



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Diseño y construcción de un banco
de pruebas para el ciclo de refrigeración por compresión

Por:

Mario Alberto Méndez López

T E S I S

Presentada como requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño y Construcción de un banco
de pruebas para el ciclo de refrigeración por compresión

Por:

MARIO ALBERTO MÉNDEZ LÓPEZ

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como

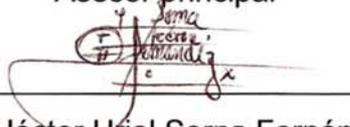
Requisito

Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO AGRÍCOLA

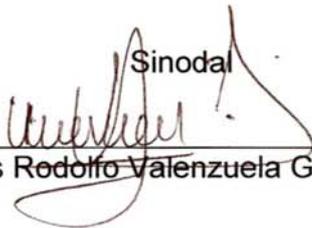
Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor principal



MC. Héctor Uriel Serna Fernández

Sinodal



MC. Jesús Rodolfo Valenzuela García

Sinodal



Ing. Juan Arredondo Valdés

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería



Dr. Raúl Rodríguez García



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Mayo 2009

Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Gracias **a Dios y a la Virgen de Guadalupe** por haberme dado un día mas de vida, sobre todo por cuidar de mi familia. Así como brindarme una luz entre la obscuridad de un camino tan difícil como lo es el de la vida.

A mi **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** ya que dentro y fuera de sus aulas me brindaron los conocimientos necesarios e indispensables para mi formación, además de sus dormitorios La Colorada donde disfrute de momentos amargos así como de alegrías. A su *departamento de Maquinaria Agrícola* donde me forme académicamente. Muchas Gracias.

Al **MC. Héctor Uriel Serna Fernández**, por brindarme su amistad, confianza, paciencia, conocimientos y por su apoyo incondicional desde el inicio en este proyecto, y más que nada porque es una excelente persona.

Al **MC. Jesús R. Valenzuela García**. Gracias por su amistad y la confianza que me brindo en todo momento por el apoyo brindado en los momentos difíciles.

Al **MC. Juan Antonio Guerrero Hernández, Dr. Martín Cadena Zapata, MC. Blanca Elizabeth De la Peña Casas, Ing. Jorge Alberto Flores Berrueto, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Ramiro Luna Montoya, MC. Tomas Gaytán Muñiz, Ing. Juan Arredondo Valdez, MC. René Félix López** Gracias por haberme transmitido sus conocimientos y brindarme su amistad durante mi estancia en la Universidad.

A **todos mis compañeros de la generación CIV así como de generaciones anteriores y posteriores**. Por su amistad y por todas aquellas fiestas que pasamos en nuestra vida de estudiantes. “que DIOS los bendiga y a mí que no me olvide”.

A mis amigos quienes ahora ya son ingenieros: **Francisco Martín Hernández Hernández, Gabino Ruiz Díaz, Humberto Guerrero García, José Ramón Rodríguez Becerra, Carlos Hernández Sánchez, Candelario López Cruz, Álvaro Villagrana Cruz y Salvador Romero Segundo.** Gracias por esas palabras de aliento y por la amistad incondicional que me han brindado.

A mis amigas **Ortencia Guerrero García, Rocío Jazmín Mejía Santillán.** Gracias por esa amistad y confianza que desde que las conozco me han brindado y los consejos que me ayudaron a salir de mis tristezas.

Principalmente a una niña muy querida que con su locura me devolvió la sonrisa y que con el paso del tiempo se fue convirtiendo en mi princesa **Brenda Monserrat Montes Herrera, Gracias.**

Sra. Estela Herrera gracias por el apoyo que me brindo y muy en especial por sus consejos tan acertados, los cuales siempre llevare conmigo.

A las familias **Escobedo Navarro, Rodríguez Becerra y Ancheyta** gracias por el apoyo brindado en mi estancia por las ciudades de Saltillo Coahuila, Irapuato Guanajuato y La Trinitaria Chiapas respectivamente.

A todos y cada uno de mis familiares gracias por haberme transmitido esas enseñanzas y consejos que la vida misma les dio.

A Don Antonio Méndez (†), por sus regaños, que más que nada fueron enseñanzas.

“Si tiras un árbol, no te quejes luego de no poder acogerte a su sombra”

Juan Cabrera Bravo.

DEDICATORIAS

De Todo Corazón Para Las Personas Que Me Dieron Vida.

A mi Madre: Leonor López

A mi Padre: Francisco Javier Méndez

Para ti Madre y para ti Padre que me brindaron el regalo máspreciado como es la vida, misma que han guiado por el camino del bien y por estar conmigo en los momentos difíciles a pesar de la distancia y más que nada por otorgarme esa confianza que nunca defraudaré.

Lamentablemente no soy bueno expresándome con palabras pero lo que si les puedo escribir es que es un orgullo ser hijo de ustedes.

A mi hermano Francisco (Mijo) y

A mi hermana Gabriela (Gaby)

Quienes me han apoyado incondicionalmente, sobretodo me han hecho ver mis errores en la vida lo cual les agradezco.

A ustedes mi Familia les brindo este logro de mi vida.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótesis.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Refrigeración	7
2.2 El ciclo de Carnot	7
2.3 Entropía.....	9
2.4 Entalpía	10
2.5 Refrigeración por compresión	11
2.6 Compresores	14
2.6.1 Compresores recíprocos: herméticos	14
2.6.2 Funcionamiento	15
2.6.3 Desplazamiento del pistón.....	16
2.6.4 Lubricación	17
2.7 Características técnicas exigidas para aceites lubricantes.....	19
2.8 Condensadores	20
2.8.1 Condensadores enfriados por aire.....	20
2.8.2 Carga del condensador.....	21
2.8.3 Capacidad del condensador	22
2.9 Evaporadores	22
2.9.1 Capacidad del evaporador.....	23
2.10 Factor de conductancia total U	24

2.11 Diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD).....	25
2.12 Válvula termostática de expansión.....	26
2.13 Tubo capilar.....	28
2.14 Tubo de cobre	29
2.14.1 Clasificación de los tubos de cobre.....	29
2.15 Instrumentación.....	30
2.15.1 Termostato.....	31
2.15.2 Presóstato.....	31
2.15.3 Termómetro bimetalico	32
2.15.4 Termómetro de resistencia	33
2.15.5 Termistores.....	34
2.16.6 Termopares	34
2.16.6.1 Tipos de termopares	35
2.16.7 Transductores.....	36
2.16 Gases Refrigerantes.....	36
2.16.1 Características apropiadas de los refrigerantes.....	38
2.16.2 Normas internacionales sobre los fluidos refrigerantes	39
2.16.3 Listado de Gases Refrigerantes.....	39
2.17 Gas ideal o Gas Perfecto	40
2.17.1 Ley de Boyle	40
2.17.2 Ley de Charles.....	41
2.17.3 Ley de Joule	41
2.17.4 Ley de Avogadro.....	41
2.17.5 Ecuación de un gas ideal o perfecto	42
2.17.6 Mezclas de gases	43
2.17.7 Ley de Dalton.....	43
2.18 Comprobación de hermeticidad.....	44
2.18.1 Prueba de presión.....	44
2.19 Diseño mecánico	45
2.19.1 Interacción entre los elementos del proceso del diseño....	46
2.19.2 Identificación del problema	46

2.19.3 Consideraciones de diseño.....	47
2.20 Soldadura.....	48
2.20.1 Soldadura por arco eléctrico.....	49
2.20.1.1 Electrodos.....	49
2.20.1.2 Numeración de electrodos.....	50
2.20.1.3 Características de electrodos para aceros de bajo carbón.....	51
2.20.2 Soldadura fuerte.....	53
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
3.1 Materiales.....	55
3.2 Metodología del diseño y construcción.....	59
3.3 Diseño.....	59
3.3.1 Herramientas utilizadas en el diseño del banco de pruebas.....	59
3.4 Construcción del bastidor.....	59
3.4.1 Pasos para la construcción.....	60
3.4.2 Herramientas utilizadas en la construcción del bastidor.....	62
3.5 Montaje y distribución de los elementos para llevar a cabo el ciclo de refrigeración.....	63
3.5.1 Herramientas utilizadas en el montaje y distribución de los elementos para llevar a cabo el ciclo de refrigeración.....	65
3.6 Comprobación de hermeticidad.....	66
3.6.1 Prueba de presión.....	66
3.6.2 Herramientas utilizadas para la comprobación de hermeticidad.....	66
3.7 Instalación eléctrica.....	66
3.7.1 Herramientas y equipo utilizados para la instalación Eléctrica.....	67
3.8 Construcción final del banco de pruebas.....	67

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	69
4.1 Construcción del bastidor	69
4.2 Elementos y equipo para llevar a cabo el ciclo de refrigeración	69
4.3 Instalación eléctrica	70
4.4 Pruebas	70
4.5 Sistema de refrigeración	71
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
VI. BIBLIOGRAFÍA	75
5.1 Páginas Web	76
VII. ANEXOS	78
Anexo I	79
Anexo II	83
Anexo III	87
Anexo IV	89
Anexo V	94
Anexo VI	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama Presión - Entalpia	8
Figura 2.2 Ciclo simple por compresión de vapor	9
Figura 2.3 Diagrama P-h de un refrigerante.....	11
Figura 2.4 Esquema básico de refrigeración por compresión	12
Figura 2.5 Diagrama Temperatura-entropía de una instalación frigorífica	12
Figura 2.6 Presentación de laboratorio	12
Figura 2.7 Succión del refrigerante	16
Figura 2.8 Expulsión del refrigerante	16
Figura 2.9 Sistema de lubricación de un compresor	18
Figura 2.10 Válvula de expansión termostática	27
Figura 2.11 Tubo Capilar	29
Figura 2.12 Elementos de un termómetro bimetálico.....	32
Figura 2.13 Fases de diseño	48
Figura 2.14 Esquema del proceso de soldadura eléctrica de arco	53
Figura 2.15 Clasificación de electrodos según la AWS para proceso SMAW para aceros al carbono	54
Figura 3.1 Medición del PTR con cinta métrica	60
Figura 3.2 Trazos con escuadra a 45°	60
Figuras 3.3 Corte de las secciones trazadas	61
Figura 3.4 PTR unido para formar el “Bastidor”	62
Figura 3.5 Bastidor antes de la distribución de los elementos	62
Figura 3.6 Distribución de elementos sobre el bastidor	64
Figura 3.7 Unión de los elementos mediante soldadura fuerte	64
Figura 3.8 Elementos de la instalación eléctrica	67
Figura 3.9 Construcción finalizada del banco de pruebas	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Lista de gases refrigerantes información obtenida de Praxair.....	40
Cuadro 2.2 Interpretación del último dígito de los electrodos	51
Cuadro 2.3 Características de electrodos para aceros de bajo carbón	52
Cuadro 3.1 Equipo y material utilizados para la instalación eléctrica.....	55
Cuadro 3.2 Cantidad de material utilizado para la construcción del bastidor....	56
Cuadro 3.3 Características de las ruedas utilizadas para soporte del bastidor.	56
Cuadro 3.4 Material utilizado para llevar a cabo el ciclo de refrigeración por compresión	57

I. INTRODUCCIÓN

Se ha dicho que el punto de ebullición de un líquido depende de la presión exterior a la que está sometido. Este hecho se puede explicar si se considera que toda materia está compuesta por partículas, (moléculas) que se atraen entre sí, pero que también tienen una considerable energía de velocidad. La presión que rodea a un líquido inhibe el escape de sus moléculas. Sin embargo, si la temperatura del líquido se eleva, la velocidad de las moléculas aumenta y a determinada temperatura, (punto de ebullición) éstas escaparán rápidamente: el líquido se evapora. Si la presión aumenta, las moléculas deberán alcanzar una mayor velocidad, o sea una temperatura superior para escapar.

Por otro lado, si la presión exterior se reduce lo suficiente, hasta el punto de saturación, las moléculas tendrán la suficiente energía para escapar a una temperatura menor. Así se logra la refrigeración. Se usa un líquido que hierve a baja temperatura con respecto a la presión que se puede alcanzar. La presión se reduce por debajo de la presión de saturación y el líquido hierve repentinamente. Como se dijo, los líquidos absorben calor cuando hierven: su calor latente de evaporación. El calor absorbido de los alrededores a baja temperatura es lo que llamamos refrigeración, según Pita (2006).

Gerald Schweitzer y A. Ebeling (1974) dicen que si tomamos un líquido refrigerante, lo confinamos en un recipiente y colocamos éste cerca de un objeto caliente, el líquido absorbe calor del objeto de mayor temperatura. Si el líquido refrigerante absorbe suficiente calor, entrara en ebullición y evaporizará.

Si el gas refrigerante vaporizado está lo suficientemente comprimido, entregará el calor que absorbió del objeto caliente y se condensará en el fondo del recipiente en forma de líquido. Este proceso de vaporización y condensación alternativa de un refrigerante se denomina ciclo de refrigeración.

Dossat (2006) define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor. Más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto a los alrededores correspondientes.

Para lograr lo anterior, debe sustraerse el calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo cuya temperatura es inferior. Debido a que el calor del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo.

Çengel y Boles (2003) afirman que el calor fluye en la dirección de la temperatura decreciente, es decir, de medios de alta temperatura a medios de baja temperatura. Este proceso de transferencia sucede en la naturaleza sin requerir ningún dispositivo. Sin embargo, el proceso inverso no puede ocurrir por sí solo. La transferencia de calor de un medio de baja temperatura a uno de alta temperatura requiere dispositivos especiales llamados refrigeradores.

Los refrigeradores, como las máquinas térmicas, son dispositivos cíclicos. El ciclo de refrigeración que se usa con mayor frecuencia es el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, que incluye cuatro componentes principales: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador.

Daikin una empresa internacional dedicada a la fabricación y elaboración de aire acondicionado menciona en su portal de internet que es común asociar la refrigeración con la preservación de alimentos y el acondicionamiento del aire

de los edificios. No obstante, las técnicas de refrigeración se utilizan en muchas situaciones. Por ejemplo, el empleo de combustibles líquidos para la propulsión de cohetes, el oxígeno líquido para la fabricación del acero, el nitrógeno líquido para la investigación a temperaturas bajas (criogenia) y para técnicas quirúrgicas, el gas natural licuado para transporte internacional, también tiene grandes aplicaciones en la industria como la producción de hielo y la deshumidificación de gases. Algunas aplicaciones importantes dentro de la Petroquímica incluyen la purificación de aceite lubricante, reacciones a bajas temperaturas, separación de hidrocarburos volátiles, entre otros. Y por supuesto una de las aplicaciones comerciales más importantes es la licuefacción de gases. Son solo algunos de los muchos, en los que la refrigeración es esencial.

Palabras Clave: Refrigeración por compresión de un gas, gas ideal, soldadura, numeración de electrodos.

1.1 Antecedentes

González et. al. (2002) crean un banco didáctico para refrigeración, el cual consiste en poder simular cualquier tipo de refrigeración, ya sea el de un aire acondicionado, un refrigerador, una cámara fría.

G.U.N.T. fabricante de prototipos didácticos desarrolla un sistema de refrigeración didáctico con simulación de fallas Pc (ET 422, 2001), es un circuito refrigerante en plenas condiciones de servicio con fase de refrigeración y de congelación. La planta está estructurada con componentes industriales sobre un carro móvil de laboratorio. El registro de datos asistido por Pc permite el procesamiento de todos los datos de medición en una Pc. La planta, no obstante, puede también operarse sin Pc ya que todos los datos de medición se representan sobre indicadores digitales. El sistema de refrigeración didáctico está concebido para la enseñanza profesional por lo que la extensión de los ensayos se ha ampliado con la posibilidad de simular fallas. Con ello resulta una amplia gama de experimentos que cubre todos los principios básicos de la técnica de refrigeración.

G.U.N.T. crea el (ET 412C, 2007) un banco de ensayos en técnica de refrigeración industrial, es un modelo totalmente operativo de un equipo de refrigeración con dos evaporadores que representan un nivel de refrigeración y un nivel de congelación. El equipo está construido con elementos habituales de la técnica de refrigeración. Gracias a ello, la enseñanza alcanza con este modelo un alto grado de importancia práctica. En el equipo se encuentra un gran número de registradores de datos experimentales que captan presiones, temperaturas, caudales y potencia. Los valores experimentales se leen en displays y pueden ser procesados mediante la adquisición de datos para Pc. Dieciocho averías se simulan por medio de pulsadores. Adicionalmente, válvulas manuales permiten la simulación de fallos como tuberías obstruidas o tuberías con sección reducida causada por suciedad.

Cussons Technology una empresa del Reino Unido en septiembre de 2004, introduce una nueva gama de productos de refrigeración para formaciones profesionales y técnicas, de la cual destaca el aparato de bomba térmica y de refrigeración por compresión de vapor que opera como un refrigerador o una bomba térmica con serie P5750.

1.2 Justificación

Este trabajo surge de la necesidad de contar con un prototipo didáctico de sistema de refrigeración para fines de ejemplificar problemas relacionados a las sustancias puras desde el punto de vista termodinámico, así como los aspectos relacionados con las materias de circuitos lógicos y transferencia de calor, específicamente con cuestiones que intervengan directamente en fallas de un sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un banco de pruebas para el ciclo de refrigeración mediante compresión.

1.3.2 Objetivos específicos

- Proponer los materiales que serán utilizados para la construcción del banco de pruebas.
- Realizar la distribución del equipo en el banco de pruebas.
- Construcción del bastidor y placa de montaje del equipo.

- Realizar los ajustes pertinentes que permitan medir las variables de temperatura, presión y tiempo.
- Probar hermeticidad en conexiones para evitar pérdidas del refrigerante 134a.

1.4 Hipótesis

Mediante un prototipo de refrigeración por compresión es posible obtener una serie de lecturas de las variables temperatura y presión. Así como, la simulación de fallas del sistema de refrigeración mediante un PLC.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Refrigeración

La refrigeración es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura (a un valor menor a la del medio ambiente) de un objeto o espacio. La reducción de temperatura se realiza extrayendo energía del cuerpo, generalmente reduciendo su energía térmica, lo que contribuye a reducir la temperatura de este cuerpo, afirma Saydaoui (2008).

La refrigeración implica transferir la energía del cuerpo que pretendemos enfriar a otro, aprovechando sus propiedades termodinámicas.

2.2 El ciclo de Carnot

Es un ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo. Este ciclo fue estudiado por Sadi Carnot en su trabajo *Reflections sur la puissance motrice de feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, de 1824.

Este ciclo está constituido por cuatro procesos: dos procesos adiabáticos reversibles y dos procesos isotérmicos reversibles, (Gayé 1970).

Renedo (2005) confirma que las máquinas de refrigeración por compresión emplean un fluido como refrigerante. Cada refrigerante tiene un diagrama característico Presión-Entalpía de la forma representada en la figura 2.1.

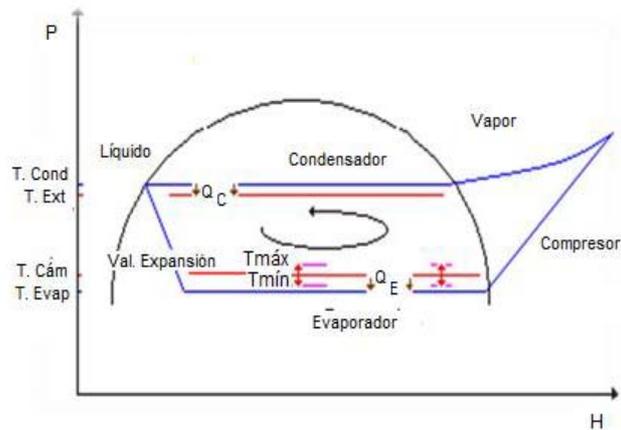


Figura 2.1 Diagrama Presión - Entalpia.

Granet (1998) describe un ciclo simple por compresión como se muestra en la figura 2.2, el cual comprende una expansión del fluido desde el punto de saturación hasta la región húmeda (trayectoria 1-2). Durante este proceso (estrangulamiento), la entalpía permanece en esencia constante. Sin embargo, la presión y la temperatura del fluido de trabajo disminuyen y el fluido se convierte en una mezcla de líquido y de vapor en el estado 2. El fluido de trabajo enfriado (refrigerante) pasa entonces al evaporador y ahí (trayectoria de 2 – 3) entra el calor de la región o del fluido a enfriar. Esta parte del proceso se lleva a cabo a temperatura y presión constante (idealmente) dado que el fluido del trabajo está en la región húmeda. La siguiente parte del ciclo (trayectoria 3 - 4) es una fase de compresión. Si la compresión continúa en el punto 3 hasta el punto 4 como se muestra en la figura, la refrigeración comenzará del punto de vapor saturado y luego continuará hacia la región de vapor sobrecalentado. Esta trayectoria se le llama compresión seca. En la trayectoria alterna 3a – 4a, en donde el refrigerante se encuentra en un inicio húmedo y se lleva apenas a las condiciones de saturación mediante el proceso de compresión. Esta trayectoria se ha denominado compresión húmeda por obvias razones.

En la última trayectoria del ciclo (4 – 1) se desecha calor esencialmente a

presión constante hasta que se alcanza la línea de líquido saturado. Una vez más en el diagrama T / s muestra la trayectoria alterna 1a – 2a. En la práctica sería difícil alcanzar justamente el punto 1 para todas las cargas del sistema, y pretenderíamos alcanzar un poco más de enfriamiento hasta el punto 1a.

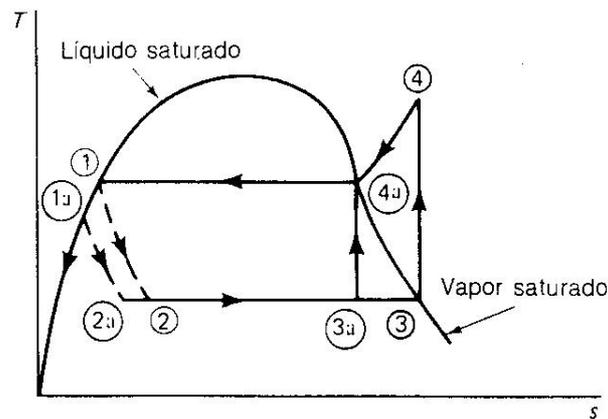


Figura 2.2 Ciclo simple por compresión de vapor.

El rendimiento de estas máquinas o *COP*, es el calor extraído en el evaporador entre el trabajo empleado para ello (trabajo del compresor), se calcula por las entalpías en cada uno de estos elementos.

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporador}}}{T_{\text{compresor}}} \quad (2.1)$$

Vista la forma del rendimiento, se observa que cuanto más “alto” es un ciclo, menor es su rendimiento.

2.3 Entropía

En termodinámica, la entropía (simbolizada como S) es la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. En un sentido más amplio se interpreta como la medida de la uniformidad de la energía de un sistema. Es una función de estado de carácter extensivo y su

valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural. La palabra entropía procede del griego (έντροπία) y significa evolución o transformación.

2.4 Entalpía

Entalpía (del prefijo en y del griego thalpein calentar), tal palabra fue acuñada en 1850 por el físico alemán Clausius. La entalpía es una magnitud de termodinámica simbolizada con la letra H , la variación de entalpía expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno.

En el análisis de cierto tipo de procesos y en el caso de refrigeración, nosotros frecuentemente encontramos la combinación de propiedades $U+PV$, que por conveniencia se define como una nueva propiedad llamada entalpía y se expresa por el símbolo H . La entalpía se mide, en kJ en el Sistema Internacional y en Btu en el sistema inglés.

La entalpía de un fluido viene dada por la expresión:

$$H = U + PV$$

(2.2)

Donde:

H = Entalpía (kJ).

U = Energía interna del fluido (kJ).

P = Presión (kPa).

V = Volumen (m^3).

Existe un diagrama termodinámico conocido como entálpico, donde las

entalpías “h” (entalpía específica kJ/kg) se representan en abscisas y por el lado de las ordenadas la presión absoluta “P” ó logaritmo de presión “log P”, siendo así, las líneas horizontales isóbaras y las verticales isoentálpicas, como se muestra en la figura 2.3. Sánchez y Pineda (2001).

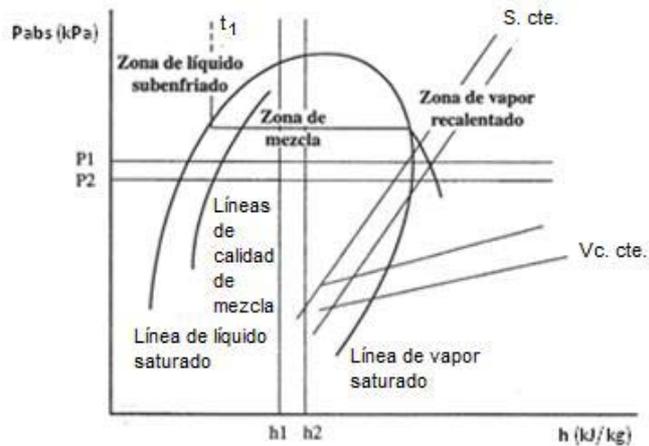


Figura 2.3 Diagrama P-h de un refrigerante.

2.5 Refrigeración por compresión

Aún cuando el ciclo de Carnot es un estándar con el cual se pueden comparar todos los ciclos reales, no es un dispositivo práctico para propósitos de refrigeración. Sin embargo, sería muy deseable aproximarse a los procesos de adición de calor a temperatura constante y de expulsión de calor a temperatura constante, con objeto de lograr el máximo coeficiente de funcionamiento posible.

Esto se logra en buena medida con un dispositivo de refrigeración según el ciclo de compresión de vapor. En la figura 2.4 se muestra un esquema básico del proceso de refrigeración por compresión de vapor; los diagramas (T-s) temperatura- entropía (T-s) y presión-entalpía (P-h) se muestran en las figuras 2.1 a 2.5, el esquema de equipo utilizado en el laboratorio para el ciclo de

refrigeración se presenta en la figura 2.6.

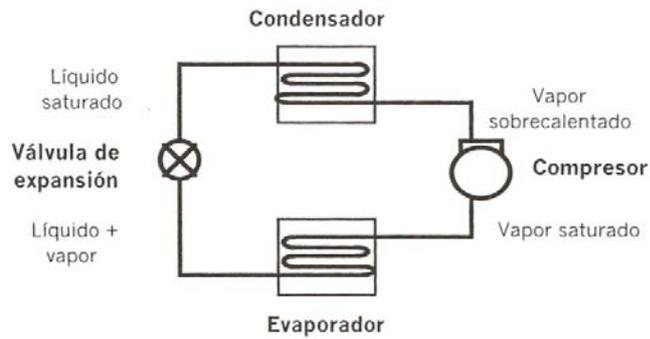


Figura 2.4 Esquema básico de refrigeración por compresión.

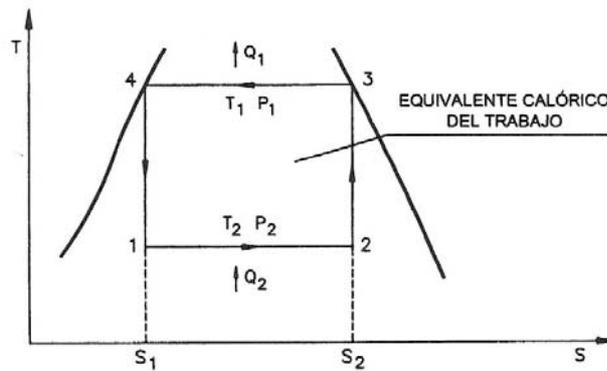


Figura 2.5 Diagrama temperatura-entropía, de una instalación frigorífica.

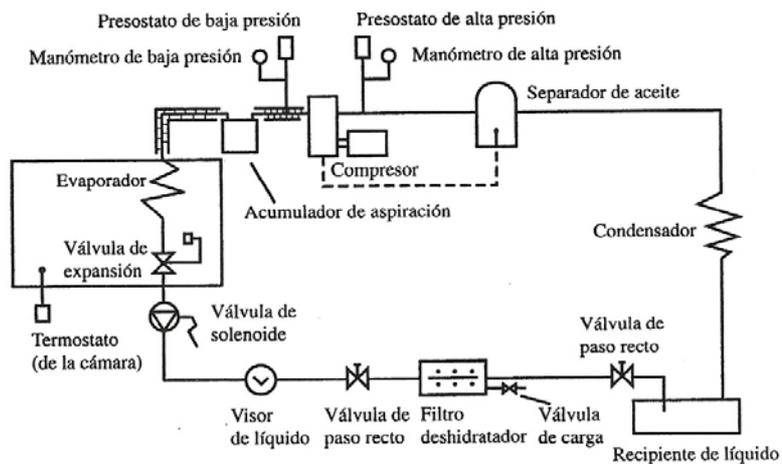


Figura 2.6 Esquema del equipo utilizado en el laboratorio para el ciclo de refrigeración (Franco 2006).

El vapor saturado en el estado 1, se comprime "isoentrópicamente" hasta el estado 2 de vapor sobrecalentado. El refrigerante entra entonces en un condensador, donde se elimina el calor a presión constante hasta que el fluido se convierte en líquido saturado en el estado 3.

Para devolver el fluido a una presión inferior, se expande adiabáticamente a través de una válvula o un tubo capilar hasta el estado 4. El 3-4 es un proceso de estrangulamiento, y $h_3=h_4$. En el estado 4 el refrigerante es una mezcla húmeda de baja calidad. Finalmente, pasa a través del evaporador a presión constante. El calor entra en el evaporador desde la fuente a temperatura baja y evapora al fluido hasta el estado de vapor saturado seco.

En una situación real, el ciclo de refrigeración difiere del ciclo ideal en varias formas. La presencia de fricción, da por resultado, tanto caídas de presión a lo largo de todo el ciclo, como que el compresor opere en forma irreversible. Además, se debe tener en cuenta el hecho de que hay transferencia indeseable de calor. Como no es posible controlar con exactitud el estado del fluido que sale del evaporador, el fluido usualmente sale como vapor sobrecalentado, en vez de salir como el vapor saturado seco que considera el ciclo ideal. Las irreversibilidades en el flujo a través del compresor, llevan a un aumento en la entropía del fluido durante el proceso y un incremento de la temperatura final con respecto a la del caso ideal. Si las pérdidas de calor del compresor son suficientemente grandes, la entropía real del fluido a la salida del compresor puede ser menor que la de la entrada. Aún cuando la caída de presión en el condensador sea pequeña, el fluido probablemente saldrá del condensador como un líquido subenfriado y no como el líquido saturado que se supone en el ciclo ideal. Este es un efecto benéfico, ya que la entalpía baja por el efecto del subenfriamiento, lo cual permite que el fluido absorba una mayor cantidad de calor durante el proceso de evaporación.

2.6 Compresores

El compresor es un dispositivo mecánico que bombea el vapor del refrigerante de un área de baja presión al evaporador, a un área de alta presión al condensador. Porque la presión, la temperatura, el volumen de un gas está relacionado, ya que un cambio en la presión alta causa un aumento en la temperatura y un cambio en la presión baja ocasiona una disminución en volumen o una condensación del vapor, afirma Moravek (2001).

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador, a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la del medio de enfriamiento disponible para la condensación del vapor refrigerante.

Existen los siguientes tipos de compresores para aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado:

- Reciprocantes: tipo abierto, semi-herméticos, herméticos.
- Rotativos.
- Centrífugos.

2.6.1 Compresores recíprocos: herméticos

Este compresor es apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido y eficaz para presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión.

Otras ventajas son su adaptabilidad a diferentes refrigerantes, la facilidad

con que permite el desplazamiento de líquido a través de tuberías dada la elevada presión creada por el compresor, su durabilidad, la sencillez de su diseño y un costo relativamente bajo. Es un equipo de baja potencia, un motor eléctrico se encuentra montado directamente en el cigüeñal del compresor pero el cuerpo es una carcasa metálica herméticamente sellada con soldadura.

2.6.2 Funcionamiento

Alarcón (1998) muestra en la figura 2.7 el momento de aspiración, cuando el pistón baja se abre la válvula de aspiración, penetrando el refrigerante evaporado a baja presión que llena la cámara del cilindro.

Cuando el pistón alcanza el fin de su carrera de succión e inicia el movimiento de compresión del pistón (hacia arriba) queda cerrada la válvula de aspiración, y la presión del vapor en la cámara del cilindro obliga a que se abra la válvula de descarga, forzando el paso del gas comprimido hacia el condensador por medio de la tubería, como se ilustra en la figura 2.8.

Para evitar que el pistón choque contra la placa de las válvulas, todos los compresores recíprocos cuentan con un pequeño claro entre la placa de válvulas y el pistón cuando está en su punto muerto superior. A este claro se le llama volumen de claro.

El vapor que permanece en el espacio del claro al final de cada carrera de descarga se le llama vapor de claro.

Cuando el pistón esta en el punto muerto superior, la válvula de succión y de descarga se encuentran cerradas.

Cuando el pistón inicia su carrera nuevamente de succión, se reduce la presión en el cilindro cerrando las válvulas de descarga, a consecuencia de la presión en el condensador y del tubo de descarga, repitiéndose de esta forma

el ciclo.

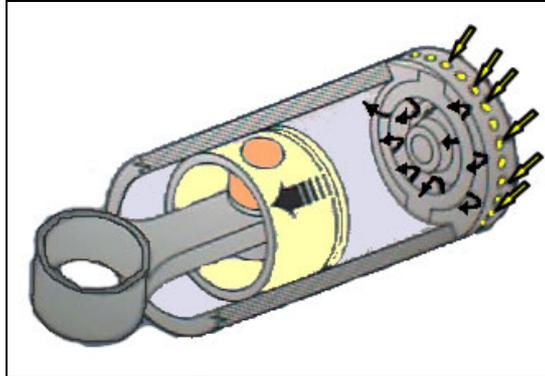


Figura 2.7 Succión del refrigerante.

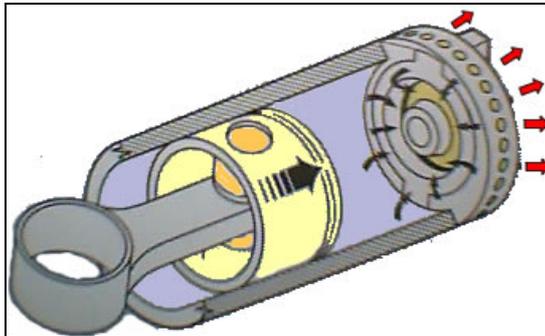


Figura 2.8 Expulsión del refrigerante.

2.6.3 Desplazamiento del pistón

Dossat (2006) señala que el desplazamiento del pistón de un compresor recíproco es el volumen total barrido en el cilindro por el pistón en un cierto intervalo de tiempo; generalmente se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Para un compresor recíproco de acción simple, el desplazamiento del pistón se calcula de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{(\pi D)^2 (L)(N)(n)}{(120)}$$

(2.3)

Donde:

V_p = desplazamiento del pistón en (m^3/s).

D = diámetro del cilindro en (m).

L = longitud de la carrera en (m).

N = número de revoluciones por minuto del cigüeñal (rpm).

n = número de pistones.

Constante de la simplificación de factores de conversión = 120.

2.6.4 Lubricación

Alarcón (1998) menciona que las superficies de rozamiento de las partes móviles de los compresores de pistón se lubrican normalmente por el sistema de engrase por bombeo. El cárter contiene una cantidad relativamente grande de aceite, que a través del movimiento alternativo de las bielas, y a veces ayudado por unas paletas o cucharas adheridas a la parte baja de las mismas, se remueve y salpica las paredes del cilindro para la lubricación de los pistones y los ejes de éstos. El aceite penetra en los cojinetes del cigüeñal y en los de las bielas por medio de agujeros taladrados, debidamente dispuestos en estos puntos.

Los compresores herméticos, así como los semi-herméticos de tipo convencional, están parcialmente bañados en aceite, tanto el compresor como el motor, llegando el aceite a las partes vitales por medio de la circulación forzada que desarrolla la propia fuerza centrífuga de los elementos rotativos.

Para Schweitzer y Ebeling (1974) existen dos formas de lubricación en compresores alternativos. La primera es la más simple que es por salpicadura donde el aceite contenido en el cárter salpica las partes internas del compresor por la acción de órganos rotativos. Por este método se empapan de aceite las paredes del cilindro y la superficie de los cojinetes. La segunda es de tipo

forzado, donde se requiere de una bomba interna que impulsa el aceite a través del cigüeñal hacia la superficie de los cojinetes, en algunos sistemas están perforadas las bielas de modo que el aceite a presión llega también a los pernos del pistón.

En la figura 2.9, se ilustra un sistema de lubricación de un compresor marca Climatuff manufacturado por la compañía Trane fabricante de equipos de aire acondicionado.

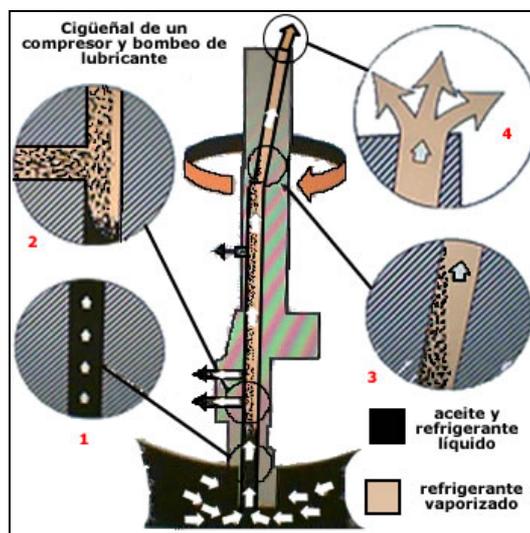


Figura 2.9 Sistema de lubricación de un compresor.

En la figura 2.9 se observa lo siguiente:

1. El aceite pasa a través de una ranura de lubricación ubicada en la parte inferior del cigüeñal por el que recoge el aceite y el refrigerante líquido residual del cárter del compresor. Esta mezcla es empujada hacia arriba de la ranura de lubricación por la fuerza centrífuga.
2. La superficie caliente del cigüeñal empieza a vaporizar el refrigerante líquido que ha sido recogido y es empujado hacia arriba con el aceite. La fuerza centrífuga origina por rotación del cigüeñal que empieza a separarse el aceite del refrigerante vaporizado. El aceite como es

más pesado es retirado de la ranura de lubricación lateralmente y conducido a las superficies de los cojinetes a través de los diferentes puntos del cigüeñal.

3. El gas pasa por la ranura de lubricación inclinada en la parte superior del cigüeñal. La línea central es el punto de presión cero, el aceite no es capaz de cruzar esta línea por efecto de la fuerza centrífuga. Únicamente el refrigerante vaporizado cruzará esta línea central y saldrá por la parte superior.
4. Un corte transversal del cigüeñal muestra la salida y la inclinación de la ranura de lubricación.

2.7 Características técnicas exigidas para aceites lubricantes

Las características de lubricación se mantendrán satisfactorias durante un período largo si se consideran las temperaturas de operación, presión y ausencia de contaminantes. Las principales variables que se deben considerar son:

- Viscosidad.
- Compatibilidad con el gas refrigerante: se puede presentar como consecuencia la sedimentación del aceite (ceras), obstrucción del capilar y/o la válvula de expansión.
- Efecto de carbonización: la formación de carbón afecta principalmente las válvulas de succión y descarga.
- Estabilidad química.
- Rigidez dieléctrica.
- Humedad.
- Miscibilidad.

Los tipos de aceites refrigerantes aprobados son: mineral (nafténico), sintéticos (alquilbenzeno), blanco (nafténico/parafínico), parafínico, poliol éster, y mineral.

2.8 Condensadores

Dossat (2006) define al condensador como un intercambiador de calor en donde el calor absorbido por el refrigerante durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. El calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación debido al calor de la compresión.

Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, ésta desciende al punto de saturación y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de aquí el nombre de condensador.

2.8.1 Condensadores enfriados por aire

El condensador es fabricado de cobre y la tubería de aluminio que se rodean por aletas de aluminio. Las aletas ayudan en el rechazo de calor. La mayoría de las aletas tienen la tubería de aluminio para el pasaje de refrigerante, según Moravek (2001).

Alarcón (1998), explica que el sistema de condensador de aire por gravedad se ha utilizado para los refrigeradores de tipo doméstico, con variantes de orden constructivo como era en principio, el clásico serpentín de tubo aleteado y últimamente, el tubo con varillas soldadas a lo largo del serpentín.

Para Schweitzer y Ebeling (1974) los condensadores enfriados por aire

se clasifican como montados sobre el bastidor, es decir, un componente de la unidad compresor-condensador “unidad condensadora”, o como remotos, un conjunto alejado del compresor.

Los condensadores remotos enfriados por aire, son casi siempre del tipo de aire forzado. Consisten en tres componentes principales: un serpentín condensador con aletas, un ventilador con su motor y una caja metálica.

En las instalaciones frigoríficas de aplicación comercial e industrial el tipo de condensador empleado es el formado por tubo aleteado y circulación de aire forzada por la acción de las palas acopladas a la polea del motor eléctrico en los compresores de tipo abierto, o en los moto-ventiladores que se acoplan a los compresores de tipo hermético o semi-hermético, debe tenerse en cuenta que la capacidad de un condensador se basa en los tres factores siguientes:

1. Superficie total de radiación forzada por la del tubo y las aletas.
2. Temperatura del aire ambiente en que está emplazado el condensador.
3. Velocidad del aire a través del condensador.

2.8.2 Carga del condensador

Dossat (2006), afirma que el calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador, como la energía equivalente del trabajo de compresión. Cualquier sobrecalentamiento absorbido por el vapor de succión del aire de los alrededores, también forma parte de la carga del condensador.

Debido a que el trabajo de compresión por unidad de capacidad refrigerante depende de la relación de compresión, la cantidad de calor rechazado en el condensador por unidad de capacidad refrigerante varía con

las condiciones de operación del sistema. El calor de compresión varía con el diseño del compresor y es mayor para un compresor hermético con enfriamiento en la succión que para un compresor de tipo abierto, debido al calor adicional del motor absorbido por el gas refrigerante.

Algunos fabricantes de compresores publican datos referentes al rechazo total de calor como una parte de las especificaciones del compresor, cuando se dispone de estos datos deberán usarse para la selección del condensador. Al no disponerse de estos datos la carga del condensador puede estimarse multiplicando la capacidad del compresor por el factor apropiado obtenido por medio de tablas.

2.8.3 Capacidad del condensador

Debido a que la transferencia de calor a través de las paredes del condensador es por conducción, la capacidad del condensador es función de la ecuación fundamental de transferencia de calor:

$$Q_c = (A) (U) (D) \quad (2.4)$$

Donde:

Q_c = Capacidad del condensador en (W).

A = Área superficial del condensador en (m^2).

U = Coeficiente de transferencia total de calor en ($W/m^2\text{°C}$).

D = Diferencia de temperatura media logarítmica entre el refrigerante condensante y el medio condensante en (°C).

2.9 Evaporadores

Cuando el refrigerante líquido llega al evaporador hierve o se evapora,

absorbiendo el calor a través de las paredes del tubo a medida que se convierte en vapor. Es alimentado a través de un dispositivo de control como la válvula de expansión o tubo capilar, en donde el refrigerante también disminuye su presión, lo que provoca una reducción en la presión de succión y un aumentando en el volumen específico del gas devuelto al compresor disminuyendo el peso del refrigerante bombeado, según Dossat (2006).

Los evaporadores se fabrican en gran variedad de formas y estilos dependiendo del tipo de aplicación.

El evaporador más común es el de serpentín ventilador o de convección forzada, en donde el refrigerante se evapora dentro de los tubos con aletas de enfriamiento, extrayendo el calor del aire que pasa a través del serpentín mediante el ventilador.

Los factores que afectan la capacidad del evaporador son similares a los del condensador: temperatura ambiente, tamaño, velocidad del refrigerante, caudal, velocidad del aire, materiales, transferencia de calor, congelamiento y temperaturas de saturación.

2.9.1 Capacidad del evaporador

La capacidad de cualquier evaporador o serpentín de enfriamiento, es la razón por la cual pasa el calor a través de las paredes del evaporador proveniente del espacio o producto refrigerado a la vaporización del líquido interior y generalmente se expresa en W. Un evaporador seleccionado para cualquier aplicación específica deberá tener suficiente capacidad de transferencia de calor para permitir la vaporización del refrigerante, para absorber calor con rapidez necesaria, para producir el enfriamiento requerido cuando está trabajando a las condiciones de diseño.

El calor llega al evaporador por los tres métodos de transferencia de calor, en las condiciones de enfriamiento con aire, casi todo el calor que llega al evaporador es por corrientes de convección puestas en el espacio refrigerado, ya sea por la acción de un ventilador o por la circulación de la gravedad resultante de la diferencia de temperaturas entre el evaporador y el espacio refrigerado.

También, algo del calor es radiado directamente del evaporador por el producto y por las paredes que limitan el espacio.

Independientemente de cómo llegue el calor a la superficie exterior del evaporador, éste debe pasar por conducción al refrigerante anterior a través de las paredes del evaporador. Por lo tanto, la capacidad del evaporador, que es la razón a la cual pasa calor a través de las paredes, se obtiene por los mismos factores que gobiernan la razón de flujo de calor por conducción a través de cualquier superficie de transferencia de calor y es similar a la ecuación (2.4), para las condiciones del evaporador, es decir:

$$Q_e = (A)(U)(D) \quad (2.5)$$

Donde:

Q_e = Cantidad de calor transferido en (W).

A = Área de la superficie exterior del evaporador en (m).

U = Factor total de conductancia en ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

D = Diferencia de temperatura media logarítmica, entre la temperatura exterior del evaporador y la temperatura del refrigerante dentro del evaporador en ($^\circ C$).

2.10 Factor de conductancia total U

Para Dossat (2006), la resistencia al flujo de calor ofrecida por las

paredes del evaporador es la suma de tres factores cuya relación queda expresada de la siguiente manera:

$$\frac{1}{U} = \frac{R}{f_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{f_0}$$

(2.6)

Donde:

U = Factor total de conductancia en ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$).

f_1 = Factor de conductancia de la película de la superficie interior en ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

$\frac{L}{k}$ = Resistencia al flujo de calor ofrecida por el metal de los tubos y aletas en ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

f_0 = Factor de conductancia de la película de la superficie exterior en ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

R = Relación de superficie exterior a superficie interior.

De los tres factores involucrados en la ecuación anterior, el metal de las paredes del evaporador es el menos significativo. Entonces, el factor U del evaporador se obtiene principalmente a partir de los coeficientes de conductancia de las superficies de película exterior e interior.

2.11 Diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD)

La temperatura del aire (o de cualquier fluido) disminuye en forma progresiva a medida que el aire pasa a través del serpentín de enfriamiento. Se supone que la caída de temperatura ocurre a razón constante a medida que el aire pasa a través del serpentín, la reducción de temperatura del aire puede representarse por una línea recta, el punto medio constituye, la temperatura promedio del aire, que está pasando a través del serpentín.

Aunque el valor se desvía ligeramente de la diferencia media logarítmica en temperatura “LMTD” real, un valor aproximado de la diferencia de temperatura media puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(T_e - T_r) + (T_L - T_r)}{2} \quad (2.7)$$

Donde:

D= Temperatura media aritmética (°C).

T_e= Temperatura del aire que llega al serpentín (°C).

T_L= Temperatura del aire que sale del serpentín (°C).

T_r= Temperatura del refrigerante en los tubos (°C).

2.12 Válvula termostática de expansión

La válvula de expansión termostática, también conocida como la TEV, TXV o válvula de expansión, abre y parcialmente regula el flujo del refrigerante del líquido/gas en el evaporador. La válvula se pre-ajusta para mantener la cantidad óptima de flujo del refrigerante en el evaporador bajo las temperaturas interiores y al aire libre variando, según Moravek (2001).

La válvula de expansión termostática intenta mantener un flujo adecuado de refrigerante en el evaporador. La TXV intenta mantener un excelente calor constante en el evaporador modulando el flujo del refrigerante. La válvula abre y cierra alrededor de un rango estrecho de temperaturas figura 2.10.

Controla mediante un orificio el flujo del refrigerante líquido en el evaporador, según se requiera, mediante un vástago y asiento de tipo de aguja que varía la abertura.

La aguja está controlada por un diafragma sujeto a tres fuerzas. La presión del evaporador es ejercida debajo del diafragma y tiende a cerrar la válvula. La fuerza del resorte de sobrecalentamiento es ejercida debajo del diafragma en la dirección de cierre. Opuesta a estas dos fuerzas se encuentra la presión ejercida por la carga en el bulbo térmico que está unido al tubo de succión, ubicada a la salida del evaporador, ésta carga, es el mismo refrigerante que está siendo utilizado en el sistema.

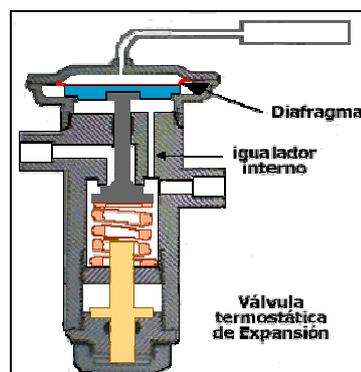


Figura 2.10 Válvula de expansión termostática.

Con la unidad en funcionamiento, el refrigerante en el evaporador se evapora a presión y temperatura de saturación. Durante el tiempo que el bulbo térmico esté expuesto a una temperatura superior, éste ejercerá una presión más elevada que la del refrigerante en el evaporador; por consiguiente, el efecto neto de estas dos presiones producirá la apertura de la válvula. El resorte de sobrecalentamiento tiene una presión fija que hace que la válvula se cierre siempre que la diferencia neta entre la presión de bulbo y la presión del evaporador sea inferior a la fijada para el resorte de sobrecalentamiento.

A medida que se eleva la temperatura del gas refrigerante que abandona el evaporador (un aumento en el sobrecalentamiento) la presión ejercida por el bulbo térmico colocado en la salida del serpentín se aumenta y el flujo a través de la válvula de expansión aumenta; a medida que la temperatura del gas disminuye (una disminución del sobrecalentamiento) decrece la presión ejercida

por el bulbo térmico y la válvula de expansión se cierra ligeramente disminuyendo el flujo.

Con un evaporador y una válvula de expansión correctamente seleccionada para la carga, la alimentación de la válvula de expansión será bastante estable en el punto de sobrecalentamiento deseado. Una válvula mal seleccionada produce un control de refrigerante inadecuado el cual puede ocasionar variaciones de presión de succión del compresor y posible retorno de líquido al compresor.

2.13 Tubo capilar

Son utilizados para el control del refrigerante de equipos pequeños en aplicaciones de aire acondicionado, equipos de refrigeración doméstica y vitrinas para refrigeración comercial. Un tubo capilar es una longitud de tubo cuyo diámetro interno se mantiene dentro de unas tolerancias muy pequeñas. Este se emplea como un orificio fijo para desempeñar la misma función que la válvula de expansión, separando los lados de alta y baja presión del sistema y controlando la alimentación de refrigerante líquido como se ilustra en la figura 2.11.

Para Schweitzer y Ebeling (1974) el tubo capilar funciona con el principio de que los líquidos pasan a través de él mucho más fácil que los gases. Consiste en una línea de pequeño diámetro que conecta a la salida del condensador con la entrada del evaporador. A veces está soldado a la superficie externa de la línea de succión, con el propósito de intercambiador de calor.

El tubo capilar reduce la presión del refrigerante desde el lado de alta presión hasta el lado de baja presión. Cuando el compresor se detiene,

regulariza la presión del sistema, es decir, el líquido refrigerante en el condensador continúa circulando hacia el evaporador hasta que las dos presiones son aproximadamente iguales.

El tubo capilar por carecer de partes móviles, es simple y está exento de averías si se mantiene libre de materiales extraños. Un tubo capilar es de diámetro muy pequeño y es necesario que esté limpio y seco, siendo requisito indispensable que la unidad sea sellada en la fábrica, según Moravek (2001).

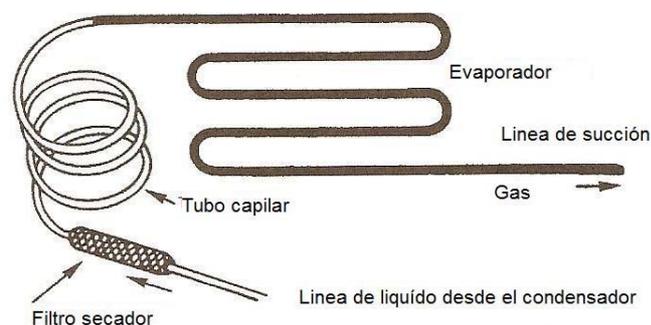


Figura 2.11 Tubo Capilar (Moravek 2001).

2.14 Tubo de cobre

El tubo usado en todos los sistemas de refrigeración domestica es esencialmente de cobre recocido. Pero el que es empleado en trabajos de refrigeración y aire acondicionado se conoce como ACR “aire acondicionado y refrigeración”, este tubo es fabricado y procesado para este tipo de trabajos. El tubo ACR, se presuriza con gas nitrógeno para mantenerlo libre de aire, humedad y polvo, así como para suministrar máxima protección contra óxidos nocivos que se forman normalmente durante la soldadura con latón.

2.14.1 Clasificación de los tubos de cobre

Existen tres clasificaciones, basadas en el espesor de la pared.

- K** Pared gruesa aprobado para ACR.
- L** Pared media aprobado para ACR.
- M** Pared delgada no usado en sistemas de refrigeración.

El tubo **K** es preferido para usos especiales donde pueden presentarse condiciones anormales. El de tipo **L** es el más frecuentemente usado para aplicaciones de refrigeración las cuales trabajan en condiciones normales.

2.15 Instrumentación

Creus (1998), señala que la medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medidas quedan definidas en cada tipo de aplicación por la presión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor, al igual que el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura entre los cuales figuran:

- a) Variaciones en volumen o en el estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- b) Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- c) Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- d) F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- e) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia en un cristal).

De este modo se emplean los siguientes instrumentos:

Termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de

radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

2.15.1 Termostato

El termostato también se emplea en los **sistemas de refrigeración** con el objetivo de controlar el caudal de líquido refrigerante el cual es desviado hacia el radiador; el termostato de aire acondicionado está compuesto por una válvula que maneja o acciona la temperatura. Dicha válvula posee parafina, una sustancia muy dilatante; cuando el motor permanece frío, la válvula no se abre haciendo que el líquido vuelva por otro conducto a la **bomba impulsora**. La válvula recién se abrirá cuando la parafina se dilate a causa del calentamiento del motor, de ésta forma el líquido se dirigirá al radiador brindando su calor a la atmósfera.

2.15.2 Presóstato

El presóstato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión), mientras estos últimos entregan una señal variable en base al rango de presión, los presóstatos entregan una señal apagado/encendido únicamente.

Franco (2006) define a los presóstatos como interruptores eléctricos que funcionan por presión, y pueden ser de dos tipos:

Presóstato de alta presión, se conecta a la descarga del compresor, y su función es impedir que en la zona de alta presión, se alcancen valores que afecten el rendimiento de las instalaciones o a la propia seguridad de las

personas. Se regulan a una determinada presión, y cuando la instalación alcanza ese valor, el presóstato detiene el funcionamiento del compresor.

Presóstato de baja presión se conecta a la aspiración del compresor y su función es evitar que la presión, en la zona baja, pueda “caer” por debajo de la presión atmosférica y evitar también que la presión descienda por debajo de la normal de funcionamiento, ya que afectaría en el rendimiento. Su regulación debe estar siempre por encima de la atmosférica. Cuando la presión descienda hasta la correspondiente al valor de regulación, el presóstato mandara la señal para que el compresor se detenga.

Los presóstatos en general no tienen la capacidad para encender directamente el equipo que están controlando y se ayudan con un contacto eléctrico.

2.15.3 Termómetro bimetalico

Los termómetros bimetalicos se basan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35.5% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices, según Creus (1998).

Para Doebelin (2003) un termómetro bimetalico típico contiene pocas partes móviles, solo una aguja incorporada al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetalico como se muestran en la figura 2.12.

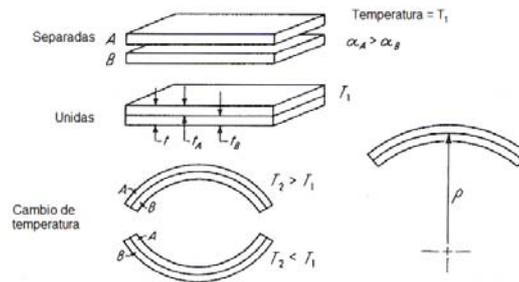


Figura 2.12 Elementos de un termómetro bimetálico (Doebelin 2003).

El análisis del desvío de la aguja es uniforme y esta dado por la relación siguiente:

$$\rho = \frac{t \left\{ 3(1+m)^2 + (1+mn) \left(m^2 + \frac{1}{mn} \right) \right\}}{6((\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)(1+m)^2)} \quad (2.8)$$

Donde:

ρ = Radio de curvatura (mm).

t = Espesor total de la cinta, $0.0127\text{mm} < t < 3.175\text{ mm}$ en la práctica.

n = Relación del módulo de elasticidad, E_B / E_A .

m = Relación del espesor t_B / t_A .

$T_2 - T_1$ = Diferencia de temperatura.

En la mayoría de los casos prácticos, $t_B / t_A \approx 1$ y $n + 1/n \approx 2$, estaría dado por:

$$\rho \approx \frac{2t}{3(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)} \quad (2.9)$$

La precisión del instrumento es de $\pm 1\%$ y su rango de medida es de 200 a 500 °C.

2.15.4 Termómetro de resistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de un hilo muy fino del conductor adecuado bobinado en dos capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por su “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

2.15.5 Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que representan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños de la temperatura. Los termistores se fabrican de óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros materiales que están encapsulados.

La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión:

$$R_t = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.10)$$

Donde:

R_t = Resistencia a la temperatura absoluta T_t (K) en (Ù).

R_0 = Resistencia a la temperatura absoluta de referencias T_0 (K) en (Ù).

β = Constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

2.15.6 Termopares

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica, su funcionamiento se basa en los descubrimientos hechos por Seebeck en 1821 cuando hizo circular corriente eléctrica en un circuito, formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferentes temperaturas, esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales diferentes cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thompson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula en un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

2.15.6.1 Tipos de termopares

Según su composición química se conocen 7 tipos de termopares como E, S, T, J, K, B y R.

Cabe señalar que el termopar tipo E puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora. Este termopar posee la F.e.m. más alta por variación de temperatura y puede usarse para medir temperaturas entre -200 a +900 °C.

El termopar tipo T, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras, puede medir temperaturas entre -200 a +260 °C.

El termopar tipo J, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de 550 °C, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750 °C.

El termopar tipo K, se recomienda en atmosferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1500 °C. No debe ser utilizado en atmosferas reductoras ni sulfurosas a menos que este protegido con un tubo de protección.

Los termopares tipo R, S y E se emplean en atmosferas oxidantes y temperaturas de trabajo de hasta 1500 °C. Si la atmosfera es reductora, el termopar debe protegerse con un tubo cerámico estancado.

2.15.7 Transductores

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra. La base es sencilla, se puede obtener la misma información de cualquier secuencia similar de oscilaciones, ya sean ondas sonoras (aire vibrando), vibraciones mecánicas de un sólido, corrientes y voltajes alternos en circuitos eléctricos, vibraciones de ondas electromagnéticas radiadas en el espacio en forma de ondas de radio o las marcas permanentes grabadas en un disco o una cinta magnética.

2.16 Gases Refrigerantes

Schweitzer y Ebeling (1974) comentan que cualquier fluido que se utilice como medio de enfriamiento puede designarse refrigerante. Sin embargo, para el propósito del tema, definimos un refrigerante como un fluido químico cuyo estado puede cambiarse fácilmente de líquido a gas y viceversa, el cual al ser utilizado en un sistema de compresión, enfría por absorción de calor durante su expansión o vaporización. Este tipo de refrigerante se le denomina refrigerante primario. El agua no es un refrigerante primario, sino simplemente un vehículo sensible de calor.

Para Saydaoui (2006), existen tres puntos claves en los cuales el fluido nos sirve como elemento para la producción de frío, o dicho de otra forma para la absorción de calor. Aplicación de fluido frigorígeno en máquinas de producción de frío por compresión:

- El estado líquido (fase de recuperación).
- El estado mezcla (vapor-líquido) (fase de recuperación y producción).
- El estado vapor (fase inicial).

Los fluidos frigorígenos son fabricados en su mayoría por el ser humano, pero también existen fluidos naturales, como el amoníaco NH_3 , el anhídrido carbónico CO_2 , principalmente, según Saydaoui (2008).

Generalmente se llama a estos fluidos FREON, pero este nombre es una marca comercial, el término correcto es "refrigerante" o "fluido frigorígeno".

La lista de los fluidos comercializados es muy amplia y se diferencian entre ellos por sus relaciones presión-temperatura, por sus rendimientos en sensible (producción de frío) y por la sencillez de su uso.

Existen cuatro grupos de fluidos

- **CFC (Clorofluorocarbonato):** totalmente halogenado.

Se dejó de fabricar el 31/12/1994.

Su comercialización y distribución quedó prohibida el 01/01/1999.

Para servicio y mantenimiento la fecha última fue el 31/12/1999.

- **HFC (Hidrofluorocarbonato):** no contiene cloro.

Aplicación en instalaciones nuevas y nueva fabricación desde el 1/01/1996.

- **HCFC (Hidroclorofluorocarbonato):** contiene cloro y no totalmente halogenado.

➤ **BrFC (Bromofluorocarbonato).**

La elección del refrigerante utilizado se basa en muchas consideraciones. Una de ellas es la relativa facilidad con que puede realizar el ciclo de vapor a líquido y viceversa, otra es el rango de temperaturas en las que se aplicará.

2.16.1 Características apropiadas de los refrigerantes

En 1974 estas fueron las características apropiadas a las que estaban sujetos todos los refrigerantes, mencionadas por Schweitzer y Ebeling (1974).

- “Baja temperatura de ebullición”. Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica.
- “Fácilmente manejable en forma líquida”. El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad, de modo que su capacidad de absorber calor sea controlable también.
- “Alto calor latente de vaporización”. Cuando mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.
- “Químicamente estable”.
- “No debe de ser inflamable, tóxico, explosivo mucho menos corrosivo”. Para una larga vida de los componentes.
- “Moderadas presiones de trabajo”. Las elevadas presiones de condensación (por encima de 2.451 a 2.745 MPa) requieren un equipo extra pesado. La operación en vacío (por debajo de 0 MPa) introduce la posibilidad de penetración de aire en el sistema.
- “Innocuo para aceites lubricantes”. La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.

- “Bajo punto de congelación”. La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cual pueda operar el evaporador.
- “Alta temperatura crítica”. Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuán elevada sea la presión.
- Moderado volumen específico del vapor para reducir al mínimo el tamaño del compresor.

2.16.2 Normas internacionales sobre los fluidos refrigerantes

Para Saydaoui (2008) las características que debe poseer un fluido refrigerante según las normas son las siguientes, aunque actualmente no existe ninguno que las cumpla todas:

- Ser de baja toxicidad.
- No ser inflamables al contacto con el aire. Tener un calor latente de vaporización alto.
- Tener el punto de ebullición muy bajo a la presión atmosférica.
- Tener una baja relación entre la presión de descarga y la presión de aspiración.
- Ser de bajo volumen específico para minimizar los diámetros de tubos.
- Tener una temperatura crítica alta. No ser dañinos a la capa de ozono.
- No propiciar el efecto invernadero.
- Ser compatibles y miscibles con los lubricantes.
- Ser estables de fórmula química y dar lugar a una estabilidad de funcionamiento.
- No tener efectos sobre la salud de las personas ni alimentos.

- Ser de fácil visualización en contacto con la atmósfera, para ubicar escapes (colorante).
- Tener un precio razonable.

2.16.3 Listado de Gases Refrigerantes

En el cuadro 2.1 se hace un listado de gases refrigerantes el cual fue publicado por Praxair en su portal de internet.

Cuadro 2.1 Listado de gases refrigerantes información obtenida de Praxair, en su portal de internet.

Gases Comunes	Gases Sustitutos	Rango de Temperaturas (°C)	Tipo de Compresores	Aplicaciones	Tipo de Envases
R-502	MP-39 R-22 HP-80	-50a+60	Hermético Semi-abierto Abierto	Vitrinas refrigeradas Centros comerciales Cámaras de congelamiento y frigoríficos	Cilindros de acero, cilindros desechables, tambores desechables
R-22	HFA 407C	-40a+60	Hermético Semi-abierto Abierto	Aire acondicionado doméstico e industrial Bombas de calor Aire acondicionado enautomotor	Cilindros de acero, cilindros desechables, tambores desechables, garrafones retornables
R-12	R-134a	-30a+90	Hermético Semi-abierto Abierto - Centrifugo	Refrigeradores - Congeladores Bombas de calor AA Industrial - AA Automotor	Cilindros de acero, cilindros desechables, tambores descartables, garrafones
R-114	R-142b	-10a+110	Semi-abierto Abierto - Centrifugo	Aire acondicionado industrial Bombas de calor	Tambores, ISO Containers
R-11	R-141b R-123	10 a 110	Centrifugo	Aire acondicionado industrial Bombas de calor Transportador de calor	Tambores, cilindros descartables, ISO Contenedores

2.17 Gas ideal o Gas Perfecto

Para Hernández (2002) el estado de un gas queda determinado al relacionar cuatro magnitudes: **volumen** (V), **temperatura** (T), **presión** (P) y cantidad de gas expresada en **moles** (n). Las leyes que establecen estas relaciones son:

2.17.1 Ley de Boyle

A una temperatura constante, el volumen de un peso dado de un gas perfecto varía inversamente a la presión absoluta.

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 = P_n v_n = \text{constante} \quad (2.11)$$

Donde:

P = Presión absoluta en (kPa).

v = volumen específico en (m^3/kg).

2.17.2 Ley de Charles

Cuando un gas perfecto recibe calor a volumen constante, la presión absoluta varía en forma directamente proporcional a la temperatura.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_n}{T_n} = \text{constante} \quad (2.12)$$

Donde:

P = Presión absoluta en (kPa).

T = Temperatura absoluta (K).

2.17.3 Ley de Joule

Cuando un gas perfecto se expande sin hacer trabajo, su temperatura permanece inalterable, ya que su energía interna permanece también inalterable. La energía interna de un gas perfecto es función solamente de la temperatura.

2.17.4 Ley de Avogadro

Igual volumen de cualquier gas, a la misma presión y temperatura, tiene el mismo número de moléculas.

2.17.5 Ecuación de un gas ideal o perfecto

Según la ecuación (2.11), como $T_1 = T_2$ o $v_1 = v_2$, entonces

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} = \frac{P_n v_n}{T_n} = \text{constante} = R \quad (2.13)$$

$$Pv = RT \quad (2.14)$$

A (Pv/T) se le llama constante R (kJ/kg K) y tiene un valor para cada gas.

Multiplicando cada uno de los miembros de la ecuación por la masa del gas en kilogramos, se tiene que:

$$Pvm = mRT \quad (2.15)$$

Como

$$mv = V \quad (V \text{ en } m^3) \quad (2.16)$$

Por lo tanto

$$PV = mRT \quad (2.17)$$

Donde:

P = Presión absoluta en (kPa).

v = Volumen específico en (m^3/kg).

m = Masa específica del gas (kg).

T = Temperatura absoluta (K).

V = Volumen (m^3).

$R = (Pv/T)$ = constante en (kJ/kg K).

La ecuación de los gases ideales o perfectos vendría siendo la anterior, la cual permite en todo momento relacionar volúmenes de gases, indistintamente de cuál sea la presión y la temperatura de los mismos.

2.17.6 Mezclas de gases

La ecuación que representa la ley de los gases ideales o perfectos, al estar basada en las leyes individuales de los gases, siempre y cuando tengan un comportamiento ideal, resume la relación entre la masa de un gas y las variables P , V y T . En una mezcla de gases, la presión total ejercida por los mismos es la suma de las presiones que cada gas ejercería si estuviese solo en las mismas condiciones.

2.17.7 Ley de Dalton

En una mezcla de gases que no reaccionan entre sí, cada molécula se mueve independientemente de una forma análoga a como si estuviera totalmente aislada.

En esa mezcla, cada gas se distribuye uniformemente por todo el espacio disponible, como si ningún otro gas estuviese presente. Las moléculas ejercen la misma presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene que la que ejercerían si no hubiera ningún otro gas presente.

Dalton (1803) enunció la ley de las presiones parciales: «en una mezcla de gases, la presión total ejercida por los mismos es la suma de las presiones que cada gas ejercería si estuviese solo en las mismas condiciones».

Si varios gases, A, B y C, se colocan en un mismo recipiente, acaban formando una mezcla homogénea. La presión que cada gas ejerce individualmente en una mezcla se denomina presión parcial.

La ley de Dalton de las presiones parciales se expresa:

$$P_{\text{total}} = P_A + P_B + P_C + \dots + P_N \quad (2.18)$$

2.18 Comprobación de hermeticidad

Franco (2006) afirma que una vez finalizado el montaje de una instalación frigorífica, o cuando se haya realizado alguna reparación importante, es necesario asegurarse que no existan fugas, es decir que el circuito esté perfectamente hermético. Para ello, hay que someter a la instalación a una prueba de hermeticidad. Existen dos pruebas para la realización de esta prueba.

- Prueba de vacío.
- Prueba de presión.

2.18.1 Prueba de presión

Consiste en sobre presionar la instalación con nitrógeno seco, con el fluido refrigerante o con ambos y cuando se alcance una determinada presión se procederá a la comprobación de fugas.

Esta prueba se puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

- Se conecta la botella del fluido refrigerante al circuito y se carga hasta alcanzar una presión de 0.49 MPa. A continuación se revisa el circuito para comprobar si existe alguna fuga importante.
- Se desconecta la botella. En su lugar se conectará la botella de nitrógeno seco, provista de un manorreductor y se procede a cargar el circuito de forma progresiva.
- Se abre despacio la válvula de la botella y se introduce el nitrógeno hasta una presión de 0.882 MPa. Se aumenta despacio la presión hasta alcanzar 1.667 MPa.
- Se cierra la válvula y se desconecta la botella de nitrógeno. Con la ayuda de un detector de fugas como puede ser una lámpara ó agua jabonosa, se procede a revisar el circuito que no tenga fugas mayores.
- El circuito se deja cargado al menos por 14 horas. Si al paso del tiempo no varía la presión, entonces el circuito estaría herméticamente cerrado.

Es normal que pueda existir una pequeña variación en la lectura de presión debido a que el fluido está condicionado por la temperatura ambiente.

2.19 Diseño mecánico

Norton (1999) menciona que el diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad particular que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio.

Todo diseño tiene un propósito concreto: la obtención de un resultado final al que se llega a través de una acción determinada o por la creación de algo que tiene realidad física. En ingeniería, el término diseño puede tener diferentes significados. Pero describir la función de diseño en la ingeniería se

considera como un proceso en el que se utilizan principios científicos y métodos técnicos tales como matemáticos, computacionales, electrónicos, gráficos y de lenguaje común.

La palabra diseño proviene de la palabra latina designare, que significa “designar, marcar”. El diccionario incluye varias definiciones de la palabra diseño siendo la más aplicable “delinear, trazar o planear acciones como trabajo, concebir, inventar o idear”.

Shingley y Mischke (2002) definen al diseño de ingeniería como “el proceso de aplicar las diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o sistema con suficiente detalle para permitir su realización”.

Diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas mecánicos como son: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos (Norton1999).

2.19.1 Interacción entre los elementos del proceso del diseño

El proceso total del diseño se inicia con preguntas: ¿Cómo empieza? ¿Simplemente llega un ingeniero a un escritorio y se sienta ante una hoja de papel en blanco y se pone a escribir algunas ideas? ¿Qué hace después? ¿Qué factores determinan o influyen en las decisiones que se deben tomar? Por último ¿Cómo terminar este proceso de diseño?

En la figura 2.13 (Shingley y Mischke 2002) nos muestra el proceso total del diseño describiendo los pasos a seguir desde que empieza hasta que termina. Este principia con la identificación de una necesidad y con una decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas interacciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad.

2.19.2 Identificación del problema

Se comienza cuando se da cuenta de la necesidad y decide realizar un plan al respecto. Deberá abarcar todas las condiciones para el objeto que ha de ser diseñado. Las condiciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que deberán ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, temperatura de trabajo y la confiabilidad. Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del entorno particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema.

2.19.3 Consideraciones de diseño

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se usa la expresión consideración del diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, o quizás, en todo el sistema. Generalmente se tiene que tener en cuenta varios de estos factores en caso de diseño determinado. Alguno de los más importantes son los siguientes:

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. Resistencia/esfuerzo. | 9. Utilidad. |
| 2. Distorsión/deflexión/rigidez. | 10. Costo. |
| 3. Desgaste. | 11. Procesamiento. |
| 4. Corrosión. | 12. Peso. |
| 5. Seguridad. | 13. Vida. |
| 6. Confiabilidad. | 14. Ruido. |
| 7. Fricción. | 15. Estilo. |
| 8. Facilidad de uso. | 16. Forma. |

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 17. Tamaño. | 22. Comercialización. |
| 18. Control. | 23. Mantenimiento. |
| 19. Propiedades térmicas. | 24. Volumen. |
| 20. Superficie. | 25. Responsabilidad legal. |
| 21. Lubricación. | 26. Desecho/reciclado. |

Algunos de estos factores se refieren directamente a dimensiones, material, procesamiento, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se refieren a la configuración total del sistema.

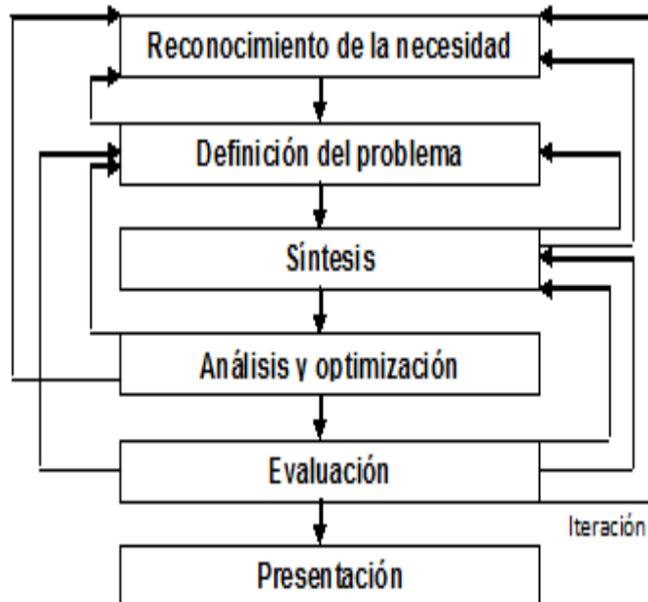


Figura 2.13 Fases de diseño.

2.20 Soldadura

La soldadura es un proceso para la unión de dos metales por medio de calor y/o presión y se define como la liga metalúrgica entre los átomos del metal a unir y el de aporte.

Existen diversos procesos de soldadura, los que difieren en el modo en que se aplica el calor o la energía para la unión. A continuación se presenta una manera general de agruparlos:

1. Soldadura blanda.
2. Soldadura fuerte.
3. Soldadura por forja.
4. Soldadura con gas.
5. Soldadura por resistencia.
6. Soldadura por inducción.
7. Soldadura por arco.
8. Soldadura por vaciado.
9. Soldadura por fricción.
10. Soldadura por explosión.

2.20.1 Soldadura por arco eléctrico

Es el proceso en el que su energía se obtiene por medio del calor producido por un arco eléctrico que se forma entre la pieza y un electrodo. Por lo regular el electrodo también sirve de metal de aporte, el que con el arco eléctrico se funde, para que así pueda ser depositado entre las piezas a unir. La temperatura que se genera en este proceso es superior a los 5,500°C. La corriente que se utiliza en el proceso puede ser directa o alterna, utilizándose en la mayoría de las veces la directa, debido a que la energía es más constante con lo que se puede generar un arco estable. Las máquinas para corriente directa se construyen con capacidad hasta de 1,000 A, con voltajes de 40 a 95 V, en circuito abierto. Mientras se efectúa la soldadura el voltaje del arco es de 18 a 40 A.

Para unir dos metales de igual o parecida naturaleza mediante soldadura eléctrica al arco es necesario calor y material de aporte (electrodos). El calor se obtiene mediante el mantenimiento de un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza a soldar (masa) tal como se muestra en la figura 2.14. En este arco eléctrico a cada valor de la intensidad de corriente, corresponde una determinada tensión en función de su longitud. La relación intensidad-tensión nos da la característica del arco.

Esta soldadura es de las más comunes para este tipo de trabajos y también es la que más se utiliza en el Departamento de Maquinaria Agrícola, ya que se cuenta con la máquina de soldar.

2.20.1.1 Electrodo

AGA Ecuador, una compañía de gases importante del mundo, en su página de internet presenta el significado de la numeración de los electrodos para acero dulce y baja aleación según el sistema A.W.S.- A.5.1 y A.5.5.

2.20.1.2 Numeración de electrodos

El prefijo “E” significa “electrodo” y se refiere a la soldadura por arco.

Resistencia a la tracción

Para los electrodos de acero dulce y los aceros de baja aleación: las dos primeras cifras de un número de cuatro cifras, o las tres primeras cifras de un número de cinco cifras designan resistencia a la tracción:

E-60xx	Significa una resistencia a la tracción de 60,000 libras por pulgada cuadrada. (42.2 kg/mm ²).
E-70xx	Significa una resistencia a la tracción de 70,000 libras por pulgada cuadrada. (49.2 kg/mm ²).
E-100xx	Significa una resistencia a la tracción de 100,000 libras por pulgada cuadrada. (70.3 kg/mm ²).

Posiciones para soldar

La penúltima cifra indica la posición para soldar.

Exx1x	Significa para todas las posiciones.
Exx2x	Significa posición horizontal o plana.
Exx3x	Significa posición plana solamente.

Electrodos de acero inoxidable

Cuando se trate de electrodos de Acero Inoxidable tal como E-308-16:

A – Las tres primeras cifras indican la clase de acero inoxidable.

B - Las dos últimas cifras indican la posición y la polaridad.

Revestimientos

Para los diferentes tipos de revestimiento nótese que los electrodos tipo:

E-6010 y E-6011: Tienen un revestimiento con alto contenido de materia orgánica (celulosa).

E-6013: Tiene un revestimiento con alto contenido de óxido de rutilo.

Corriente y polaridad

En el cuadro 2.2 se muestra la interpretación del último dígito de los electrodos

Cuadro 2.2. Interpretación del último dígito de un

Ultimo dígito	Corriente y polaridad		Escoria	Arco	Penetración
0	-	CC+	Orgánica	Energético	Mucha
1	CA	CC+	Orgánica	Energético	Mucha
2	CA	CC-	Rutílica	Medio	Mediana
3	CA	CC	Rutílica	Suave	Poca
4	CA	CC	Rutílica	Suave	Poca
5	-	CC+	Básica	Medio	Mediana
6	CA	CC+	Básica	Medio	Mediana
7	CA	CC	Mineral	Suave	Mediana
8	CA	CC+	Básica	Medio	Mediana

electrodo

En la figura 2.15 se muestra una representación gráfica de la numeración de los electrodos según la American Welding Society (AWS). Cortesía de INFRA.

2.20.1.3 Características de electrodos para aceros de bajo carbón

En el cuadro 2.3 se mencionan algunas características de electrodos para aceros de bajo carbón.

Cuadro 2.3 Características de electrodos para aceros de bajo carbón.

TIPO NORMA AWS	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA TENSIL LIMITE ELASTICO ELONGACIÓN	CORRIENTES OPTIMAS DE APLICACION (AMPERES)-CORRIENTE					
			3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	C
6010 (E-6010) A5.1	ALTA PENETRACION PARA SOLDAR EN TODA POSICION. RECIPIENTES SOMETIDOS A ALTA PRESION Y UNIONES DE TUBERIAS. TIENE CALIDAD RADIOGRÁFICA	RT=71.000 lb/pulg ² LE=60.450 lb/pulg ² E=25%	60	10	50	95	20	D (+)
6011 (E-6011) A5.1	ALTA PENETRACION PARA SOLDAR EN TODA POSICION CON CA Y CD, BARCOS, ESTRUCTURAS, REPARACIONES Y UNIONES DE TUBERIAS.	RT=71.000 lb/pulg ² LE=60.450 lb/pulg ² E=25%	60	05	55	90		D (+) CA
6013 (E-6013) A5.1 *	FÁCIL APLICACIÓN PARA TRABAJOS GENERALES EN LA INDUSTRIA METAL MECÁNICA LIGERA, ARCO CORTO Y BAJO CHISPORRETEO.	RT=71.100 lb/pulg ² LE=65.410 lb/pulg ² E=25%	70	20	60	10		D (+) CA
SUPERMATIC (E-6013) A5.1	ALTO RENDIMIENTO CON POLVO DE HIERRO PARA TRABAJOS GENERALES LA INDUSTRIA METAL MECÁNICA LIGERA. SOPORTA ALTOS AMPERAJES.	RT=71.100 lb/pulg ² LE=65.410 lb/pulg ² E=25%	80	30	70	20		D (+) CA
7010 (E-7010-A1)	SOLDAR TUBERIAS Y ACEROS AL CARBONO	RT=79.600 lb/pulg ²	60	10	50	95		D

A5.5	Y CARBONO MOLIBDENO	LE=64.000 lb/pulg ² E=25%						(+)
7013	ELECTRODO DE CONTACTO, DE FACIL REMOCIÓN DE ESCORIA, DEPÓSITOS TERSOS. SE RECOMIENDA COMO PASE FINAL POR SU EXCELENTE PRESENTACION	RT=75.000 lb/pulg ² LE=64.000 lb/pulg ² E=25%	80	30	65	95	40	D (+) CA
7024 (E-7024) A5.1	ELECTRODO CON POLVO DE HIERRO PARA SOLDADURAS RÁPIDAS EN PLANO Y HORIZONTAL, EXELENTE CORDONES Y MÁXIMAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	RT=75.000 lb/pulg ² LE=64.000 lb/pulg ² E=25%		60	10	70	00	D (+) CA

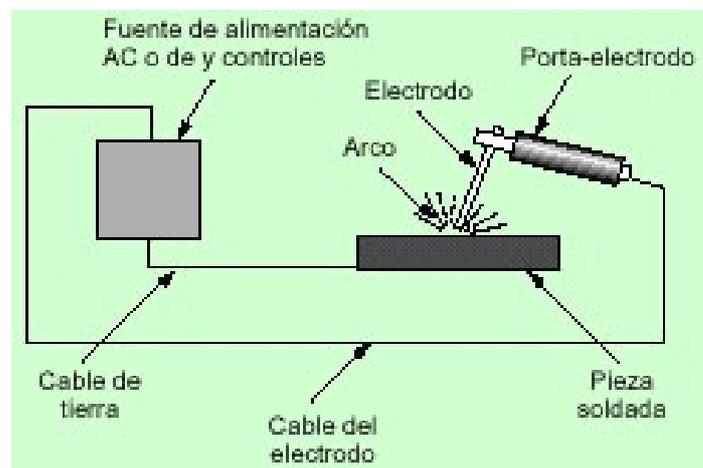


Figura 2.14 Esquema del proceso de soldadura eléctrica al arco, imagen obtenida de <http://www.enreparaciones.com.ar/herreria/soldadura.php>

2.20.2 Soldadura fuerte

En esta soldadura se aplica metal de aporte en estado líquido, pero éste metal, por lo regular no ferroso, tiene su punto de fusión superior a los 430 °C y menor que la temperatura de fusión del metal base. Por lo regular se requiere de fundentes especiales para remover los óxidos de las superficies a unir y aumentar la fluidez al metal de aporte. Algunos de los metales de aporte son aleaciones de cobre, aluminio o plata. A continuación se presentan algunos de los más utilizados para las soldaduras denominadas como fuertes:

1. Cobre. Su punto de fusión es de 1083 °C.
2. Bronces y latones con punto de fusión entre los 870 y 1100 °C.
3. Aleaciones de plata con temperaturas de fusión entre 630 y 845 °C.
4. Aleaciones de aluminio con temperatura de fusión entre 570 y 640 °C.

La soldadura dura se puede clasificar por la forma en la que se aplica el metal de aporte.

- **Soplete.** El calor se aplica con un soplete de manera local en las partes del metal a unir, el metal de aporte en forma de alambre se derrite en la junta. Los sopletes pueden funcionar con los siguientes comburentes: aire inyectado a presión (soplete de plomero), aire de la atmósfera (mechero Bunsen), oxígeno o aire almacenado a presión en un tanque. Los combustibles pueden ser: alcohol, gasolina blanca, metano, propano-butano, hidrógeno o acetileno.

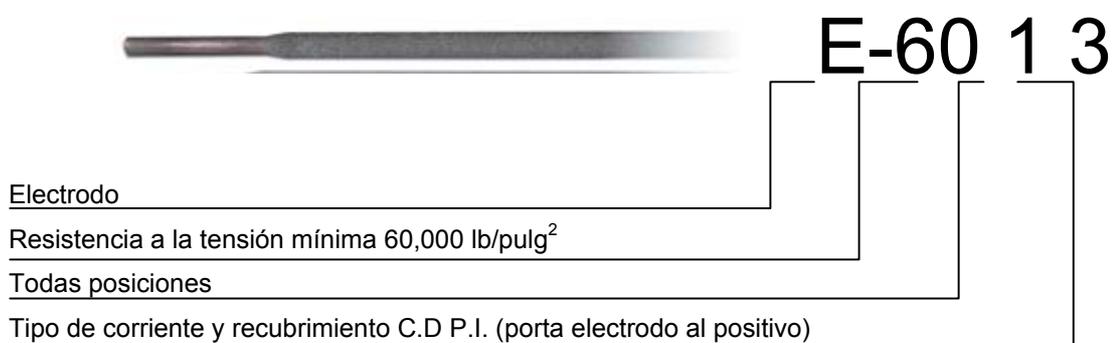


Figura 2.15 Clasificación de electrodos según la AWS para proceso SMAW para aceros al carbono.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

El presente trabajo fue desarrollado en un taller fuera de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, debido a que contaba con las herramientas y equipo adecuado para la elaboración precisa de este proyecto.

En los cuadros 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran las características del material y equipo utilizado para la instalación eléctrica, cantidad de material para la construcción del bastidor, elementos utilizados para llevar a cabo un ciclo de refrigeración al igual de algunas características.

Cuadro 3.1 Equipo y material utilizados para la instalación eléctrica.

Nombre	Cantidad	Costo \$
Controlador Lógico Siemens LOGO 8/4 230 RC	1	4000.00
Relevador de control 3 A	1	754.00
Interruptor térmico tripolar 6 A	1	800.00
Selector	1	300.00
Botón pulsador	3	900.00
Lámpara piloto	3	1050.00
Cable calibre 16	18	240.00
Gabinete de instalación	1	750.00
Total		8794.00

Cuadro 3.2 Cantidad de material utilizado para la construcción del bastidor.

Material utilizado en la construcción del bastidor								
Material	Dimensiones Exteriores DXB	Espesor (t)	Color e identificación	Calibre	Peso kg/m	Longitud a utilizar mm	Cantidad a utilizar Pza. o Cant.	Costo \$
PTR	1 ½" X 1 ½"		Blanco	12	3.083	30000		1200.00
Soldadura	1/8"		60 13	1/8"			1 kg	38.00
Hoja de triplay	1.22m X 2.44m	¼"					2.97 m ²	1506.00
Hoja de lamina galvanizada	1.22m X 2.44m	2mm					2.97 m ²	1174.00
Pijas	¼" X ½"						50	175.00
Pintura en aerosol							7 botes de 400ml.	350.00
Total								4443.00

Cuadro 3.3 Características de las ruedas utilizadas.

Características específicas de las ruedas										
Diámetro de rueda Pulg.	Ancho de rueda Pulg.	Capacidad por rodaja Kg.	Material de Rueda	Tipo de balero	Tipo de Seguro	Altura de Carga Pulg.	Radio de Giro Pulg.	Temperatura de Trabajo °C	Cantidad	Costo \$
3	1 ¼	250 lb	Poliuretano Hi-Tech	Bola	Lateral	4 11/16	2 29/32	-45 a 180 °F	4	480.00

Cuadro 3.4 Equipo y material utilizados para la construcción del prototipo de refrigeración.

Equipo y material requerido para un ciclo de refrigeración						
Material	Descripción	Capacidad	Rango de trabajo	Cantidad a utilizar	Dimensiones mm	Costo \$
Unidad condensadora	Para refrigerante 134a Marca Bohn	½ hp	162 psi y 440 psi	1	B = 480 H = 270 L = 280	3558.00
Evaporador	Frigotherm	¾ hp		1	B = 195 H = 320 L = 440	4550.00
Indicador de liquido	3/8" soldable		Refrigerante CFC/HCFC/HFC Lubricantes POE/PAG/AB	1	B = 142 H = 24 L = 38	131.00
Filtro deshidratador	3/8" soldable		Deshidratador lineal	1	D = 67 L = 119	93.70
Manómetro	De alta presión		0 a 550 psi (Hg vacio)	1	D = 70 L = 25	450.00
Manómetro	De baja presión		-30 a 120 psi (Hg vacio)	1	D = 70 L = 25	160.00
Termómetro digital	Opera con una batería AAA de 1.5V.		Interior -10 a 50 °C Exterior -50 a 70 °C	2	B = 70 H = 100 L = 15	300.00
Termostato	Interruptor de temperatura marca Johnson Control		-15 a 45 °C	1	B = 50 H = 120 L = 55	531.00
Reguladores de presión	Interruptor de alta y baja presión Marca Johnson Control		Presión alta Presión baja	1	B = 140 H = 80 L = 50	1316.00
Refrigerante	Suva 134a			1 Kg.		110.00
Varillas de plata	Plata 5%			8		165.00

Válvula de servicio	Para la recarga del refrigerante			1		30.00
Tubo capilar				1		35.00
Tubo de cobre	ACR, flexible Clasificación L				5 m.	270.00
Válvula solenoide	Eléctrica 120 volts			1	B = 126 H = 79 L = 45	720.00
Válvula de paso recto	Paso de fluido			2	B = 160 H = 55 L = 66	510.00
Total						12930.00

Los costos respecto a materiales y equipo dan un total de \$ 21,408.00

También es necesario considerar los costos de instalación, montaje y puesta en marcha, los cuales ascienden alrededor de \$ 6,100.00

El costo total del proyecto a la fecha asciende a \$ 27,508.00

3.2 Metodología del diseño y construcción

Para realizar el diseño optamos por emplear el procedimiento de Shigley y Mischke (2002) como se muestra en la figura 2.13, la cual se acopla perfectamente a nuestro problema a resolver que incluye una serie de procedimientos que interactúan entre ellas, y además nos facilita el ordenamiento de las posibles alternativas y escoge la solución más viable.

3.3 Diseño

Se realizó una serie de propuestas donde los diseños estaban bien detallados, se tomó la decisión de realizar el bastidor más ergonómico, de igual forma se tomaron en cuenta las otras características de las personas que van a hacer uso de dicho banco de pruebas.

3.3.1 Herramientas utilizadas en el diseño del banco de pruebas

A continuación se muestra un listado de las herramientas utilizadas para el diseño del banco de pruebas.

- Computadora.
- AutoCad 2008.
- Calculadora.
- Paquetes computacionales “office 2007”.

3.4 Construcción del bastidor

La construcción fue realizada según el diseño previamente efectuado como se muestra en el anexo VI, para lo cual se siguieron la serie de pasos que se mencionan a continuación.

3.4.1 Pasos para la construcción

Una vez obtenidos todos y cada uno de los materiales mencionados anteriormente en el cuadro 3.1, así como las herramientas indicadas en el apartado 3.4.2, procedimos a lo siguiente:

Se realizó el trazado del PTR con la ayuda de una cinta métrica, una escuadra y gis.



Figura 3.1 Medición del PTR con cinta métrica.



Figura 3.2 Trazos con escuadra a 45°.

Como se puede apreciar en la figura 3.1, primeramente se efectuaron las mediciones correspondientes con una cinta métrica, para posteriormente realizar un trazo recto o angulado, según la pieza requerida para el bastidor. En la figura 3.2 se observa un trazo a 45°, con la ayuda de una escuadra.

Posteriormente me di a la tarea de cortar todas las secciones previamente trazadas, para ello utilicé una máquina cortadora eléctrica, unos lentes transparentes como medida de seguridad, como se puede apreciar en las figura 3.3.



Figura 3.3 Corte de las secciones trazadas.

Después de contar con todas y cada una de las piezas cortadas, se realizó la numeración de las mismas para llevar un orden en la unión de piezas y evitar una equivocación a la hora de soldarlas. Para soldar requerimos de un equipo de soldar, un banco o mesa para soldar, un par de pinzas de presión tipo sargento, al igual que una careta, un par de guantes de carnaza y un overol como medida de seguridad, la soldadura utilizada fue E-6013.

Una vez soldadas todas las piezas procedimos a la eliminación de aristas filosas y aquellas que presentaban residuos de soldadura. Posteriormente instalamos las ruedas para una mejor movilidad del banco, requerimos de un par de llaves de 7/16 con la finalidad de apretar los tornillos con sus correspondientes arandelas y tuercas. De esta manera quedó armado el bastidor para nuestro banco de pruebas para el ciclo de refrigeración como se muestra en la figura 3.4.

El bastidor fue pintado con un primario y en él se monto un triplay de $\frac{1}{4}$ pulgada como soporte y lámina galvanizada de 2 mm de espesor, con la finalidad de reducir costos. Dicha disposición se observa en la figura 3.5.



Figura 3.4 PTR unido para conformar el “Bastidor”.



Figura 3.5 Bastidor antes de la distribución de los elementos.

3.4.2 Equipo y herramientas utilizadas en la construcción del bastidor

La lista de equipos y herramienta utilizados en la construcción del bastidor es la siguiente:

- Cinta métrica.
- Lápiz o gis como marcador.
- Juego de escuadra de 30°, 45° y 90°.
- Cortadora eléctrica.
- Cortadora de plasma.
- Equipo de soldar.
- Pulidora.
- Banco para soldar.
- Pinzas de presión tipo sargento.
- Taladro manual.
- Brocas de 1/4, 3/8, y 1/2".
- Juego de llaves.

3.5 Montaje y distribución de los elementos para llevar a cabo el ciclo de refrigeración

Se realizaron una serie de distribuciones diferentes para así poder obtener una distribución en la cual los elementos fuesen visibles y seguros. En la figura 3.6 se muestran los elementos presentados, para el caso de los manómetros utilizamos un par de abrazaderas para sujetarlos en lo que sería nuestro banco.

Por lo que respecta al termostato, presóstato, compresor, condensador y las válvulas de paso recto se fijaron sin ningún inconveniente ya que cuentan con una base y solo requerimos un par de perforaciones y atornillar. Para el caso de la mirilla de visor de líquido y filtro secador no existió ningún problema ya que estos van situados sobre la base de el bastidor y no van sujetos al banco. Para el caso particular del evaporador requerimos de dos tramos de perfil de aluminio con la finalidad de sujetarlo y quedara presentado en la parte superior del banco.



Figura 3.6 Distribución de elementos sobre el bastidor.

Posteriormente procedimos a realizar las conexiones de cada uno de los elementos del ciclo de refrigeración dichas uniones serán mediante la tubería de cobre así como sus complementos (conexiones) mediante soldadura de plata, como se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Unión de los elementos mediante soldadura fuerte.

Contando con casi todos nuestros elementos distribuidos, se procedió a la medición, para realizar los cortes del tubo de cobre con el mini cutter donde

tomamos en cuenta un pequeño margen de tolerancia, después se procedió a curvarlos solo en los casos necesarios, ya que no todas las uniones fueron soldadas. En aquellas uniones que en donde se requirió la realización de una rosca se contó con un avellanador con la finalidad de adaptar el tubo de cobre para una unión roscar. Posteriormente se realizó un montaje previo para así observar si los tubos después de haber realizado los dobleces necesarios no quedaron cortos y en caso dado ajustar un poco la línea de la tubería.

Ya con la mayoría de los elementos dispuestos en el banco, se procedió a la unión de tubos y elementos descritos anteriormente, para ello requerimos de lija fina, soldadura de plata y un soplete de gas propileno, gafas de seguridad, guantes y pinzas mecánicas.

Con la lija se limpió el tubo de cobre para así tener una soldadura segura y sin fugas, las pinzas se utilizaron para unir las piezas a la hora de aplicar la soldadura de plata y como disipadoras de calor y las gafas al igual que los guantes solo como medida de seguridad. Por último se instaló el tubo capilar. Una vez soldados y fijados todos los elementos se procedió a cargar el sistema con el gas refrigerante 134a, por lo que requerimos de una válvula de servicio.

3.5.1 Herramientas utilizadas en el montaje y distribución de los elementos para llevar a cabo el ciclo de refrigeración

En la lista que se presenta a continuación se nombran las herramientas utilizadas en el montaje y distribución de los elementos para llevar a cabo el ciclo de refrigeración

- Llaves de $\frac{7}{16}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{9}{16}$ ".
- Destornilladores de cruz y plano.
- Cortadora para tubo de cobre (Mini cutter).
- Avellanador (Flaring tool).

- Soplete de gas propileno.
- Gafas de seguridad.
- Guantes.
- Pinzas mecánicas.
- Dobladora para tubo de cobre.

3.6 Comprobación de hermeticidad

3.6.1 Prueba de presión

Una vez cargado nuestro sistema con el refrigerante, realizamos un par de pruebas de funcionalidad las cuales fueron exitosas. El sistema se dejó cargado por cerca de 18 horas y con el apoyo de los manómetros verificamos las presiones de alta y baja al termino del paro del sistema y al final de este tiempo no hubo pérdidas de presión, por lo que nuestro sistema esta herméticamente cerrado.

3.6.2 Herramientas utilizadas para la comprobación de hermeticidad

Solamente requerimos de los manómetros de baja y alta presión.

3.7 Instalación eléctrica

Por último realizamos la instalación eléctrica, que comprende de un gabinete, interruptor térmico, relevador selector y un PLC marca Siemens los mismos que se muestran en la figura 3.8. El PLC ayuda a detectar fallas en el sistema, mandando señales de alerta las cuales encenderán las una lámpara según la falla. Requerimos de una computadora y el software, para efectuar la programación del PLC que requeríamos para nuestro banco de pruebas, en el anexo VII se muestra el diagrama eléctrico.

Figura 3.8 Elementos de la instalación eléctrica.

3.7.1 Herramientas y equipo utilizados para la instalación eléctrica

Para la instalación eléctrica solo requerimos de las herramientas y equipo siguiente:

- Destornilladores.
- Pinzas de corte.
- Taladro y juego de brocas.
- Cinta de aislar.

3.8 Construcción final del banco de pruebas

La construcción final incluyendo todos los dispositivos, los cuales comprenden uniones y tipos de control, se presentan en la figura 3.9.

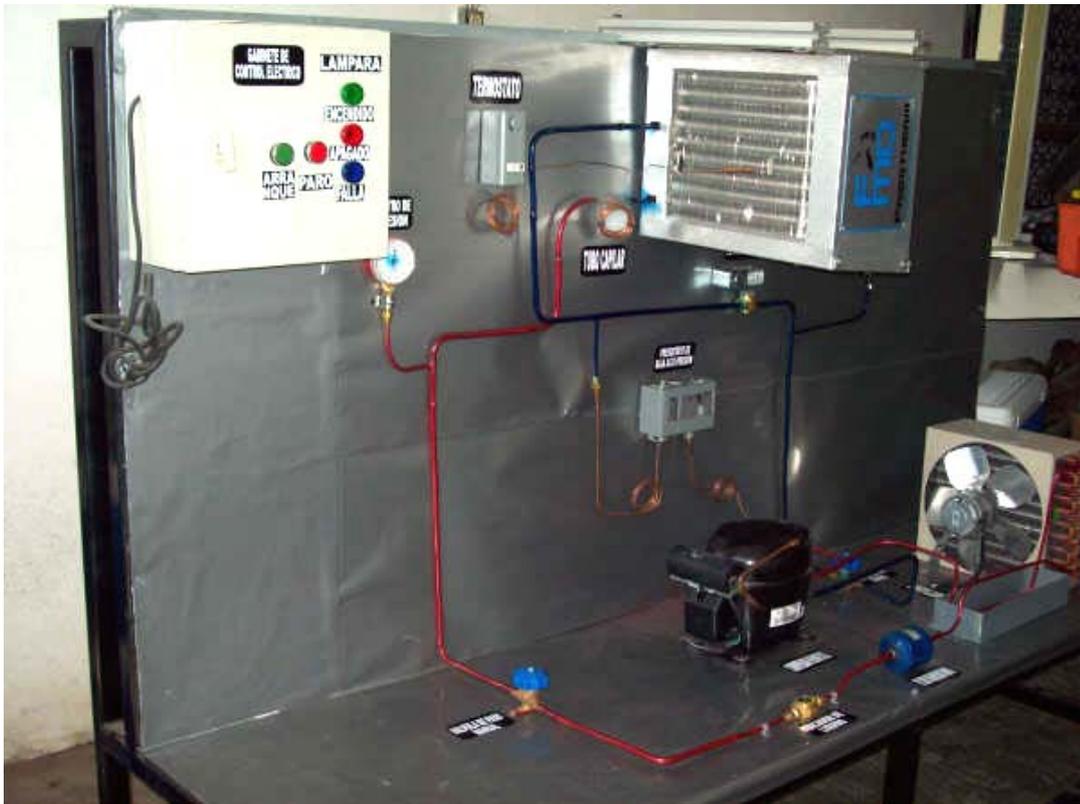


Figura 3.9 Construcción finalizada del banco de pruebas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Construcción del bastidor

El banco de pruebas está constituido por un bastidor y fue diseñado para colocar una serie de dispositivos para el ciclo de refrigeración, como los instalados en el desarrollo de este proyecto, por otra parte también se tomo en cuenta la posible colocación de equipos complementarios como lo es un chiller, una PC con el software denominado LabView mismos que pudiesen ser integrados así como actualización del banco de pruebas, para una mejor movilidad al bastidor se le añadieron cuatro ruedas con seguros, las cuales tienen un giro de 360°.

4.2 Elementos y equipo para llevar a cabo el ciclo de refrigeración

Los elementos y equipo para llevar a cabo el ciclo de refrigeración se instalaron sobre el bastidor para comodidad y una buena presentación.

El compresor, condensador con su respectivo ventilador se encuentran sobre la base del bastidor, sujetos de sus cuatro puntos, para evitar el movimiento generado por la vibración de los motores. Mientras tanto el evaporador se encuentra ubicado en la parte superior del bastidor, justamente por encima del compresor mediante un par de travesaños de aluminio.

El banco cuenta con un par de válvulas de paso recto para que se realicen las pruebas, cerrando y abriendo dichas válvulas. También tiene un visor de líquido y un filtro deshidratador los cuales sirven para que el sistema

tenga una eficiencia mayor.

El sistema cuenta con un par de manómetros uno de baja presión y el otro de alta presión, los cuales están ubicados en la línea de entrada y salida del evaporador respectivamente.

4.3 Instalación eléctrica

La instalación eléctrica está constituida por un PLC de la marca Siemens modelo LOGO 8/4 230 RC, el cual se puede programar y reprogramar, pero en el caso particular de nuestro banco de pruebas, fue programado para detectar las fallas más comunes sobre un mal funcionamiento, como son diferencias muy altas de presión, temperatura de evaporación alta y detención de ventiladores, con la ayuda de los siguientes elementos: relevador de control, interruptor térmico tripolar, tres botones pulsadores, tres lámparas de diferentes colores para indicar el funcionamiento, todos estos elementos están integrados a un gabinete.

4.4 Pruebas

Durante la realización de las pruebas de funcionamiento, notamos que el evaporador no enfriaba lo suficiente, debido a que la válvula de expansión termostática no era la adecuada para esta aplicación por lo que optamos por sustituirla por un tubo capilar y volvimos a repetir las pruebas y los resultados obtenidos fueron más satisfactorios, debido a que logramos obtener una temperatura más baja en el evaporador.

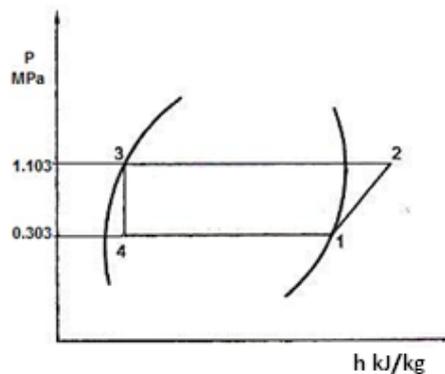
4.5 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración trabaja entre las siguientes temperaturas, utilizando como fluido frigorígeno para nuestro caso R-134a.

Temperatura de evaporación= $T_e = -15\text{ °C} + 273 = 258\text{ K}$

Temperatura de condensación = $T_c = 30\text{ °C} + 273 = 303\text{ K}$

El diagrama de presión-entalpía es el siguiente:



Los valores de las entalpías obtenidos del diagrama son:

$$h_1 = 390 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 430 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 173 \text{ kJ/kg}$$

La producción frigorífica específica:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_0 = 390 - 173$$

$$\text{Producción frigorífica específica} = q_0 = 217 \text{ kJ/kg}$$

Calor total eliminado en el condensador

$$Q_c = h_2 - h_3$$

$$Q_c = 430 - 173$$

Calor total eliminado del condensador = $Q_c = 257 \text{ kJ/kg}$

Calor de compresión

$$q_{comp.} = h_2 - h_1$$

$$q_{comp.} = 430 - 390$$

Calor de compresión = $q_{comp.} = 40 \text{ kJ/kg}$

Coefficiente frigorífico

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_{comp.}}$$

$$\varepsilon = \frac{217}{40}$$

Coefficiente frigorífico = $\varepsilon = 5.425$

Coefficiente frigorífico referido a Carnot

$$\varepsilon_c = \frac{T_e}{T_c - T_e}$$

$$\varepsilon_c = \frac{258}{303 - 258}$$

Coefficiente frigorífico referido a Carnot = $\varepsilon_c = 5.733$

Rendimiento económico

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c}$$

$$\eta = \frac{5.425}{5.733}$$

Rendimiento económico = $\eta = 0.946 = 94.6 \%$

V. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos propuestos en el proyecto, se realizó el diseño del circuito de refrigeración y la construcción propiamente del banco de refrigeración. La construcción resulta ser complicada si no se tiene experiencia en soldadura de tipo dura, ya que las líneas de tubería para conexión de los elementos y equipo requerido para la construcción están efectuadas con soldadura de plata.

La primera recomendación consiste en fabricar una cubierta de material acrílico (plexiglás) para el evaporador, con la finalidad de conservar el aire enfriado por éste, lo que permitirá obtener una temperatura más baja en un espacio pequeño y por consecuencia mejorar la eficiencia del sistema.

La segunda y la más importante se sugiere realizar la digitalización completa del banco de pruebas, como es la integración de un software denominado LabView, el cual consiste en el monitoreo de las variables temperatura y presión que permitan observar el funcionamiento en tiempo real del ciclo de refrigeración.

Por último se sugiere efectuar una evaluación del sistema de refrigeración, así como elaborar un manual de prácticas para el uso adecuado de este banco de pruebas.

Los objetivos y metas fueron alcanzados satisfactoriamente, ya que la elaboración primordial de este proyecto fue pensando esencialmente en el aspecto didáctico. Por otro lado la adquisición de todos los materiales tuvo

un costo moderado, tomando en cuenta los prototipos existentes a la venta en el mercado, por lo que resultó económicamente costeable.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón, J. 1998. Tratado práctico de refrigeración automática. Segunda edición. Editorial Marcombo.
2. Boletín W-53-2SP. Principios básicos de la soldadura eléctrica. Harnischfeger Corporation.
3. Cengel, Y. A. 2004. Transferencia de calor. Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill, México D.F.
4. Creus, A. 1998. Instrumentación Industrial. Sexta edición. Editorial Alfaomega, México D.F.
5. Caprarulo, G. Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, química industrial 402.
6. Doebelin, E. O. 2003. Measurement systems application and design. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill, New York.
7. Dossat, R. J. 2006. Principios de refrigeración. 26th edición. Editorial CECSA, México D.F.
8. Franco, J. 2006. Manual de refrigeración. Primera edición. Editorial Reverté, Barcelona España.
9. Hernández, E. 2002. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Quinta edición. Editorial Limusa, México D.F.
10. Biel, J. 1970. Formalismos y Métodos de la Termodinámica. Vol. 1. Editorial Reverte, Barcelona España.
11. Levenspiel, O. 1997. Fundamentos de Termodinámica. Primera edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, México.

12. Manrique, J. 2001. Termodinámica. Tercera edición. Editorial Oxford, México D.F.
13. Norton, L. 1999. Diseño de maquinas. Primera edición, Editorial Prentice-Hall, México.
14. Sánchez, M. y Pineda, I. 2001. Ingeniería del frío: teoría y práctica. Primera edición. Editorial A. Madrid Vicente, Madrid España.
15. Saydaoui, S. 2008. Prácticas de las máquinas frigoríficas tomo 1. Editorial Marcombo, Barcelona España.
16. Schweitzer, G. y Ebeling, A. 1974. Curso complete de aire acondicionado Vol. I y II. Editorial Glem S.A.C.I.F., Buenos Aires Argentina.
17. Shingley, J. y Mischke, C. 2002. Diseño en ingeniería mecánica. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill, México D.F.
18. Wark, K. 1991. Termodinámica. Quinta edición (Segunda edición en español). Editorial Mc Graw Hill Interamericana, México D.F.

5.1 Páginas Web

1. <http://www.aireacondicionadoweb.com/funcionamiento/termostato.html>
2. http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_VII.html#uno
3. <http://www.cussons.co.uk/pdf/espanish/esthermo/P5750sp.pdf>
4. <http://www.editorial-club-universitario.es/pdf/455.pdf>
5. <http://www.enreparaciones.com.ar/herreria/soldadura.php>

6. <http://www.gas-servei.com/docs/tecnicas/ref/R134A.pdf>
7. <http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/061412C0/Datenblatt/061412C0%204.pdf>
8. <http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/06142200/Datenblatt/06142200%204.pdf>
9. http://www.hiru.com/es/kimika/kimika_00700.html
10. <http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/images/presostato.jpg&imgrefurl=http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm&h=359&w=478&sz=33&hl=es&start=6&um=1&tbnid=1oX3SeYLWZSfUM:&tbnh=97&tbnw=129&prev=/images%3Fq%3Dpresostato%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN>
11. http://www.itc.edu.co/carreras_itc/mantenimiento/aire/compresores.htm
12. http://www.itc.edu.co/carreras_itc/mantenimiento/aire/condensadores.htm
13. http://www.itc.edu.co/carreras_itc/mantenimiento/aire/dispositivos.htm
14. <http://www.infra.com.mx/catalogo/pdf2008/soldadura08.pdf>
15. <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>
16. http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_494.htm
17. http://proton.ucting.udg.mx/expodime/vexpo/IVEXPODIME/pdf/EXPODIME_18.PDF
18. <http://orbita.starmedia.com/~josefelipesosagarcia/>
19. http://www.solfumex.com/Spanish/Products/Electrodos_convencionales/Aceros_carbon.asp

ANEXOS

ANEXO I

Causas de averías y su solución respectiva.

En los siguientes cuadros se muestran algunas causas de averías y su solución respectiva.

Cuadro A.1 cuando la presión de baja es demasiado baja.

Causas posibles	Solución
Consigna del termostato de ambiente más baja de lo normal.	Corregir la consigna o revisar el termostato, posiblemente esté dañado.
Falta de fluido.	Eliminar el escape y cargar el fluido.
Tren termostático de la válvula de expansión termostática (capilar o bulbo) están rotos.	Cambiar el cabezal de la válvula, o la válvula completa.
Fallo de una válvula solenoide.	Verificar el mecanismo de la electroválvula o la alimentación de la bobina.
Filtro deshidratador colmatado (obstruido) de forma total o parcial.	De cualquier forma se tiene que cambiar.
Alguna tubería de aspiración o de líquido está aplastada u obstruida.	Verificar partes de la tubería, encontrar la obstrucción. Utilizando el nitrógeno como agente detector de obstáculo u obstrucción.
Válvula del compresor de servicio cerrada.	Asegurar que la válvula esté abierta totalmente.
Existencia de humedad en la instalación, provocando congelamiento en la válvula de expansión termostática o en el evaporador.	Cambiar la válvula de expansión termostática, nunca pretendemos limpiarla VET en este caso.
Evaporador totalmente congelado.	Filtro sucio, moto evaporador parado o girándose en sentido contrario, o existencia de algún obstáculo ajeno no dejando la circulación del aire de forma correcta.
Existencia exagerada de aceite en el condensador.	Limpiar con nitrógeno el condensador.

Cuadro A.2 Cuando la presión de baja es demasiado alta.

Causas posibles	Solución
Válvulas de compresión sin estanqueidad (fallo el plato de válvulas).	Cambiar compresor o plato de válvulas.
Regulación de la condensación demasiado alta.	Regular el presostato de alta en función del fluido y su temperatura óptima de condensación.
Mala condensación.	Verificar el motocondensador (sentido de giro) suciedad provocando un obstáculo, u obstáculo no permitiendo la circulación de aire a través del condensador.
Mezcla incorrecta de fluidos o existencia de incondensables.	Vaciar la instalación, hacer el vacío y cargar el fluido.
Resistencia de evaporador bloqueada.	Verificar el control y la regulación del desescarche.
El <i>by pass</i> de arranque o regulación de capacidad abierta por un fallo.	Revisar y comprobar los elementos causantes de este problema (regulador, o <i>by pass</i>).
Seguridad interna del compresor rota.	Hay que cambiar la seguridad.
Exceso de calor ambiental en la zona de evaporador.	Eliminar los puntos de calor: aislamiento roto, género demasiado caliente, cámara llena más de lo normal, exposición al sol de forma continua. Corregir el problema, si persiste instalar una válvula MOP.
La válvula de desescarche por gas caliente está abierta continuamente.	Regular la válvula o cambiarla.

Cuadro A.3 cuando la presión de alta es demasiado baja.

Causas posibles	Resolución
Temperatura del evaporador demasiado baja.	Verificar la consigna del termostato de ambiente, también el evaporador y el sentido de giro del motor evaporador, los filtros si están limpios, o el motor evaporador puede que esté dañado.
Falta fluido.	Reparar el escape y cargar el fluido.
Regulación de condensación no es fiable.	Verificar el funcionamiento, cambiar la consigna o cambiar el regulador porque puede que esté dañado.
Reinyección abierta todo el tiempo.	Verificar la regulación de la misma, quizás la válvula solenoide no funciona bien.
Válvulas del compresor dañadas.	Cambiar compresor o válvulas.

Cuadro A.4 Cuando la presión de alta es demasiado alta.

ANEXO II
Propiedades de ciertas sustancias en el
sistema internacional.

En las siguientes tablas se muestran algunas propiedades de ciertas sustancias en el sistema internacional.

Tabla A.1 Masa molar, constante de los gases y propiedades en el punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar, <i>M</i> kg/kmol	Constante de los gases, <i>R</i> kJ/kg · K*	Propiedades en el punto crítico		
				Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m ³ /kmol
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Amoniaco	NH ₃	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argón	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benceno	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromo	Br ₂	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butano	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbono, bióxido de	CO ₂	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbono, monóxido de	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbono, tetracloruro de	CCl ₄	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Cloruro	Cl ₂	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Cloroformo	CHCl ₃	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl ₂ F ₂	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Diclorofluorometano (R-21)	CHCl ₂ F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Etano	C ₂ H ₆	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Etílico, alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Etileno	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helio	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexano	C ₆ H ₁₄	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrógeno (normal)	H ₂	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Kriptón	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Metano	CH ₄	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Metílico, alcohol	CH ₃ OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Metilo, cloruro de	CH ₃ Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neón	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrógeno	N ₂	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitroso, óxido	N ₂ O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxígeno	O ₂	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propano	C ₃ H ₈	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propileno	C ₃ H ₆	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Azufre, bióxido de	SO ₂	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroetano (R-134a)	CF ₃ CH ₂ F	102.03	0.08149	374.3	4.067	0.1847
Triclorofluorometano (R-11)	CCl ₃ F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Agua	H ₂ O	18.015	0.4615	647.3	22.09	0.0568
Xenón	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m³/kg · K. La constante de los gases se calcula a partir de $R = R_u/M$, en donde $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K y M es la masa molar.

Tabla A.2 propiedades en los puntos de ebullición y congelación

Sustancia	Datos para la ebullición 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, h_{fg} kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{if} kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ kg/m ³	Calor específico, C_p kJ/kg · °C
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.51
					0	639	4.62
					25	603	4.78
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.78
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.51
					50	449	3.12
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1 443	1.23
					-26.1	1 374	1.27
					0	1 295	1.34
					25	1 207	1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

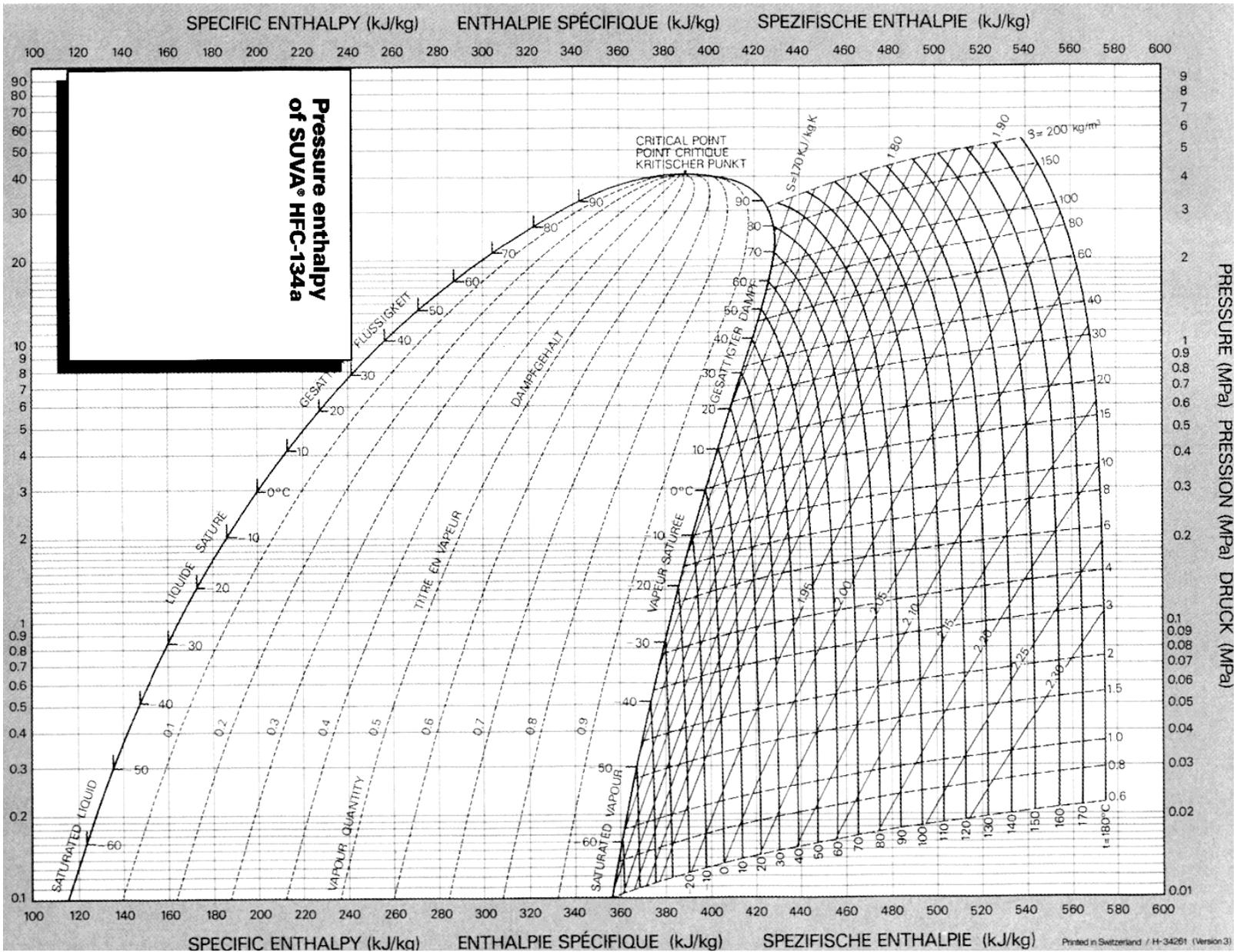
*Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 518 kPa, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -56.5°C.)

Tabla A.3 propiedades del refrigerante 134^a saturado

Temp., <i>T</i> , °C	Presión de saturación, <i>P</i> , kPa	Densidad, <i>ρ</i> , kg/m ³		Entalpía de vapori- zación, <i>h_g</i> , kJ/kg	Calor específico, <i>C_p</i> , J/kg · °C		Conductividad térmica, <i>k</i> , W/m · °C		Viscosidad dinámica, <i>μ</i> , kg/m · s		Número de Prandtl, <i>Pr</i>		Coeficiente de expansión volumétrica, Tensión superficial, <i>β</i> , 1/K, N/m	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
-40	51.2	1418	2.773	225.9	1254	748.6	0.1101	0.00811	4.878 × 10 ⁻⁴	2.550 × 10 ⁻⁶	5.558	0.235	0.00205	0.01760
-35	66.2	1403	3.524	222.7	1264	764.1	0.1084	0.00862	4.509 × 10 ⁻⁴	3.003 × 10 ⁻⁶	5.257	0.266	0.00209	0.01682
-30	84.4	1389	4.429	219.5	1273	780.2	0.1066	0.00913	4.178 × 10 ⁻⁴	3.504 × 10 ⁻⁶	4.992	0.299	0.00215	0.01604
-25	106.5	1374	5.509	216.3	1283	797.2	0.1047	0.00963	3.882 × 10 ⁻⁴	4.054 × 10 ⁻⁶	4.757	0.335	0.00220	0.01527
-20	132.8	1359	6.787	213.0	1294	814.9	0.1028	0.01013	3.614 × 10 ⁻⁴	4.651 × 10 ⁻⁶	4.548	0.374	0.00227	0.01451
-15	164.0	1343	8.288	209.5	1306	833.5	0.1009	0.01063	3.371 × 10 ⁻⁴	5.295 × 10 ⁻⁶	4.363	0.415	0.00233	0.01376
-10	200.7	1327	10.04	206.0	1318	853.1	0.0989	0.01112	3.150 × 10 ⁻⁴	5.982 × 10 ⁻⁶	4.198	0.459	0.00241	0.01302
-5	243.5	1311	12.07	202.4	1330	873.8	0.0968	0.01161	2.947 × 10 ⁻⁴	6.709 × 10 ⁻⁶	4.051	0.505	0.00249	0.01229
0	293.0	1295	14.42	198.7	1344	895.6	0.0947	0.01210	2.761 × 10 ⁻⁴	7.471 × 10 ⁻⁶	3.919	0.553	0.00258	0.01156
5	349.9	1278	17.12	194.8	1358	918.7	0.0925	0.01259	2.589 × 10 ⁻⁴	8.264 × 10 ⁻⁶	3.802	0.603	0.00269	0.01084
10	414.9	1261	20.22	190.8	1374	943.2	0.0903	0.01308	2.430 × 10 ⁻⁴	9.081 × 10 ⁻⁶	3.697	0.655	0.00280	0.01014
15	488.7	1244	23.75	186.6	1390	969.4	0.0880	0.01357	2.281 × 10 ⁻⁴	9.915 × 10 ⁻⁶	3.604	0.708	0.00293	0.00944
20	572.1	1226	27.77	182.3	1408	997.6	0.0856	0.01406	2.142 × 10 ⁻⁴	1.075 × 10 ⁻⁵	3.521	0.763	0.00307	0.00876
25	665.8	1207	32.34	177.8	1427	1028	0.0833	0.01456	2.012 × 10 ⁻⁴	1.160 × 10 ⁻⁵	3.448	0.819	0.00324	0.00808
30	770.6	1188	37.53	173.1	1448	1061	0.0808	0.01507	1.888 × 10 ⁻⁴	1.244 × 10 ⁻⁵	3.383	0.877	0.00342	0.00742
35	887.5	1168	43.41	168.2	1471	1098	0.0783	0.01558	1.772 × 10 ⁻⁴	1.327 × 10 ⁻⁵	3.328	0.935	0.00364	0.00677
40	1017.1	1147	50.08	163.0	1498	1138	0.0757	0.01610	1.660 × 10 ⁻⁴	1.408 × 10 ⁻⁵	3.285	0.995	0.00390	0.00613
45	1160.5	1125	57.66	157.6	1529	1184	0.0731	0.01664	1.554 × 10 ⁻⁴	1.486 × 10 ⁻⁵	3.253	1.058	0.00420	0.00550
50	1318.6	1102	66.27	151.8	1566	1237	0.0704	0.01720	1.453 × 10 ⁻⁴	1.562 × 10 ⁻⁵	3.231	1.123	0.00456	0.00489
55	1492.3	1078	76.11	145.7	1608	1298	0.0676	0.01777	1.355 × 10 ⁻⁴	1.634 × 10 ⁻⁵	3.223	1.193	0.00500	0.00429
60	1682.8	1053	87.38	139.1	1659	1372	0.0647	0.01838	1.260 × 10 ⁻⁴	1.704 × 10 ⁻⁵	3.229	1.272	0.00554	0.00372
65	1891.0	1026	100.4	132.1	1722	1462	0.0618	0.01902	1.167 × 10 ⁻⁴	1.771 × 10 ⁻⁵	3.255	1.362	0.00624	0.00315
70	2118.2	996.2	115.6	124.4	1801	1577	0.0587	0.01972	1.077 × 10 ⁻⁴	1.839 × 10 ⁻⁵	3.307	1.471	0.00716	0.00261
75	2365.8	964	133.6	115.9	1907	1731	0.0555	0.02048	9.891 × 10 ⁻⁵	1.908 × 10 ⁻⁵	3.400	1.612	0.00843	0.00209
80	2635.2	928.2	155.3	106.4	2056	1948	0.0521	0.02133	9.011 × 10 ⁻⁵	1.982 × 10 ⁻⁵	3.558	1.810	0.01031	0.00160
85	2928.2	887.1	182.3	95.4	2287	2281	0.0484	0.02233	8.124 × 10 ⁻⁵	2.071 × 10 ⁻⁵	3.837	2.116	0.01336	0.00114
90	3246.9	837.7	217.8	82.2	2701	2865	0.0444	0.02357	7.203 × 10 ⁻⁵	2.187 × 10 ⁻⁵	4.385	2.658	0.01911	0.00071
95	3594.1	772.5	269.3	64.9	3675	4144	0.0396	0.02544	6.190 × 10 ⁻⁵	2.370 × 10 ⁻⁵	5.746	3.862	0.03343	0.00033
100	3975.1	651.7	376.3	33.9	7959	8785	0.0322	0.02989	4.765 × 10 ⁻⁵	2.833 × 10 ⁻⁵	11.77	8.326	0.10047	0.00004

ANEXO III

Diagrama de Presión/entalpía del refrigerante 134a.



ANEXO IV

Glosario.

Ciclo de Carnot. Ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo.

Compresor. Es un dispositivo mecánico que bombea el vapor del refrigerante de un área de baja presión al evaporador, a un área de alta presión al condensador.

Comprobación de hermeticidad. Consiste en sobre presionar la instalación con nitrógeno seco, con el fluido refrigerante o con ambos y cuando se alcance una determinada presión se procederá a la comprobación de fugas.

Condensador. Es un intercambiador térmico, en cual cierto fluido, cambia a fase líquida desde su fase gaseosa.

Diseño de ingeniería. Es el proceso de aplicar las diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización.

Diseño mecánico. Es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: maquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos.

Refrigeración. Rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto a los alrededores correspondientes.

Entalpía. Cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno, la variación de entalpía expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico.

Entropía. Magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.

Evaporador. Equipo que hierve o evapora refrigerante líquido, absorbiendo el calor a través de las paredes del tubo a medida que se convierte en vapor.

Gas ideal o Gas perfecto. Todo aquel gas determinado al relacionar cuatro magnitudes: volumen, temperatura, presión y cantidad de dicho gas es expresada en moles.

Ley de Avogadro. Hace referencia a iguales volúmenes de cualquier gas, a la misma presión y temperatura, tiene el mismo número de moléculas.

Ley de Boyle. A temperatura constante, el volumen de un peso dado de gas perfecto varía inversamente a la presión absoluta.

Ley de Charles. Cuando un gas perfecto recibe calor a volumen constante, la presión absoluta varía en forma directamente proporcional a la temperatura.

Ley de Dalton. En una mezcla de gases que no reaccionan entre sí, cada molécula se mueve independientemente, de una forma análoga a como si estuviera totalmente aislada.

Ley de Joule. Cuando un gas perfecto se expande sin hacer trabajo, su temperatura permanece inalterable, ya que su energía interna permanece también inalterable. La energía interna de un gas perfecto es función solamente de la temperatura.

Lubricación. Consiste en reducir la fricción, facilitar el movimiento relativo de piezas.

Presóstato. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico

dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

Refrigeración por compresión. Consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en el otro.

Refrigerante. Es un fluido químico cuyo estado puede cambiarse fácilmente de líquido a gas y viceversa y que, cuando se usa en un sistema de compresión, enfría por absorción de calor durante su expansión o vaporización.

Soldadura. Es un proceso para la unión de dos metales por medio de calor y/o presión y se define como la liga metalúrgica entre los átomos del metal a unir y el de aporte.

Termistores. Son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que representan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños de la temperatura.

Termómetros bimetalicos. Son dispositivos que se basan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35.5% de níquel) laminados conjuntamente.

Termómetro de resistencia. Consiste en un alambre de metal como el platino, cuya resistencia eléctrica cambia cuando varía la temperatura.

Termopar. Es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica de dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferentes temperaturas, esta circulación de corriente obedece a dos efectos

termoeléctricos combinados, el efecto Peltier y el efecto Thompson.

Transductor. Es un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra.

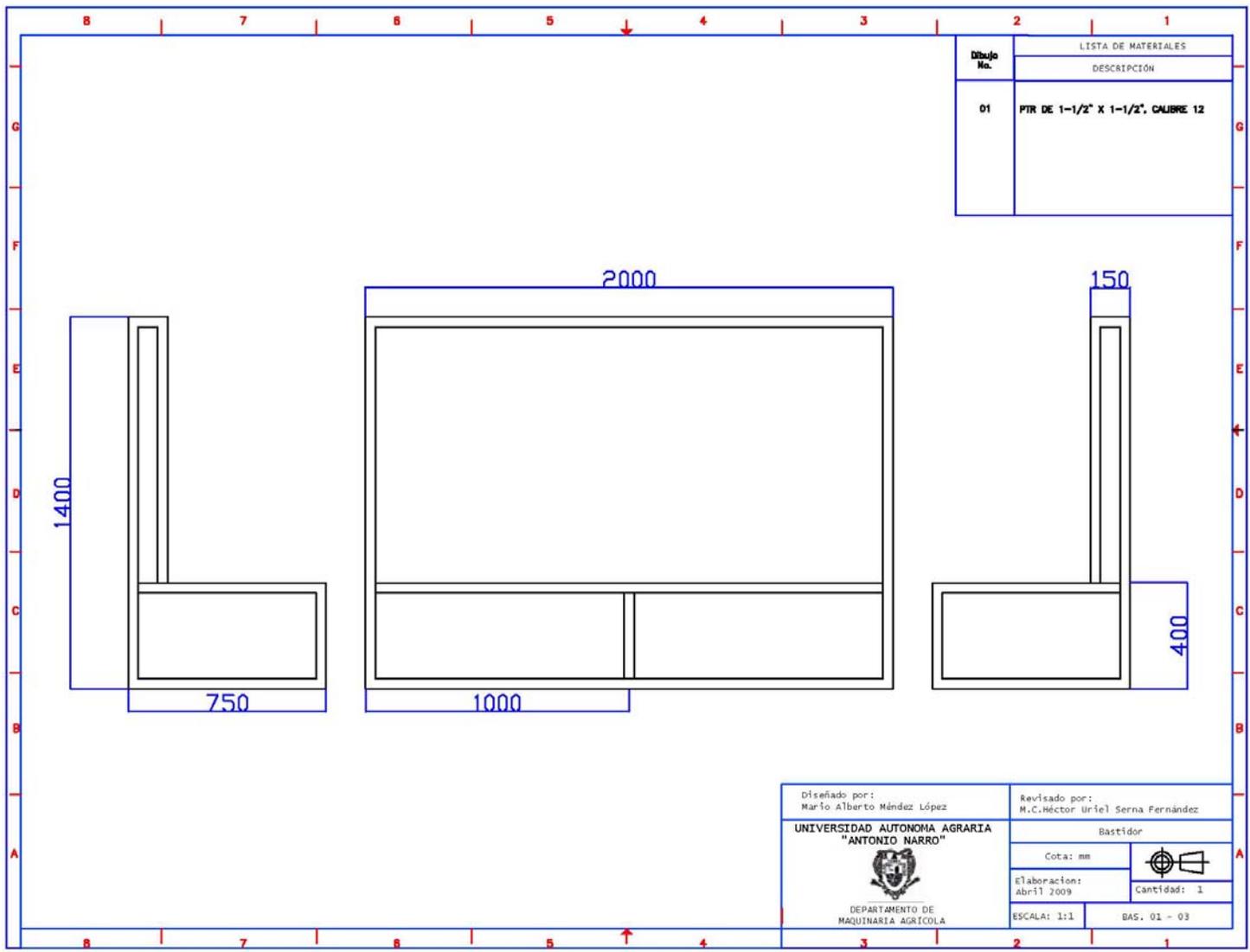
Tubo capilar. Es utilizado para el control del refrigerante de equipos pequeños en aplicaciones de aire acondicionado, la función es la misma que la válvula de expansión, separando los lados de alta y baja presión del sistema y controlando la alimentación de refrigerante líquido.

Tubo de cobre ACR. el que es empleado en trabajos de refrigeración y aire acondicionado se conoce como ACR “aire acondicionado y refrigeración”, este tubo se presuriza con gas nitrógeno para mantenerlo libre de aire, humedad y polvo, así como para suministrar máxima protección contra óxidos nocivos que se forman normalmente durante la soldadura con latón.

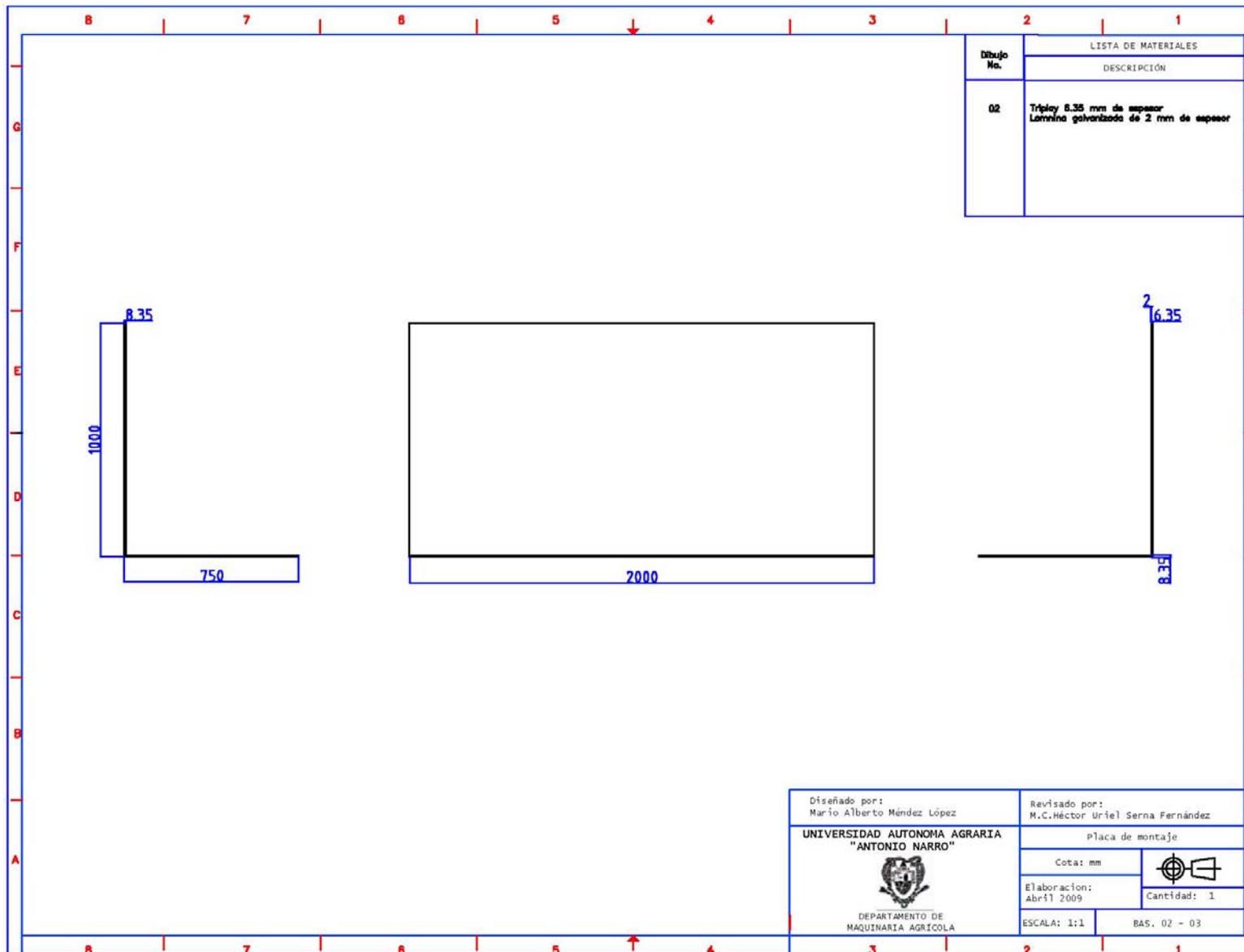
Válvula de expansión termostática. Válvula de control para el flujo de refrigerante líquido que entra al evaporador de expansión directa manteniendo constante la diferencia entre la temperatura del evaporador y su temperatura de saturación del refrigerante.

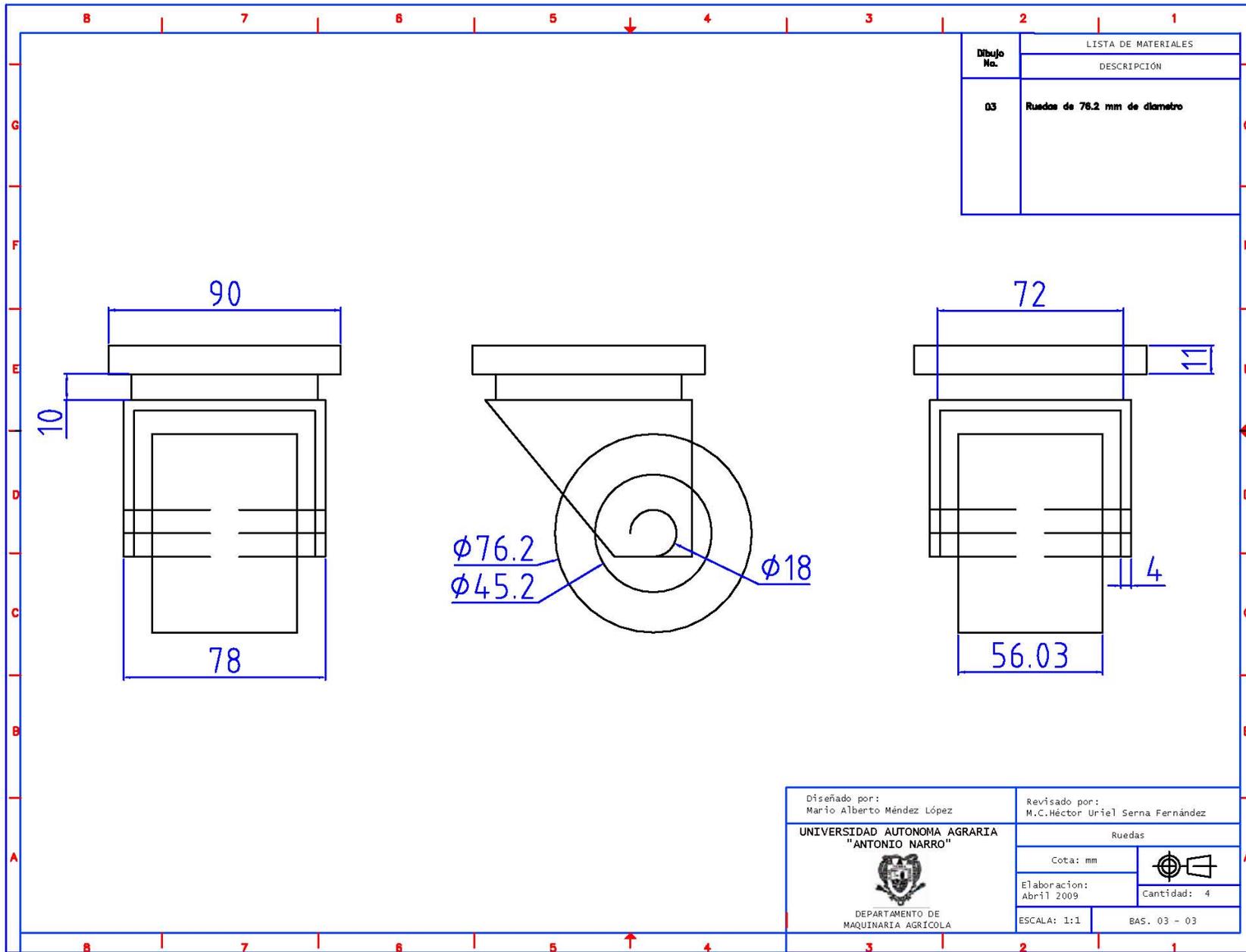
ANEXO V

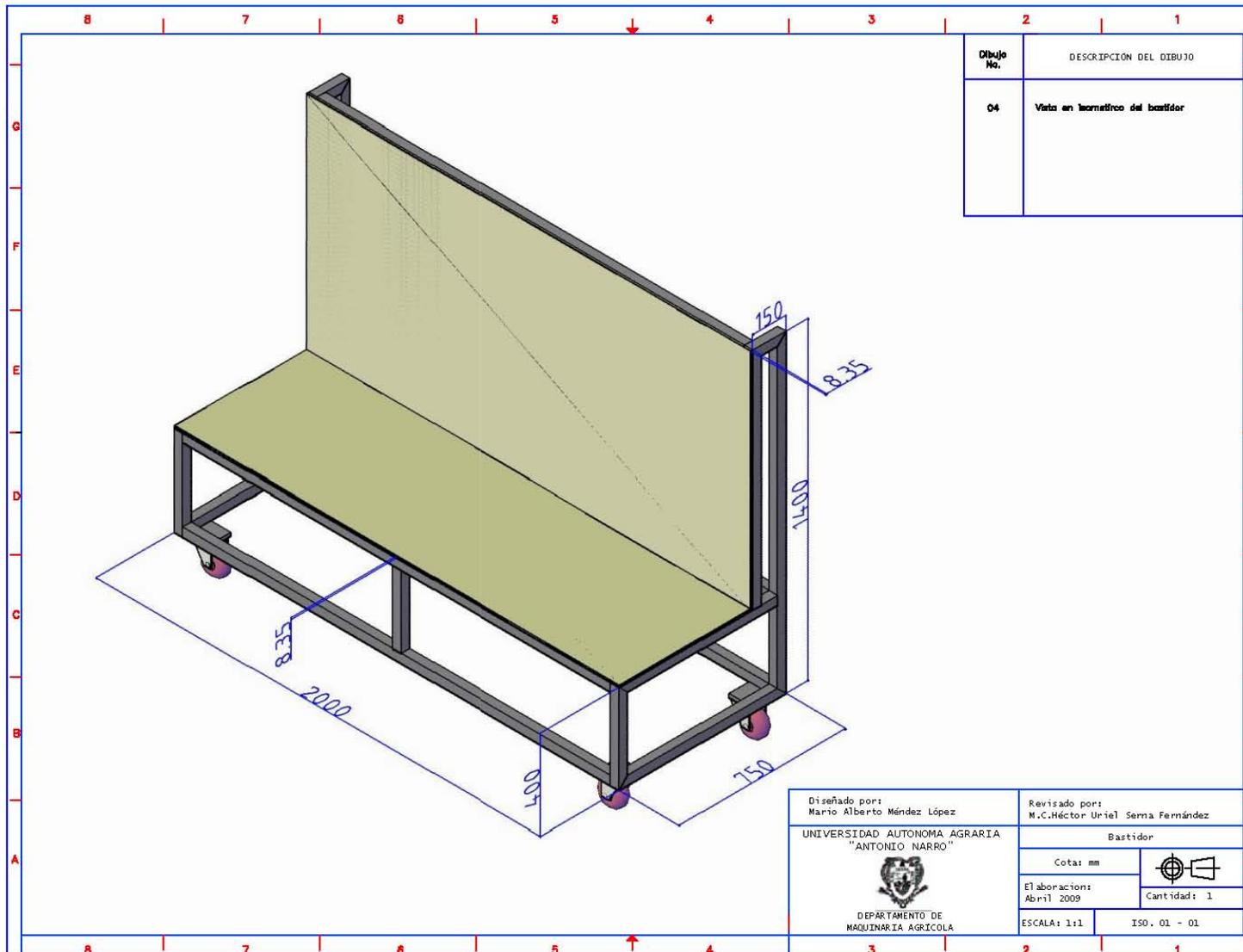
Diseño del banco de pruebas.

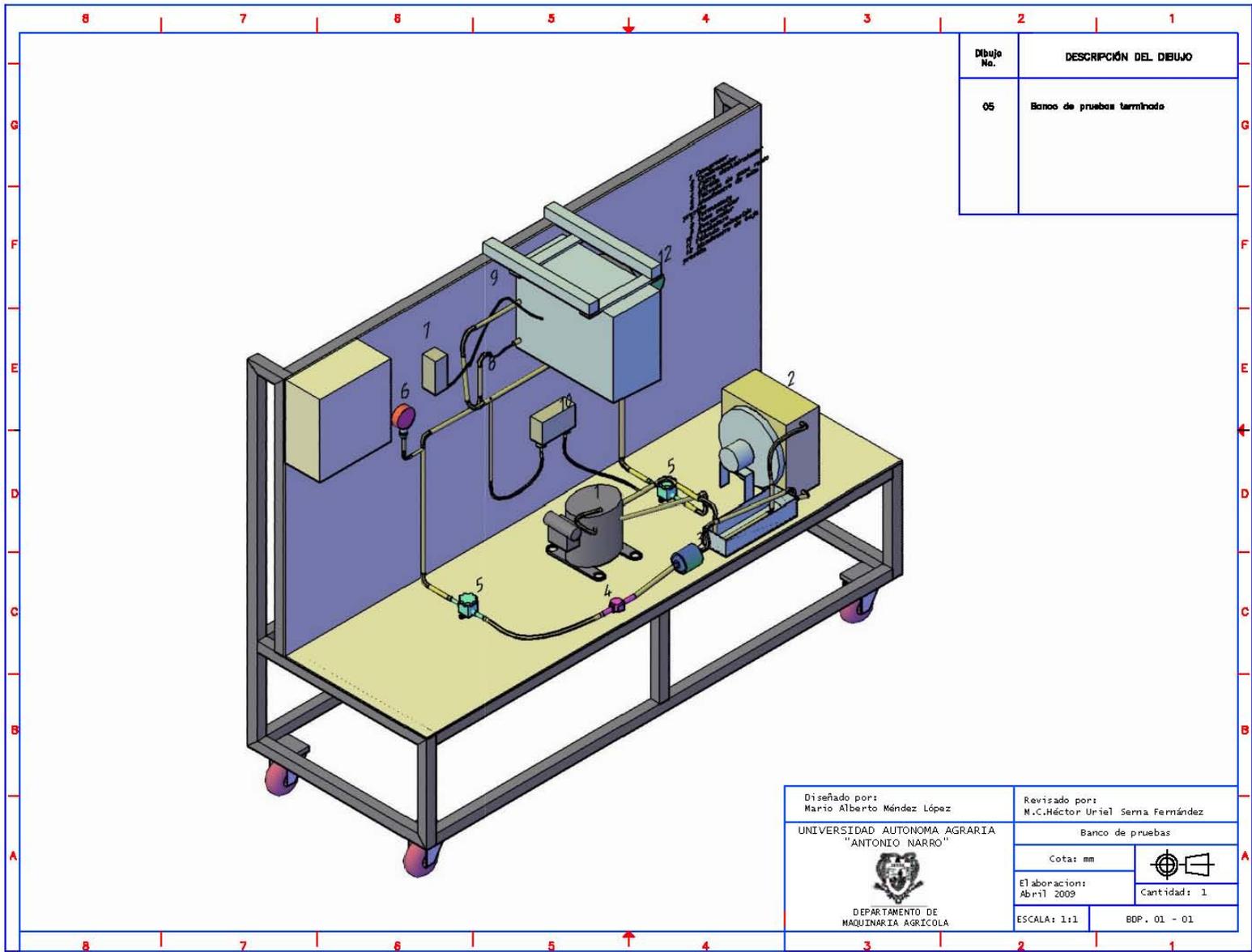


Diseñado por: Mario Alberto Méndez López	Revisado por: M.C. Héctor Uriel Serna Fernández
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"	
	
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA	
Bastidor	
Cota: mm	
Elaboración: Abril 2009	Cantidad: 1
ESCALA: 1:1	BAS. 01 - 03







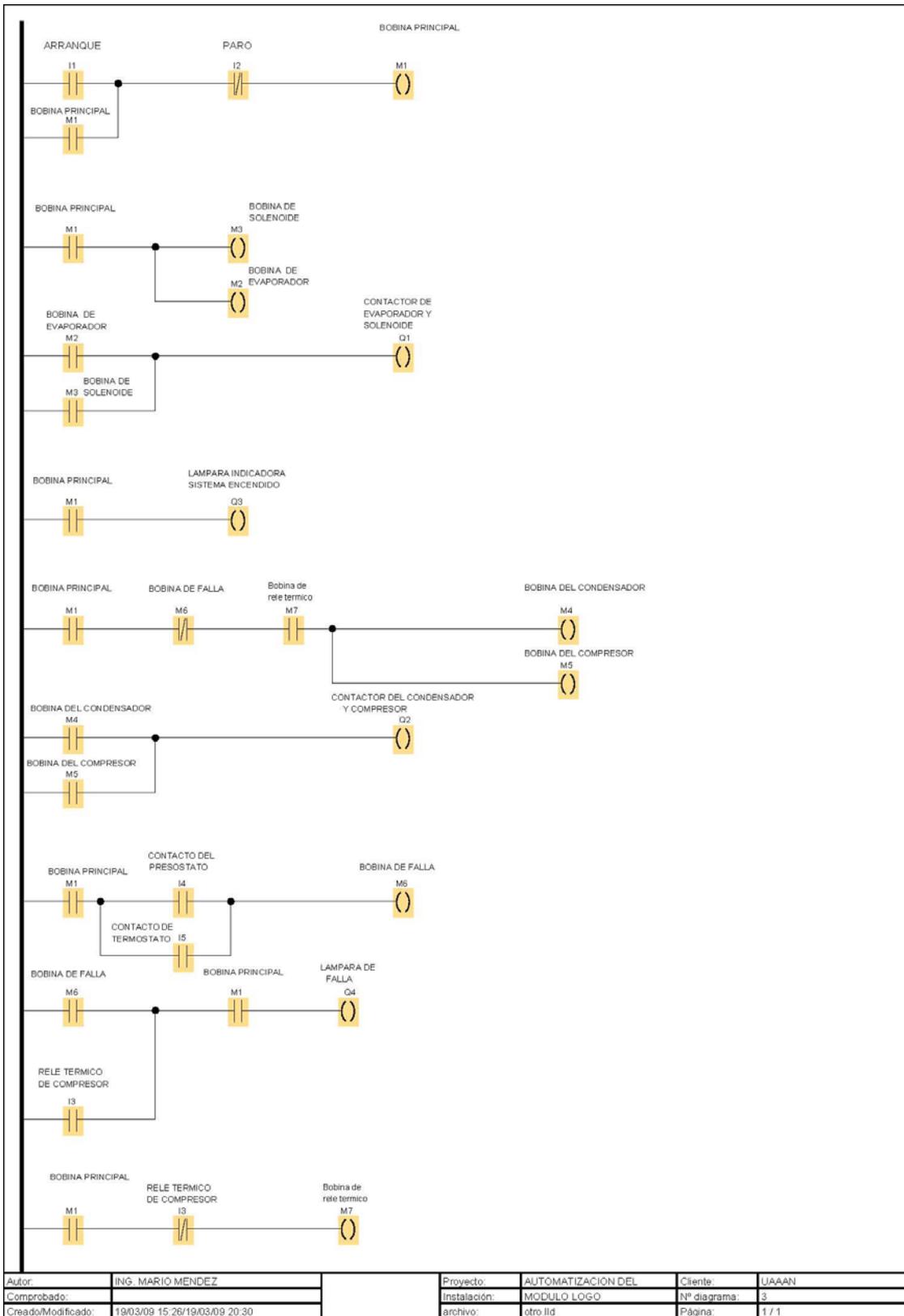


Dibujo No.	DESCRIPCIÓN DEL DIBUJO
05	Banco de pruebas terminado

Diseñado por: Mario Alberto Méndez López	Revisado por: M.C.Héctor Uriel Serna Fernández
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"	
	
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA	
Banco de pruebas	
Cota: mm	
Elaboración: Abril 2009	Cantidad: 1
ESCALA: 1:1	BOP. 01 - 01

ANEXO VI

Diagrama eléctrico.



Número de bloque (tipo)	Parámetro
I1(Contacto normalmente abierto) : ARRANQUE	
I2(Contacto normalmente cerrado) : PARO	
I3(Contacto normalmente abierto) : RELE TERMICO DE COMPRESOR	
I3(Contacto normalmente cerrado) : RELE TERMICO DE COMPRESOR	
I4(Contacto normalmente abierto) : CONTACTO DEL PRESOSTATO	
I5(Contacto normalmente abierto) : CONTACTO DE TERMOSTATO	
M1(Bobina) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M1(Contacto normalmente abierto) : BOBINA PRINCIPAL	
M2(Bobina) : BOBINA DE EVAPORADOR	
M2(Contacto normalmente abierto) : BOBINA DE EVAPORADOR	

Autor:	ING. MARIO MENDEZ	Proyecto:	AUTOMATIZACION DEL	Cliente:	UAAAN
Comprobado:		Instalación:	MODULO LOGO	Nº diagrama:	3
Creado/Modificado:	19/03/09 15:26/19/03/09 20:30	archivo:	otro.lld	Página:	2

Número de bloque (tipo)	Parámetro																		
M3(Bobina) : BOBINA DE SOLENOIDE																			
M3(Contacto normalmente abierto) : BOBINA DE SOLENOIDE																			
M4(Bobina) : BOBINA DEL CONDENSADOR																			
M4(Contacto normalmente abierto) : BOBINA DEL CONDENSADOR																			
M5(Bobina) : BOBINA DEL COMPRESOR																			
M5(Contacto normalmente abierto) : BOBINA DEL COMPRESOR																			
M6(Contacto normalmente cerrado) : BOBINA DE FALLA																			
M6(Bobina) : BOBINA DE FALLA																			
M6(Contacto normalmente abierto) : BOBINA DE FALLA																			
M7(Bobina) : Bobina de rele termico																			
M7(Contacto normalmente abierto) : Bobina de rele termico																			
Q1(Bobina) : CONTACTOR DE EVAPORADOR Y SOLENOIDE																			
Q2(Bobina) : CONTACTOR DEL CONDENSADOR Y COMPRESOR																			
Q3(Bobina) : LAMPARA INDICADORA SISTEMA ENCENDIDO																			
Q4(Bobina) : LAMPARA DE FALLA																			
<table border="1"> <tr> <td>Autor:</td> <td>ING. MARIO MENDEZ</td> <td>Proyecto:</td> <td>AUTOMATIZACION DEL</td> <td>Ciente:</td> <td>UAAAN</td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td></td> <td>Instalación:</td> <td>MODULO LOGO</td> <td>Nº diagrama:</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Creado/Modificado:</td> <td>19/03/09 15:26/19/03/09 20:30</td> <td>archivo:</td> <td>otro .ltd</td> <td>Página:</td> <td>3</td> </tr> </table>		Autor:	ING. MARIO MENDEZ	Proyecto:	AUTOMATIZACION DEL	Ciente:	UAAAN	Comprobado:		Instalación:	MODULO LOGO	Nº diagrama:	3	Creado/Modificado:	19/03/09 15:26/19/03/09 20:30	archivo:	otro .ltd	Página:	3
Autor:	ING. MARIO MENDEZ	Proyecto:	AUTOMATIZACION DEL	Ciente:	UAAAN														
Comprobado:		Instalación:	MODULO LOGO	Nº diagrama:	3														
Creado/Modificado:	19/03/09 15:26/19/03/09 20:30	archivo:	otro .ltd	Página:	3														

Conector	Rotulación	
I1		
I2		
I3		
I4		
I5		
I6		
I7		
I8		
I9		
I10		
I11		
I12		
I13		
I14		
I15		
I16		
I17		
I18		
I19		
I20		
I21		
I22		
I23		
I24		
C1▲		
C2▼		
C3◀		
C4▶		
S1		
S2		
S3		
S4		
S5		
S6		
S7		
Autor: ING. MARIO MENDEZ	Proyecto: AUTOMATIZACION DEL	Cliente: UAAAN
Comprobado:	Instalación: MODULO LOGO	Nº diagrama: 3
Creado/Modificado: 19/03/09 15:20/19/03/09 20:30	archivo: otro.lid	Página: 4

