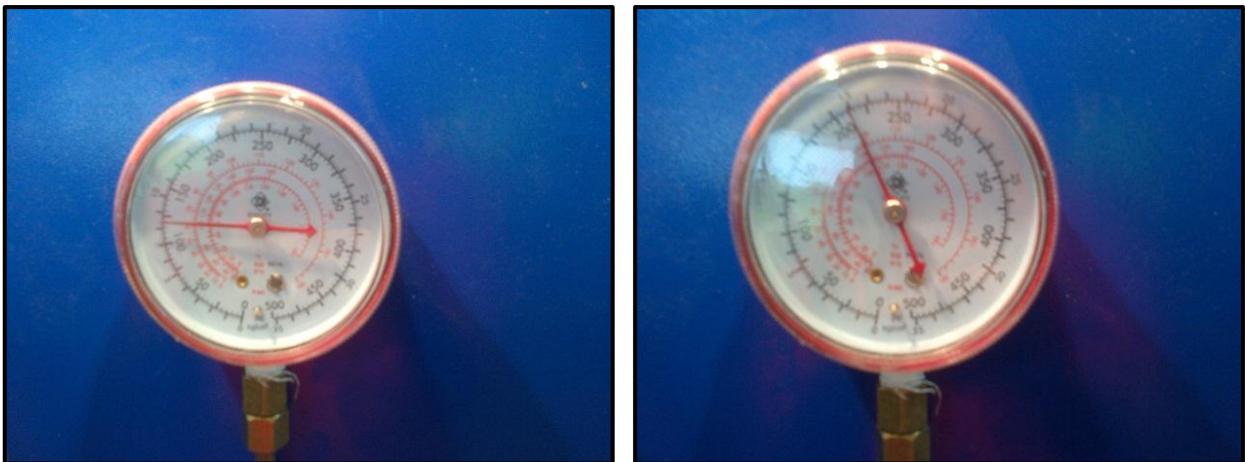
Con la operación del banco se pueden simular cuatro fallas las cuales podemos ver en la siguiente sección.

4.4.1 Apagado del motor del ventilador del condensador.

Esta acción provoca un aumento de la presión de alta, debido a que no hay transferencia de calor en el condensador por lo cual se aumenta la temperatura del refrigerante y por consiguiente aumenta su presión.

Este aumento de presión es mostrado en la siguiente figura.

Figura 19. Aumento de la presión de alta.



Fuente: Los autores

También esta operación genera un aumento en la carga de trabajo en el compresor lo cual genera un aumento en el consumo de corriente del compresor lo cual puede ser detectado con unas pinzas a perimétricas.

Figura 20. Aumento de la corriente del compresor.

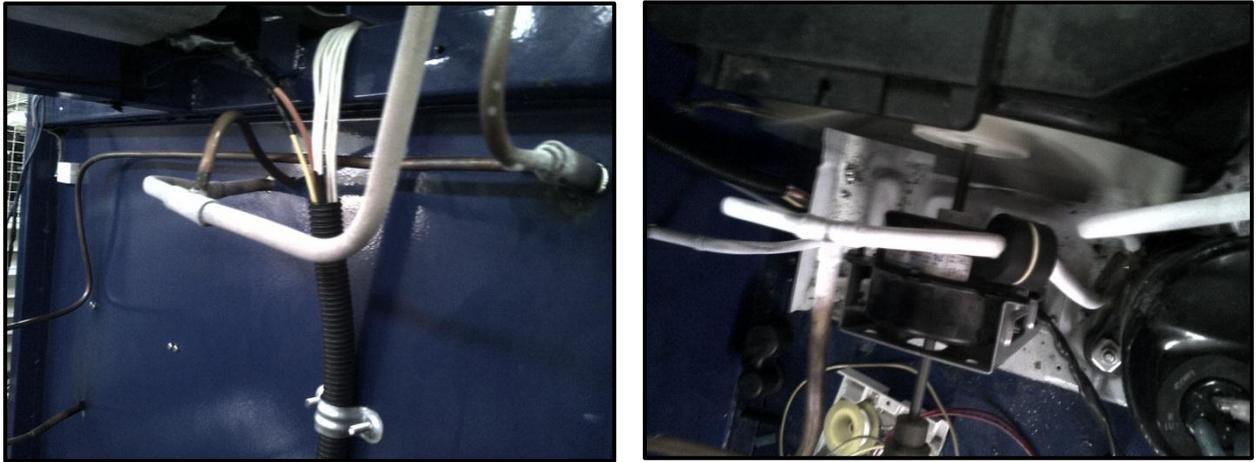


Fuente: Los autores

4.4.2 Apagado del motor del ventilador del evaporador.

Esta operación provoca una congelación en las tuberías de baja y del evaporador ya que no se está realizando la transferencia de calor con la cámara y por lo tanto no se está realizando adecuadamente el proceso de evaporación.

Figura 21. Congelación de las tuberías.



Fuente: Los autores

Adicional a esto hay una caída de presión en la parte de baja por la causa anteriormente mencionada.

Figura 22. Caída de presión.



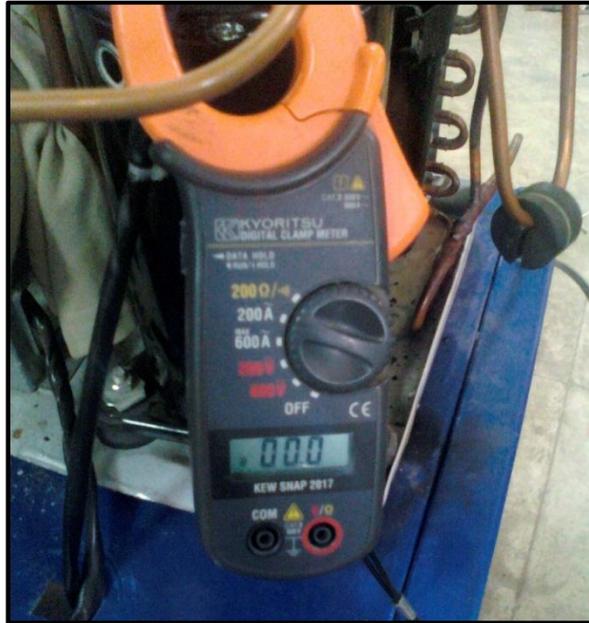
Fuente: Los autores

4.4.3

Apagado del compresor.

Al apagar el compresor su corriente de alimentación se vuelve cero ya que no le llega energía.

Figura 23. Corriente en el compresor cero.



Fuente: Los autores

Consecuente con esto las presiones de alta y de baja se nivelan ya que no hay flujo de refrigerante.

Figura 24. Presiones de alta y baja iguales.



Fuente: Los autores

4.4.4 Cierre de la válvula de corte.

Al cerrar la electroválvula se cortar el flujo de refrigerante en la parte de baja del sistema por lo cual se presenta una ausencia del mismo en esta zona, acción que provoca que se genere un vacío en esta área y se puede ver representada en los manómetros de baja.

Figura 25. Tendencia a vacío en los manómetros de baja.



Fuente: Los autores

Al haber retorno de refrigerante de la parte de baja hacia la de alta se puede presenciar en la mirilla un aumento de burbujeo en el refrigerante que se encuentra en estado líquido.

Figura 26. Aumento de burbujas en la mirilla.



Fuente: Los autores

5. conclusiones.

- 1)** Con este proyecto de grado se ha logrado construir, instalar y probar el funcionamiento de un banco de diagnóstico de fallas de sistema de refrigeración por compresión para la asignatura de aires acondicionados con lo que se puede decir que se cumplió con un objetivo del proyecto.
- 2)** Con la elaboración de las guías podemos asegurar que el estudiante podrá tener un mayor acercamiento al proceso que se lleva a cabo para la refrigeración de un espacio determinado y a la identificación de que papel juega cada componente en el sistema.
- 3)** El diseño del banco tuvo en cuenta con la disponibilidad de espacio, y se distribuyeron los elementos pensando en la facilidad de toma de datos y manejo del banco en general.
- 4)** Con la elaboración de este banco se pueden lograr simular 4 fallas pertenecientes a las más comunes que se pueden presentar en un sistema de refrigeración por compresión, como es la falla del ventilador del condensador, la falla del ventilador del evaporador, la falla del compresor y una obstrucción en el sistema simulada por la válvula de corte.

6. Recomendaciones

- El indicador del termostato debe estar en su máximo nivel, para que el compresor dure encendido el mayor tiempo posible.
- Todos los interruptores deben de estar encendidos antes de encender el interruptor de arranque del sistema si lo que se quiere es que el equipo cumpla con su funcionamiento original.
- Si se llegase a presentar una fuga en el sistema es necesario cumplir con el proceso de vacío antes de realizar la recarga del sistema.
- Es necesario que el estudiante siga rigurosamente los pasos establecidos en las guías de laboratorio con el fin de evitar daños en el equipo.
- Al finalizar las prácticas con el equipo es necesario hacer una limpieza superficial del mismo y secar la humedad producida por la condensación de las tuberías.

Bibliografía

- [1] Puebla, Jorge Alberto. Manual de buenas prácticas en refrigeración. Venezuela: Fondoin, 2005.
- [2] Calderón Méndez, JR. (2007). Diseño de un banco de pruebas para realizar ensayos del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión. Tesis. <http://revistav.uvm.edu.ve/articulos/7bc05e1.pdf>. Universidad Valle del Momboy. Venezuela.
- [3] SISTEMA DIDÁCTICO EN REFRIGERACIÓN
<http://lab-volt.com/downloads/datasheet/dse3401.pdf>
- [4] CAMARA FRIGORIFICA
<http://www.sc.ehu.es/nmw migaj/camarafrigo.htm>
- [5] Yunus a. Cengel y Michael a. Boles. Termodinámica sexta edición. Mc Graw Hill.
- [6] Grupo Ricalde. ¿Qué es la pintura electrostática?, Culiacán, Mexico.
<http://www.gruporicalde.com/Beneficios%20de%20la%20pintura%20electrostatica.pdf>
- [7] VALYCONTROL, S.A. DE C.V. MANUAL TECNICO VALYCONTROL VALVULAS DE SOLENOIDE, Guadalajara, Mexico.
http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_07.pdf
- [8] Danfoss
<http://www.danfoss.com/Spain/Products/Categories/Detail/RA/Solenoid-Valves/Coils-Solenoid-Valves/AC-coils-clip-on-for-solenoid-valves/AC-clip-on-coil-10W-3-wire-cable-IP-67/018F6260/360e0870-965d-4baa-8bbe-33c9e0e14935/bd8a2381-22df-4148-97f9-b59480341c76.html>

- [9] Ciclos frigoríficos.XIII.-318, CICLOS DE EFRIGERACIÓN
<http://libros.redsauce.net/Termodinamica/PDFs/13Termodinamica.pdf>
- [10] LG W091CA<http://www.lg.com/pa/appliances/air-conditioner/LG-window-W091CA.jsp>
- [11] Water treatment solution
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>
- [12]ACERO GRADO MAQUINARIA<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>

ANEXO A.
GUIAS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO

PRÁCTICA Nº 1

TEMA:

Identificación de componentes de un sistema de refrigeración por compresión.

OBJETIVOS:

- Reconocer que función desarrolla cada elemento en el sistema.
- Identificar en que posición deben ir los elementos del sistema para que este funcione correctamente.

TEMAS DE CONSULTA

- ¿Qué es un sistema de refrigeración por compresión?
- ¿Cuáles son los elementos principales que los componen?

EQUIPO Y MATERIALES

- Banco de pruebas de aire acondicionado.

PROCEDIMIENTO

- 1) encender el equipo.
 - Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
 - Asegurarse que el termostato se encuentre en el máximo nivel.
 - Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimenta el banco de refrigeración.
- 2) Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.
- 3) Tomar datos de las funciones que están haciendo cada elemento en el sistema.
- 4) cambiar de la posición ON a OFF el interruptor de arranque del sistema y desenchufar el sistema de refrigeración.
- 5) hacer un diagrama del sistema frigorífico.

DATOS Y ANÁLISIS

- Registrar y analizar las observaciones realizadas en el numeral 3 del procedimiento.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO

PRÁCTICA Nº 2

TEMA:

Identificación del circuito eléctrico del sistema de refrigeración.

OBJETIVOS:

- Reconocer el circuito eléctrico del banco de refrigeración.
- Identificar donde están conectados y por qué están conectados cada cable del circuito eléctrico.
- Verificar que el diagrama modificado tenga las mismas conexiones del que se encuentra instalado en el banco.
- Comparar el diagrama original del aire acondicionado con el diagrama modificado del banco de refrigeración.

TEMAS DE CONSULTA

- ¿Qué es un capacitor?
- ¿Qué es un breaker y como funciona?
- ¿Qué tipos de interruptores hay?

EQUIPO Y MATERIALES

- Banco de pruebas de aire acondicionado.
- Destornillador de estrella.
- Multímetro.
- Pinza de punta.

PROCEDIMIENTO

- 1) Quitar la bandeja del tablero de control y la bandeja posterior del banco de refrigeración.
- 2) con el diagrama modificado a la mano, comparar que concuerde este con el que se encuentra instalado el banco de refrigeración.
- 3) Volver a ensamblar las bandejas al sistema de refrigeración.
- 4) Comparar el diagrama original y el modificado.

DATOS Y ANÁLISIS

- Analizar y explicar las diferencias encontradas en el numeral 4 del procedimiento.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO

PRÁCTICA Nº 3

TEMA:

Diagnóstico de fallas de un sistema de refrigeración por compresión.

OBJETIVOS:

- El estudiante deberá desarrollar la capacidad de deducir el tipo de falla que se está simulando el banco de refrigeración.

TEMAS DE CONSULTA

- ¿Qué es una válvula solenoide o electroválvula?
- ¿Qué es una válvula de expansión?
- ¿Qué función cumple el Visor líquido / humedad?
- ¿Qué es un manómetro?

EQUIPO Y MATERIALES

- Banco de pruebas de aire acondicionado.
- Multímetro.
- Pinzas amperimétricas

PROCEDIMIENTO

- Procedimiento para inducir la falla de apagado del compresor.
 - 1) encender el equipo.
- Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
- Asegurarse que el termostato se encuentre en la máxima posición.
- Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimentara nuestro banco de refrigeración.
- Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.
 - 2) Dejar pasar aproximadamente 30 segundos y tomar datos de la corriente del compresor y presiones de los manómetros de alta y baja.
 - 3) Cambiar de la posición ON a OFF el interruptor del compresor.
 - 4) Tomar datos de la corriente del compresor y presiones de los manómetros de alta y baja.
 - 5) Apagar el banco de refrigeración dejando todos los interruptores en ON excepto el de arranque del sistema y luego desenchufarlo.
- Procedimiento para inducir la falla de apagado del motor del condensador.
 - 1) encender el equipo.

- Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
- Asegurarse que el termostato se encuentre en la máxima posición.
- Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimentara nuestro banco de refrigeración.
- Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.

2) Dejar pasar aproximadamente 30 segundos y tomar datos de la corriente del compresor y presiones de los manómetros de alta y baja.

3) Cambiar de la posición ON a OFF el interruptor del ventilador del condensador.

4) Tomar datos de la corriente del compresor y presiones de los manómetros de alta y baja.

5) Apagar el banco de refrigeración dejando todos los interruptores en ON excepto el de arranque del sistema y luego desenchufarlo.

- Procedimiento para inducir la falla de apagado del motor del evaporador.

1) encender el equipo.

- Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
- Asegurarse que el termostato se encuentre en la máxima posición.
- Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimentara nuestro banco de refrigeración.
- Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.

- 2) Dejar pasar aproximadamente 30 segundos y tomar datos de las presiones de los manómetros de alta y baja y observar en que estado se encuentran las tuberías del evaporador y las tuberías de baja.
 - 3) Cambiar de la posición ON a OFF el interruptor del ventilador del evaporador.
 - 4) Tomar datos de las presiones de los manómetros de alta y baja y verificar que cambios se pueden visualizar en las tuberías del evaporador y en las tuberías de baja.
 - 5) Apagar el banco de refrigeración dejando todos los interruptores en ON excepto el de arranque del sistema y luego desenchufarlo.
- Procedimiento para inducir la falla de fuga del gas refrigerante en la parte de baja.

1) encender el equipo.

- Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
 - Asegurarse que el termostato se encuentre en la máxima posición.
 - Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimentara nuestro banco de refrigeración.
 - Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.
- 2) Dejar pasar aproximadamente 30 segundos y tomar datos de las presiones de los manómetros de alta y baja y observar en que estado se encuentra el visor liquido / humedad.
 - 3) Cambiar de la posición ON a OFF el interruptor de la válvula de corte.
 - 4) Tomar datos de las presiones de los manómetros de alta y baja y verificar que cambios se pueden visualizar en el visor liquido / humedad.

- 5) Apagar el banco de refrigeración dejando todos los interruptores en ON excepto el de arranque del sistema y luego desenchufarlo.

DATOS Y ANÁLISIS

Registrar y analizar los datos obtenidos antes y después de haberle inducido las fallas (apagado del compresor, apagado del motor del ventilador del evaporador, apagado del motor del ventilador del condensador y cortar el flujo de gas) al sistema.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO

PRÁCTICA Nº 4

TEMA:

Recuperación de gas refrigerante de un sistema de refrigeración por compresión.

OBJETIVOS:

- Aprender a hacer una correcta recuperación del gas refrigerante.
- Reconocer los elementos necesarios para hacer una recuperación del gas refrigerante.

TEMAS DE CONSULTA:

- ¿Qué es una válvula de carga?
- ¿Cuáles son los principales tipos de refrigerante que existen en el mercado?
- ¿Que es un manifold?

EQUIPO Y MATERIALES

- Banco de pruebas de aire acondicionado.
- Manifold.
- Cilindro de gas R-22
- Pinzas amperimétricas.

PROCEDIMIENTO

1) encender el equipo.

- Verificar que todos los interruptores estén en la posición ON, excepto el interruptor de arranque del sistema.
- Asegurarse que el termostato se encuentre en la máxima posición.
- Conectar el enchufe en el suministro de energía eléctrica de 110V con el cual se alimentara nuestro banco de refrigeración.
- Cambiar de la posición OFF a ON el interruptor de arranque del sistema.

2) conectamos la manguera amarilla a la botella de gas R22, apretamos la manguera en la botella, aflojamos el extremo de la manguera amarilla en el lado del manómetro, abrimos ligeramente la llave de paso de la botella para purgar la manguera muy brevemente, unos 2 segundos. Roscamos rápidamente la manguera al manómetro, para no emitir GAS refrigerante. Ya tendremos el conjunto listo para iniciar la carga de GAS, botella de GAS en posición vertical.

3) El gas R22 debe cargarse en fase GAS, por lo que cargaremos gas controlando los tres parámetros básicos, manómetro, pinza amperimétrica y termómetro. pasados 30 segundos Aproximadamente. vamos soltando golpes de GAS, el primero puede ser de 2 minutos o mas ya que el circuito está vacío, cerramos la llave de paso, y esperando unos 30 a 40 segundos a que el compresor vaya nivelando la presión y circulando el gas por el circuito, volvemos a soltar otro golpe de GAS de unos 15 segundos y esperamos, así sucesivamente.

4) Para desconectar la manguera, cerramos la llave de paso del manómetro, cerramos la llave de paso de la botella, desconectamos la manguera Amarilla de la botella, escapará algo de gas y desconectamos

RAPIDAMENTE la manguera Azul de la válvula de servicio, para que se pierda el mínimo gas posible.

- 5) colocamos el tapón de la válvula de servicio, OJO apretarlo adecuadamente ya que en muchas ocasiones existe alguna pequeña pérdida de gas por este punto. [12]

DATOS Y ANÁLISIS

Registrar y analizar los procedimientos hechos para la recuperación del gas refrigerante.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO

PRÁCTICA Nº 5

TEMA:

Corrección de fuga de un sistema de refrigeración por compresión.

OBJETIVO:

- entender como se hace una adecuada corrección de fuga en un sistema de refrigeración.

TEMAS DE CONSULTA:

- ¿que tipos de fugas que pueden existir?
- ¿Métodos que hay en el mercado para reparar fugas en equipos de aires acondicionados?

EQUIPO Y MATERIALES

- Banco de pruebas de aire acondicionado.
- Tubería de cobre.
- Soldadura de plata.

PROCEDIMIENTO

Para detectar una pérdida de gas refrigerante en el sistema existen varios métodos que se pueden emplear.

Empleo de solución jabonosa para detectar fugas en las conexiones de las tuberías.

- El método más sencillo para ubicar las fugas de gas es mediante el empleo de una solución jabonosa espumante. Para ello se presuriza el sistema para que el gas fugado por la avería pueda ser detectado visualmente y luego se hace pasar la solución jabonosa por todo el sistema y se observa donde se produce el burbujeo. [1]

Empleo de soldadura de acetileno y oxígeno para la corrección de fugas en las tuberías.

- Se coge un pedazo de tubería de cobre y se le hace un orificio.
- Se le aplica una soldadura de acetileno con oxígeno y se corrige la fuga.

DATOS Y ANÁLISIS

Registrar y analizar los procedimientos hechos para las correcciones de las fugas.

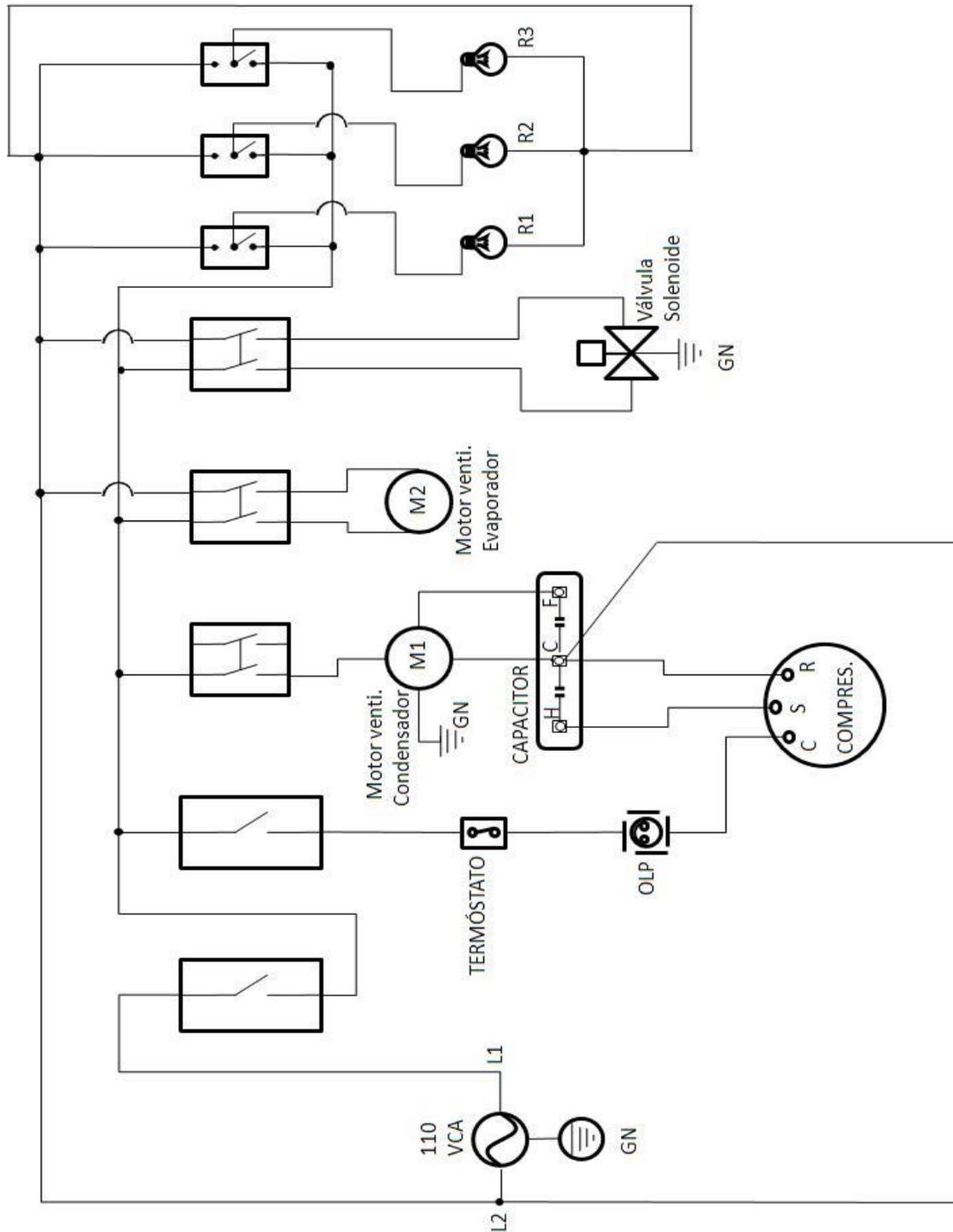
ANEXO B.
GUIA DE MANTENIMIENTO

Guía de mantenimiento del banco.

DESCRIPCION DEL SERVICIO		Frecuencia		
		A	M	S
1	Limpieza exterior general de las unidades.		x	
2	Medir los consumos de corriente y comparar con los parámetros normales.		x	
3	Inspeccione el compartimiento de las unidades en busca de señales de corrosión. Limpie o repare si fuera necesario.	x		
4	Revise las hélices de los ventiladores y la carcasa en busca de daños de las unidades. Gire la rueda del ventilador manualmente para asegurar que no existen obstrucciones bloqueando su movimiento.	x		
5	Inspeccione las aletas del serpentín en busca de suciedad o daños. Límpielas.	x		
6	Verificar que no exista fugas de refrigerante			x
7	Inspección de manómetros, válvulas, visor.			x
8	Inspeccionar que no existan signos de humedad de aceite a lo largo de tuberías, particularmente en las conexiones y acoples de presión.		x	
9	Eliminar el hielo adherido a las tuberías sin emplear objetos punzo penetrantes.			

M- Mensual	A- Anual	S-Semestral
-------------------	-----------------	--------------------

ANEXO C.
DIAGRAMA DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DEL BANCO DE DIAGNOSTICO DE
FALLAS.



ANEXO D.
DIAGRAMA DEL CIRCUITO ELÉCTRICO ORIGINAL DEL EQUIPO LG
W091CA.

WIRING DIAGRAM

