

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL



PROYECTO DE GRADO

**“DISEÑO CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ENTRENADOR DIDÁCTICO DE
UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN”**

Proyecto de Grado presentado para la obtención del grado de Licenciatura

PRESENTADO POR: JUAN ERNESTO MENDOZA LOZA

TUTOR: LIC. WILFREDO ESPINOZA GUTIÉRREZ

LA PAZ – BOLIVIA
GESTIÓN 2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL

Proyecto de Grado

**DISEÑO CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ENTRENADOR DIDÁCTICO DE UN
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN**

Presentado por: Univ. Juan Ernesto Mendoza Loza

Para optar el grado académico de Licenciado en Mecánica Industrial

Nota numeral...100/100.....

Nota literal.....Cien sobre cien.....

Ha sido..... Aprobado.....

Director de Carrera de Mecánica Industrial Lic. Max Ponce Flores

Tutor Lic. Wilfredo Espinoza Gutiérrez

Tribunal Lic. Richard Villalba Caro

Tribunal Ing. Humberto Cojinto Alba

Tribunal Ing. Javier Sánchez Quiroz

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico a Dios por darnos salud y fuerza para lograr nuestros objetivos, a mis queridos padres: Gloria y Ernesto quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas Maribel, Ángel y Wendy por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A mi hijo Néstor Miller por ser mi fuerza de superación día a día y compañera Emiliana por darme tiempo para realizarme profesionalmente.

Finalmente quiero dedicar este proyecto a todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Lic. Wilfredo Espinoza Gutiérrez por sus sugerencias durante el desarrollo del proyecto.

A los miembros del Tribunal examinador: Lic. Richard Villalba Caro, Ing. Humberto Cojinto Alba, Ing. Javier Sánchez Quiroz, mis agradecimientos por los consejos y sugerencias.

A mis padres por el apoyo brindado durante toda la etapa universitaria y por enseñarme los valores de responsabilidad, humildad en todo momento.

Finalmente agradezco a todos los compañeros de la Carrera de Mecánica Industrial que tuvimos a lo largo de nuestra vida estudiantil, por ayudarnos y guiarnos en nuestra formación profesional.

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
Índice de contenido.....	III
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
Capítulo 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Marco Institucional.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos del Proyecto de Grado.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación del Proyecto de Grado	3
1.5. Metodología.....	3
Capítulo 2	4
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
2.1. Conceptos fundamentales de la termodinámica	4
2.1.1. Primera ley de la termodinámica	4
2.1.2. Segunda ley de la termodinámica.....	5
2.1.3. Propiedades Termodinámicas.....	6
2.2. Energía.....	8
2.2.1. Cambio energético y transferencia de energía.....	8
2.2.2. Leyes de los gases.....	9
2.2.3. Leyes de los gases ideales	12
2.2.4. Refrigeración	13
2.2.5. Refrigeración por compresión de vapor o mecánica	17

2.2.6. Sistema de refrigeración por absorción de vapor	20
2.3. Ciclo teórico por compresión de vapor.....	22
2.3.1. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	23
2.3.2. Ciclo invertido de Carnot	24
2.3.3. Diagrama de Mollier	25
2.4. Refrigerantes.....	28
2.4.1. Clasificación de los refrigerantes	30
2.4.2. Halocarburos.....	31
2.4.3. Hidrocarburos	31
2.4.4. Compuestos inorgánicos.....	32
2.4.5. Mezclas Azeotropicas.....	34
2.4.6. Mezclas Zeotropicas.....	34
2.4.7. Relación Presión Temperatura del refrigerante	36
2.5. Compresor	37
2.5.1. Clasificación de los compresores	39
2.5.2. Compresor Alternativo	42
2.5.3. Compresor Rotativo.....	43
2.5.4. Compresor Centrifugo	43
2.5.5. Compresor de Tornillo.....	44
2.5.6. Compresor Scroll.....	45
2.5.7. Compresor de Paletas	47
2.5.8. Capacidad y desempeño	48
2.6. Condensadores utilizados en refrigeración.....	48
2.6.1. Clasificación de los condensadores	48
2.6.2. Condensadores enfriados por aire.....	48
2.6.3. Condensadores enfriados por agua	50
2.6.4. Condensadores Evaporativos.....	50
2.7. Dispositivos reguladores de flujo	51
2.7.1. Válvula de expansión termostática.....	51
2.7.2. Válvula de expansión automática.....	53
2.7.3. Tuvo capilar.....	53

2.8. Evaporadores	54
2.8.1. Clasificación de los evaporadores	54
2.8.2. Según su construcción	55
2.8.3. Según como se comporte y circule el refrigerante	57
2.8.4. Según el método de circulación del aire	57
2.8.5. Dispositivos de control	57
2.8.6. Controladores de Presión.....	58
2.8.7. Sensor de Temperatura	59
2.9. Dispositivos auxiliares.....	60
2.10. Entrenador didáctico.....	61
2.10.1 Tipos de entrenadores didácticos.....	62
2.10.2. Entrenador Electrónico	62
2.10.3. Entrenador Neumático	63
2.10.4. Entrenador en Refrigeración.....	63
Capítulo 3.....	67
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	67
3.1. Parámetros de diseño	67
3.1.1. Temperaturas de Operación (evaporación y condensación) del sistema	69
3.1.2. Capacidad del sistema	74
3.2. Cálculos y selección de componentes	75
3.2.1. Selección del compresor	75
3.2.2. Potencia del compresor.....	80
3.3. Selección del refrigerante	83
3.3.1. Selección del condensador.....	85
3.3.2. Material del condensador.....	87
3.3.3. Tipo de enfriamiento adecuado para el condensador	87
3.3.4. Aplicación del condensador.....	88
3.4. Tuberías de unión de los elementos.....	88
3.4.1. Diámetro exterior e interior	89
3.4.2. Material de fabricación de las tuberías	90
3.4.3. Tipo de soldadura a utilizar en las uniones.....	91

3.5. Accesorios	91
3.6. Selección del evaporador.....	91
3.6.1. Material del evaporador.....	92
3.6.2. Aplicación del evaporador.....	93
3.7. Selección del control de flujo	93
3.7.1. Dimensionamiento.....	94
3.7.2. Diámetro y longitud del arrollamiento	94
3.8. Selección del filtro deshidratador	94
3.9. Selección del visor de líquido.....	95
3.10. Selección de manómetros	95
3.11. Selección del Termostato electrónico.	96
3.12. Calculo del ciclo real de refrigeración.....	93
3.13. Calculo de la temperatura y presión de evaporación.....	101
3.14. Calculo de la temperatura y presión de condensación.....	102
3.15. Calculo del volumen de refrigeración	102
3.16. Lugar de Instalación del entrenador	103
Capítulo 4	105
DESARROLLO DEL PROYECTO	105
4.1. Evaluación del entrenador didáctico.....	105
4.2. Diseño dimensional del entrenador didáctico.....	105
4.3. Esquemas de la instalación	106
4.4. Construcción de la estructura del entrenador	107
4.4.1. Construcción de la base de madera blanca del entrenador	109
4.5. Montaje de todos los elementos de refrigeración al Entrenador	113
4.6. Unión de tuberías en el sistema de refrigeración.....	117
4.7. Instalación de los dispositivos eléctricos en el sistema	131
4.8. Carga de gas refrigerante al sistema	134
4.9. Verificación del sistema realizando controles.....	135
4.10. Puesta en marcha del sistema	136
4.11. Pruebas del sistema y análisis del mismo	136
4.12. Trazado del Ciclo real del sistema.....	138

4.2. Mantenimiento Definición.....	139
4.2.1. Tipos de Mantenimiento.....	139
4.2.2. Mantenimiento Correctivo.....	140
4.2.3. Mantenimiento Preventivo	140
4.2.4. Mantenimiento Predictivo	141
4.2.5. Fallas más Comunes	141
4.2.6. Averías Típicas en el Compresor.....	142
4.2.7. Averías Típicas en el Condensador	142
4.2.8. Averías Típicas en el Evaporador.....	142
4.3. Seguridad Industrial (Riesgos de Salud)	143
4.3.1. Seguridad Industrial en el entrenador.....	143
Capítulo 5	145
ANÁLISIS FINANCIERO.....	145
5.1. Análisis Económico.....	145
5.1.1. Costos Directos.....	145
5.1.2. Equipos y Materiales	145
5.1.3. Mano de obra Directa	148
5.2. Costos Indirectos	149
Capítulo 6	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
6.1. Conclusiones.....	150
6.2. Recomendaciones	151
Bibliografía.....	152
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Ley de Avogadro	10
FIGURA 2.2 Ley de Boyle	10
FIGURA 2.3 Ley de Charles	11
FIGURA 2.4 Ley de Gay-Lussac	12
FIGURA 2.5 Câmara frigorífica industrial.....	13
FIGURA 2.6 Refrigeración comercial.....	14
FIGURA 2.7 Ciclo de refrigeración por compresión	18
FIGURA 2.8 Evaporador Industrial	19
FIGURA 2.9 Compresor Hermético.....	19
FIGURA 2.10 Condensador	20
FIGURA 2.11 Dispositivo de expansión por capilar.....	20
FIGURA 2.12 Refrigeración por Absorción	21
FIGURA 2.13 Diagrama P-H del ciclo Ideal de Refrigeración.....	22
FIGURA 2.14 Diagrama P-H del ciclo Real de Refrigeración	24
FIGURA 2.15 Ciclo Invertido de Carnot	25
FIGURA 2.16 Diagrama de Moliere del Refrigerante R134a.....	26
FIGURA 2.17 Gases Refrigerantes	28
FIGURA 2.18 Tipos de Refrigerantes.....	30
FIGURA 2.19 Compresor hermético uso doméstico comercial	40
FIGURA 2.20 Vista interna del compresor	40
FIGURA 2.21 Compresores Semiherméticos.....	41
FIGURA 2.22 Compresores Abiertos.....	41
FIGURA 2.23 Compresor Alternativo	42
FIGURA 2.24 Compresor Centrifugo	43
FIGURA 2.25 Compresor de Tornillo.....	45
FIGURA 2.26 Compresor Scroll	46
FIGURA 2.27 Compresor de paletas.....	47
FIGURA 2.28 Condensador Enfriado por aire con forzador.....	49
FIGURA 2.29 Condensador Enfriado por aire Natural	49
FIGURA 2.30 Condensador Enfriado por Agua	50

FIGURA 2.31 Condensador Evaporativo.....	51
FIGURA 2.32 Válvula de Expansión Termostática	52
FIGURA 2.33 Esquema interno de la válvula Termostática	52
FIGURA 2.34 Válvula de expansión Automática	53
FIGURA 2.35 Elemento de control por Tubo Capilar	53
FIGURA 2.36 Esquema de Evaporador de Expansión Seca o directa	54
FIGURA 2.37 Esquema de Evaporador Inundado	55
FIGURA 2.38 Evaporador de Tubo Liso	55
FIGURA 2.39 Evaporador de Placas.....	56
FIGURA 2.40 Evaporador de Aletas.....	57
FIGURA 2.41 Presostato	57
FIGURA 2.42 Manómetro de Alta Presión	58
FIGURA 2.43 Manómetro de Baja Presión.....	58
FIGURA 2.44 Sensor de Temperatura	54
FIGURA 2.45 Filtro Deshidratador.....	60
FIGURA 2.46 Visor de Líquido	61
FIGURA 2.47 Entrenador didáctico electrónico	62
FIGURA 2.48 Entrenador didáctico neumático	63
FIGURA 2.49 Entrenador didáctico en refrigeración.....	64
FIGURA 2.50 Entrenador en refrigeración	65
FIGURA 2.51 Entrenador en refrigeración Inglesa.....	65
FIGURA 3.1 Facultad de tecnología	67
FIGURA 3.2 Laboratorio de máquinas térmicas.....	67
FIGURA 3.3 Ciclo de refrigeración	68
FIGURA 3.4 Ciclo de refrigeración con los elementos principales y auxiliares.....	69
FIGURA 3.5 Condensador tipo serpentín	70
FIGURA 3.6 Evaporador de aletas.....	72
FIGURA 3.7 Trazado del ciclo teórico de refrigeración	73
FIGURA 3.8 Compresor seleccionado	82
FIGURA 3.9 Refrigerante ecológico seleccionado	85
FIGURA 3.10 Condensador por convección forzada.....	85

FIGURA 3.11 Motor ventilador del condensador	87
FIGURA 3.12 Tubería de cobre tipo flexible	89
FIGURA 3.13 Tubería de cobre tipo rígido.....	89
FIGURA 3.14 Tubería de cobre tipo flexible seleccionado	90
FIGURA 3.15 Unión de tuberías por soldadura	91
FIGURA 3.16 Evaporador de aletas seleccionado	92
FIGURA 3.17 Control de flujo seleccionado	93
FIGURA 3.18 Filtro deshidratador seleccionado	94
FIGURA 3.19 Visor de líquido seleccionado.....	95
FIGURA 3.20 Manómetros de presión seleccionado	96
FIGURA 3.21 Termostato de control de temperatura seleccionado.....	96
FIGURA 3.22 Termómetro Digital	97
FIGURA 3.23 Datos obtenidos diagrama P-H	97
FIGURA 3.24 Paso del refrigerante por el sistema	98
FIGURA 3.25 Diagrama p-h con datos de recalentamiento y subenfriamiento.....	101
FIGURA 3.26 Lectura de presión y temperatura de evaporación	101
FIGURA 3.27 Lectura de presión y temperatura de condensación.....	102
FIGURA 3.28 Laboratorio de Instalación del Entrenador.....	103
FIGURA 4.1 Estructura del Entrenador Didáctico.....	106
FIGURA 4.2 Estructura del Entrenador con los elementos principales	106
FIGURA 4.3 Herramientas de ejecución de la estructura metálica.....	108
FIGURA 4.5 Arco eléctrico.....	108
FIGURA 4.6 Montaje de la estructura del entrenador.....	109
FIGURA 4.7 Empresa de adquisición de material	109
FIGURA 4.8 Hoja melamina eucatex del tablero del entrenador.....	109
FIGURA 4.9 Corte de madera melamina	110
FIGURA 4.10 Cepillado de los bordes de madera melamina.....	111
FIGURA 4.11 Montaje de la madera melamina a la estructura metálica.....	111
FIGURA 4-12 Estructura del recinto del evaporador.....	112
FIGURA 4.13 Vista lateral del recinto	112
FIGURA 4.14 Recinto del evaporador	113

FIGURA 4.15	Recinto concluido del evaporador	113
FIGURA 4.16	Taladro y juego de brocas	115
FIGURA 4.17	Equipo de soldadura oxiacetilénica	115
FIGURA 4.18	Chispeado o prendedor de llama.....	115
FIGURA 4.19	Juego de avellanado de tuberías.....	116
FIGURA 4.20	Fundente de soldadura	116
FIGURA 4.21	Elementos para el cableado.....	116
FIGURA 4.22	Llaves de ajuste.....	117
FIGURA 4.23	Elemento de corte de cañerías de cobre.....	117
FIGURA 4.24	Preparado de tuberías.....	118
FIGURA 4.25	Avellanado de tubería	118
FIGURA 4.26	Manómetro de baja	118
FIGURA 4.27	Instalación de manómetro de baja	119
FIGURA 4.28	Identificación del compresor	119
FIGURA 4.29	Preparación de tubería para la soldadura	120
FIGURA 4.30	Instalación del manómetro de alta	120
FIGURA 4.31	Montaje del condensador	121
FIGURA 4.32	Unión de tubería de alta con el condensador	121
FIGURA 4.33	Ajuste de llama de soldar.....	121
FIGURA 4.34	Instalación de manómetro de alta	122
FIGURA 4.35	Manómetro de alta	122
FIGURA 4.36	Manómetro de alta instalado.....	122
FIGURA 4.37	Montaje del forzador de aire (ventilador	123
FIGURA 4.38	Visor de liquido	123
FIGURA 4.39	Sujeción del visor a una prensa para su unión por soldadura	124
FIGURA 4.40	Visor preparado para soldar.....	124
FIGURA 4.41	Instalación del visor	124
FIGURA 4.42	Unión con manómetro de alta.....	125
FIGURA 4.43	Válvula de paso manual.....	125
FIGURA 4.44	Instalación de la válvula manual a la salida del visor.....	126
FIGURA 4.45	Válvula manual instalada.....	126

FIGURA 4.46	Filtro deshidratador.....	127
FIGURA 4.47	Unión de filtro con tubería para su instalación	127
FIGURA 4.48	Instalación preliminar de los elementos del entrenador.....	128
FIGURA 4.49	Elemento de expansión (tubo capilar.....	128
FIGURA 4.50	Instalación del tubo capilar	129
FIGURA 4.51	Manómetros de baja presión	129
FIGURA 4.52	Unión de tubería en la zona de baja presión	130
FIGURA 4.53	Instalación del tubo capilar	130
FIGURA 4.54	Unión roscada a la salida del capilar	130
FIGURA 4.55	Evaporador.....	131
FIGURA 4.56	Instalación del segundo manómetro de baja	131
FIGURA 4.57	Bornes de conexión del compresor.....	132
FIGURA 4.58	Esquema caja de bornes del compresor	132
FIGURA 4.59	Medición de los bobinados	132
FIGURA 4.60	Esquema de conexiones eléctricas.....	133
FIGURA 4.61	Carga de Gas ecológico R134a al sistema	134
FIGURA 4.62	Prueba de fugas en el sistema	135
FIGURA 4.63	Chequeador electrónico de fugas.....	136
FIGURA 4.64	Entrenador Didáctico Concluido	136
FIGURA 4.65	Corriente Nominal del motocompesor.....	137
FIGURA 4.66	Visor de líquido con refrigerante licuado	137
FIGURA 4.67	Diagrama P-H con datos del recalentamiento y sub enfriamiento.....	138

LISTA DE TABLAS

Tabla A-1 Series de refrigerantes	36
Tabla A-2 Colores de los refrigerantes.....	36
Tabla A-3 Salto térmico en condensadores enfriados por agua y aire	70
Tabla A-4 Temperaturas ambientes.....	71
Tabla A-5 Capacidades de refrigeración	74
Tabla A-6 Rendimientos aproximados según la relación de compresión.....	82
Tabla A-7 Datos técnicos del condensador	88
Tabla A-8 Diámetros para Tuberías	90
Tabla A-9 Dimensionamiento del capilar.....	94
Tabla A-10 Medidas del entrenador	105
Tabla A-11 Datos del material de la estructura	107
Tabla A-12 Datos de herramientas	107
Tabla A-13 Datos de instrumentos	107
Tabla A-14 Datos de equipos de protección.....	108
Tabla A-15 Datos del material base del entrenador.....	110
Tabla A-16 Medidas del recinto del evaporador	112
Tabla A-17 Causas y soluciones del equipo	142
Tabla A-18 Equipos e instrumentos	146
Tabla A-19 Estructura y base del entrenador	146
Tabla A-20 Descripción unidad de enfriamiento.....	147
Tabla A-21 Descripción accesorios.....	147
Tabla A-22 Descripción de elementos eléctricos	148
Tabla A-23 Descripción mano de obra.....	148
Tabla A-24 Descripción costos directos.....	148
Tabla A-25 Descripción materiales indirecto.....	149
Tabla A-26 Descripción total del equipo.....	149

RESUMEN

La Carrera de Mecánica Industrial tiene muchos y variados campos de aplicación, como por ejemplo la Refrigeración, tomando en cuenta que son pocos los mecánicos que optan por esta rama aun cuando las posibilidades de crecimiento son muchas. El laboratorio de máquinas térmicas de la Carrera de Mecánica Industrial de la UMSA cuenta con equipos afines a la rama, sin embargo como egresado y futuro profesional se verifico la necesidad de aportar a nuestra Carrera con un Entrenador Didáctico totalmente nuevo con el objetivo principal de contribuir en el aprendizaje de los estudiantes permitiéndoles entender efectivamente los principios teóricos de un sistema de refrigeración.

El Entrenador Didáctico de Refrigeración por Compresión, permite visualizar de forma más clara los cambios físicos que sufre el refrigerante a su paso por cada elemento del sistema logrando asociar los conceptos teóricos y prácticos impartidos en clases.

El Entrenador Didáctico consta básicamente de los siguientes elementos: un Compresor hermético, un Condensador, un Evaporador, un control de flujo por capilar, un filtro deshidratador, un visor de líquido, juego de manómetros, un termostato y termómetro electrónico con el fin de que el estudiante pueda familiarizarse con el funcionamiento de cada uno de estos dispositivos de un sistema de refrigeración.

Con el presente proyecto de grado se pretende además que el estudiante obtenga el diagrama Presión-Entalpia del refrigerante, analice el comportamiento del sistema realizando controles de presión como de temperatura en las zonas de alta y baja presión, y también visualice que la refrigeración tiene muchas otras aplicaciones tanto en la industria como en la investigación.

ABSTRACT

The career of industrial mechanics has many and varied fields of application, such as refrigeration, taking into account that there are few mechanics who choose this branch when the possibilities of growth are many, the laboratory of thermal machines of the career of mechanics UMSA industrial team has teams at the end of the branch, however as a graduate and professional future, the need to contribute to our career with a totally new didactic trainer was verified, with the main objective of contributing to the students learning by effectively allowing them the principles. Theoretical aspects of a refrigeration system.

The didactic trainer of refrigeration by compression, allows to visualize in a clearer way the physical changes suffered by the refrigerant as it passes through each element of the system managing to associate the theoretical and practical concepts taught in classes.

The didactic trainer basically consists of the following elements a hermetic compressor, a condenser, an evaporator, a capillary flow control, a dehydrator filter, a liquid viewer, a set of manometers, a thermostat and an electronic thermometer so that the student can become familiar with the operation of these devices of a refrigeration system.

With the present project of degree it is also intended that the student obtain the enthalpy pressure diagram of the refrigerant, analyze the behavior of the system by performing pressure and low pressure zones and also visualize that the refrigeration has many other applications both in industry and in research.

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL

Proyecto de Grado

**DISEÑO CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ENTRENADOR DIDÁCTICO DE UN
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN**

Presentado por: Univ. Juan Ernesto Mendoza Loza

Para optar el grado académico de Licenciado en Mecánica Industrial

Nota numeral... 100/100.....

Nota literal..... Cien sobre cien.....

Ha sido..... Aprobado.....

Director de Carrera de Mecánica Industrial Lic. Max Ponce Flores

Tutor Lic. Wilfredo Espinoza Gutiérrez

Tribunal Lic. Richard Villalba Caro

Tribunal Ing. Humberto Cojinto Alba

Tribunal Ing. Javier Sánchez Quiroz

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

La refrigeración se puede definir como cualquier proceso de extracción de calor, o también como la rama de la ciencia que trata de los procesos de producción y mantenimiento de la temperatura en un espacio o materia a temperatura inferior con respecto los alrededores correspondientes.

La refrigeración moderna tiene muchas aplicaciones la principal y la más importante es la de conservación de alimentos.

El presente trabajo propone la implementación de Un Entrenador de un Sistema de Refrigeración por Compresión para la Carrera de Mecánica Industrial de la U.M.S.A. con un enfoque didáctico para los estudiantes.

Con el entrenador didáctico de refrigeración se pretende que el estudiante:

1. Determine las presiones temperaturas de cada elemento del sistema.
2. Analice de manera general un sistema de refrigeración por compresión.
3. Determine el diagrama presión-entalpia mediante condiciones termodinámicas del sistema.

Con el presente trabajo se pretende que el estudiante no solo asocie la refrigeración con la conservación de alimentos si no que se base en la experimentación de resultados realizando mediciones periódicas del sistema en funcionamiento.

1.1. Marco Institucional

La Carrera de Mecánica Industrial perteneciente a la facultad de Tecnología de la Universidad Mayor de San Andrés que tiene como objetivo general el de formar profesionales en Mecánica Industrial a nivel técnico superior y licenciatura en mecánica industrial.

Como otro de los objetivos podemos mencionar el de llevar adelante el mejoramiento de procesos productivos, coadyuvar al desarrollo regional departamental y nacional.

ANTECEDENTES HISTORICOS

Hacia el año 1940 se crea la carrera de Maquinas Herramientas con el objetivo de brindar una opción de profesionalización a todas aquellas personas que así lo deseen sobre todo dentro el ámbito obrero laboral, en el año de 1994 mediante resolución universitaria se cambia el nombre de Máquinas Herramientas por el de Mecánica Industrial situación que se logra mediante un cambio de planes de estudio, perfil profesional, resultado de un estudio de mercado, situación dirigida en gran porcentaje a resolver los problemas de educación superior en la ciudad del Alto, por lo que la carrera se traslada en sus totalidad a la ciudad, permaneciendo desde el año 1994 hasta el año 2000, posteriormente se tienen que abandonar los predios en los cuales funcionaba debido a problemas políticos regionales dejando un gran vacío que hasta la fecha no ha sido posible llenar con la creación de la UPEA.

Actualmente los predios de la calle Potosí pertenecientes a la facultad de Tecnología albergan aproximadamente a los 160 estudiantes que reciben enseñanza dentro la Mecánica Industrial, los mismos que desde el punto de vista pedagógicos no son las más adecuadas.

1.2. Planteamiento del Problema

Realizando un análisis y estudio en los estudiantes y egresados de la Carrera de Mecánica Industrial se detectó la insatisfacción que se siente al no contar con un Entrenador Didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión, el cual ayude a una experimentación e interpretación práctica de los cambios físicos que se produce en un ciclo termodinámico o sistema de refrigeración, con el fin de no presentar deficiencias y mejorar su experimentación en los procesos de producción en el campo laboral. El presente proyecto de grado pretende dar respuesta a esta necesidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar, Calcular y Desarrollar la Construcción de un Entrenador Didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión, que permita visualizar los procesos físicos que sufre el refrigerante a su paso por cada uno de los componentes del sistema, aplicando los principios básicos de la termodinámica, cálculos, mediciones, control, etc. Para una mejor

interpretación, enseñanza y un conocimiento teórico-práctico del estudiante de la carrera de Mecánica Industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar y Evaluar el Entrenador Didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión.
- Determinar mediante cálculos la potencia del compresor.
- Efectuar la instalación de los componentes al Entrenador Didáctico.
- Demostrar y explicar la diferencia de presiones en la zona alta y baja del sistema.
- Probar el funcionamiento del sistema aplicando las medidas de seguridad correspondientes.

1.4. Justificación del Proyecto

El campo de la refrigeración es cada día más extenso y aplicado en las industrias motivo por el cual, el estudiante que se está formando en Mecánico Industrial debe conocer y adaptarse a estas situaciones impuestas por el medio en el cual va a desempeñar sus funciones como un profesional. De ahí la importancia de ejecutar este proyecto que será de mucha ayuda en la experimentación e interpretación práctica del estudiante.

1.5. Metodología

La metodología establecida para el desarrollo correcto del presente proyecto de grado está comprendida por los siguientes puntos:

Se aplicara los principios fundamentales de la termodinámica.

Verificación de la elección de cada componente del sistema de refrigeración.

Elaboración de planos de la instalación de los componentes de refrigeración.

Se efectuarán mediciones periódicas de presión y temperatura en el sistema.

Supervisión del proyecto con el tutor o asesor en cada etapa del desarrollo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Fundamentales de la Termodinámica

Para poder entender los conceptos básicos de la refrigeración, es importante dar un repaso a los diferentes conceptos de la termodinámica que algunos están ya definidos en muchos libros, sin embargo que solo sea para dar mención a los más importantes.

Una ley importante de la termodinámica es que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma.

Otra ley menciona que el calor como forma de energía siempre va a fluir de un cuerpo con temperatura más alta a otro con temperatura más baja, esta ley es particularmente importante porque da lugar al proceso de refrigeración, donde los materiales a ser refrigerados desprenden su calor interno para dirigirlo a otro fluido o cuerpo con menor temperatura. El calor que es una forma de energía y siempre va a fluir de una sustancia caliente a una más fría.

El calor provoca cambios de estado, un fluido líquido puede cambiarse a vapor solo con la absorción de calor y viceversa un vapor puede condensarse si se le extrae calor.

Hay tres formas de transmitir calor:

- Por conducción
- Por convección
- Por radiación

2.1.1. Primera Ley de la Termodinámica

La termodinámica es la ciencia de la energía y de la entropía, y que la base de esta es la observación experimental. De esta observación se han podido estipular leyes básicas llamadas ley cero, primera, segunda y tercera ley de la termodinámica.

La primera y segunda ley de la termodinámica son las herramientas más comunes en la práctica, debido a que la transferencia y la conservación de la energía están regidas estas dos leyes, y es en lo que nos enfocaremos más adelante.

La primera ley de la termodinámica puede ser definida como el principio de la conservación de la energía, y establece que la energía no puede ser creada ni destruida. En un sistema esto puede ser expresado como el cambio en la energía total de un sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía de entrada y la energía de salida del sistema:

Energía de entrada – Energía de salida = diferencia de la Energía del sistema

2.1.2. Segunda Ley de la Termodinámica

Como se mencionó anteriormente, la primera ley de la termodinámica es el principio de la conservación de la energía. La segunda ley de la termodinámica nos habla de la ineficiencia en los sistemas termodinámicos y nos indica que no se puede transformar calor en trabajo de una forma totalmente eficaz. Hay enunciados que pueden esclarecer esto, como son el de kelvin-Plank y el de Clausius.

Enunciado de kelvin-Plank. Es imposible construir un dispositivo, que opere en un ciclo y cuyo resultado sea solo la extracción de energía calorífica de alguna fuente térmica, y la conversión completa de esta energía en trabajo. Esto nos muestra que no se puede tener una maquina térmica 100 % eficiente.

Enunciado de Clausius. Es imposible construir un dispositivo, que opere en un ciclo cuyo resultado sea la transferencia de energía en forma de calor de un cuerpo de menor temperatura hacia otro de mayor temperatura.

La segunda ley de la termodinámica también enuncia que la entropía en el universo va en aumento. Como se mencionó. La entropía es un grado de desorden, y en cada proceso que ocurre en el universo hay un crecimiento en esta. En un sistema cerrado la entropía total incrementa con cada transferencia o conversión de energía, es por eso que estos procesos son irreversibles. Desde esta perspectiva la segunda ley nos dice que la suma de los cambios en la entropía de un sistema y lo que rodea siempre debe ser positiva.

Por eso se dice que la segunda ley de la termodinámica es el lazo entre la entropía y la utilización de la energía.

2.1.3. Propiedades Termodinámicas

Volumen específico y Densidad

Se dice que el volumen específico es el volumen por unidad de masa en una sustancia, usándose generalmente los metros cubico sobre kilogramo en el sistema internacional y los pies cúbicos sobre libra masa en el sistema inglés.

La densidad es la masa por unidad de volumen de una sustancia, consiguientemente es el inverso del volumen específico. Sus unidades son el kilogramo sobre metro cubico (m^3/kg).

Ambas son propiedades que se ven afectadas por la presión y temperatura.

Flujo másico y flujo volumétrico

El nivel de flujo másico está definido como el flujo de masa por unidad de tiempo, se usan los kilogramos sobre segundo (Kg/s)

Presión

La presión se define como la fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En el sistema internacional se usa el Pascal (Pa) o el Bar el cual denota la acción de una fuerza de 1(N) sobre un área de un metro cuadrado

Para el sistema ingles se usa la libra fuerza sobre pie cuadrado (lb/ft^2) y los (PSI) o libra fuerza sobre pulgada cuadrada (lb/in^2)

Presión Atmosférica

La atmosfera que rodea al planeta, no solo es una capa de aire que nos provee de oxígeno, también ejerce una presión sobre la superficie, la cual es conocida como presión atmosférica. Esta puede variar debido a la temperatura, la humedad, y la altura sobre el nivel del mar, estos cambios difícilmente llegan a superar media pulgada de mercurio de diferencia, pero deben ser tomados en cuenta cuando se hacen cálculos que requieran mucha exactitud.

Vacío

El vacío es una presión que está debajo de la presión atmosférica, y solo ocurre en sistemas cerrados, excepto en el espacio exterior donde no hay atmosfera. Dicho de otra forma, es la diferencia de presión producida al extraer el aire de un sistema cerrado.

Presión manométrica y presión absoluta

Una explicación bastante clara sobre esto, es la siguiente: cuando se mide la presión con referencia a un vacío perfecto se habla de presión absoluta, y cuando se mide con referencia a la presión atmosférica hablamos de la presión manométrica

Temperatura

Es un indicador de la cantidad de energía térmica que almacena una sustancia, en otras palabras con este concepto se puede identificar el grado de calor o de frialdad de una sustancia. Las escalas de medición más conocidas son la Celsius ($^{\circ}\text{C}$), usada prácticamente en todo el mundo y la escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), la cual es usada en el sistema ingles de unidades. Contrario a lo que piensa la mayoría de la gente, la escala Celsius no es la oficial para el sistema internacional, lo es la escala Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) o escala absoluta, tiene una graduación muy similar a la Celsius. Otra escala es la Rankin (R), la cual similar a la Fahrenheit y se usa algunas veces para el estudio de procesos termodinámicos.

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{F}) - \frac{32}{1.8}$$

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 = \frac{T(\text{K})}{1.8} = T(^{\circ}\text{F}) + \frac{459.67}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 = 1.8(T(\text{K}) - 273.15) + 32$$

$$T(\text{K}) = 1.8 T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

La escala Kelvin es generalmente relacionada con un término llamado cero absolutos, el cual es igual a 0°K o (-273) grados Celsius en este punto se dice que la energía térmica de una sustancia es nula y que sus moléculas se encuentran en estado de reposo. Otro término importante es la temperatura de saturación, la cual es la temperatura de un fluido, ya sea gas o liquido cuando se encuentra en condiciones de saturación.

2.2. Energía

2.2.1. Cambio Energético y Transferencia de Energía

La energía es la capacidad para realizar un trabajo. La energía de un sistema se compone de las energías interna, cinética y potencia. La energía interna consiste en las energías térmica, química y nuclear. A menos que haya un cambio químico o una reacción nuclear, los cambios de energía interna de un sistema se deben a la energía térmica. El cambio energético total de un sistema se expresa:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p$$

Para la mayoría de los casos, las energías cinética y potencial no cambian durante un proceso, y el cambio energético se debe a la energía interna:

$$\Delta E = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

La energía se mide en KJ o BTU (1KJ=0.94782 BTU). Cuando se tiene energía por unidad de tiempo, obtenemos un flujo de energía, el cual se expresa en KJ o BTU/h (1 KJ=3412.14 BTU/h):

$$E = E/\Delta t$$

A la energía por unidad de masa se le llama Energía específica; sus unidades son KJ/kg 1KJ/Kg=0.430 Btu/lbm

$$e = E/m$$

La energía puede transferirse de un sistema a otro en tres formas: masa, calor y trabajo.

La cual será descrito de forma más breve a continuación.

Transferencia de masa

La masa entrante en un sistema lleva consigo energía con lo que energía del sistema aumenta. La masa que abandona el sistema reduce su contenido energético. Cuando hay un flujo másico de entrada m (Kg/s) en un sistema, su flujo energético es igual a la masa por la entalpia.

Transferencia de calor

El calor es la forma térmica de la energía y la transferencia de calor ocurre cuando existe una diferencia de temperaturas al interior de un medio entre distintos medios. Para que pueda transferirse calor siempre es necesaria esta diferencia de temperaturas, por lo que una mayor diferencia de temperaturas provee un mayor flujo de transferencia de calor. Tiene las mismas unidades que la energía. Se representa con la letra Q (KJ)

La transferencia de calor por unidad de tiempo es el flujo de transferencia de calor Q (KW).

La transferencia de calor por unidad de masa está dado por q (KJ/Kg). Cuando en un proceso no hay transferencia de calor se dice que es un proceso adiabático.

Trabajo

En termodinámica es la energía que es transferida por una diferencia de presión o fuerza de cualquier tipo. Al trabajo transmitido por unidad de tiempo se llama Potencia. El trabajo tiene las mismas unidades que la energía, y se representa con W. La dirección en las interacciones tanto de calor como de trabajo pueden ser expresadas por la convención de signos o usando subíndices para indicar si son de entrada o salida.

2.2.2. Leyes de los Gases

Las leyes fundamentales de los gases o leyes volumétricas son las siguientes:

LEY DE AVOGADRO

Avogadro descubre en 1811 que la presión y temperatura constantes, la misma cantidad de gas tiene el mismo volumen independientemente del elemento químico que lo forme.

El volumen (V) es directamente proporcional a la cantidad de partículas de un gas (n) independientemente del elemento químico que forme el gas por tanto:

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

Lo cual tiene como consecuencia que:

Si aumenta la cantidad de gas, aumenta volumen.

Si disminuye la cantidad de gas, disminuye el volumen.

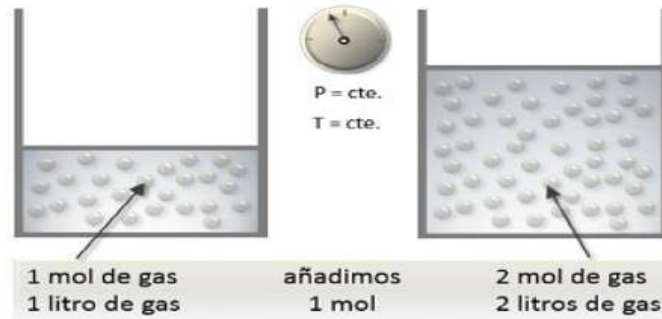


Figura 2.1 Ley de Avogadro
(Fuente: <http://www.quimicas.net>)

LEY DE BOYLE

Boyle descubrió en 1662 que la presión que ejerce un gas es inversamente proporcional a su volumen a temperatura y cantidad de gas constante $P=K/V$ $P V=K$ (K es una constante).

Por lo tanto:

$$P_1 * V_2 = P_2 * V_1$$

Lo cual tiene como consecuencia que:

Si la presión aumenta el volumen disminuye.

Si la presión disminuye el volumen aumenta.

Debemos aclarar que la presente ley también es llamada Ley de Boyle-Mariotte pues la descubrió de forma independiente en 1676.

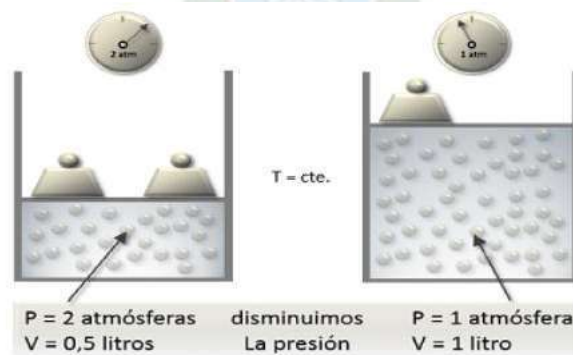


Figura 2.2 Ley de Boyle
(Fuente: <http://www.quimicas.net>)

LEY DE CHARLES

Charles descubrió en 1787 que el volumen del gas es directamente proporcional a su temperatura a presión constante: $V = K T$ (K es una constante)

Por lo tanto:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Lo cual tiene como consecuencia que:

Si la temperatura aumenta el volumen aumenta.

Si la temperatura disminuye el volumen disminuye.

Nota. También se llama Ley de Charles y Gay-Lussac

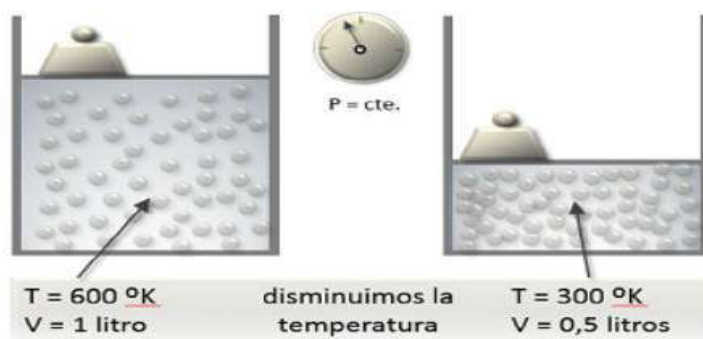


Figura 2.3 Ley de Charles
(Fuente: <http://www.quimicas.net>)

LEY DE GAY-LUSSAC

Gay-Lussac descubre en 1802 que la presión del gas es directamente proporcional a su temperatura a volumen constante: $P = K T$ (K es una constante)

Por lo tanto:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Lo cual tiene como consecuencia que:

Si la temperatura aumenta la presión aumenta.

Si la temperatura disminuye la presión disminuye.

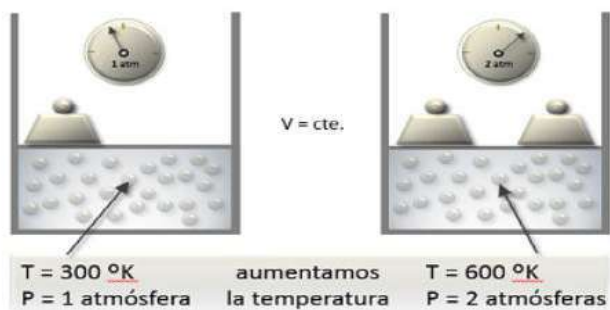


Figura 2.4 Ley de Gay-Lussac
(Fuente: <http://www.quimicas.net>)

2.2.3. Ley de los Gases Ideales

Los gases ideales poseen las siguientes propiedades:

Las moléculas del gas se mueven a grandes velocidades de forma lineal pero desordenada.

La velocidad de las moléculas del gas es proporcional a su temperatura absoluta.

Las moléculas del gas ejercen presión sostenida sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

Los choques entre las moléculas del gas son elásticos por lo que no pierden energía cinética.

La atracción repulsión entre las moléculas del gas es despreciable

Para estos gases ideales se cumple la siguiente ley:

$$P * V = n * R * T$$

Donde n son los moles del gas y R la constante universal de los gases ideales

LEY GENERAL DE LOS GASES

La ley general de los gases consiste en la unión de las siguientes leyes:

$$\text{Ley de Boyle: } P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

$$\text{Ley de Gay-Lussac: } P_1/T_1 = P_2/T_2$$

$$\text{Ley de Charles: } V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Todas ellas se condensan en la siguiente formula:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

2.2.4. Refrigeración

Es el ejercicio de mantener un espacio a temperatura menor que la de sus alrededores. Es aquel proceso por el cual se reduce la temperatura de un espacio o materia determinado y se mantiene, con el fin de enfriar o conservar algunos tipos de sustancias o elementos.



Figura 2.5 Cámara frigorífica Industrial
(Fuente: [http:// www.intecfrio.es](http://www.intecfrio.es) frio industrial y comercial.com)

La refrigeración como tal evita el crecimiento de bacterias e impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente.

La refrigeración implica transferir la energía del cuerpo que pretendemos enfriar a otro, aprovechando sus propiedades termodinámicas. La temperatura es el reflejo de la cantidad

o nivel de energía que posee el cuerpo, ya que el frío propiamente no existe, los cuerpos solo tienen más o menos energía térmica. De esta manera enfriar corresponde a retirar energía (calor) y no debe pensarse en términos de producir frío o agregar frío.

La salud y el bienestar de un país puede depender de los sistemas de refrigeración por ejemplo: la alimentación y el almacenamiento de vacunas, distribución, aplicación médica, industrial, comercial y doméstica de todo tipo depende de los sistemas de refrigeración. En la refrigeración mecánica se obtiene un enfriamiento constante mediante la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, donde se evapora y se vuelve a condensar en un ciclo continuo.



Figura 2.6 Refrigeración Comercial
(Fuente: [http:// www. Sistemasrefrigeración.com](http://www.Sistemasrefrigeración.com))

Aplicaciones de la Refrigeración

La industria de la refrigeración se encuentra inmersa en varias aplicaciones, se han agrupado en 6 categorías generales:

- Refrigeración doméstica.
- Refrigeración comercial.
- Refrigeración industrial.
- Refrigeración marina y de transportación.
- Acondicionamiento de aire.
- Conservación de alimentos.

Refrigeración Doméstica

Tiene un campo de aplicación relativamente limitada y trata principalmente de refrigeradores y congeladores domésticos. Sin embargo debido a la cantidad de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una porción muy significativa de la industria de refrigeración.

Las unidades domésticas son generalmente de tamaño pequeño con potencias de 40 (W) y 500 (W).

Refrigeración Comercial

Trata del diseño, instalación y mantenimiento de aparatos de refrigeración del tipo usado por almacenes y tiendas, restaurantes, hoteles e instituciones para el almacenaje de elementos incrementando su potencia a comparación de la refrigeración doméstica.

Refrigeración Industrial

Se confunde frecuentemente con la refrigeración comercial ya que la división de las dos áreas no se ha definido claramente. Por regla general, las aplicaciones industriales son de mayor tamaño y tiene la característica de requerir un operario para su atención. Entre las aplicaciones industriales típicas se encuentran; plantas de hielo, plantas empacadoras de alimentos, (carne, pescado, aves alimentos congelados, etc., y plantas industriales tales como: refinerías de aceite, plantas químicas, etc.

Refrigeración marina y de transporte

Las aplicaciones que caen dentro esta categoría, se pueden clasificar particularmente bajo la refrigeración comercial e industrial. Sin embargo ambas áreas han crecido lo suficientemente para requerir mención especial.

La refrigeración marina se refiere a refrigeración a bordo de barcos e incluye por ejemplo, refrigeración para botes de pesca y embarcaciones de transporte y de cargamento sujeto a deterioro así como refrigeración de los almacenes del barco, en toda clase de embarcaciones.

La refrigeración de transporte se refiere a los equipos aplicados a transportes de cargas y pasajeros.

Acondicionamiento de aire

Generalmente involucra el control no solamente de la temperatura del espacio sino también de la humedad y movimiento del aire dentro mismo, así como el filtrado y limpieza del mismo.

Conservación de alimentos

La conservación de artículos sujetos a deterioro, particularmente alimentos, es una de las aplicaciones más comunes de la refrigeración.

La conservación de alimentos es más importante en la historia del hombre. Las poblaciones urbanas requieren grandes cantidades de alimentos que, en su mayor parte deben ser producidas y procesadas en áreas distintas. Naturalmente, estos alimentos deben conservarse en condiciones de conservación durante el transporte y almacenaje subsecuente hasta que finalmente se consuman. Esto puede ser cuestión de horas, días, meses y en ocasiones años. Por ejemplo, las frutas que solamente se producen en ciertas estaciones del año deben almacenarse y conservarse para poder ser consumidas durante todo el año.

USOS ESPECIALES DE LA REFRIGERACIÓN

La refrigeración tiene otras muchas aplicaciones, y cada año aparecen otras nuevas algunas de las aplicaciones especiales de la refrigeración que se mencionaran no han adquirido importancia hasta los últimos años.

Tratamiento frío de los metales Una aplicación de la refrigeración que se extiende rápidamente es el tratamiento frío de los metales. El tratamiento frío a -100°C , ayuda a estabilizar las dimensiones de las piezas y medidores de precisión. Si un acero cementado se somete durante 30 minutos a una temperatura de -87°C , aumentara su dureza y la resistencia al desgaste. La vida del filo cortante de las herramientas aumenta refrigerándolas a -100°C durante 15 minutos. La refrigeración también mejora la ductilidad para las embuticiones profundas, la fuerza magnética y la estabilidad de los imanes se mejoran por un tratamiento a bajan temperatura de -84°C durante 8 horas aproximadamente. En la tecnología de la fundición pueden usarse modelos de mercurio congelado para producir piezas de pequeñas tolerancias y de finos acabados superficiales. Los modelos de mercurio congelados se fabrican vertiendo mercurio liquido en matrices

donde el mercurio se solidifica al enfriarse a -73°C , la pieza de mercurio sólido sirve después de modelo para hacer el molde.

Medicina La fabricación de drogas y productos farmacéuticos necesita el uso de la refrigeración para algunas operaciones. Una técnica poco común consiste en usar la refrigeración local como anestesia quirúrgica. La ventaja de esta técnica consiste en que, no solo los nervios, sino todo el protoplasma se anestesia, consiguiéndose así una cirugía sin conmociones. El plasma sanguíneo y los antibióticos se obtienen usando un método llamado congelación seca. La congelación seca es la separación del agua por sublimación a baja temperatura y baja presión, lo que es menos peligroso para los tejidos que la separación del agua a altas temperaturas.

Construcción En la industria de la construcción se utilizan, equipos de refrigeración que enfría el hormigón para evitar su agrietamiento, y se congela a veces el terreno para facilitar las excavaciones. Cuando se vierte una gran masa de hormigón, puede ser necesario enfriarlo. En la reacción química que tiene lugar durante el endurecimiento, se desprende calor, que si no es extraído, hace dilatar el hormigón. Originando tensiones en su interior. El hormigón puede refrigerarse bien enfriado en arena, grava agua y cemento antes de la mezcla o bien introducirlo en tuberías de refrigeración.

Un problema que siempre ha tenido la industria de la construcción es el de los derrumbamientos de terreno húmedo al hacer un pozo. Una solución consiste en colocar tuberías verticalmente en un anillo circular que rodea el pozo y bombear una salmuera a través de las tuberías, enfriado de esta manera el anillo de tierra, el pozo puede entonces cavarse dentro del anillo de tierra congelado

2.2.5. Refrigeración por Compresión de Vapor o Mecánica

El ciclo de compresión de vapor es el más comúnmente utilizado. Emplea como fuente de energía trabajo mecánico y un fluido llamado refrigerante.

Al aumentar la presión de un fluido se eleva su punto de ebullición, y al disminuir la presión también disminuye su punto de ebullición, este es uno de los principios básicos de la refrigeración por compresión.

El ciclo se fundamenta en la compresión de un vapor que al hallarse a mayor temperatura que el medio caliente cede calor. Con ello el vapor se enfría y, si la presión es adecuada incluso condensa. El condensado se expande en una válvula de expansión o tubo capilar, con lo que, de una parte pierde presión proporcionada por el compresor y, por otra parte experimenta un enfriamiento súbito que hace posible la absorción de calor del medio frío que produce la vaporización del líquido. El gas será nuevamente comprimido por el compresor y de esta manera el ciclo prosigue. Los elementos fundamentales de un ciclo de compresión de vapor son: el compresor el condensador un evaporador y un dispositivo de expansión que puede ser una válvula de expansión termostática o un simple tubo capilar.

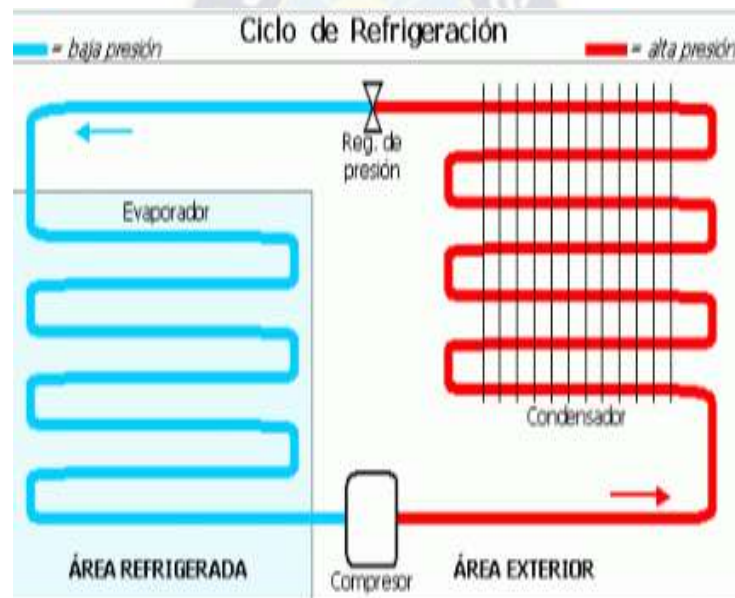


Figura 2.7 Ciclo de refrigeración
(Fuente: <http://refrigeracion.com/2009> archive, HTML)

Los principios de funcionamiento de la refrigeración por compresión de vapor, en forma simplificada pueden dividirse en cuatro operaciones: evaporación, compresión, condensación y expansión.

Evaporación En esta etapa del ciclo de refrigeración el refrigerante llega al evaporador en estado parcialmente líquido y a baja presión, al ponerse en contacto con el medio que se

desea enfriar, el refrigerante al absorber calor del medio, inicia su ebullición evaporándose a largo del evaporador hasta llegar a obtener un sobrecalentamiento.



Figura 2.8 Evaporador con forzador de aire
(Fuente: [http:// www.unirefri.com](http://www.unirefri.com))

Compresión Una vez que el refrigerante abandona el evaporador, este se encuentra como vapor sobrecalentado y es dirigido al compresor el cual succiona el refrigerante para comprimirlo y elevar su presión, generalmente los compresores son accionados por medios mecánicos obteniendo su energía de motores eléctricos integrados al compresor.



Figura 2.9 Compresor Hermético
(Fuente: <http://mundocompresor.com>)

Condensación El refrigerante ahora se encuentra a una alta presión y un mayor grado de sobrecalentamiento y es enviado al condensador donde puede entonces volver al estado líquido mediante la emisión del calor al exterior, generalmente la fuente de enfriamiento es el aire sin embargo existen condensadores que utilizan el agua como medio de enfriamiento.



Figura 2.10 Condensador con aletas
(Fuente: <http://refrisoluciones.blogspot.com/2016/08>)

Expansión El líquido de alta presión que abandona el condensador, se traslada al dispositivo en donde se baja su presión y parte del líquido se evapora. En esta etapa tenemos un refrigerante parcialmente líquido frío.



Figura 2.11 Dispositivo de expansión por capilar
(Fuente: <http://www.0grados.com>)

2.2.6. Sistema de Refrigeración por Absorción de Vapor

El termino absorción se refiere a los procesos físicos y químicos que ocurren al entrar en contacto gases y líquidos, gases y sólidos o líquidos y sólidos, fluido de la otra sustancia, pudiéndose separar el fluido mediante el proceso inverso y llegar a la condición inicial.

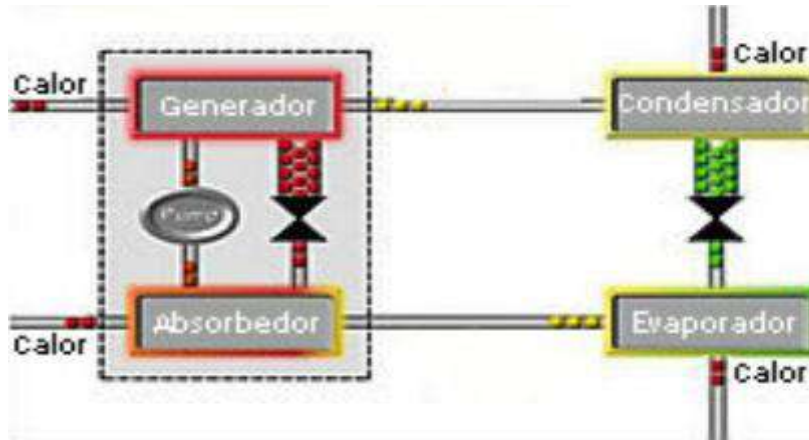


Figura 2.12 Refrigeración por absorción
 (Fuente: http://www.caib.esclimatizacion_2.es.html)

Entre los sistemas de compresión de vapor y los sistemas de absorción existen tanto semejanzas como diferencias. La refrigeración útil se logra de la misma manera en ambos sistemas. Esto es, por la evaporación de un líquido en un evaporador, utilizando el calor latente de vaporización para obtener un efecto de enfriamiento. Ambos sistemas utilizan asimismo, un condensador para remover calor del vapor refrigerante a una alta presión, y regresarlo a su estado líquido original. Ambos utilizan un dispositivo de control de flujo o de expansión.

Los sistemas difieren, sin embargo, en cuanto a los medios utilizados para recuperar el refrigerante evaporado y aumentar su presión. En primer lugar, las formas de energía utilizada para operar el sistema, son diferentes. En el sistema de compresión de vapor se utiliza la energía mecánica para accionar el compresor. La operación del compresor mantiene la baja presión del evaporador y eleva, asimismo, la presión en el condensador.

En el sistema por absorción se utiliza la energía calorífica, para elevar la presión del refrigerante. La baja presión del evaporador se mantiene, mediante el uso de otra sustancia llamada absorbente. Dos componentes, el absorbedor y el generador, realizan una función semejante a la del

Compresor En el sistema de absorción se utilizan a menudo componentes auxiliares como las bombas, cuyas funciones se explicaran más adelante.

Una razón por la cual es sistema de absorción es popular y versátil, es que opera directamente con la energía calorífica. En cualquier lugar donde se disponga de vapor residual, agua caliente o gases de combustión, se toma en consideración con especial interés, a la refrigeración por absorción. Aunque en la actualidad con el creciente interés de las técnicas relacionadas a las energías de origen renovable la fuente de calor para esta técnica de refrigeración, puede ser obtenida directamente de energía solar térmica y en algunos países del calor acumulado en el suelo también por efectos de la radiación solar.

2.3. Ciclo Teórico por Compresión de Vapor

Un ciclo de refrigeración saturado simple, es un ciclo teórico en el que se supone que el vapor refrigerante que sale del evaporador y entra al compresor, es vapor saturado a la temperatura y presión vaporizante y el líquido refrigerante que sale del condensador y llega al control del refrigerante es un líquido saturado a la temperatura y presión del condensante.

A continuación se presenta el trazo de un ciclo saturado simple de un diagrama presión-entalpía.

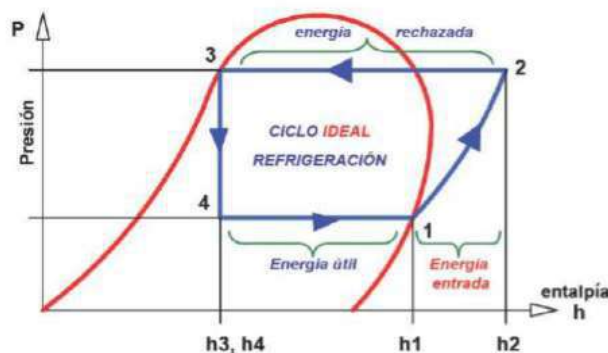


Figura 2.13 Diagrama p-h del ciclo ideal de refrigeración
(Fuente: Mcquiston, Faye, ventilación, calefacción y aire acondicionado.p.533.)

Del diagrama pueden observarse que se presentan cuatro procesos que mencionamos anteriormente.

- 1) **Compresión**
- 2) **Condensación**

3) Expansión

4) Evaporación

El proceso de compresión. El proceso de 1-2 lo realiza el compresor cumple con dos funciones principales: succiona el refrigerante vaporizado (LINEA DE SUCCION), reduciendo la presión en el evaporador hasta un punto en el que puede mantenerse la temperatura de evaporación deseada. Segundo el compresor comprime ese refrigerante vaporizado, descargándole a una presión lo suficientemente alta (LINEA DE DESCARGA) para que la temperatura de saturación sea mayor que la temperatura del ambiente a refrigerar, de modo que se produzca la condensación fácilmente.

El proceso de condensación. El proceso 2-3 lo efectúa el condensador que es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante en el proceso de compresión es cedido al medio de condensación (al aire en este caso). A medida que el calor es cedido por el vapor de alta temperatura y presión desciende su temperatura hasta el punto de saturación. Condensándose el vapor y convirtiéndose en líquido.

El proceso de expansión. El proceso de 3-4 lo realiza el tubo capilar su misión es disminuir inmediatamente la presión y dosificar la cantidad de fluido refrigerante que debe ingresar al evaporador a entalpia constante hasta el punto 4.

El proceso de evaporación. El proceso de 4-1 la función que realiza el evaporador es extraer el calor del medio refrigerado por medio de la evaporación del refrigerante. El evaporador recibe refrigerante a baja presión y baja temperatura y lo entrega a baja presión y alta temperatura.

2.3.1. Ciclo Real de Refrigeración por Compresión de Vapor

En un sistema de refrigeración mecánica existen dos presiones en el sistema de compresión: la de vaporización o baja presión y la de condensación o alta presión. La refrigeración actúa como un medio de transporte para remover el calor del evaporador. Un cambio de estado de líquido a vapor y viceversa permite al refrigerante absorber y descargar grandes cantidades de calor en forma eficiente.

El ciclo de refrigeración opera a la siguiente forma: el refrigerante a alta presión que sale de la línea de descarga del compresor, pasa hacia el condensador. Conforme pasa a través del

condensador, el refrigerante a alta presión es enfriado por algún medio externo (por ejemplo un ventilador) y conforme la temperatura del vapor refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la alta presión en el condensador, el vapor se condensa y de ahí al dispositivo que separa el lado de alta presión del sistema de baja presión.

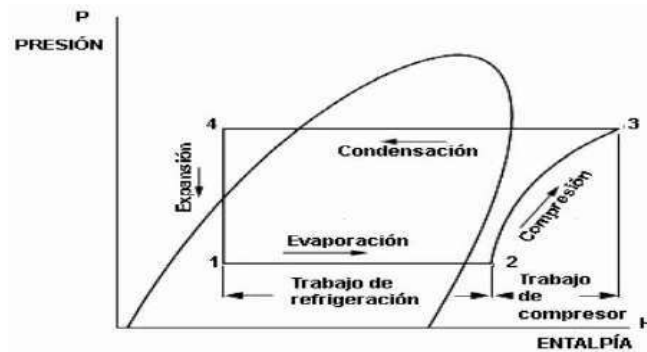


Figura 2.14 Diagrama p-h del ciclo real de refrigeración
(Fuente: Principios de Refrigeración paret1.)

La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que este hierva o se vaporice hasta que el refrigerante alcance la temperatura de saturación correspondiente a la de su presión. Conforme el refrigerante de baja temperatura pasa a través del evaporador, el calor fluye a través de las tuberías del evaporador hacia el refrigerante se encuentre totalmente vaporizado.

La válvula de expansión o tubo capilar regula el flujo de refrigerante a través del evaporador según se requiera para mantener una diferencia de temperatura determinada a cierto sobrecalentamiento deseado entre la temperatura de evaporación y el refrigerante que sale del evaporador.

El vapor refrigerante que sale del evaporador viaja a través de la línea de succión y de ahí a la entrada del compresor. El compresor toma el vapor a baja presión y lo comprime aumentando tanto su presión como su temperatura y se repite nuevamente el ciclo.

2.3.2. Ciclo Invertido de Carnot

El ciclo de Carnot invertido es el modelo perfecto del ciclo de refrigeración por compresión mecánica más eficiente que opera entre dos temperaturas y que constituye un estándar de comparación con los ciclos reales de refrigeración:

El ciclo invertido de Carnot consta de dos procesos isotérmicos DA-CB y dos procesos isoentropicos DC-AB.

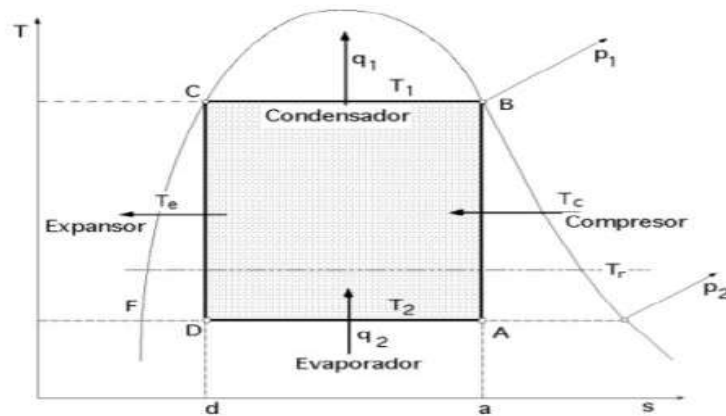


Figura 2.15 Ciclo invertido de Carnot
(Fuente: Principios de Refrigeración parte 1.)

Funcionamiento del ciclo invertido de Carnot:

Un compresor accionado por un motor aumentaría la presión del fluido desde p_2 a p_1 según la transformación AB, alcanzando la temperatura T_1 , esta compresión sería seguida por una condensación isotérmica BC, en la que el calor q_1 es evacuado.

El fluido una vez licuado se expande isotérmicamente CD, disminuyendo su presión y temperatura, con lo que se vaporiza parcialmente, llegando en estas condiciones al evaporador, estado D, iniciándose la vaporización isotérmica DA.

El coeficiente de funcionamiento del Refrigerador de Carnot viene dado por la siguiente expresión:

$$COP_{rc} = \frac{T_{evap}}{T_{cond}} - T_{evap}$$

2.3.3. Diagrama de Mollier

El diagrama p-h o diagrama de Mollier para presión entalpia, es la representación gráfica en el plano presión entalpia de los estados de un compuesto químico especialmente para los gases refrigerantes y es en ella donde se trazan y suelen estudiar los distintos sistemas frigoríficos de refrigeración por compresión.

Cada refrigerante tiene su propio diagrama p-h.

Básicamente el diagrama está compuesto por dos ejes principales y tres zonas delimitadas por una curva de saturación:

- En el eje de las ordenadas se registra el valor de Presión en (Bar) o (PSI).
- En el eje de las abscisas se registra el valor de entalpía en unidad de masa en (KJ/Kg).
- Una curva de saturación con forma de U invertida la cual determina si el compuesto se encuentra en estado de: liquido subenfriado, liquido saturado mezcla liquido-vapor, vapor saturado o vapor sobrecalentado (color rojo).

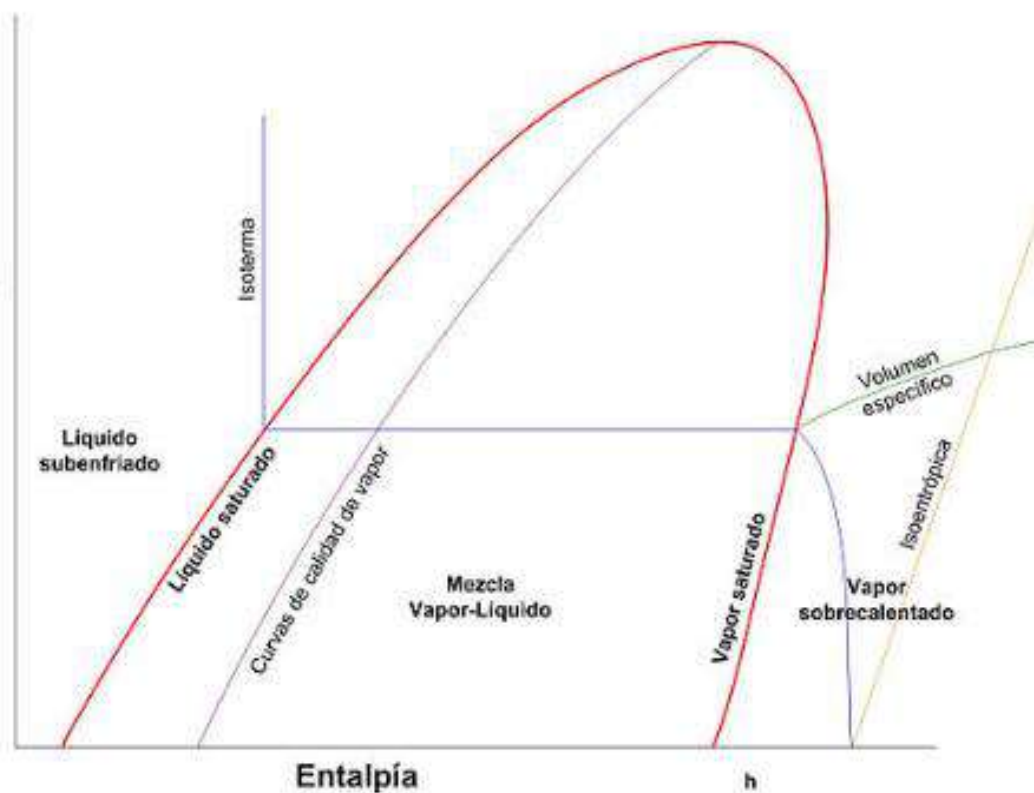


Figura 2.16 Diagrama de Mollier del R134a
(Fuente: Principios básicos de refrigeración)

En el diagrama P-h se distinguen tres zonas bien diferenciadas que se corresponden con distintos estados físicos del refrigerante y que quedan delimitadas por la curva en forma de U invertida.

- Zona de vapor, situada a la derecha de la curva.
- Zona de líquido y vapor, situada en el interior de la curva.
- Zona de líquido, situada a la izquierda de la curva.

A su vez se definen seis tipos de trazas a través de las cuales se describen los ciclos de refrigeración.

- **ISOBARAS:** Rectas paralelas que coinciden iguales valores de presión. Estas son perpendiculares al eje de ordenadas.
- **ISOENTÁLPICAS:** Rectas paralelas que coinciden iguales valores de entalpía en masa. Estas son perpendiculares al eje de abscisas.
- **ISOTERMAS:** Que en la zona de líquido subenfriado son paralelas a las ordenada y dentro de la curva de mezcla son paralelas a la abscisa, y en la zona de vapor sobrecalentado descenden en forma de curva. Estas trazas paralelas entre sí coinciden los valores de igual temperatura del sistema, en el diagrama p-h esta expresado en grados Celsius (Color azul)
- **ISOCORAS:** Son las curvas que coinciden los puntos con igual volumen específico y también son paralelas entre sí para distintos valores. En el sistema internacional esta expresado en (m³/kg). Se desarrollan en la izquierda de la zona de mezcla líquido-vapor y se extiende hacia la derecha hasta la de vapor sobrecalentado hasta el final del diagrama (color verde).
- **ISOENTROPICAS:** Son las curvas que coinciden los valores de igual entropía en el sistema. En el sistema internacional se miden en (KJ/kg K) o (KJ/kg°C). Paralelas entre si y de una elevada pendiente (color amarillo).
- Nueve curvas de ‘título de vapor’ o calidad de vapor que indican el porcentaje en masa del vapor contenido en la mezcla líquido-vapor. Estas curvas, existentes solo dentro la campana de mezcla, son coincidentes en su extremo superior más su

extremo inferior se encuentra relativamente equidistante a la adyacente y así sucesivamente. Son nominadas con los valores de 0,1 al 0,9 (color violeta).

En la parte superior de la curva de saturación se define el llamado punto crítico el, cual es el limite a partir del que, por mucho que se aumente la presión, no es posible condensar el gas.

2.4. Refrigerantes

Un refrigerante es un fluido de transportar el calor de un punto a otro en cantidades suficientes para desarrollar una transferencia de calor. Los refrigerantes son los fluidos de trabajo en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado. Estos productos absorben el calor de una área como el espacio acondicionado de una sala y es expulsado en otra área exterior general mete por conducto del evaporador y del condensador respectivamente.



Figura 2.17 Gases Refrigerantes
(Fuente: <http://www.caloryfrio.com>)

A lo largo de la historia de la refrigeración, se han utilizado varios tipos de refrigerantes, algunos tóxicos, otros inflamables, algunos más con propiedades ambientales limitadas, etc. Lo que ha llevado a la conclusión de que no existe hasta el momento un refrigerante ideal.

Para poder tener una mejor decisión de qué tipo de refrigerante se debe utilizar en una instalación de refrigeración o aire acondicionado es importante considerar cuatro factores básicos.

- Factores ambientales
- Factores económicos
- Factores de seguridad
- Factores de desempeño

Cada uno de estos puntos puede influir en forma muy importante si las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado pueden ser viables de ser operadas por largo tiempo.

Factores ambientales

Factores como el potencial de agotamiento a la capa de ozono y el potencial del calentamiento global pueden influir en forma determinante en si una instalación de refrigeración está operando. El caso más drástico en estas fechas es por ejemplo las instalaciones antiguas operando con R-12 un refrigerante que está fuertemente regulado en algunos países.

Ahora bien, con los ajustes que se han realizado en la regulación de los HCFCs, las instalaciones operando con R-22 pueden ser amenazadas por la limitación de la oferta de este refrigerantes los próximos años.

Factores económicos

El costo de la instalación es el adecuado para la inversión que se está haciendo o representa un fuerte gasto original.

El refrigerante puede ser manejado en forma adecuada sin hacer grandes inversiones en el manejo, almacenamiento y disposición o representa un gran gasto en la operación de los sistemas.

Factores de seguridad

El refrigerante utilizado es seguro en su manejo, es toxico o inflamable.

Si tiene alguna de estas propiedades sería importante revisar todos los manuales de seguridad para el manejo seguro del refrigerante no son permitidos en varias aplicaciones de refrigeración y el aire acondicionado. Como ejemplo podemos mencionar al amoniaco

que es un buen refrigerante sin embargo no puede ser instalado en heladeras domésticas y comerciales.

Factores de desempeño

El refrigerante utilizado cumple su labor o técnicamente es incapaz de poder desempeñar el trabajo en donde fue instalado.

Su coeficiente de desempeño (COP) al cuadrado es apropiado para la aplicación en donde está instalado o está fuera de lugar según sus propiedades termodinámicas.

Como se comentó anteriormente el análisis de estos factores es muy importante cuando se tenga que enfrentar a la decisión de instalar nuevas máquinas o hacer las mejores recomendaciones a los propietarios de sistemas para los siguientes años en donde la regulación de muchas sustancias puede hacer que los equipos dejen de operar aun cuando no hayan llegado a su vida útil.

2.4.1. Clasificación de los Refrigerantes

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa refrigerante. El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS).

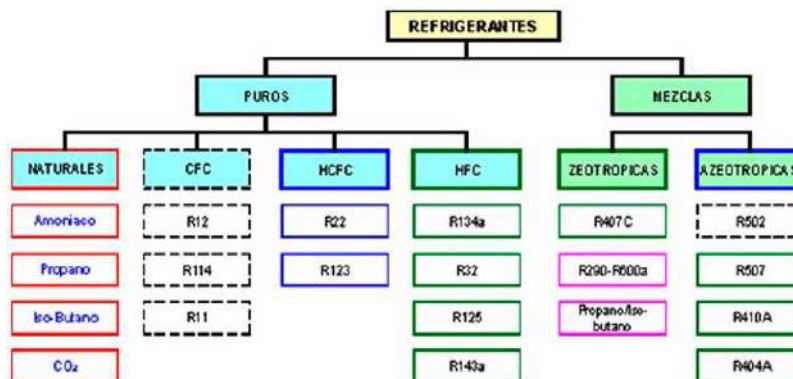


Figura 2.18 Tipos de refrigerantes
(fuente: <http://ciclosderefrigeraciontermodinamica.blogspot.com>)

Los refrigerantes pueden clasificarse en cinco grupos fundamentales:

- Halocarburos
- Hidrocarburos
- Compuestos inorgánicos
- Mezclas azeotropicas
- Mezclas zeotropicas

2.4.2. Halocarburos

Son los que contienen uno o más de tres halógenos (cloro flúor o bromo) y son usados ampliamente en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Son más conocidos por sus nombres comerciales, como son Freón, Isotrón, etc. Aunque en la práctica es preferible usar sus valores numéricos.

En este grupo los halocarburos compuestos de cloro, flúor y carbono son los más comúnmente usados (también llamados clorofluorocarbonos, CFC's) han sido utilizados como refrigerantes, solventes y agentes espumantes. Los CFC's más comunes son: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115.

Aunque algunos CFC's han sido refrigerantes muy comunes, también han estado presentes en la industria de los aerosoles, espumas, solventes, etc. Pero su uso disminuyo de forma rápida debido al impacto ambiental, pues deterioran la capa de ozono, e incrementan el efecto invernadero.

2.4.3. Hidrocarburos

Los hidrocarburos (HC's) son los compuestos que consisten principalmente de carbono e hidrogeno. Los HC's incluyen metano, etano, propano, ciclo propano, butano y ciclo pentano. Si bien los HC's son altamente inflamables, pueden ofrecer algunas ventajas como refrigerantes alternativas, porque su producción no es muy cara, su potencial de deterioro del ozono es nulo, su potencial de calentamiento global bajo, y tienen baja toxicidad. Hay muchas familias de HC's como las siguientes:

- Los hidrobromofluorocarbomos como su nombre lo indica son los compuestos que consisten de hidrogeno, bromo, flúor, y carbono.

- Los HCFC's son los compuestos que consisten de hidrogeno, cloro, flúor y carbono. Estos son uno de los compuestos que se están usando para sustituir a los CFC's. contienen cloro y por lo tanto deterioran la capa de ozono, pero lo hacen de una forma menor a los CFC's.
- Los hidrofluorocarbonos consisten en hidrogeno, flúor y carbono. También son considerados como u remplazo para los CFC's, ya que al no contener ni cloro ni bromo no deterioran la capa de ozono.

En aplicaciones de refrigeración también se usan hidrocarburos como el metano (R-50), etano (R-170), propano (R-290), n-butano (R-600) y el isobutano (R-600a)

2.4.4. Compuestos Inorgánicos

A pesar de la temprana invención de compuestos inorgánicos, hoy en día algunos de ellos todavía son usados en muchas aplicaciones de refrigeración, y en aire acondicionado como refrigerante. Algunos ejemplos son el amoniaco, el agua, aire, dióxido de carbono el dióxido de azufre. Por encima de todos estos compuestos el amoniaco es el que ha tenido la mayor atención en aplicaciones prácticas, e incluso en la actualidad es todavía de interés. A continuación echaremos un vistazo en tres de los compuestos de esta familia:

Amoniaco (R-717)

El amoniaco es un gas incoloro con un olor fuerte, el cual puede sr detectado en bajos niveles. El amoniaco líquido se evapora a los -33 grados centígrados. En su forma gaseosa es más ligero que el aire y es soluble en agua. A pesar de que posee una gran capacidad térmica para la refrigeración, también puede causar muchos problemas técnicos y de salud, como los siguientes:

- El gas causa irritación en los ojos, garganta, pasajes nasales y la piel. Aunque aparentemente algunos han desarrollado una tolerancia al amoniaco, en niveles de exposición que van desde las 5 a las 30 ppm causa irritación ocular.
- La exposición a niveles de 2500 ppm causa daño ocular permanente, dificultades respiratorias, espasmos asmáticos y dolores de pecho.

- Podría presentarse una acumulación de fluidos en el pulmón potencialmente fatal, después de algunas horas en exposición. En algunos casos en que no sea fatal podría llevar al desarrollo de bronquitis, neumonía, o alguna irregularidad en el funcionamiento pulmonar.
- La exposición a niveles muy altos causa irritación fuerte y hasta quemaduras en la piel.
- Si los ojos tienen contacto con amoníaco líquido podría llevar a la pérdida de la vista, si el contacto es en la piel podría causar una quemadura fatal.
- El amoníaco es un gas inflamable y forma mezclas potencialmente explosivas con el aire con un rango de concentración de 16 a 25%. el amoníaco diluido en agua no es inflamable.
- El amoníaco reacciona de forma explosiva con flúor, cloro, bromo, yodo y otros compuestos químicos relacionados con los anteriores.
- Reacciona con el ácido y produce calor. En su forma gaseosa también reacciona entre sí, formando un irritante humo blanco.

A pesar de estas ventajas, algunos lo consideran un buen refrigerante, pues estas desventajas pueden ser eliminadas con el diseño y control adecuado de los sistemas de refrigeración.

Dióxido de carbono (R-744)

El dióxido de carbono es uno de los refrigerantes inorgánicos más antiguos. Es un refrigerante inodoro, incoloro, no tóxico, no inflamable, y no explosivo que puede ser usado en un sistema de refrigeración en cascada y producciones de hielo seco, así como en aplicaciones de comida congelada.

Aire (R-729)

El aire es usado generalmente en el aire acondicionado y en los sistemas de refrigeración de aviones. Su coeficiente de desempeño (COP) es bajo debido al peso ligero de los sistemas de aire. En algunas plantas de refrigeración puede ser usado para el rápido congelado de productos alimenticios.

2.4.5. Mezclas Azeotropicas

Un refrigerante de mezcla azeotropica consiste en dos sustancias que tienen propiedades distintas pero que se comportan como una sola. Las dos sustancias no pueden ser separadas por destilación. El más común es el R-502, el cual contiene 48.8% de R-22 y 51.2% R-15. Su COP es más alto que el R-22 y toxicidad más baja provee una oportunidad de usarlo en sistemas caseros y en la industria de refrigeración de alimentos. Otros ejemplos de mezclas azeotropicas son el R-500 (73.8% de R-12 + 26.2% de R-152^a), el R-503 (59.9% de R-13 + 40.1% de R-23), y el R-504 (48.2% de R-32+51.8% de R-115).

2.4.6. Mezclas zeotropicas

Un refrigerante de mezcla zeotrópica es un fluido que consiste en múltiples componentes de diferente volatilidad, que cuando son usados en ciclos de refrigeración cambian su composición durante la evaporación o condensación. Su uso en sistemas de refrigeración ha sido propuesto desde principios del siglo XX. Desde esa época se han hecho muchas investigaciones sobre este tipo de mezclas y en sus propiedades termo físicas. Ha habido un gran interés en estos, sobre todo para las bombas de calor, debido a que su composición adaptable ofrece una nueva dimensión en el diseño de los sistemas de compresión de vapor. Aunque se conoce bien muchas mezclas zeotropicas, la investigación y desarrollo se ha enfocado en tres mezclas, R-12 + R-114 + R-22 + R-114 y R-13B1 + R-152^a es claro que el fenómeno de transferencia de calor durante el cambio de fase, es más complicado en las mezclas zeotropicas que en el resto de los refrigerantes.

Refrigerantes secundarios

El papel de los refrigerantes secundarios es el de acarrear el calor del objeto o espacio que está siendo enfriado hasta el refrigerante primario o el evaporador del sistema. Durante este proceso, el refrigerante secundario no presenta ningún cambio de fase. En el pasado, los refrigerantes secundarios eran las salmueras, que son soluciones de agua con sal, y aun hoy en día siguen usándose a pesar de sus efectos corrosivos.

También, los anticongelantes, los cuales son soluciones de etileno glicol o propileno glicol, son usados como refrigerantes secundarios. De estos fluidos, el propileno glicol tiene la característica de ser seguro aun cuando entra en contacto con productos alimenticios.

Hace algunos años se usaron soluciones como la acetona, diclorometano, o el tricloroetileno, en aplicaciones específicas. Las siguientes son las características más importantes para seleccionar el refrigerante secundario adecuado:

- Propiedades físicas y térmicas satisfactorias
- Estabilidad
- No corrosivo
- No toxico
- Bajo costo
- Utilidad

Refrigerantes alternativos

Debido a que los refrigerantes convencionales contribuyen a la degradación de la capa de ozono, ha surgido la necesidad de sustancias alternativas que ayuden al remplazo total de todos estos. Es por eso que los últimos se han hecho múltiples investigaciones para el desarrollo de estos. El remplazo de los ahora prohibidos refrigerantes convencionales, por cualquier alternativa puede requerir cambios significativos en el diseño de muchos componentes como son los lubricantes. Válvulas intercambiadores de calor, y motores. Ya existen muchos refrigerantes naturales, como son, el amoniaco, el propano, y el dióxido de carbono reemplacen a los refrigerantes convencionales. Las siguientes son algunas de las alternativas:

R-134a el cual está llamado a ser el sustituto del R-22. a = Alternativo.

R-123a, que substituirá al R-11

Algunas mezclas zeotropicas como R-401 A y R-401B que son aceptados como sustitutos para el R-11, R – 500 y el R-502

Mezclas azeotropicas como el R-507 que tiene características como para sustituir a más de un refrigerante.

SERIE	NOMBRE	GAS
000	Metano	R12
100	Etano	R134a
400	Zeótopo	R401A
500	Azeótopo	R502

Tabla A-1 Series de los Refrigerantes
(Fuente: Elaboración propia)

Refrigerante Núm. AHSRAE	Color ARI (American Refrigeration Institute)
R-11	Anaranjado
R-12	Blanco
R-22	Verde Claro
R-113	Morado (Violeta)
R-114	Azul Oscuro (Marino)
R-123	Azul Grisáceo Claro
R-124	Verde Intenso (Verde DOT)
R-125	Marrón Mediano (Tostado)
R-134a	Azul Celeste (Cielo)
R-401A	Rosa Claro
R-401B	Amarillo Oscuro
R-402A	Marrón Claro (Arena)
R-402B	Verde Amarronado (Oliva)
R-404A	Anaranjado
R-410A	Rosa
R-500	Amarillo

Tabla A-2 Colores de los Refrigerantes
(Fuente: <http://profedaza.wordpress.com/refrigerantes>)

2.4.6. Relación Presión–Temperatura de un Refrigerante

Al aumentar la temperatura de un gas las moléculas se mueven más rápidamente y por tanto aumenta el número de choques contra las paredes, es decir aumenta la presión, debido a que el sistema es cerrado y su volumen no se puede alterar.

Para cualquier presión dada, los refrigerantes tienen una temperatura de saturación, si la presión es baja su temperatura de saturación es baja, si la presión es alta la temperatura de saturación es alta.

Es así que durante todo el ciclo de refrigeración la presión y la temperatura guardan una estrecha relación como se la describe a continuación:

- La válvula de expansión regula el flujo a través del evaporador para mantener el sobrecalentamiento constante. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que este hierva o se vaporice, hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a su presión.
- Conforme la temperatura del gas que sale del evaporador varia, el bulbo de la válvula de expansión registra variación y actúa para modular la alimentación a través de la válvula de expansión, y así adaptarse a las nuevas necesidades.
- El compresor toma el vapor a baja presión procedente del evaporador y lo comprime aumentando, tanto su presión como su temperatura. El vapor caliente, al alcanzar una alta presión, es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensado. Conforme pasa a través de este, el gas a alta presión es enfriado por algún medio externo.
- Conforme el vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye al receptor como líquido, repitiéndose nuevamente el ciclo.

2.5. Compresor

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos compresibles, tal como son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por el convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son máquinas hidráulicas, estos son máquinas térmicas ya que su fluido de trabajo es compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura, a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan

fluidos compresibles, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.

Utilización

Los compresores son ampliamente utilizados en la actualidad en campos de la ingeniería y hacen posible nuestro modo de vida por razones como:

- Son parte fundamental de muchos sistemas de refrigeración y se encuentra en cada refrigerador doméstico, y en infinidad de sistemas de aire acondicionado.
- Se encuentran en el interior de muchos motores de avión, como lo son los turbo reactores y hacen posible su funcionamiento.
- Se pueden comprimir gases para la red de alimentación de sistemas neumáticos, los cuales mueven fábricas completas.

Compresor en Refrigeración

El compresor es uno de los componentes principales del sistema de refrigeración y se constituye en el elemento generador del movimiento de fluido refrigerante por los elementos del sistema, por lo que la denominación CORAZON de la instalación es un término adecuado atendiendo a las labores que desempeña. Puede ser de varios tipos tales como: recíprocaste, helicoidal de tornillos, scroll, de paletas deslizantes, centrífugo, entre otros; cuyas funciones son:

- **ASPIRACIÓN:** consiste en aspirar los vapores generados en el evaporador, por absorción de potencia térmica procedente de la carga a enfriar, con la finalidad de que estos no se acumulen en el evaporador, pues si esto ocurriese aumentaría la presión y en consecuencia la temperatura de vaporación.
- **COMPRESIÓN:** labor necesaria conseguir un nivel en el que los vapores pueden ser licuados, de forma económica, con ayuda de un agente externo. Con esta función se produce un consumo de potencia necesaria para conseguir el transporte de la potencia térmica de la baja temperatura del evaporador a alta condensación.

En resumen la función del compresor consiste en extraer el refrigerante del evaporador, comprimirlo en un punto en el que pueda efectuarse la condensación y volverlo a su estado líquido de origen a fin de que se emplee nuevamente en el proceso de producción de frío.

2.5.1. Clasificación de los Compresores

Los compresores utilizados en la industria frigorífica pueden ser clasificados en dos grandes ramas, una de ellas es basada en su construcción o en el tipo de conexión que se tiene con el motor y la segunda es su clasificación basada en el sistema de impulsión atendiendo al método empleado para conseguir el efecto de compresión.

Según su construcción o unión con el motor

En esta clasificación se tiene en cuenta la construcción del compresor propiamente dicha y la forma como esta acoplado el motor de accionamiento.

▪ COMPRESORES HERMETICOS

Los compresores herméticos están compuestos por una única carcasa la cual contiene tanto al compresor como al motor de accionamiento y se encuentra totalmente sellada, evitando de esta manera la posibilidad de fugas del refrigerante a través de esta carcasa.

Los vapores fríos procedentes del evaporador se ponen en contacto con el devanado del motor eléctrico, enfriándolo y consiguiendo aumentar la vida útil del motor, a costa de provocar un recalentamiento menos útil en los vapores antes de la entrada al cilindro, es evidente que esta disposición impide la utilización de fluidos refrigerantes que ataquen el cobre de los devanados como es el caso del amoníaco.

Una segunda característica de estos compresores la constituye la ausencia de bomba de lubricante, por lo que la lubricación se realiza por salpicado hacia las partes en movimiento. Por último cabe indicar la presencia de un interruptor de desconexión, de tipo térmico, destinado a evitar averías por sobre intensidad en los devanados del motor eléctrico.



Figura 2.19 Compresor hermético uso doméstico comercial
(Fuente: <http://www.0grados.com>)

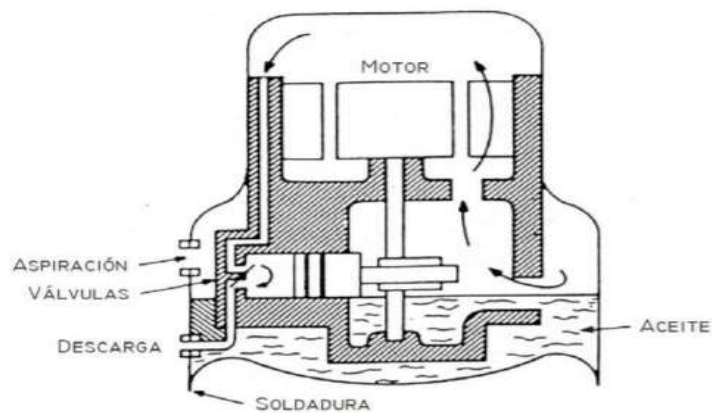


Figura 2.20 Vista interna del compresor
(Fuente: <http://www.guiapracticaderefrigeracion.com>)

▪ COMPRESORES SEMIHERMETICOS

Estos compresores son básicamente similares a los herméticos, estribando su diferencia en el hecho que la carcasa que envuelve el motor y compresor es accesible desde el exterior, de tal manera que puede abrirse para su mantenimiento y reparación. En este caso es posible la disposición de una bomba de aceite que asegure la lubricación de las partes del compresor.



Figura 2.21 Compresor Semi-hermetico
(Fuente: <http://www.emersonclimate.com>)

▪ COMPRESORES ABIERTOS

La denominación abiertos se refiere a la disposición de dos carcasas independientes, una para el compresor y la segunda para el motor de accionamiento, unidas por una transmisión mecánica. De esta forma se evita el recalentamiento de los vapores antes de la admisión al cilindro, pero como contrapartida se aumenta el peligro de fugas a través del acoplamiento entre el motor y el compresor.



Figura 2.22 Compresores Abiertos
(Fuente: <http://www.guiapracticaderefrigeracion.com>)

El campo de utilización de los compresores semi-hermeticos y abiertos es de las medias y altas potencias (entre 15000 a 500000 Kcal/h) siendo su evolución de cilindros en línea de compresores más compactos de 2,3,4,5,6,8,12 hasta 16 cilindros.

SEGÚN EL SISTEMA DE IMPULSIÓN

La clasificación de los compresores según su sistema de impulsión está basada en dos grandes grupos, los cuales se encuentran bien definidos y su principal diferencia se encuentra en la forma como inyectan el fluido comprimido al sistema, los compresores de desplazamiento positivo entregan el fluido refrigerante en paquetes, de allí su nombre compresores volumétricos, mientras los compresores dinámicos lo hacen de una forma continua.

COMPRESORES VOLUMETRICOS O DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Son aquellos en los que el aumento de presión se consigue confinando un volumen de vapor en un espacio cerrado para posteriormente reducirlo mediante una acción mecánica. A este grupo pertenecen los compresores alternativos, los rotativos de paletas, los rotativos de tornillo, y los espirales scroll. Su capacidad no se ve afectada por la presión de trabajo (excepto los cambios por fugas internas y rendimiento volumétrico)

2.5.2. Compresor Alternativo

Los compresores de desplazamiento positivo son los más antiguos y conocidos: su función como se ha mencionado con anterioridad es la de reducir el volumen ocupado por un fluido al mismo tiempo que le obliga a fluir por el sistema de refrigeración incrementando la presión a la cual se encuentra, siendo esta última característica la que los diferencia de los turbo suplantes y ventiladores que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles "aire por ejemplo" sin modificar notablemente su presión.



Figura 2.23 Compresor Alternativo
(Fuente: <http://www.maquinariamadrid.com>)

El compresor alternativo o de pistones es semejante a un motor de combustión interna, ya que entre sus partes se encuentra un cilindro y un pistón, el cual se mueve dentro del cilindro a través de una biela al producirse el giro del cigüeñal, el cual es proporcionado por un motor. Tiene válvulas de aspiración e impulsión montadas en el propio cilindro. Pueden considerarse válvulas de no retorno, puesto que el paso del aire se efectúa en una sola dirección.

La válvula de aspiración, permite el paso del aire atmosférico al interior del cilindro, ya que en el movimiento de descenso del pistón, se crea una depresión o vacío, de tal forma que al ser más elevada la presión atmosférica, esta abre la válvula de aspiración y el aire entra llenando el cilindro. En la carrera de retorno, la presión aumenta por encima de la atmósfera, cerrando la válvula de aspiración, cuando dicha presión vence la fuerza del muelle que mantiene a la válvula de impulsión cerrada, esta abre y se produce la descarga del compresor.

2.5.3. Compresor Rotativo

Es un tipo de compresor que emplea un émbolo giratorio para bombear y comprimir el refrigerante en fase gaseosa.

2.5.4. Compresor Centrifugo

El compresor centrífugo es una turbo máquina que consiste en un rotor que gira dentro de una carcasa provista de aberturas para el ingreso y egreso del fluido. El rotor es el elemento que convierte la energía mecánica del eje en cantidad de movimiento y por tanto la energía cinética del fluido. En la carcasa se encuentra incorporado el elemento que convierte la energía cinética en energía potencial de presión (el difusor), completando así la escala de conversión de energía



Figura 2.24 Compresor Centrifugo
(Fuente: <http://www.mundocomprador.com>)

2.5.5. Compresor de Tornillo

Son máquinas donde los rotores helicoidales engranados entre sí y ubicados dentro de una carcasa, comprimen y desplazan el gas hacia la descarga.

Los lóbulos de los dos rotores no son iguales; los ajustan en las cavidades de la hembra o rotor conducido.

Los rotores pueden no tener el mismo número de lóbulos. Por general el rotor principal tiene menos lóbulos y por ello opera a mayor velocidad.

El principio de funcionamiento de estos compresores: inicialmente el aire llena el espacio entre los dos lóbulos, y a medida que los rotores giran, el volumen entre los rotores disminuye obteniéndose progresivamente la compresión deseada. La carencia de válvulas de aspiración y descarga, y la inexistencia de fuerzas mecánicas desequilibradoras, hacen que el compresor del tornillo pueda funcionar a elevadas velocidades.

En consecuencia, combina una elevada capacidad con reducidas dimensiones. Los compresores de tornillo del tipo seco utilizan engranajes de sincronización externos para los rotores macho y hembra. Al no ver contacto entre rotores ni entre estos y la carcasa, no necesita ningún tipo de lubricación dentro de la cámara de compresión.

Para mantener el rendimiento del compresor en pequeñas capacidades se necesitan velocidades de eje muy elevadas. Sin embargo, inyectando aceite en la cámara de compresión se pueden utilizar velocidades más reducidas. El aceite inyectado cumple de 3 funciones:

- ❖ Cerrar las holguras internas
- ❖ Enfriar el aire durante la compresión
- ❖ Lubricar los rotores.

La lubricación interna hace posible prescindir de los engranajes de sincronización. El aceite inyectado se recupera y recircula después de la compresión. Debido a que la temperatura de aceite puede mantenerse en un nivel bajo, se puede recuperar en la práctica, todo el aceite la recuperación del aceite se realiza en dos etapas. En primer lugar en un separador mecánico y a continuación en un filtro montado en el interior del depósito de aire.



Figura 2.25 Compresor de Tornillo
(Fuente: <http://www.mundocompresor.com>)

En la figura anterior puede apreciarse un compresor típico de tornillos helicoidales, libres de aceites, en la cual los rotores macho y hembra están cerrados en una carcasa común refrigerada por agua y soportados sobre rodamientos.

2.5.6. Compresor Scroll

Un compresor scroll es un dispositivo de desplazamiento positivo que comprime mediante la acción de dos espirales una fija y otra que orbita sobre la primera. Como en el caso de los compresores de tornillo, la utilización de los compresores scroll, en el campo de acondicionamiento de aire, es muy posterior a su invención la cual se inicia en 1905 por León Creux.

No es hasta finales de los años 80 que aparecen los primeros equipos en este campo.

El principio básico de compresión scroll se basa en la interacción de una espiral fija con otra móvil, ambas idénticas y desfasadas entre sí 180° . La espiral móvil orbita siguiendo la trayectoria fijada por la espiral fija y se mantiene a esta última gracias a la acción de la fuerza centrífuga. Así es como, desde la periferia se van formando compartimientos de gas que son desplazados hacia el centro de las espirales, contrayéndose su volumen y aumentando la presión y temperatura, hasta producirse la descarga por el centro. Habrá seis compartimientos operando permanentemente, por lo que la compresión es siempre continua y uniforme.

El movimiento orbital que describe la espiral móvil es circular, tiene la misma amplitud que el motor y se mantiene siempre con 180° de diferencia de fase valiéndose de un dispositivo

antirotación, que se conoce como acoplamiento Oldham; la magnitud de este movimiento orbital depende del radio del círculo base y del espesor de la pared de las espirales.

Cuando está en funcionamiento, en cada posición del movimiento orbital las dos espirales entran en contacto en varios puntos, formando una serie de cámaras o celdas, normalmente seis en forma de media luna, independientes. El giro del motor hace que las celdas se vayan trasladando de la periferia hacia el interior de las espirales, progresivamente, lo que implica una disminución continua del volumen de estas cámaras a medida que se aproximan hacia el centro de las espirales. En este tipo de compresores, las celdas o cámaras de compresión de geometría variable (en forma de hoz) están generadas por dos espirales idénticas:

La superior es fija (estator), en cuyo centro esta situada la lumbrera de escape la otra es orbitante (rotor)

Estando montadas ambas frente a frente, en contacto directo una con la otra.



Figura 2.27 Compresor Scroll
(Fuente: <http://www.copeland.com>)

Un compresor scroll consta de dos elementos en forma de espiral. Uno estacionario y otro que gira en un movimiento orbitante alrededor del centro del eje motor. Las dos espirales son idénticas y están ensambladas con una diferencia de fase de 180 grados. El movimiento orbital de la espiral giratoria es circular, tiene la misma amplitud del motor y se mantiene a 180 grados de diferencia de fase con el uso de un dispositivo anti rotación, el cual se conoce generalmente como un típico acople Oldham.

2.5.7. Compresor de Paletas

Los compresores de paletas se clasifican según su diseño en dos tipos

➤ De paletas estacionaria única

En este tipo de compresor el eje del árbol motor coincide con el eje de un cilindro fijo, siendo excéntrico con respecto al rotor. La paleta insertada en una ranura de la pared del cilindro, es accionada por un resorte el cual la mantiene en contacto constante con el rotor. La paleta desliza en la ranura siguiendo al rotor en su movimiento alrededor del cilindro, de esta forma se separan las cámaras de admisión y escape.

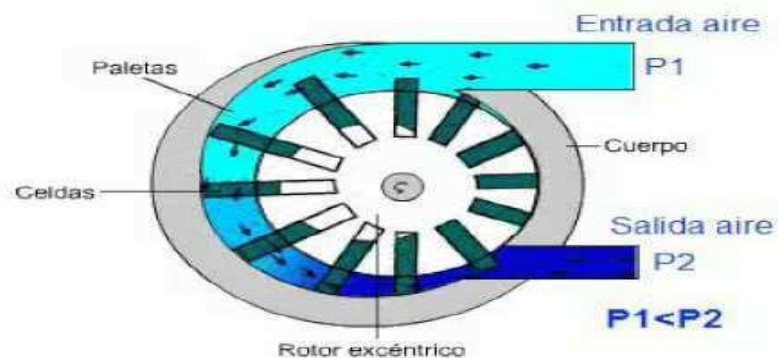


Figura 2.28 Compresor de paletas
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org.wiki.compresores>)

➤ De paletas giratorias

En este compresor el eje motor es excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor. El rotor gira deslizando sobre el estator en forma radial y excéntricamente respecto a la superficie cilíndrica interior del estator estableciéndose un contacto que en el estator tiene lugar sobre una única generatriz, mientras que en el rotor tiene lugar a lo largo de todas sus generatrices; el rotor es un cilindro hueco con ranuras radiales en las que las palas desplazadoras están sometidas a un movimiento de vaivén. Bajo la acción de la fuerza centrífuga, las palas (1 o más) aprietan y ajustan sus extremos libres deslizantes de la superficie interior del estator, al tiempo que los extremos interiores de dichas palas se desplazan al eje de giro.

2.5.8. Capacidad y Desempeño

Todos los compresores son calificados de acuerdo a cuanto flujo producen y la relación entre la presión de entrada y salida. Obviamente este flujo está en función del tamaño del compresor y su velocidad de operación rpm.

Relación de compresión

La relación de compresión está definida como la relación entre la presión de descarga y la presión de succión, expresadas en términos de presión absoluta.

$$R_c = P_d / P_s$$

Dónde:

Rc: Relación de compresión, **Pd:** Presión de descarga, **Ps:** Presión de succión.

El desempeño de un compresor es afectado por numerosos parámetros que incluyen los siguientes:

- Presión y temperatura de succión
- Presión y temperatura de descarga
- Tipo de refrigerante y su nivel de flujo

2.6. Condensadores utilizados en Refrigeración

El condensador es un intercambiador de calor, su función es eliminar el recalentamiento del gas refrigerante proveniente del compresor y a continuación licuarlo.

2.6.1. Clasificación de los Condensadores

- Según el tipo de enfriamiento.
- Según su construcción.
- Condensadores evaporativos

2.6.2. Condensadores enfriados por aire

El condensador típico es el tubo con aletas en su exterior, la cual disipan el calor al medio ambiente.

La transferencia se logra forzando grandes cantidades de aire fresco a través del serpentín mediante el uso de un ventilador, por lo general de tipo axial. El aire al ser forzado a través del condensador absorbe calor y eleva su temperatura. Los condensadores pueden fabricarse con una sola hilera de tubería y se construyen con aire frontal relativamente pequeñas y varias hileras superpuestas a lo ancho.

El diseño típico común usado por muchos fabricantes son los que se ilustran a continuación:



Figura 2.29 Condensador Enfriado por aire con forzador
(Fuente: <http://www.0grados.com>)



Figura 2.30 Condensador enfriado por aire natural
(Fuente: <http://www.0grados.com>)

Variando en forma, materiales, acabados y capacidades. Tienen como característica su fácil instalación, bajo costos de mantenimiento.

Los condensadores enfriados por aire están contruidos por un haz de tubos alertados dispuestos en forma vertical u horizontal.

Para la disposición vertical el aire circula por tiro forzado

Para la disposición horizontal el aire circula por tiro inducido.

2.6.3. Condensadores Enfriados por Agua

El agua de condensación se utiliza por su bajo costo y por manejar presiones de condensación más bajas y porque además se puede tener mejor control de la presión de descarga. Por lo general se utiliza una torre de enfriamiento para bajar la temperatura del agua hasta una temperatura cercana a la temperatura de bulbo húmedo, permitiendo un flujo continuo y disminuir costos en el consumo del agua.

Estos condensadores tienen un diseño compacto por las excelentes condiciones de transferencia de calor que ofrece el agua. Se usan diseños de carcasa y serpentín, carcasa y tubo.



Figura 2.31 Condensador enfriado por agua
(Fuente: <http://yoreparo.com/refrigeracion>)

En los condensadores enfriados por agua son del tipo carcasa y tubo, el refrigerante circula entre la envolvente y el exterior de los tubos, el agua circula por el interior de los tubos en circuito, el agua se enfría en una torre de enfriamiento.

2.6.4. Condensadores Evaporativos

Se utilizan cuando se desean temperaturas de condensación menores a las que obtienen en los casos anteriores. El vapor de refrigerante caliente fluye a través de la tuberías dentro de una cámara con rociadores de agua en donde es enfriado mediante evaporación del agua que entra en contacto con los tubos del refrigerante.



Figura 2.32 Condensador Evaporativos
(Fuente: <http://www.directindustry.es>)

2.7. Dispositivos Reguladores de Flujo

En la práctica estos dispositivos también son conocidos como válvula de expansión o válvulas reguladoras, y son usadas para reducir la presión de refrigerante, regulando su flujo para que coincida con las necesidades del equipo. Por lo general son tres dispositivos que cumplen con esta función:

- Una válvula de expansión termostática
- Una válvula de expansión automática
- Un filtro con tubo capilar

Cabe aclarar que existen otros dispositivos que ayudan a regular el paso del refrigerante, pero son considerados accesorios o dispositivos auxiliares, por lo que a continuación nos enfocaremos en los mencionados anteriormente.

2.7.1. Válvula de Expansión Termostática

Es el dispositivo más utilizado, pues controlan de manera automática el flujo del líquido refrigerante al evaporador a un nivel adecuado de acuerdo con las necesidades de la máquina. La pequeña abertura entre el asiento de la válvula y el disco origina la caída de presión necesaria.

Funciona por un bulbo lleno con fluido que se fija al tubo de succión, para medir la temperatura del gas en esa sección. Este bulbo se conecta con la válvula mediante un tubo de modo que la presión de fluido dentro del bulbo tienda a abrir más la válvula, contra la

presión de un resorte de cierre. Si aumenta la carga del sistema, el refrigerante en el evaporador gana más calor y la temperatura del gas de succión aumenta.

La presión del fluido en el bulbo aumenta a medida que lo hace la temperatura, con lo que abre más la válvula. Con ello se aumenta el flujo de refrigerante que se necesita, sucede lo contrario cuando la carga disminuye.



Figura 2.33 Válvula de Expansión Termostática
(Fuente: <http://www.inedom.com>)

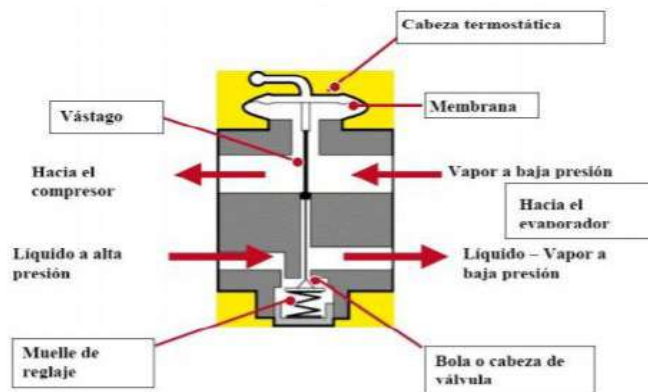


Figura 2.34 Estructura de la Válvula de Expansión Termostática
(Fuente: <http://www.inedom.com>)

Es importante que el vapor en la línea de succión este ligeramente sobrecalentado, para asegurar que no entre líquido al compresor y que este no sufra daños. Lo anterior se logra ajustando el resorte de cierre a un valor que evite que la presión del bulbo abra la válvula a menos que este en valores de sobrecalentamiento. Generalmente cuando este ajuste se hace de forma correcta no se necesita mantenimiento extra, a menos que se presenten impurezas o humedad en el asiento de la válvula o en su orificio.

2.7.2. Válvula de Expansión Automática

También llamada válvula de presión constante, es el precursor de la válvula de expansión termostática. Es llamada válvula de expansión automática porque abre y cierra automáticamente sin ayuda de ningún dispositivo externo. Esta válvula es básicamente un dispositivo regulador de presión, pues mantiene una presión constante a la salida. Esta mide la presión y la mantiene en un valor constante mediante el control de flujo de líquido refrigerante, basándose en la presión de succión. El refrigerante fluye a un nivel que coincide exactamente con la capacidad del compresor.



Figura 2.35 Válvula de Expansión Automática
(Fuente: <http://www.directindustry.es>)

2.7.3. Tubo Capilar

El tubo capilar es el más simple de los dispositivos reguladores de flujo y puede ser usado en lugar de una válvula de expansión. Los tubos capilares son tubos con un diámetro pequeño por los cuales el refrigerante fluye hacia el evaporador. Estos dispositivos, que son usados mayormente en pequeños sistemas de refrigeración, reducen la presión del condensador mediante un tubo de cobre con un diámetro interno muy pequeño (0.4 a 3 mm), manteniendo una presión constante independientemente de los cambios en la carga.



Figura 2.36 Elemento de Expansión por Tubo Capilar
(Fuente: <http://www.blogquimobasicos.com>)

Cuando se trabaja con tubos capilares, la longitud del tubo depende de la capacidad del compresor, también se deben tomar en cuenta otras consideraciones como la eficiencia del condensador y el tamaño del evaporador, antes de determinar el tamaño del tubo capilar.

2.8. Evaporadores

Los evaporadores son intercambiadores de calor contruidos por un haz de tuberías en la que se evapora el fluido, extrayendo el calor del espacio que se quiere enfriar, que es en esencia el fenómeno de producción de frío o potencia frigorífica que se desea construir.

Los evaporadores se fabrican con una amplia variedad de criterios, tipos, formas, tamaños y materiales, pudiéndose clasificar en la siguiente forma

2.8.1. Clasificación

Evaporadores de expansión seca: la alimentación del refrigerante se realiza mediante un sistema de expansión, de forma que el líquido se evapora totalmente a lo largo del evaporador, generalmente con un ligero sobrecalentamiento. El refrigerante está en la proporción estrictamente necesaria para formar un vapor saturado seco, que va a proporcionar un buen funcionamiento en el compresor.

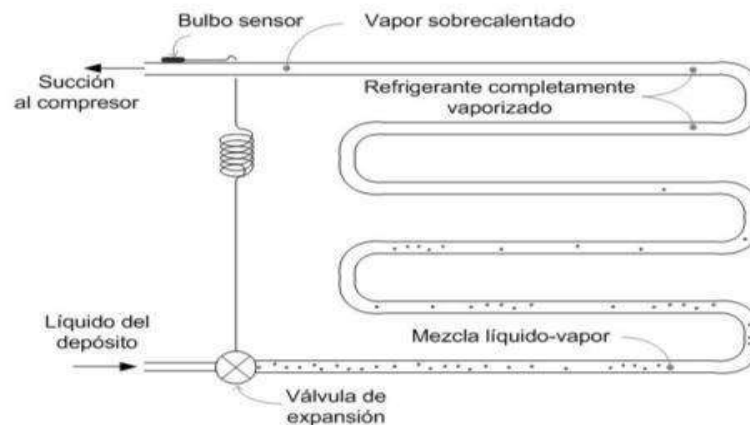


Figura 2.37 Esquema de Evaporador de Expansión Seca o directo
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Evaporadores.com>)

Evaporador inundado: se encuentran siempre completamente llenos de refrigerante líquido, regulándose la alimentación mediante una válvula de flotador la cual mantiene constante el nivel de líquido en el evaporador. Preferentemente se son utilizados en aplicaciones

industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco (R-717) como refrigerante.

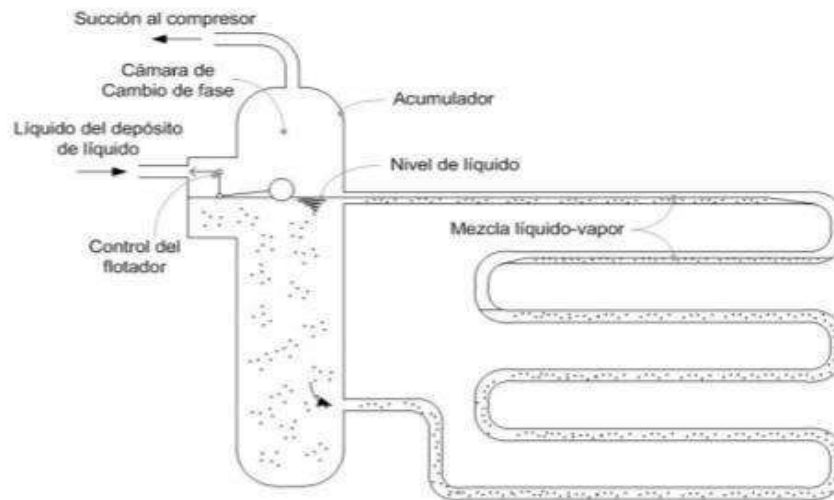


Figura 2.38 Esquema de Evaporador Inundado
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Evaporadores.com>)

Evaporador sobrecalentado: en este tipo de evaporadores el flujo másico de líquido supera con creces al flujo de vapor producido en el evaporador. De esta manera, el fluido que abandona el evaporador es mezcla vapor-líquido de alto título, que no alcanza a ser vapor saturado. Son preferentemente utilizados en aplicaciones industriales.

2.8.2. Según su Construcción

- Evaporador de tubo liso: están contruidos por un tubo de acero o cobre de forma geométrica variada, según convenga.



Figura 2.39 Evaporador de Tubo Liso
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Evaporadores.com>)

- Evaporador de placas: consisten en dos placas metálicas acanaladas, unidas mediante soldadura, a las que se da la forma más conveniente para que por las mismas circule el refrigerante, conformando así una estructura interior de tubos en los que se produce la vaporización del refrigerante.

También pueden estar formadas por una tubería, normalmente en zigzag, embutida entre dos chapas metálicas soldadas entre sí en los extremos.



Figura 2.40 Evaporador de Placas
(Fuente: <http://www.Blogrefrigeracionsimeec.com>)

- Evaporadores de aletas: están formados por un serpentín de tubería de cobre a la cual se le aplican aletas de aluminio para aumentar así la superficie de transmisión del propio tubo.

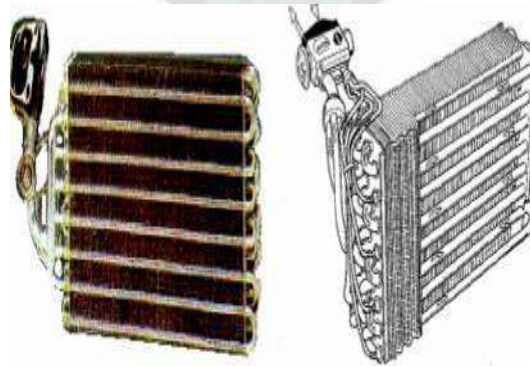


Figura 2.41 Evaporador de Aletas
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Evaporadores.com>)

2.8.3. Según como Circule el Refrigerante

Si todo el líquido refrigerante que penetra en el evaporador se convierte completamente en vapor en el intervalo de tiempo que media desde que entra hasta que sale por el otro extremo, el refrigerante llegara a la tubería de aspiración del compresor en forma de vapor.

2.8.4. Según el Método de Circulación del Aire

Hay que procurar que el aire que circula en el interior de la cámara o recinto que se desea refrigerar, lo haga de forma adecuada. El aire puede circular por simple convección natural asegurada por los gradientes térmicos que se producen en distintas zonas.

Su utilización es más extensa en el campo de pequeños congeladores domésticos, armarios o muebles de exposición en locales de venta, o en almacenes de refrigeración.

Los llamados evaporadores de convección forzada utilizan ventilación para la succión o impulsión del aire con el fin de obligarle a pasar por entre los serpentines de tubo liso con o sin aletas metálicas, se trata de evaporadores de convección forzada, son muy utilizados en grandes instalaciones.

2.8.5. Dispositivos de Control

Los controladores de presión o presostatos también son conocidos como interruptores de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del fluido, su función básica es la detener el equipo en caso de que este salga de los parámetros normales de operación.



Figura 2.42 Presostato
(Fuente: <http://www.aireacondicionadoyclima.com>)

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

2.8.6. Controlador de Presión

Manómetro

Nos da una información muy importante del funcionamiento de la instalación, como sabemos en todo sistema de refrigeración hay que distinguir alta y baja presión. Por lo tanto tenemos un manómetro para alta y otro para baja presión.

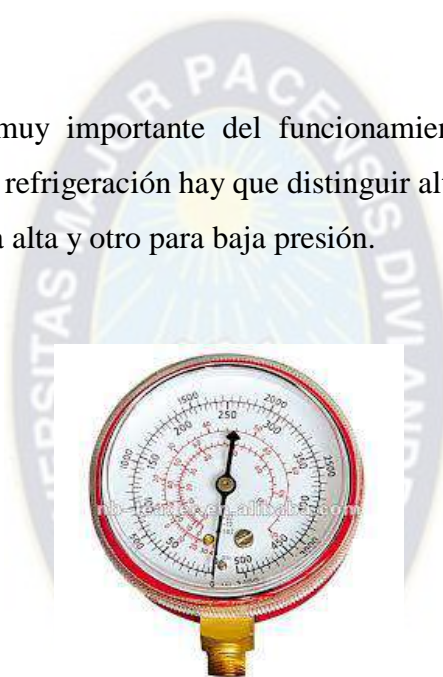


Figura 2.43 Manómetro de Alta Presión
(Fuente: <http://www.empresaunirefri.com>)



Figura 2.44 Manómetro de Baja Presión
(Fuente: <http://www.empresaunirefri.com>)

Los manómetros constituyen una herramienta principal del mecánico de servicio para comprobar el funcionamiento del sistema. En todos los sistemas de refrigeración realmente existen 2 tipos de manómetros de alta y baja presión.

Manómetro de alta presión figura 2.43 y manómetro de baja presión figura 2.44 permiten verificar que la maquina se encuentre en un rango de presiones aceptable para el correcto funcionamiento.

2.8.7. Sensor de Temperatura

Los sensores de temperatura o termostatos son un componente de un sistema de control simple, que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura. En los sistemas de refrigeración y aire acondicionado se usan del tipo lámina bimetálica, con la cual apagan o encienden el compresor.



Figura 2.45 Sensor de Temperatura
(Fuente: <http://www.fullgauge.com>)

Estos consisten en dos láminas de metal unidas, con diferente coeficiente de dilatación térmico. Cuando la temperatura cambia, la lámina cambia de forma actuando sobre contactos que cierran un circuito eléctrico. Pueden ser normalmente abiertos o cerrados, cambiando su estado inicial cuando la temperatura alcanza el valor para el que fue ajustado.

Existen otros tipos de termostatos como los que trabajan con parafina, gas, o que mayormente electrónicos, pero debido a que no tienen aplicación en sistemas de refrigeración simples no abarcaremos este tema.

2.9. Dispositivos Auxiliares

Filtro deshidratador

La aplicación de los desecantes en los sistemas de refrigeración se hace encapsulándolos en unos dispositivos mecánicos llamados filtros deshidratadores. Un filtro deshidratador está diseñado para mantener seca la mezcla de refrigerante y aceite, absorbiendo los contaminantes líquidos disueltos tales como humedad y ácidos, y también para retener por medio de filtración todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante.



Figura 2.46 Filtro Deshidratador
(Fuente: <http://blogquimobasicos.com>)

El uso de los filtros deshidratadores en los sistemas de refrigeración, es la mejor manera de proteger los componentes en el muy probable caso de que estos contaminantes estuvieran presentes en el sistema, ya que la válvula de expansión, el tubo capilar y el compresor, son los componentes más afectados por los contaminantes.

Indicadores de humedad

El indicador de líquido y humedad es un accesorio ampliamente utilizado en los sistemas de refrigeración, principalmente en refrigeración comercial y aire acondicionado. Es un dispositivo de metal con una mirilla de vidrio, que permite observar la condición del refrigerante. Anteriormente, se utilizaba como indicador de líquido únicamente, una simple mirilla. Posteriormente, surgió la idea de aprovechar esa ventana al interior para indicar humedad, y en la actualidad, todos los fabricantes lo hacen con ese doble propósito.

El indicador de líquido y humedad, es en realidad, la herramienta de mantenimiento preventivo más barata, que se puede instalar en el sistema de manera permanente. El indicador de líquido y humedad elimina la incertidumbre, de que el contenido de humedad

el sistema pueda estar debajo de un nivel seguro, o lo suficientemente alto para causar problemas. También indica si falta refrigerante al sistema, o si hay alguna caída de presión en la línea líquido.



Figura 2.47 Visor de Líquido
(Fuente: <http://empresaunirefri.com>)

2.10. Entrenador Didáctico

Es prácticamente un medio de uso didáctico el cual se encuentra diseñado para la utilización en escuelas, universidades e incluso empresas cuentan con este medio de enseñanza.

Un entrenador didáctico está diseñado y elaborado con la intención de facilitar un proceso de enseñanza y aprendizaje, es decir facilitar la enseñanza del catedrático y el aprendizaje del alumnado. Los materiales didácticos son los elementos que emplean los docentes para facilitar y conducir el aprendizaje de los alumnos.

También se consideran materiales didácticos a aquellos materiales y equipos que nos ayudan a presentar y desarrollar los contenidos y a que los alumnos trabajen con ellos para la construcción de los aprendizajes

Para que un Entrenador didáctico cumpla con su función principal de capacitación en Institutos, Universidades, incluso empresas es necesario vincularlo con la realidad, pues facilita el aprendizaje y es más auténtico y significativo. El proceso de aprendizaje probado requiere cierto contacto, de un periodo de tiempo prolongado a fin de hacer posible la aprehensión real y significativa de un hecho de estudio; con esta idea deben diseñarse los entrenadores didácticos.

Todo aprendizaje supone una construcción que se realiza a través de un proceso mental, y finaliza con la adquisición de un conocimiento nuevo.

La arquitectura que presenta un entrenador didáctico está basada en la configuración que se puede encontrar en los sistemas de los procesos industriales actuales. Esta característica, permite utilizarlo para crear escenarios de aprendizaje en el ámbito de la empresa y así contribuir a mejorar la formación de los alumnos al ofrecer la posibilidad de aprender en un ámbito más cercano a la realidad industrial actual.

2.10.1. Tipos de Entrenadores Didácticos

Los podemos encontrar para distintas áreas de la ciencia como ser:

- Área de la electrónica-eléctrica
- Área de la neumática
- Área de la refrigeración

2.10.2. Entrenador Electrónico

En la siguiente figura se muestra un entrenador del tipo electrónico el cual cumple la función de prácticas de laboratorio en electrónica, como ejemplo el estudio de circuitos básicos de electrónica analógica y digital. Se dispone de una serie de tarjetas con circuitos electrónicos y montados para su análisis por medio de un monitor de señales.



Figura 2.48 Entrenador didáctico electrónico
(Fuente: <http://www.promax.es.entrenadores-didacticos.com>)

El sistema didáctico electrónico es un equipamiento simple, orientado a los primeros pasos de cualquier estudiante en el campo de la electrónica, el conjunto es compacto de forma que los alumnos pueden iniciar sus estudios de una manera experimental.

2.10.3. Entrenador Neumático

Diseñado para realizar prácticas de laboratorio en el área de la neumática, de gran ayuda a institutos y universidades para la enseñanza de los estudiantes. Cuenta con válvulas, cilindros de doble y simple efecto el cual accionados por los pulsadores podremos ejecutar la acción que requerimos.

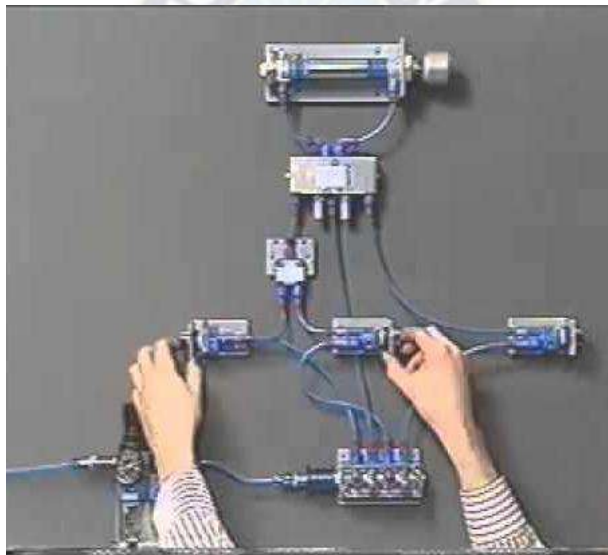


Figura 2.49 Entrenador Neumático didáctico
(Fuente: <http://www.promax.es.entrenadores-didacticos.com>)

2.10.4. Entrenador en Refrigeración

La siguiente figura 2.50 muestra un entrenador en refrigeración por compresión mecánica utilizando como fluido el gas ecológico R134a, el cual brinda apoyo al estudiante en su práctica experimental.

El cual cuenta con los cuatro elementos fundamentales de la refrigeración.



Figura 2.50 Entrenador en refrigeración
(Fuente: <http://tecnoedu.com.Refrigeracion>)

ENTRENADOR DE REFRIGERACION DE LABORATORIO

Equipo de procedencia inglesa fabricado por P.A. Hilton Ltd. Este equipo es un entrenador en refrigeración por compresión sobre mesa. La instrumentación del entrenador permite evaluar parámetros como temperatura y presión.

El equipo cuenta con un compresor recíprocante el cual es accionado con ayuda de un motor eléctrico, el gas utilizado en el equipo es el refrigerante ecológico R134a que a su paso por el compresor aumenta tanto su presión como temperatura, el refrigerante pasa al condensador enfriado por agua posteriormente pasa a través de una bobina en el interior del condensador, esto permite que el refrigerante se condense y pasa al control de flujo (válvula de expansión) este elemento reduce la presión que pasa al evaporador. En el evaporador el refrigerante absorbe el calor del espacio refrigerado y se evapora dando como resultado la disminución de su temperatura. Además cuenta con dos elementos de calefacción eléctrica ubicados sobre la tubería después de la válvula termostática de expansión.

El equipo cuenta con un watt-metro digital para medir la potencia del motor, varios termómetros digitales para lecturas de temperaturas en diferentes puntos así como un tacómetro para medir la velocidad del motor y medidores de presión en el condensador y evaporador.



Figura 2.51 Entrenador en refrigeración
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki.entrenadores.com>)

UNIDAD DE DEMOSTRACIÓN DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

El equipo opera con un compresor hermético el cual trabaja con el refrigerante R404a el refrigerante a su paso por el compresor aumenta su presión como temperatura en donde es tomado posteriormente por el condensador, el cual consiste en una cámara cerrada de vidrio con pared gruesa en donde se encuentra la inmersa una bobina de cobre.

El refrigerante se condensa en la superficie de la bobina y cae al fondo de la cámara. El calor emitido por el cambio de fase del refrigerante es transferido al agua que atraviesa el serpentín de refrigeración.

Posteriormente el tubo capilar controla el flujo de refrigerante hacia el que al igual del condensador es una cámara cerrada de vidrio donde se encuentra inmersa otra bobina de cobre, en el evaporador el refrigerante cambia de estado de líquido a vapor y pasa al compresor.



Figura 2.51 Entrenador en refrigeración
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki.entrenadores.com>)

La unidad didáctica cuenta con los elementos habituales a la refrigeración como ser un compresor del tipo hermético condensador, evaporador, tubo capilar t con dos manómetros en lado de alta y baja presión.



Figura 2.52 Entrenador en refrigeración (Tipo Split)
(Fuente: <http://es.m.wikipedia.org/wiki/entrenadores.com>)

La figura mostrada desarrolla el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado con unidad condensadora y evaporadora separados TIPO SPLIT pone de manifiesto la absorción de calor en ambientes a través del proceso físicos de cambios de estado de una sustancia refrigerante por condensación y evaporación.

En función de la distribución y ubicación de los componentes, instrumental y accesorios del equipo, permite comprender y estudiar en forma adecuada la generación del frío. El uso y aplicación de este entrenador lo ubica dentro del campo de la refrigeración.

CAPITULO 3

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1. Parámetros de Diseño

El objetivo principal del presente trabajo es el Diseño, Cálculo y Construcción de un Entrenador Didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión, para la realización de prácticas en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Carrera de Mecánica Industrial de la Facultad de Tecnología.

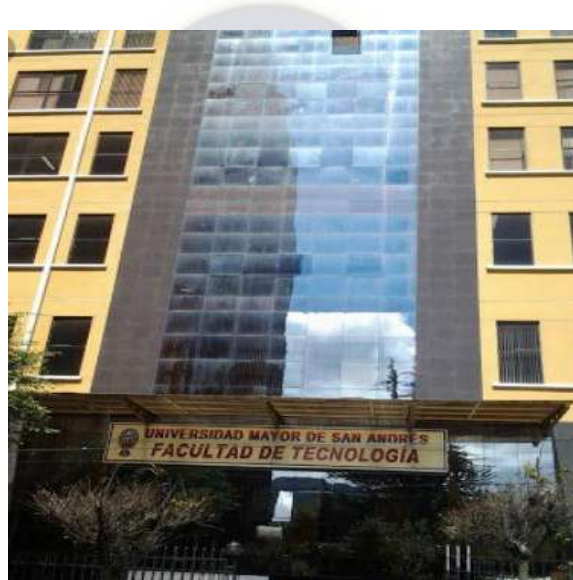


Figura 3.1 Facultad de Tecnología
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 3.2 Laboratorio de Máquinas Térmicas perteneciente a la carrera Mecánica Industrial
(Fuente: Elaboración Propia)

Para llevar a cabo el diseño del Entrenador Didáctico planteado anteriormente se tiene como parámetros iniciales los siguientes puntos:

- La unidad será situada en la ciudad de la Paz-Bolivia específicamente en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la carrera Mecánica Industrial de la Facultad de Tecnología, por lo tanto se tomara en cuenta una temperatura ambiente de 17°C (grados centígrados).
- Se trabajara con el refrigerante ecológico R134a debido a las propiedades químicas y físicas que presenta este tipo de refrigerante.
- El Entrenador contara con elementos habituales a la técnica de refrigeración, además contara con instrumentos de medición de presión y temperatura para la toma de datos experimentales permitiendo generar un análisis integral sobre los procesos del ciclo de refrigeración por compresión.
- El objetivo de diseño consiste en establecer el buen funcionamiento del sistema, logrando las temperaturas deseadas.

El sistema de refrigeración describe la siguiente secuencia al paso del refrigerante por los cuatro elementos principales:

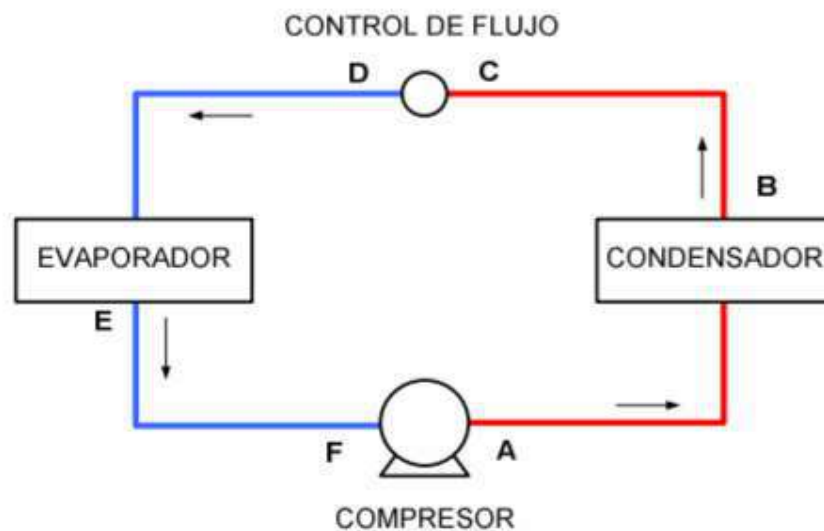


Figura 3.3 Ciclo de refrigeración
(Fuente: Elaboración Propia)

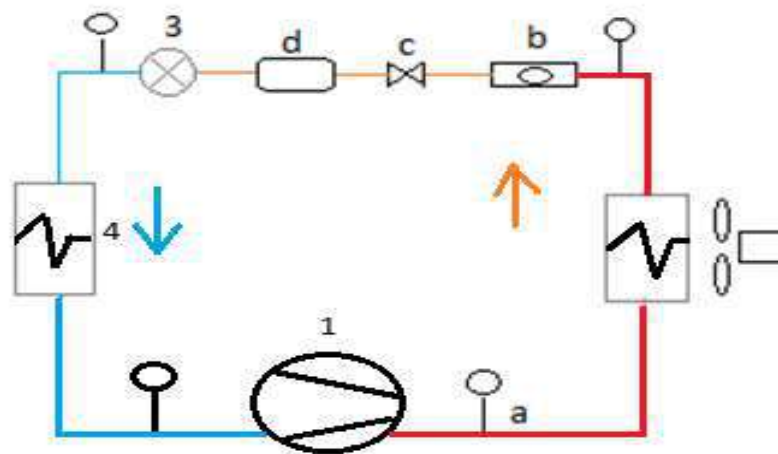


Figura 3.4 Ciclo de Refrigeración con los elementos principales y auxiliares
(Fuente: Elaboración Propia)

Esquema del entrenador didáctico con sus componentes principales:

- 1. Compresor
- 2. Condensador
- 3. Tubo capilar
- 4. Evaporador
- (a) Manómetros
- (b) Visor de líquido
- (c) Válvula de paso manual
- (d) Filtro deshidratador

La línea color Rojo indica presión de **ALTA** y la línea color Azul indica presión de **BAJA**.

3.1.1. Temperatura de Operación (Condensador - Evaporador)

a) temperatura y presión de condensación

Como ya sabemos la función del condensador es hacer que el fluido refrigerante que circula por su interior pierda calor y condense (se convierta en líquido). Para ello es preciso que por el exterior circule un fluido refrigerador, que pueda ser aire o agua, que sea el encargado de robarle calor del fluido refrigerante.

Para determinar la temperatura de condensación es preciso conocer el denominado salto térmico en el condensador (ΔT)

Para condensadores de aire el (ΔT) lo podemos determinar mediante la siguiente tabla.

Condensador	ΔT	Temperatura Condensación
Aire	10 a 20°C	Temperatura ambiente + 15°C
Agua	10 a 17°C	Temperatura del agua a entrada del condensador (13 a 15°C)



Tabla A-3 Salto térmico en condensadores enfriados por aire y agua
(Fuente: Principios de Refrigeración, Roy Dossat)

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente determinamos la temperatura de condensación con un $\Delta T = 15^\circ\text{C}$.

La temperatura de condensación se encuentra en el lado de alta presión y se lo determinara mediante la siguiente expresión:

$$T.\text{cond.} = T.\text{amb.} + \Delta T \quad (\text{Ec. 1})$$

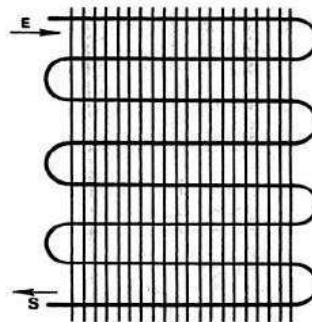


Figura 3.5 Condensador tipo Serpentin
(Fuente: <http://refrigeracionner.com>)

T.cond: Temperatura de Condensación T°C

T.amb: Temperatura ambiente exterior T°C

Ecuación 1. Temperatura de condensación, Guía Práctica de Refrigeración (José de la Oliva Carmona)

ΔT : Salto térmico en el condensador se toma un valor entre 10 a 20°C

Tomando los datos de la tabla de la temperatura ambiente en la ciudad de La Paz se determinó trabajar con una temperatura ambiente teórica de 17°C

CIUDAD (T. AMBIENTE)	TEMPERATURA (°C)
La Paz	16-18
El Alto	14-16
Zona Sur	18-20



Tabla A-4 Temperaturas ambientes
(Fuente: Elaboración Propia)

Entonces la temperatura de condensación lo hallamos utilizando la Ecuación (1)

$$T. cond. = T. amb. + \Delta T$$

$$T. cond. = 17^{\circ}C + 15^{\circ}C$$

$$T. cond. = 32^{\circ}C$$

Una vez determinada la temperatura de condensación, para averiguar la presión de condensación, que es denominada la presión a la cual el refrigerante cambia de estado, debemos trazar la línea correspondiente a la temperatura de condensación en el diagrama presión-entalpía del refrigerante que utilizaremos en nuestro sistema en este caso el refrigerante ecológico R134a. La presión absoluta la podemos ver directamente en el diagrama p-h.

La presión para esta temperatura de acuerdo al diagrama p-h del R134a será:

Presión de condensación:

$$P. cond = 7.8 Bar$$

B) temperatura y presión de evaporación

La temperatura de evaporación se encuentra en el lado de baja presión del sistema y se lo determina mediante la siguiente expresión:

$$T_{evap} = T_{recinto} - DT \quad (Ec.2)$$

DT: Es el salto térmico en el evaporador, se encuentra en función de la humedad relativa que requiera el producto a conservar y el tipo de evaporador convección forzada o natural.

Para nuestro caso tomaremos el dato de un producto como el carnero fresco que debe conservarse a las siguientes condiciones:

Temperatura del recinto de: 0°C con una Humedad relativa de 82% convección natural.



Figura 3.6 Evaporador de aletas convección natural
(Fuente: Elaboración Propia)

Para determinar DT, utilizamos un gráfico de la figura:

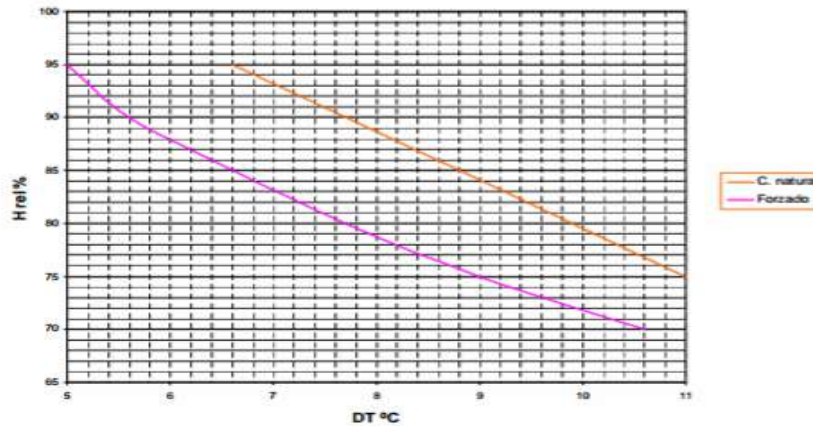


Figura 3.7 Determinación de (DT)
(Fuente: Guía práctica de refrigeración, José de la Oliva)

Ecuación 2. Temperatura de evaporación, Guía Práctica de Refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Para Mantener una humedad en la cámara de 82% con un evaporador de convección natural, el DT debe ser de 10°C.

T.evap: Temperatura de evaporación del refrigerante T°C

T.recinto: Temperatura interna de la cámara en el evaporador T°C

Entonces la temperatura de evaporación lo hallamos mediante la ecuación: (2)

$$T.evap = T.recinto - DT$$

$$T.evap = 0^{\circ}C - 10^{\circ}C$$

$$T.evap = -10^{\circ}C$$

De la misma forma hallamos la presión de evaporación, para esta temperatura en el diagrama p-h del R134a.

La presión de evaporación será:

$$P.evap = 2 \text{ Bar}$$

Con los valores obtenidos anteriormente podemos hallar las entalpías en el diagrama p-h del refrigerante R134a

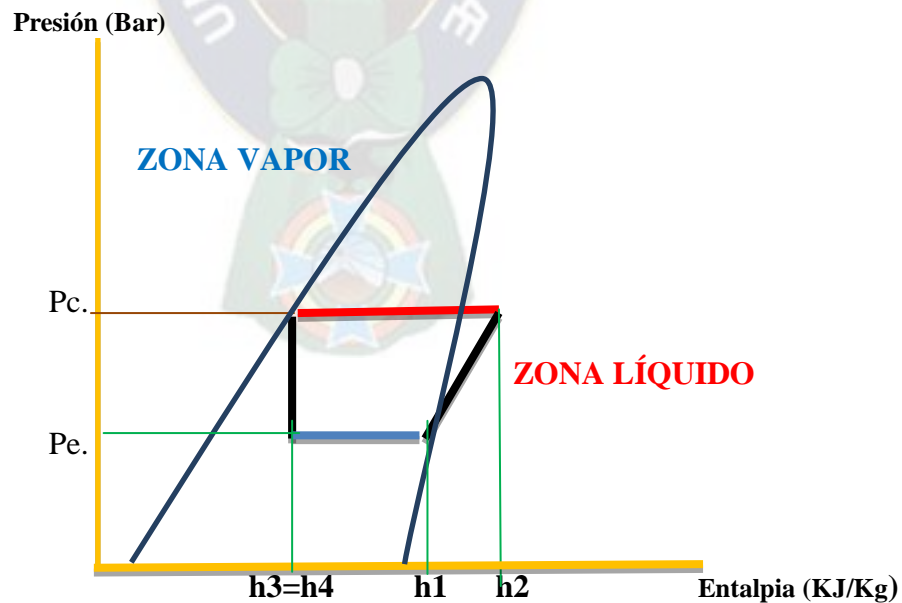


Figura 3.7 Esquema ciclo teórico de Refrigeración
(Fuente: Elaboración Propia)

Las entalpías específicas serán:

$$h_1 = 398(\text{KJ/Kg})$$

$$h_2 = 440(\text{KJ/Kg})$$

$$h_3 = 230(\text{KJ/Kg})$$

$$h_4 = 230(\text{KJ/Kg})$$

3.1.2. Capacidad del Sistema

También llamado carga de enfriamiento, tomando en cuenta que el entrenador tiene fines didácticos, se tomó como dato la capacidad de un sistema de refrigeración del tipo comercial que oscila entre los valores:

Valores estimados de capacidad para Refrigeración

Refrigeración Domestica	Menor a 250 (Kcal/h)
Refrigeración Comercial	Entre 250 – 25000 (Kcal/h)
Refrigeración Industrial	Mayor a 25000 (Kcal/h)



Tabla A-5 Capacidades en Refrigeración
(Fuente: Principios de Refrigeración, Roy Dossat)

$$Q_e = 300 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_e = m \times ER$$

(Ec.3)

Dónde:

Q_e: Capacidad del sistema (Kcal/h)

m: Flujo másico o caudal másico del refrigerante (Kg/s)

ER: Efecto refrigerante producido en el evaporador (KJ/Kg)

Ecuación 3. Capacidad del sistema, Guía Práctica de Refrigeración (José de la Oliva Carmona)

3.2. Cálculos y Selección de Componentes

Para el presente proyecto de la unidad didáctica de refrigeración por compresión, se contara aparte de los elementos principales que son:

- Compresor
- Condensador
- Control de flujo
- Evaporador

Se contara con elementos Auxiliares con el fin de poder realizar prácticas de laboratorio tomando datos de presión y temperatura los cuales detallamos a continuación:

Elementos de Control

Visor de líquido

Filtro deshidratador

Válvula de paso manual

Instrumentos de medición

Manómetros de alta presión

Manómetros de baja presión

Termómetro digital

Termostato

3.2.1. Selección del Compresor

El compresor es el dispositivo encargado de hacer circular el refrigerante por la instalación con el caudal adecuado, por lo tanto hay que determinarlo de manera correcta.

En primer lugar hay que tener claro los datos que debemos conocer del compresor para posteriormente poder seleccionarlo de los catálogos, los más importantes a tener en cuenta son:



a) **Volumen de barrido (Vb)** Uno de los datos más importantes es averiguar el volumen de refrigerante que debe mover nuestro compresor para que proporcione la carga de enfriamiento necesaria. A este volumen lo denominaremos volumen de barrido,

b) **El rango de temperaturas en el que trabajara (Congelación o Conservación)** Ya que hay compresores que están diseñados para trabajar a bajas, medias y altas temperaturas.

Cálculo del volumen de Barrido (Vb)

Para el cálculo del volumen de barrido es necesario conocer:

- Los valores de entalpia de los puntos característicos del sistema, datos que determinamos al trazar el ciclo de refrigeración p-h.
- El volumen específico del refrigerante en el punto de aspiración.
- Carga de enfriamiento del sistema o potencia frigorífica.

Entonces debemos determinar en primer lugar:

a) El efecto refrigerante por unidad de masa

Representa la cantidad de calor que se capta en el evaporador por cada Kg de refrigerante que circula por él. Es la diferencia de entalpias entre los puntos de salida y entrada del refrigerante al evaporador es decir:

$$ER = h1 - h4 \quad (Ec.4)$$

Dónde:

ER : Efecto refrigerante (KJ/Kg)

h1 : Entalpia a la salida del evaporador (KJ/kg)

h4 : Entalpia a la salida del control de flujo (tubo capilar) (KJ/kg)

$$ER = 398 \frac{KJ}{Kg} - 230 \frac{KJ}{Kg}$$

$$ER = 168 \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

Ecuación 4. Efecto refrigerante, Guía Práctica de Refrigeración (José de la Oliva Carmona)

b) Caudal másico del refrigerante

Es la cantidad de refrigerante (kg/h) que debe circular por el evaporador para producir la potencia frigorífica que se necesita. El responsable de hacer circular esa cantidad de refrigerante es el compresor y debe tener algunas dimensiones adecuadas para ello. El caudal másico (m) es el cociente entre la potencia frigorífica del sistema, y la producción frigorífica o efecto refrigerante (ER)

$$m = \frac{Q_e \frac{Kj}{h}}{ER \frac{Kj}{Kg}} \quad m = \frac{Q_e}{h1 - h4} \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$Q_e = 300 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_e = 300 \frac{kcal}{h} \times \frac{4,1868Kj}{1kcal} = 1256,04 \left[\frac{Kj}{h} \right]$$

ahora hallamos el valor de m

$$m = \frac{1256,04 \frac{Kj}{h}}{168 \frac{Kj}{Kg}} = 7,476 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$m = 7,476 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

c) Volumen de refrigerante aspirado por el compresor (Va)}

En el punto anterior determinamos el caudal másico que debe circular por el sistema. Sin embargo es compresor es considerado una maquina volumétrica por lo tanto para poder seleccionarlo, necesitamos conocer los m³/Kg de refrigerante que debe mover en las condiciones de funcionamiento.

El caudal volumétrico que aspira el compresor depende del volumen específico que tenga el gas en el punto de aspiración.

Para determinar el volumen aspirado (Va), debemos tomar el dato de volumen específico del vapor en el punto de aspiración.

$$V_a = m \times V_{\text{especifico}} \left[\frac{m^3}{Kg} \right] \quad (\text{Ec.5})$$

El volumen específico es considerando un recalentamiento de 10°C en el punto de aspiración:

$$V_{\text{especifico}} = 0,105 \frac{m^3}{Kg}$$

Este dato se lo determino mediante el diagrama p-h.

Ahora remplazamos datos:

$$V_a = 7,476 \left[\frac{Kg}{h} \right] \times 0,105 \left[\frac{m^3}{Kg} \right]$$

$$V_a = 0,78 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

El volumen de barrido será:

$$V_b = \frac{V_a}{\eta_v} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde:

V_a: Volumen de refrigerante aspirado por el compresor

η_v: Rendimiento volumétrico del compresor

Pero:

El rendimiento volumétrico está influenciado por la relación de compresión (RC) sobre todo en los compresores de pistón.

Mediante la siguiente expresión podemos determinar de manera aproximada el rendimiento volumétrico del compresor

Dónde:

RC: es la relación de compresión de la presión de condensación y la de evaporación

Ecuación 5. Volumen aspirado, Principios de Refrigeración, Roy Dossat

Ecuación 6. Volumen aspirado, Principios de Refrigeración, Roy Dossat

$$\eta_{vol} = 1 - 0.05 \times Rc \quad (Ec.7)$$

$$Rc = \frac{P.condensacion}{P.evaporacion} \quad (Ec.8)$$

Remplazamos datos:

$$Rc = \frac{8,1}{2} = 4,05$$

$$Rc = 4,05$$

El rendimiento volumétrico de nuestro compresor será:

$$\eta_{vol} = 1 - 0.05 \times 4,5$$

$$\eta_{vol} = 0,80$$

$$\eta_{vol} = 80\%$$

Finalmente el volumen de barrido que debe aspirar nuestro compresor será:

$$Vb = \frac{Va \left[\frac{m^3}{h} \right]}{\eta_v}$$

$$vb = \frac{0,78 \frac{m^3}{h}}{0,80}$$

$$vb = 0,978 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Es decir que para hacer circular **0,78 (m3/h)** en el sistema el compresor debe ser capaz de mover **0,975 (m3/h)**

c) tipo de compresor hermético o semihermetico abierto alternativo, etc.

El compresor seleccionado por estar involucrado a un sistema de refrigeración del tipo comercial debe ser un compresor de Pistón.

Ecuación 7. Rendimiento volumétrico, Refrigeración comercial Nivel III

Ecuación 8. Relación de compresión, Refrigeración comercial Nivel III

3.2.2. Potencia del compresor

Para poder determinarlo debemos conocer el equivalente al trabajo de compresor (W_c) que lo determinamos por la diferencia de entalpías entre la descarga del compresor y la aspiración.

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (Ec.9)$$

Dónde:

h_2 : Entalpia a la salida del compresor (KJ/kg)

h_1 : Entalpia a la salida del evaporador (KJ/kg)

Remplazando valores de entalpia tendremos (W_c)

$$w_c = h_2 - h_1$$

$$w_c = 440 \frac{Kj}{Kg} - 398 \frac{Kj}{Kg}$$

$$w_c = 42 \frac{Kj}{Kg}$$

La potencia del compresor teórica está dada por la siguiente expresión:

$$P_c = w_c \times m \quad (Ec.10)$$

Dónde:

P_c : Potencia del compresor teórica (KW)

w_c : Trabajo del compresor (KJ/kg)

m : Flujo másico (Kg/h)

Remplazando datos determinamos la potencia teórica del compresor:

Ecuación 9. Trabajo de compresión, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Ecuación 10. Potencia del compresor, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

$$P_c = w_c \times m$$

$$P_c = 42 \frac{KJ}{Kg} \times 7,476 \frac{Kg}{h}$$

$$P_c = 314 \left[\frac{KJ}{h} \right]$$

$$P_c = 0.087(KW)$$

Ahora determinamos la potencia real de compresión

La potencia real para la compresión será:

$$P_{real} = \frac{P_c}{\eta_{vol}} \quad (Ec.11)$$

$$P_{real} = \frac{0,087(KW)}{0,80}$$

$$P_{real} = 0,108(KW)$$

Potencia del motor eléctrico del compresor (P)

Es la potencia que debe tener el motor eléctrico para que el compresor que arrastra proporcione la carga de enfriamiento prevista. Hay que indicar que si eligiéramos la potencia teórica no sería la ideal y no sería capaz de hacer funcionar el sistema de acuerdo a lo previsto. Esto se debe que existen una serie de pérdidas, que hacen que el rendimiento del motor no sea al 100%. Las pérdidas más importantes a tener en cuenta son:

Pérdidas Mecánicas

En todos los compresores hay pérdidas mecánicas ocasionados por rozamientos internos entre piezas, transmisiones, etc., que hacen que el rendimiento mecánico (η_{mec}) no sea del 100%.

Ecuación 11. Potencia real del compresor, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Pérdidas Eléctricas

Los motores eléctricos también tienen pérdidas y por lo tanto su rendimiento, aunque es alto, no es del 100%. El rendimiento de un motor eléctrico (η_{elec}) suele estar en los siguientes valores que se muestra a continuación.

El rendimiento mecánico y eléctrico lo hallamos por tabla de rendimientos aproximados según la relación de compresión R.

$\left[\frac{P_{con}}{P_{evap}} \right]$	$\eta[Mec]\%$	$\eta[Elec]\%$
2	85 a 93	85 a 95
4	85 a 93	85 a 93
6	85 a 93	85 a 90

Tabla A-6 rendimientos aproximados

Fuente: Compresores Energéticos, P. Fernández Diez

Ahora hallamos la potencia eléctrica (P)

$$P = \frac{P_{real}}{\eta_{mec} \times \eta_{elec}} = \frac{0,108(KW)}{0,88 \times 0,9} = 0,136 (KW)$$

$$P = 0,136(KW)$$

$$P = 0,185(HP)$$

$$P = 1/4 (HP)$$

Tomando en cuenta la potencia eléctrica del compresor se selecciona el siguiente compresor con las siguientes características:



Figura 3.8 Compresor Seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

El siguiente compresor presenta los siguientes parámetros de fabricación:

1. Tipo: compresor Reciproco (Monofásico)
2. Refrigerante: R134a
3. Voltaje y frecuencia nominal: 220v / 50Hz
4. Temperatura de evaporación: (-10°C)
5. Elemento de control de flujo: Tubo capilar
6. Volumen de barrido: 0,975 (m³/h) ; flujo másico: 7,476(Kg/h)
7. Potencia 1/4 (HP)

3.3. Refrigerante Seleccionado

Como anteriormente mencionamos el sistema trabajara con el refrigerante ecológico R134a utilizado en refrigeración doméstica y comercial, remplazo ecológico del R-12, debido a las propiedades químicas que posee este gas y al ser un refrigerante ecológico que no contribuye a la destrucción de la capa de ozono. Es un compuesto puro que tiene versatilidad y fácil manejo, es actualmente utilizado en la mayoría de heladeras domésticas y comerciales.

Se determinó usar este tipo de refrigerante para la unidad didáctica por las razones indicadas anteriormente, a continuación algunas características y aplicaciones del R 134A

1. Denominación comercial: R134a
 - La letra R mayúscula indica que es un refrigerante.
 - El primer número comenzando por el lado izquierdo representa el número de átomos del carbono menos 1.
 - El segundo número de izquierda a derecha indica el número de átomos del Hidrogeno más 1.
 - El tercer número de la izquierda a derecha determina el número de átomos del flúor del compuesto.
 - La letra minúscula denota isómero específico (Formulación molecular)

2. N° ASHRAE del gas: R134a
3. Fórmula química: HFC formado por: 100% de R134a
4. Sustituto indirecto del R12.

Aplicaciones:

1. Aire acondicionado automotor.
2. Heladeras familiares y comerciales.
3. Para media y alta temperatura de evaporación
4. Lubricante: Aceite poliéster
5. Temperatura de ebullición: a 1Atm = 1,013 bar -26.1°C
6. Destrucción de capa de ozono: ODP = 0
7. Clasificación de seguridad: No tóxico, ni explosivo.
8. El gas refrigerante R134a, es un HFC que sustituye al R12 en instalaciones nuevas. Como todos los refrigerantes HFC no daña la capa de ozono. Tiene una gran estabilidad térmica y química, una baja toxicidad y no es inflamable, además de tener una excelente compatibilidad con la mayoría de los materiales.
9. Refrigeración comercial.
10. Refrigeración doméstica.

LUBRICANTE

• POE Poliol Ester de la familia de los aceites sintéticos. es un aceite lubricante de composición Poliol Ester, sintético con elevada estabilidad química y térmica, gracias a su buena miscibilidad con los refrigerantes, son la elección más indicada para aplicaciones con el refrigerantes ecológicos R134a.

BENEFICIOS

1. Es seguro y fácil de usar.
2. Es un refrigerante de uso normal en el aire acondicionado automotriz y sistemas de refrigeración.

3. Facilidad de servicio: se puede completar repetidamente fuga tras fuga.

De acuerdo a lo establecido en las normas y protocolo de Montreal, las leyes prohíben utilizar refrigerantes que contribuyan a la contaminación del planeta, es decir que no sean llamados ecológicos, tomando en cuenta este tema de vital importancia se seleccionó un compresor que trabaje con el refrigerante ecológico R134(a).



Figura 3.9 Refrigerante ecológico seleccionado
(Fuente: <http://wikipedia.wikirefrigerantes.com>)

3.3.1. Selección del Condensador

Para su selección se tomara en cuenta la potencia del compresor, el material y el tipo de enfriamiento por aire o por convección forzada, como parámetros esenciales.

- Potencia del compresor
- Material
- Tipo de enfriamiento (convección forzada por un ventilador)

Debemos asegurar su eficiencia para la disipación de calor.



Figura 3.10 Condensador por convección forzada por un ventilador
(Fuente: <http://refrigeracionner.com>)

Características Técnicas del Condensador Seleccionado.

CONDESADOR	CARACTERISTICAS
Marca	ELGIN
Modelo	CDA-2776
Refrigerante	R134a
Potencia del compresor	1/4HP
Material	ALUMINIO
T° de Condensación	40°C

Tabla A-7 Datos técnicos del condensador
(Fuente: Elaboración Propia)

El calor eliminado en el condensador será:

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (\text{Ec.12})$$

Dónde:

q_c : Calor eliminado en el condensador (KJ/Kg)

h_2 : Entalpia del vapor sobrecalentado en el punto de estado (KJ/Kg)

h_3 : Entalpia del líquido saturado, en el punto de estado (KJ/Kg)

$$q_c = 440 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 230 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 210 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_c = 210 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

La energía equivalente debido al trabajo mecánico en el compresor (W_c). Será

$$Q_c = q_c + W_c \quad (\text{Ec.13})$$

Ecuación 12. Calor eliminado del compresor, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Ecuación 13. Energía equivalente al trabajo del compresor, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Dónde:

Q_c: Energía equivalente al trabajo del compresor (KJ/Kg)

$$Q_c = 210 \frac{KJ}{Kg} + 42 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = 252 \frac{KJ}{Kg}$$

3.3.2. Material del Condensador

- Tubos de aluminio
- Aletas de aluminio
- Ocho aletas por pulgada

3.3.3. Tipo de Enfriamiento Adecuado para el Condensador

Si hablamos con un enfoque comercial e industrial el mejor medio de enfriamiento para el condensador es el de convección forzada por un motor ventilador, por otro lado el condensador enfriado por aire natural es el más utilizado en refrigeración doméstica. En nuestro caso la unidad didáctica comprende la capacidad de un frigorífico comercial tomando en cuenta este punto el condensador será por enfriamiento por convección forzada con un ventilador de 1/8 hp el cual podremos controlar a través de un interruptor de paso de energía, de tal manera que podremos experimentar los dos casos mencionados anteriormente.



Figura 3.11 Motor ventilador del condensador
(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.4. Aplicación del Condensador

La principal aplicación es en sistemas de refrigeración industrial y comercial, también en aire acondicionado.

3.4. Selección de Tuberías de Unión de los Elementos

La tubería apropiada para el sistema de refrigeración es tan esencial para la operación exitosa, así como lo son las venas y arterias para nuestro cuerpo.

Las tuberías de cobre son las más utilizadas en unidades de refrigeración y calefacción debido a su conductividad de calor, pero también debemos considerar otras propiedades las cuales tomaremos en cuenta para la selección.

1. Durabilidad

Son capaces de soportar las más duras condiciones de presión y temperatura, poseen una larga vida útil, superando el paso del tiempo.

2. Instalación

Sencillez, rápida y limpia.

Se adaptan a cualquier estructura y espacio disponible

Su reducido peso facilita la manipulación

Permite instalaciones sin necesidad de emplear un alto número de uniones y codos.

Excelente resistencia a la presión

Poseen una alta calidad superficial.

3. Resistencia

Poseen una alta resistencia a la corrosión. No forman costras voluminosas de óxido u otros compuestos que puedan obstruir el paso de los fluidos.

Resistentes a posibles ataques externos.

4. Seguridad

Debido a que el cobre es un metal no inflamable, ante un posible incendio, las tuberías no propagan las llamas, ni se consumen. E incluso, son capaces de seguir transportando los fluidos.

Las tuberías de cobre soldadas son impermeables y altamente permeables a productos químicos dañinos del ambiente en el que se encuentran.

En el mercado existen dos tipos de tubería que son:

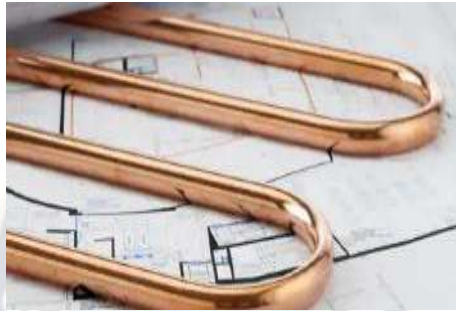


Figura 3.12 Tubería de cobre tipo flexible
(Fuente: <http://www.dincorsa.com>)



Figura 3.13 Tubería de cobre tipo rígido
(Fuente: <http://www.dincorsa.com>)

3.4.1. Diámetro Exterior e Interior

Para el presente trabajo se utilizara la tubería del tipo flexible, y con dos dimensiones de diámetro diferente

REFRIGERANTE	DIAMETRO ASPIRACIÓN	DIAMETRO DESCARGA
REFRIGERANTE R134a	5/16	1/4
REFRIGERANTE R404a	3/4	3/8

Tabla A-8 Diámetros para refrigerantes ecológica
(Fuente: Elaboración Propia)

Cuando la sección de una tubería se reduce en las tuberías la velocidad aumenta ya que tiene que pasar el mismo caudal pero por menos espacio y la presión disminuye.

El diámetro en la aspiración es mayor que el diámetro de descarga, entonces la velocidad en la tubería de aspiración será menor que la tubería de descarga.

- Tubería de descarga : 1/4 “
- Tubería de aspiración : 5/16 “

3.4.2. Material de Fabricación de las Tuberías

Los materiales más frecuentemente usados en tuberías de refrigeración son el acero, hierro dulce, cobre y latón. Todos estos son apropiados para usarse con todos los refrigerantes comunes, excepto el cobre y el latón que no pueden ser usados con el amoníaco, debido a que en presencia de humedad, el amoníaco ataca a los metales no ferrosos.

Para tener un buen acople mecánico se debe emplear solamente tubos de cobre aprobados para refrigeración.

La tubería de cobre tiene gran ventaja al ser de peso ligero, resistente a la corrosión y de fácil instalación que el acero



Figura 3.14 Tubería de cobre tipo flexible seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

3.4.3. Tipo de Soldadura a Utilizar para las Uniones

La soldadura apropiada para esta tubería es la oxiacetilénica con varilla de plata y fundente, que se compone de un 30% de plata, cobre, zinc y estaño. La temperatura de fusión va desde unos 655°C hasta cerca de los 755°C.



Figura 3.15 Unión de tuberías por soldadura
(Fuente: <http://empresaunirefri.com>)

Solamente se conseguirá una buena unión en superficies metálicas limpias y no oxidadas.

La soldadura de plata o de aleaciones de plata es ampliamente utilizada en la industria de la refrigeración, ya que tienen alta resistencia a la corrosión, a pruebas de vibración y pruebas de fugas.

3.5. Accesorios

La tubería que será utilizada en la instalación de los elementos del sistema es del tipo flexible en el cual solo se necesitara cuatro accesorios tipo T, se lo instalara en la ubicación de los manómetros de baja y de alta, estos accesorios son de unión por rosca.

3.6. Selección del Evaporador

En este elemento del sistema el fluido refrigerante ya expandido entra en el evaporador a la presión y temperatura necesaria para que efectúe el enfriamiento del medio que lo rodea.

De la misma manera que se seleccionó el compresor y el condensador para la unidad didáctica, seleccionamos el evaporador en el cual encontraremos el lado de baja presión del sistema. Para su selección tomaremos en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura de evaporación : (-10°C)

- Tipo de convección forzada o natural : (Natural)
- Capacidad del sistema : 300 (Kcal/h)
- Capacidad frigorífica en el evaporador: 168 (KJ/Kg)

Los cálculos se lo realizaran mediante el diagrama p-h.

La capacidad frigorífica en el evaporador será el efecto refrigerante (ER) hallado anteriormente

$$ER = 168 \frac{KJ}{Kg}$$

3.6.1. Material del Evaporador

Formado por un serpentín de tubería de aluminio, a la cual se le aplican aletas del mismo material para aumentar así la transmisión de baja temperatura al recinto que deseamos enfriar.

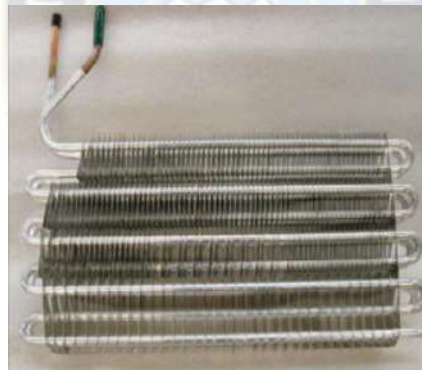


Figura 3.16 Evaporador de aletas seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

Los tubos lisos pueden ser de acero cuando se utiliza el refrigerante R717 y se suelen encontrar en evaporadores de grandes capacidades. Para nuestro caso el evaporador empleado será de material de aluminio.

3.6.2. Aplicación del Evaporador

Se tomara en cuenta un evaporador de serpentín de tubo liso con aletas de aluminio de aplicación comercial.

3.7. Selección del Control de Flujo

A partir del catálogo del compresor se seleccionó como elemento de expansión un tubo capilar que es una conducción de fluido muy estrecha y de pequeña sección circular. Su nombre se origina por la similitud con el espesor del cabello. Pueden estar hechos de distintos materiales: cobre, aleaciones, etc., en función de su uso o aplicación.

Tiene uso en sistemas de refrigeración, es el caso más sencillo de dispositivo de expansión, pues consiste únicamente en un tubo de pequeño diámetro (generalmente de cobre) que actúa reteniendo el flujo de líquido refrigerante, la expansión se realiza a su salida al conectarlo al tubo que va hacia el evaporador.



Figura 3.17 Control de flujo seleccionado (tubo capilar)
(Fuente: Elaboración Propia)

También se tomaron en cuenta para su selección las ventajas que presenta este elemento en relación a otros elementos de expansión.

- Sencillez

Fiabilidad no tiene piezas móviles

- Facilidad de reparación
- Económico
- Uso en sistemas de refrigeración doméstico y comercial.

3.7.1. Dimensionamiento

Mediante el uso de tablas se seleccionó el diámetro y longitud del TUBO CAPILAR que se encuentra en función de la potencia del compresor.

(HP)	METROS	CAPILAR
1/6	3,6	0.31
1/5	2,2	0.31
1/4	3,6	0.36
1/3	3,0	0.36

Tabla A-9 Dimensionamiento del capilar
(Fuente: Elaboración Propia)

3.7.2. Diámetro y Longitud del Arrollamiento

Tomando en cuenta la tabla anterior se seleccionó un capilar de diámetro: 0.36 y longitud de 3,6 metros correspondiente a la potencia de ¼ HP del compresor.

3.8. Selección del Filtro Deshidratador

La selección del filtro deshidratador basaremos principalmente en la capacidad de enfriamiento, tipo de refrigerante diámetro de la tubería donde será instalado y el tipo de conexión.



Figura 3.18 Filtro deshidratador seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

El filtro deshidratador será instalado en la zona de líquido a alta presión, de tubería de ¼” la conexión se la efectuará por medio de soldadura.

3.9. Selección del Visor de Líquido

Para poder observar el paso del refrigerante a través del sistema se determinó necesario añadir un elemento usado en refrigeración cuyo objetivo es brindar información sobre la falta o ausencia de refrigerante el cual lo podremos observar a través del siguiente

componente denominado visor de líquido o mirilla. La selección del indicador de líquido basaremos principalmente en el tipo de refrigerante R134a, diámetro de tubería y conexión.



Figura 3.19 Visor de líquido seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

1. Conexión por soldadura
2. Tubería 3/8"
3. Refrigerante ecológico R134a

Ubicación a la salida del condensador zona de líquido a alta presión.

3.10. Selección de los Manómetros

En este caso seleccionamos dos manómetros de alta y dos manómetros de baja, basándonos en el tipo de refrigerante a utilizar en el sistema, además de brindarnos lectura sobre la temperatura de evaporación y condensación las cuales presentan las siguientes características:

1. Refrigerante : Este instrumento puede trabajar con los siguientes refrigerantes R134a R404a y R 407
2. Presión :PSI (0-140) y BAR (0-10) manómetro de baja
3. Presión :PSI (0-400) y BAR (0-30) manómetro de alta
4. MARCA : REFCO clase 1,6



Figura 3.20 Manómetro seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

3.11. Selección del Termostato Electrónico

El termostato electrónico cumple la función de paro del motor compresor por temperatura, debe seleccionarse de acuerdo a su aplicación aire acondicionado o refrigeración.

El termostato seleccionado tiene las siguientes características:

1. Aplicación:

- Hornos
- Calefacciones
- Cámaras
- Refrigeradores comerciales

2. Ciclos de control: frio calor

3. Rango de temperaturas de control: [-50 hasta 100°C]

4. Alimentación eléctrica: [115 o 230 VAC(50 – 60 Hz)]



Figura 3.21 Termostato de control de temperatura seleccionado
(Fuente: Elaboración Propia)

Adicionalmente se adquirió un termómetro digital, el cual nos ayudará a efectuar mediciones de recalentamiento y subenfriamientos en el sistema.

El cual presenta las siguientes características:

- **Aplicación:** Refrigeración – Calefacción
- **Rango de temperatura:** (-50 °C a 300°C)



Figura 3.22 Termómetro digital
(Fuente: Elaboración Propia)

Calculo de los principales parámetros del ciclo de refrigeración

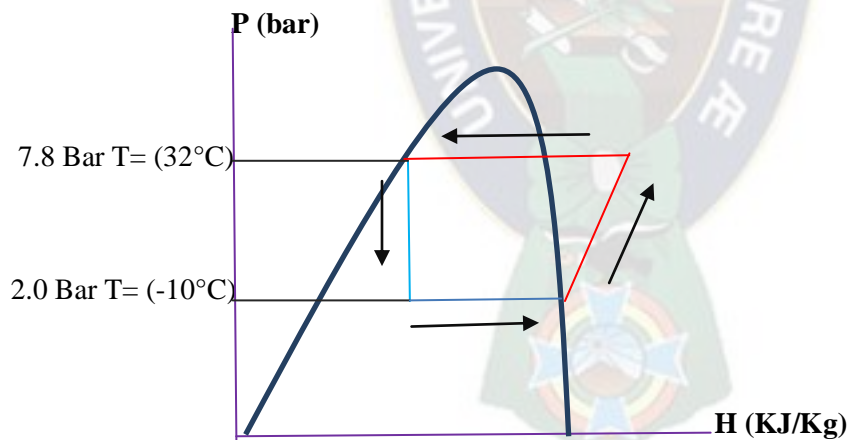


Figura 3.23 Dato obtenido diagrama p-h
(Fuente: Elaboración Propia)

En el diagrama mostrado tenemos los siguientes valores de presión y entalpía

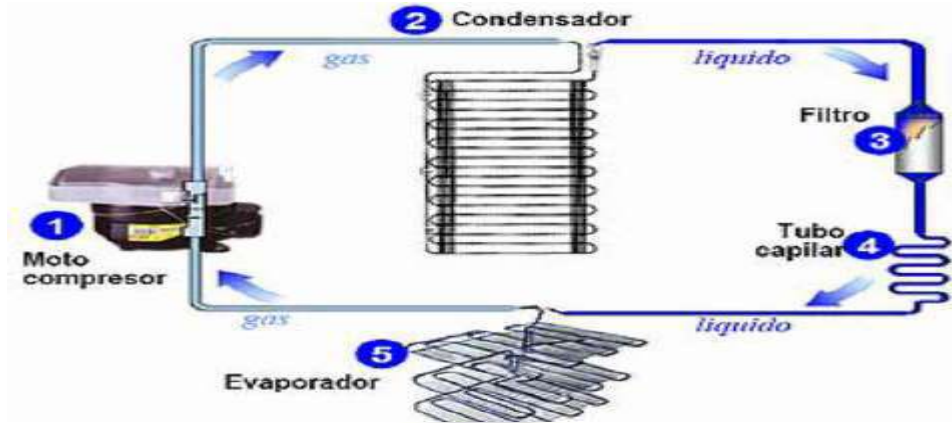


Figura 3.24 Paso del refrigerante en el sistema
(Fuente: <http://guiapracticaderefrigeracion.com>)

Calculo del coeficiente de funcionamiento del ciclo de refrigeración de Carnot, se debe usar las temperaturas en °K

$$COP = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}} > 1 \quad (Ec.14)$$

$$COP = \frac{263(^{\circ}K)}{305(^{\circ}K) - 263(^{\circ}K)} > 1$$

$$COP = 6,26 > 1$$

Cálculo del coeficiente de eficiencia energética

El coeficiente de energía energética o coeficiente de rendimiento es la relación entre el frío que produce la máquina y la energía consumida para ello.

$$cop = \frac{h1 - h4}{h2 - h1} \text{ (adimensional)} \quad (Ec.15)$$

$$cop = \frac{168 \frac{KJ}{Kg}}{42 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$cop = 4$$

Ecuación 14. Coeficiente del ciclo de refrigeración, Conversión de Energía (Ing. Caracciolo Gómez)

Ecuación 15. Coeficiente de eficiencia energética, Conversión de Energía (Ing. Caracciolo Gómez)

Con los dos resultados anteriores podemos determinar el rendimiento del ciclo de refrigeración:

$$\eta = \frac{cop}{COP} \quad (Ec.16)$$

$$\eta = \frac{4}{6,26}$$

$$\eta = 0,64 = 65\%$$

3.11. Calculo del Ciclo Real de Refrigeración

Para calcular el ciclo real de refrigeración de nuestro sistema lo primero que debemos hacer es la toma de datos, utilizando los instrumentos de presión manómetros y de temperatura termómetros en distintos puntos del sistema, con el fin de determinar subenfriamientos en el condensador y recalentamientos en el evaporador.

Recalentamiento

El recalentamiento se puede definir como la diferencia de temperatura del refrigerante a la salida del evaporador y la temperatura de evaporación.

Otra forma de definir el recalentamiento sería la cantidad de calor que aportamos al refrigerante después de haberse evaporado. Teniendo en cuenta esta definición, el recalentamiento supone un aporte de calor sensible al refrigerante y, por tanto, supone un aumento de temperatura.

Para calcularlo y basándonos en su definición, necesitamos conocer las dos temperaturas mencionadas. Si utilizamos un manómetro para medir la presión de evaporación, obtenemos la temperatura de evaporación y la temperatura a la salida del evaporador la podemos determinar por medio de un termómetro.

Toma de datos del sistema:

Temperatura de evaporación: (-11°C) Manómetro

Temperatura a la salida del evaporador (-2°C)

Ecuación 16. Rendimiento del ciclo de refrigeración, Conversión de Energía (Ing. Caracciolo Gómez)

$$\text{Recalentamiento} = T. \text{ salida del evaporador} - T. \text{ evaporacion} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\text{Recalentamiento} = -2^{\circ}\text{C} - (-11^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Recalentamiento} = 9^{\circ}\text{C}$$

Subenfriamiento

El subenfriamiento es otro método para mejorar la eficacia del sistema. Podemos definir el subenfriamiento como la diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura a la entrada de la válvula de expansión.

El subenfriamiento provoca una disminución de la temperatura a la entrada del elemento de expansión (tubo capilar), lo que hace al expansionarse el refrigerante, la cantidad que se evapora disminuya, pudiendo absorber, mayor cantidad de calor latente.

Para medir el subenfriamiento se mide la temperatura del refrigerante a la entrada del elemento de expansión, y por otro la presión en el lado de descarga del compresor, con dicha presión se puede conocer la temperatura de condensación.

Toma de datos del sistema:

Temperatura de condensación: 28°C

Temperatura a la entrada del elemento de expansión: 20.3°C

$$\text{subenfriamiento} = T. \text{ condensacion} - T. \text{ entrada Tubo Capilar} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$\text{Subenfriamiento} = 28^{\circ}\text{C} - 20.3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Subenfriamiento} = 7.7^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 17. Recalentamiento en el evaporador, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

Ecuación 18. Subenfriamiento en el condensador, Guía práctica de refrigeración (José de la Oliva Carmona)

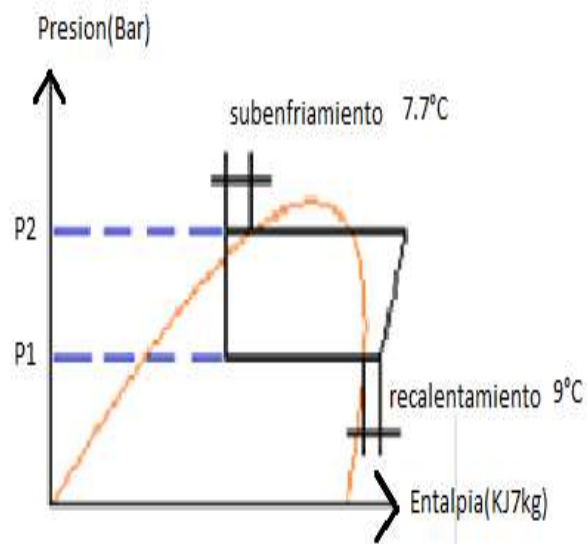


Figura 3.25 Diagrama p-h con datos de recalentamiento y subenfriamiento
(Fuente: Elaboración Propia)

3.12. Cálculo de la Temperatura y Presión de Evaporación

Al hacer funcionar el entrenador los datos de temperatura de condensación y temperatura de evaporación son los siguientes:

Temperatura de evaporación: (-10°C) correspondiente a la presión de evaporación de 1 (Bar)



Figura 3.26 Lectura de presión y temperatura de evaporación
(Fuente: Elaboración Propia)

Podemos concluir que la temperatura de evaporación es correcta, debido que tomamos esta temperatura como parámetro de diseño del sistema.

3.13. Cálculo de la Temperatura y Presión de Condensación

Temperatura de condensación: (29°C) correspondiente a una temperatura de condensación de: 6.5 Bar



Figura 3.27 Lectura de presión y temperatura de condensación
(Fuente: Elaboración Propia)

La temperatura de condensación varía, con los valores de diseño debido a que la temperatura ambiente también varía.

La temperatura real de condensación será, tomando en cuenta una temperatura ambiente de 15°C

$$T. cond. = T. amb. + \Delta T$$

$$T_{cond} = 15^{\circ}C + 15^{\circ}C$$

$$T_{cond} = 30^{\circ}C$$

3.14. Cálculo del Volumen de Refrigeración

El volumen de refrigeración será la multiplicación de nuestro recinto donde se encuentra el evaporador, tomando los datos de las dimensiones hallamos nuestro volumen de refrigeración de la cámara:

$$V = L \times A \times H \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$V = 30 \times 40 \times 30$$

$$V = 36.000 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Una vez obtenidos los valores de presión en los manómetros de alta y baja, es importante indicar, que para ingresar al diagrama p-h del refrigerante utilizado R134a debemos pasar los valores de presión manométricas a presiones absolutas, en nuestro caso el evaporador está ubicado a una altura de nuestra Ciudad de La Paz que es de 3750 metros sobre el nivel del mar, para esta altitud la presión atm es 0,628 atm, es decir que al valor de la presión leída en los manómetros debemos sumar 0,628 para obtener la presión absoluta y así ingresar al diagrama p-h.

ENTONCES:

Presión Absoluta = Presión manométrica + Presión atmosférica

$$P. \text{ absoluta (Manómetro de baja)} = 1,0 + 0,6$$

$$P. \text{ absoluta} = 1,6 \text{ Bares}$$

$$P. \text{ absoluta (Manómetro de alta)} = 6,5 + 0,6$$

$$P. \text{ absoluta} = 7,1 \text{ Bar}$$

3.15. Lugar de Instalación del Entrenador

Como mencionamos anteriormente la unidad didáctica de refrigeración estará situada en los ambientes de la calle Potosí, LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS de la Carrera Mecánica Industrial, Facultad de Tecnología.

En la siguiente figura podemos observar el laboratorio de Maquinas Térmicas, en el cual se instalara el Entrenador Didáctico de Refrigeración, siendo un aporte tecnológico para nuestra Carrera Mecánica Industrial.



Figura 3.28 Laboratorio de Instalación del Entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL PROYECTO

- DISPOSICION Y MONTAJE

4.1. Evaluación del entrenador didáctico según sus dimensiones

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó como parámetro inicial el tamaño del laboratorio de máquinas térmicas, se pudo verificar que se cuenta con un espacio moderadamente amplio de las siguientes medidas:

Ancho: 4.8 (m)

Largo: 6 (m)

El cual nos favorece para diseñar un entrenador didáctico con dimensiones regularmente amplias.

4.2. Diseño Dimensional del Entrenador Didáctico

La propuesta del Entrenador Didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión, debe satisfacer las medidas resultantes de los elementos básicos de refrigeración, y al mismo tiempo estar disponible a posibles adaptaciones futuras resultado de algún rediseño o a la instalación de un elemento no contemplado en el presente proyecto, también se realizó un análisis del área del laboratorio de Maquinas Térmicas de la Carrera, con el fin de que el entrenador didáctico sea instalado adecuadamente.

Realizado el análisis del espacio del laboratorio de Maquinas Térmicas se establecen las medidas del Entrenador Didáctico.

Medidas del Entrenador Didáctico

Largo	1.3 m
Ancho	0.5 m
Alto	1.9 m

Tabla A-10 Medidas del entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

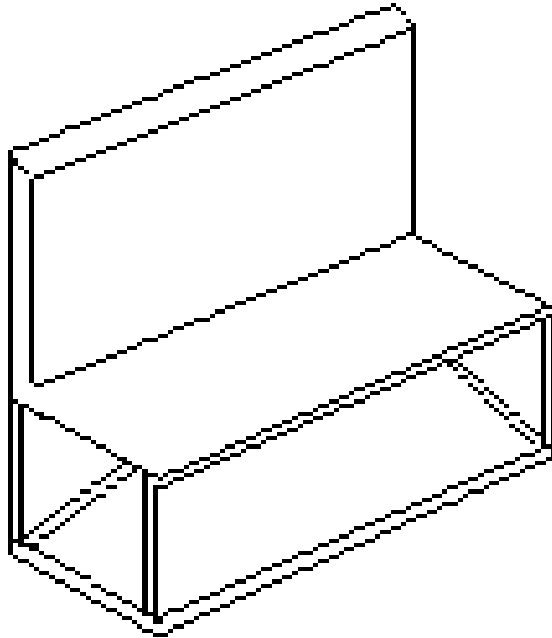


Figura 4.1 Estructura del entrenador didáctico
(Fuente: Elaboración Propia)

4.3. Elaboración de Esquemas de la Instalación

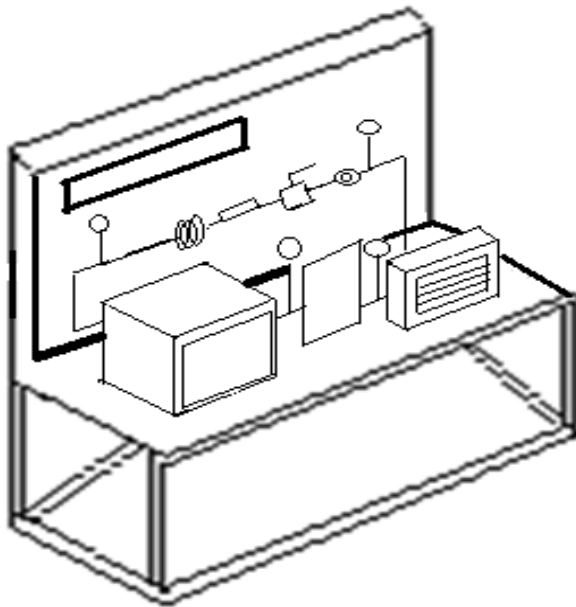


Figura 4.2 Estructura del entrenador didáctico con los elementos principales
(Fuente: Elaboración Propia)

4.4. Construcción de la Estructura de la Unidad de Refrigeración

La construcción de la estructura metálica para la instalación de los elementos de refrigeración, se inició con la compra del siguiente material:

MATERIAL	UNIDAD	DIMENSIONES
Tubo cuadrado	3	40x30x1.2
Electrodo 6013	10	

Tabla A-11 Datos del material de estructura
(Fuente: Elaboración Propia)

HERRAMIENTAS	UNIDAD
PRENSA	1
AMOLADORA	1
DISCO DE CORTE	1
DISCO DE AMOLAR	1
ARCO DE SOLDAR	1

Tabla A-12 Datos de herramientas
(Fuente: Elaboración Propia)

INSTRUMENTOS DE MEDIDA	UNIDAD
FLEXÓMETRO	1
RAYADOR	1
ESCUADRAS	2

Tabla A-13 Datos de Instrumentos
(Fuente: Elaboración Propia)

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
OVEROL
MASCARA DE SOLDAR
GUANTES
LENTES DE SEGURIDAD

Tabla A-14 Datos de equipos de protección
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez adquirido todo el material y herramientas procedemos con el trazado del tubo con ayuda de las escuadras y un rayador.

El siguiente paso es realizar el corte del tubo utilizando el disco de una amoladora y finalmente se procedió a unir todas las piezas mediante la soldadura por arco eléctrico.



Figura 4.3 Herramientas de ejecución de la estructura metálica
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.4 Arco eléctrico
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.5 Montaje de la estructura del entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

4.4.1. Construcción de la Base de Madera Blanca para la Estructura

Con el fin de obtención del tablero y base en la estructura de la unidad didáctica para el montaje de los elementos de refrigeración se determinó utilizar una hoja de madera blanca MELAMINICO EUCATEX de la empresa CIMAL con las siguientes dimensiones:



Figura 4.6 Empresa de adquisición de material
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.7 Hoja melaminica Eucatex del tablero del entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

MADERA	DIMENSIÓN
UNA HOJA	
MELAMINICO EUCATEX BLANCO ARTICO	18X2.75X1.86

Tabla A-15 Datos del material base del entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

Con la obtencion de la hoja de madera se procedio inmediatamente al trazado de la misma para su respectivo corte en tres piezas de diferentes tamaños los cuales detallamos a continuacion:

- ✓ Una pieza para el tablero de la estructura L= 80(cm) A= 122 (cm)
- ✓ Una pieza de base para la estructura L= 130 (cm) A= 55(cm)
- ✓ Una pieza de base en la parte inferior de la estructura L= 130 (cm) A= 50 (cm)



Figura 4.8 Corte de madera melaminica
(Fuente: Elaboración Propia)

Obtenidas las tres piezas indicadas anteriormente, le damos un cepillado a los extremos con el fin de obtener un buen acabado.



Figura 4.9 Cepillado bordes de la madera melaminica
(Fuente: Elaboración Propia)

Con las tres piezas acabadas procedemos a montarlas sobre la estructura metálica, de tal manera que se encuentre lista para el montaje de los elementos del sistema de refrigeración.



Figura 4.10 Montaje de la madera melaminica a la estructura metalica
(Fuente: Elaboración Propia)

Construcción del recinto para el evaporador

Con el fin de que el evaporador trabaje y alcance las temperaturas deseadas, se determino necesario efectuar la construcción de una camara o recinto en el cual estara ubicado internamente el evaporador debidamente aislado.

La camara tendra las siguientes medidas :

Alto	30 cm
Ancho	40 cm
Profundidad	30 cm

Tabla A-16 Medidas de el recinto del evaporador
(Fuente: Elaboración Propia)

Sera fabricado con plancha de acero de 2mm de espesor, y en la parte frontal se colocara un visor de vidrio sujetado a una goma tipo H, tambien se soldaran dos visagras con el fin de que sea abierto sin dificultad y asi el estudiante pueda apreciar, sentir, tocar el evaporador que como ya mencionamos estara ubicada dentro de la misma.

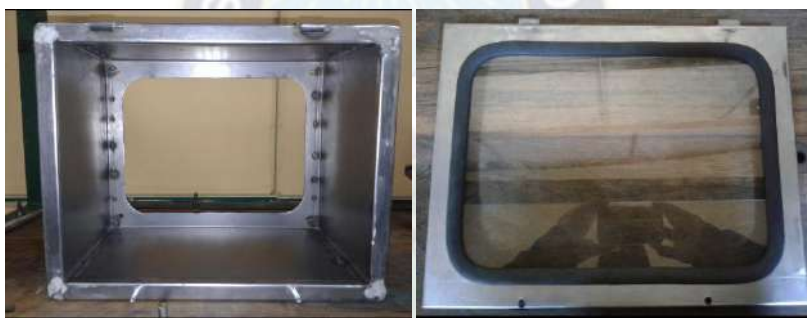


Figura 4.11 Estructura del recinto del evaporador
(Fuente: Elaboración Propia)

La tapa delantera sera de vidrio con el fin de visualizar el evaporador que estara en la parte interior de la camara.

La union se realizo mediante soldadura



Figura 4.12 Vista lateral del recinto
(Fuente: Elaboración Propia)

Finalmente la camara del evaporador quedo de la siguiente manera:



Figura 4.13 Recinto del evaporador
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez terminado el recinto el siguiente paso fue el pintado de color blanco como muestra la siguiente figura.



Figura 4.14 Recinto concluido del evaporador
(Fuente: Elaboración Propia)

4.5.Montaje de los elementos de refrigeracion a la base de madera de la estructura.

La instalacion de los elementos del entrenador didactico se inicio con la adquisición de:

ELEMENTOS PRINCIPALES

- Motor compresor hermetico EMBRACO ¼ HP
- Condensador ELGIN ¼ HP

- Forzador de aire L-11ELGIN 220 V
- Control de flujo por tubo capilar
- Evapoardor
- Tuberia de cobre 5/16" y 1/4"
- Filtro

DISPOSITIVO DE CONTROL DEL SISTEMA

- 2 manómetros de baja
- 2 manómetros de alta
- 1 visor de liquido
- 1 termostato
- 2 termómetros digitales

DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

- 1 termico monofasico
- 1 contactor
- 1 mini contactor termico
- 1 interruptor
- 2 pilotos
- 1 rele de sobrecorriente
- Cable multifilar AWG # 14

Para la parte del montaje de todos los elementos del entrenador didactico se necesito algunos materiales, equipos y herramientas como ser:

- ✓ Taladro con juego de brocas



Figura 4.15 Taladro y juego de brocas
(Fuente: Elaboración Propia)

- ✓ Equipo de soldar oxiacetileno varilla de plata aron 200 para soldadura



Figura 4.16 Equipo de soldadura oxiacetilénica
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.17 CHispeador o prendedor de llama para oxi
(Fuente: Elaboración Propia)

- ✓ Juego de avellanado de tuberías de cobre



Figura 4.18 Juego de avellanado de tuberías
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.19 Fundente de soldadura
(Fuente: Elaboración Propia)

- ✓ Alicates de corte y cinta aislante



Figura 4.20 Elementos para el cableado
(Fuente: Elaboración Propia)

- ✓ Llaves crece y destornilladores



Figura 4.21 Llaves de ajuste
(Fuente: Elaboración Propia)

- ✓ Cortatubos



Figura 4.22 Elemento de corte de cañerías de cobre
(Fuente: Elaboración Propia)

Con todos los elementos detallados anteriormente se comenzo a realizar la instalacion a la base de madera.

4.6. Unión de tuberías en el sistema de refrigeración

1. Preparacion de la tuberia de cobre

La preparacion consiste en realizar un avellanado o abocardado a cada punta de la tuberia con el fin de ensanchar, cortar y luego unir con las tuercas de los accesorios tipo rosca para la union de los elementos roscados.

Debemos mencionar que solo se avellano los puntos que son necesarios para uniones de tuberia con accesorios tipo T . Los cuales encontramos en el montaje de los manometros.



Figura 4.23 Operación preparado de tuberías
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.24 Avellanado de la tubería
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.25 Manómetro de baja
(Fuente: Elaboración Propia)

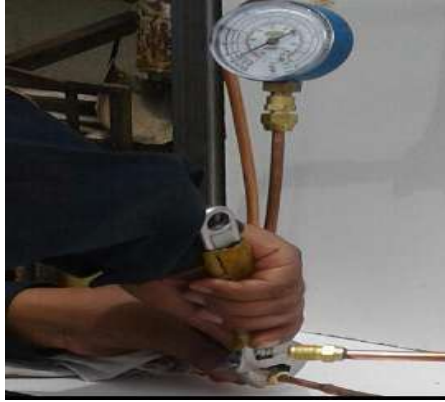


Figura 4.26 Instalacion del manometro de baja
(Fuente: Elaboración Propia)

Montaje del compresor

El compresor en un sistema de refrigeracion es el elemento principal de todo el sistema, su instalacion se realizo tomando en cuenta las caracteristicas del fabricante.



Figura 4.27 Identificacion del compresor
(Fuente: Elaboración Propia)

Lo primero que se debe hacer es el reconocimiento del compresor el cual implica la identificacion de los tres tubos de union o conexión las cuales son:

- Tubo de servicio : 1/4"
- Tubo de succion : 5/16"
- Tubo de descarga :1/4"

La identificacion de los tubos de conexión se lo realizo mediante una prueba del compresor conectado a una fuente electrica de 220v en el cual el compresor arranco sin dificultad, entonces se procedio a verificar por cual de los tubos se efectuaba una aspiracion de aire y

tambien cual de los tubos realizaba la funcion de descarga, asi se determino la tubería de succion y tubería de descarga en el compresor.

La tubería de carga de refrigerante o servicio la reconocimos debido que presenta una pequeña valvula que es llamada precisamente llamada **valvula de servicio del compresor**.

Una vez identificado la funcion de cada tubería se procede a realizar la union por soldadura oxiacetilenica.

Se comenzo con la tubería de descarga o llamada tambien linea de ALTA PRESION en la cual estara instalado uno de los elementos principales como ser el condensador.



Figura 4.28 Preparacion de tubería y operación de soldadura
(Fuente: Elaboración Propia)

En la tubería de descarga se instalo un manometro de alta para conocer la presion de descarga en este punto del sistema, el color ROJO del manometro indica presion ALTA.



Figura 4.29 Instalacion del manometro de alta
(Fuente: Elaboración Propia)

Montaje del condensador

Se realizo el montaje a la base de madera identificando las dos tuberias de union, una en la parte superior y otra alojada en la parte inferior de la misma, como se puede observar en la figura.



Figura 4.30 Montaje del condensador
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez identificadas la línea de entrada y salida del condensador se procede a unir la salida de manometro de alta con la tubería de entrada del condensador y luego se procede a soldar la union.



Figura 4.31 Union de tubería de alta con el condensador
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.32 Ajuste de la llama de soldar
(Fuente: Elaboración Propia)

De manera similar realizamos la union de las linea de salida del condensador hacia otro manometro de alta presion esto con el fin de realizar pruebas de laboratorio, previamente se realizo la preparacion de los extremos de las tuberias por medio de un avellanado para su ensamble con la tuerca y asi realizar su union final por sujecion de rosca.



Figura 4.33 Instalacion de manometro de alta (salida del condensador)
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.34 Manometro de alta
(Fuente: Elaboración Propia)

A la salida del accesorio tipo T del manometro se lo instalara un elemento para la verificacion del fluido refrigerante llamado visor de liquido el cual detallamos mas adelante.



Figura 4.35 Manometro de alta instalado
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez efectuada la unión de tuberías del condensador mediante soldadura oxiacetilénica, añadimos un forzador de corriente de aire de la marca ELGIN de 220 v, con el fin de asegurar el cambio de fase de vapor a líquido.



Figura 4.36 Montaje del forzador de aire (ventilador)
(Fuente: Elaboración Propia)

Unión del elemento **VISOR DE LIQUIDO**

De la línea del manómetro de alta en el extremo siguiente se realizó la unión del visor de líquido, con el propósito de ver el estado del refrigerante a su paso por las tuberías del sistema.



Figura 4.37 Visor de Líquido (Mirilla)
(Fuente: Elaboración Propia)

En el mercado solo había disponibles visores de líquido de 3/8" así que se realizó una reducción a la medida que necesitamos que era de 1/4" se preparó el visor de la siguiente manera:



Figura 4.38 Sujeción del visor a una prensa para su unión por soldadura
(Fuente: Elaboración Propia)

Se sujetó el elemento en una prensa, para realizar la unión por soldadura



Figura 4.39 Visor preparado para soldar
(Fuente: Elaboración Propia)

Efectuado la reducción de diámetros por medio de la soldadura en los extremos del visor de líquido, obtenemos el dispositivo preparado final:



Figura 4.40 Visor de líquido preparado para su instalación
(Fuente: Elaboración Propia)

Ahora podemos realizar la unión por medio de la tuerca al otro extremo del manómetro de alta.

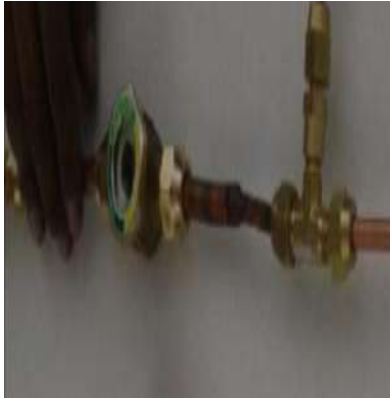


Figura 4.41 Unión visor con manómetro de alta
(Fuente: Elaboración Propia)

En el otro extremo del visor de líquido, se vio la necesidad de instalar una válvula de paso manual, debido a que los sistemas de refrigeración y aire acondicionado presentan este elemento, este tipo de válvulas instaladas en un sistema debe estar totalmente abiertas o totalmente cerradas, su función principal es controlar el flujo de líquido o presión.

Se adquirió una válvula manual para la instalación de nuestro entrenador didáctico.



Figura 4.42 Válvula de paso manual
(Fuente: Elaboración Propia)

La unión se realizó por medio de rosca de 1/4 “de la siguiente manera:



Figura 4.43 Instalación de la válvula de manual a la salida del visor
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.44 Válvula manual instalada
(Fuente: Elaboración Propia)

A continuación se preparó el filtro deshidratador, elemento diseñado para mantener seca la mezcla de refrigerante y aceite, absorbiendo los contaminantes líquidos disueltos, tales como la humedad, ácidos y también para retener por medio de filtración todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante aceite.

Para la protección de los componentes del entrenador didáctico de contaminantes que estuvieran en el sistema, es necesario la instalación de un filtro deshidratador. En caso de la presencia de contaminantes en el sistema, el compresor y el tubo capilar serían los componentes más afectados.

En la siguiente imagen se observa el filtro adquirido para el entrenador didáctico con las siguientes características:



Figura 4.45 Filtro deshidratador
(Fuente: Elaboración Propia)

En el mercado encontramos dos tipos de filtro, uno era de unión por rosca y el otro se trataba de unión por soldadura, además el filtro de unión por rosca presentaba las características de trabajar en instalaciones del tipo industrial, no es nuestro caso, por tal motivo se seleccionó adquirir el filtro de unión por soldadura de aplicación del tipo domestico – comercial.

Este elemento del sistema debe estar ubicado antes del dispositivo de expansión (tubo capilar), con el fin de que el refrigerante se encuentre libre de cualquier cuerpo extraño o impureza antes del ingreso al capilar.

Se realizó la unión por soldadura de tubería, un avellanado y finalmente se lo une la tuerca que hará unión con la rosca de la válvula manual



Figura 4.46 Unión de filtro con tubería para su instalación
(Fuente: Elaboración Propia)

En la siguiente imagen se puede observar de manera general y preliminar la instalación de los elementos del entrenador didáctico.



Figura 4.47 Instalación preliminar de los elementos al Entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

En el extremo vacío del filtro se precede a instalar el elemento cuya función es reducir notablemente la presión y crear dos zonas de presión, una de alta y la otra zona de baja presión.

Por requerimientos de compresor se seleccionó un elemento de expansión por TUBO CAPILAR como se muestra en la imagen:



Figura 4.48 Elemento de expansión (Tubo capilar)
(Fuente: Elaboración Propia)

La entrada del capilar fue unido a la salida del filtro deshidratador y el otro extremo al manómetro de baja presión, ya que necesitamos observar la presión de baja que es precisamente generada por el paso del refrigerante a través de este elemento.

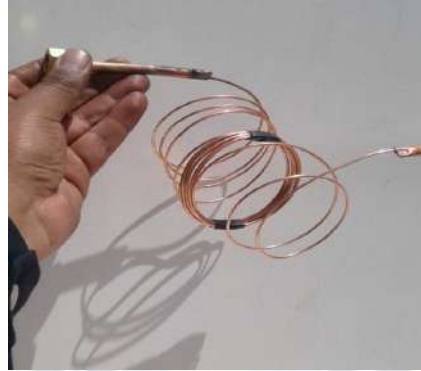


Figura 4.49 Instalación del tubo capilar
(Fuente: Elaboración Propia)

Es importante reiterar que este elemento de expansión (tubo capilar) se seleccionó mediante tablas con el dato de la potencia del compresor.

Con los dos extremos del tubo capilar listos para su unión, se procedió a preparar los manómetros de baja presión que se alojara uno de ellos en la salida del tubo capilar como se indicó anteriormente.



Figura 4.50 Manómetros de baja presión
(Fuente: Elaboración Propia)

También se preparó la tubería de salida del manómetro de baja.

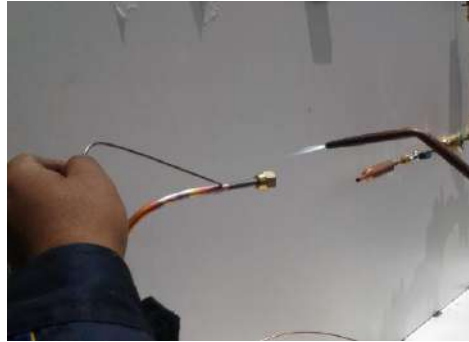


Figura 4.51 Unión de tubería en la zona de baja presión
(Fuente: Elaboración Propia)

Realizando la unión con la ayuda de llaves de sujeción de las tuercas se observa como finalmente quedo.



Figura 4.52 Instalación del Tubo Capilar
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.53 Unión roscada a la salida del capilar
(Fuente: Elaboración Propia)

La salida del manómetro de baja ira conectado la tubería de entrada del evaporador



Figura 4.54 Evaporador
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se indicó anteriormente este elemento trabaja en un espacio aislado, motivo por el cual se construyó un recinto fabricado de plancha de acero de espesor de 2mm el cual lo explicamos anteriormente. El recinto fabricado ayudara a mantener la temperatura deseada en el evaporador y será herméticamente aislada.

A la salida de la tubería del evaporador se instaló otro manómetro de baja el cual nos brindara la información de la presión a la entrada del compresor y así poder determinar la relación de compresión.



Figura 4.55 Instalación del manómetro de baja
(Fuente: Elaboración Propia)

Y la salida del manómetro de baja fue unida por soldadura a línea de succión del compresor, de tal forma que el sistema quede como un circuito cerrado en el cual el refrigerante hará su paso de forma cíclica por todo el sistema.

4.7. Instalación de los Dispositivos Eléctricos en el Sistema

Para realizar el circuito eléctrico del sistema debemos hacer un reconocimiento del bobinado del motor compresor el cual se lo efectuara con la ayuda de un multímetro tester como se detalla a continuación:

El bobinado del compresor presenta tres bornes de conexión, el cual presenta dos bobinas denominadas: Bobina de arranque y bobina de trabajo la cual podemos determinar por medio de su resistencia con un multímetro digital.



Figura 4.56 Bornes de conexión del compresor
(Fuente: Elaboración Propia)

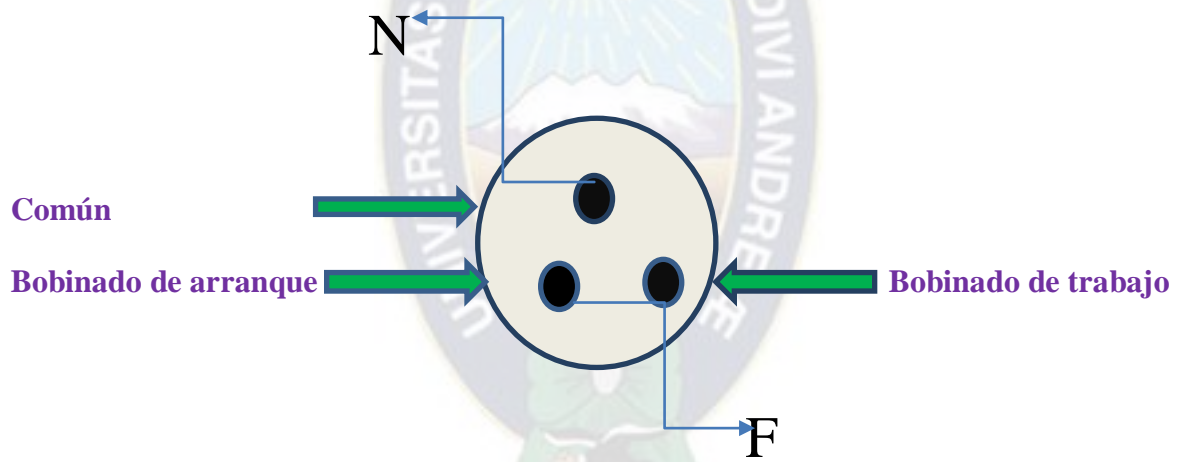


Figura 4.57 Esquema caja de bornes del compresor
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 4.58 Medición de los bobinados
(Fuente: Elaboración Propia)

La medición de menor lectura corresponde al bobinado de trabajo $R=20.81[OHM]$

La lectura intermedia es el bobinado de arranque $R=33.54[OHM]$

Y la medición de mayor valor es la suma de ambos bobinados $R= 54.35[OHM]$

Una vez identificado los bornes de conexión debemos indicar que el compresor cuenta con un dispositivo de arranque de fábrica denominado RELAY DE ARRANQUE, cuya misión es ayudar al arranque del motor eléctrico y así obtener el par de arranque necesario para la puesta en marcha del motor.

El entrenador didáctico contará con un circuito eléctrico para la puesta en marcha del sistema, que incluye un termostato digital el cual cumplirá la función de mantener la temperatura deseada dentro de la cámara, el cual detallamos a continuación:

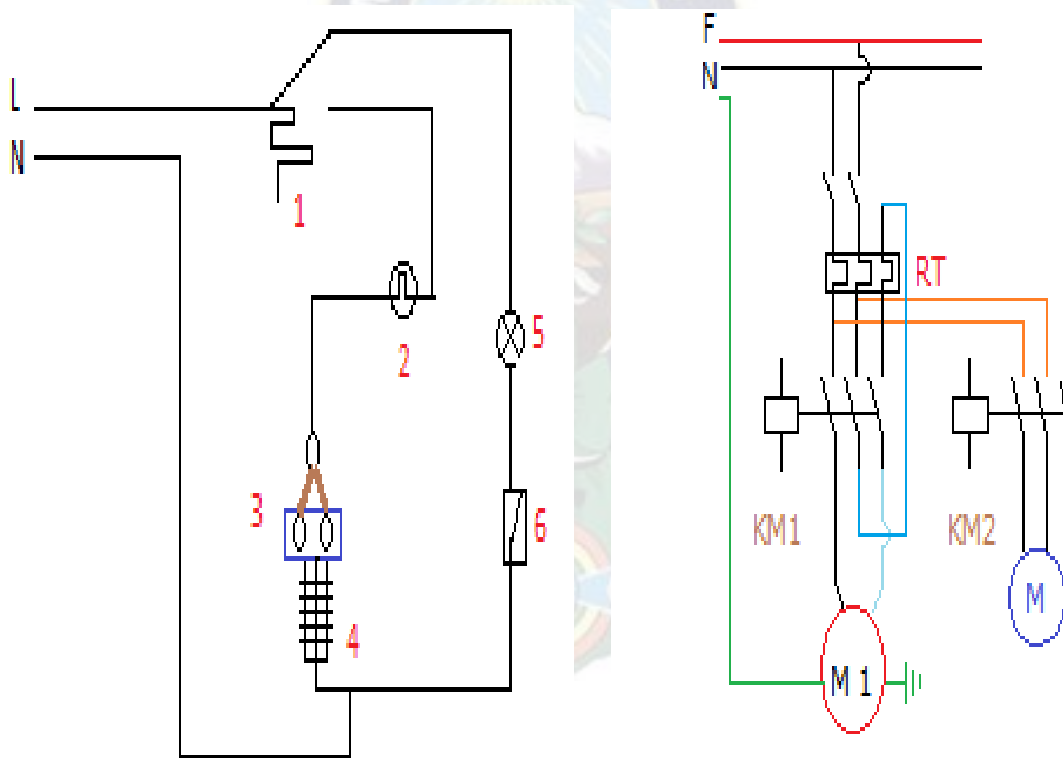


Figura 4.59 Esquema de conexiones eléctricas
(Fuente: Elaboración Propia)

1. TERMOSTATO
2. PROTECTOR TÉRMICO
3. BOBINADO DEL MOTOR
4. RELÉ DE ARRANQUE
5. PILOTOS
6. INTERRUPTOR

4.8. Carga de Gas de Refrigerante al Sistema

Una vez efectuada la instalación de los elementos debemos vaciar el sistema mediante el uso de una bomba de vacío para luego proceder con la carga del refrigerante el cual se realiza de la siguiente manera:

Cargar el sistema con nitrógeno, lo cual se deberá dejar por un tiempo de 30 minutos para luego extraer el nitrógeno con la bomba de vacío.

Este proceso asegura que el sistema está libre de cualquier impureza antes de la carga final del refrigerante.

Luego de eliminar las impurezas del sistema procederemos a la carga final del Refrigerante R134a a la toma de servicio de carga del compresor.



Figura 4.60 Carga del gas ecológico 134a al sistema
(Fuente: Elaboración Propia)

4.9. Verificación del Sistema Realizando Controles

La verificación del sistema incluye un punto fundamental como ser la detección de posibles fugas en todo el circuito del sistema, en el área de la refrigeración existen varios métodos para determinar si un sistema se encuentra con fugas. Para el entrenador didáctico se utilizó un método clásico pero seguro de detección de fugas el cual se lo conoce como:

Método de detección de fugas por medio de espuma de agua y jabón

Consiste en el preparado de una espuma de agua con jabón, el cual se va colocando en todas las uniones de soldadura y acoples roscados del circuito en funcionamiento, si se encuentra una fuga se observara nacer burbujas de jabón el cual es un síntoma que en ese punto hay fugas y se deberá sellar nuevamente ese punto del sistema.

En nuestro caso al realizar la prueba de fugas en las uniones del entrenador no se presentó ninguna fuga esto es un buen síntoma para que el Entrenador funcione adecuadamente.



Figura 4.61 Prueba de fugas en el sistema
(Fuente: Elaboración Propia)

Otro método de detección de fugas en sistemas de refrigeración es utilizando un aparato electrónico llamado chequeador de fugas es de mucha utilidad por su precisión y rapidez en identificar fugas en grandes instalaciones, su principio se basa en la emisión de sonido parecido al de una alarma de reloj, al pasarla por las cañerías del sistema este aparato emitirá el sonido mencionado.



Figura 4.62 Chequeador electrónico de fugas
(Fuente: Elaboración propia)

4.10. Puesta en Marcha del Sistema

Con el sistema cargado y luego de verificar que no exista fugas de refrigerante continuamos con la puesta en marcha del sistema realizando pruebas de funcionamiento, a fin de comprobar que el equipo funcione correctamente y dentro los parámetros establecidos.



Figura 4.63 Entrenador didáctico concluido
(Fuente: Elaboración Propia)

4.11. Pruebas y Análisis del Sistema

El primer paso fue comprobar que las presiones de trabajo del sistema sean las adecuadas, esto es presión de evaporación y presión de condensación.

Como siguiente punto es verificar que el ventilador del condensador esté funcionando correctamente.

La corriente nominal del motocompresor lo medimos con la ayuda de un amperímetro de gancho el cual nos arrojó el siguiente valor: Corriente Nominal =1.14 (Amperios)



Figura 4.64 Corriente Nominal del motocompresor
(Fuente: Elaboración Propia)

Con el elemento visor de líquido se pudo verificar la condensación del refrigerante a la salida del condensador el cual se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.65 Visor de líquido con refrigerante licuado
(Fuente: Elaboración Propia)

Este elemento es muy indispensable, ya que nos ayudara en la determinación de ausencia de refrigerante que pueda existir en el sistema debido a la presencia de posibles fugas a futuro.

La temperatura en el interior del recinto oscila en los siguientes valores: de (0 a -10°C) debido a que el recinto se encuentra debidamente aislado, impidiendo la transferencia de calor del medio exterior con un espesor de 1cm, de material inorgánico como el plastoforno.

Una vez terminadas las pruebas de funcionamiento se comprueba que todos los elementos están trabajando correctamente.

4.12. Trazado del Ciclo Real del Sistema

En el siguiente esquema podemos observar el ciclo de refrigeración con los valores obtenidos después de la puesta en marcha del equipo.

También podemos apreciar las dos zonas del sistema una zona A que es la denominada zona de condensación alta presión y la zona B que es denominada la zona de evaporación a baja presión, en la cual podemos concluir que debido a un elemento de expansión en este caso un Tubo Capilar podemos obtener como resultado dos zonas de alta y baja presión.

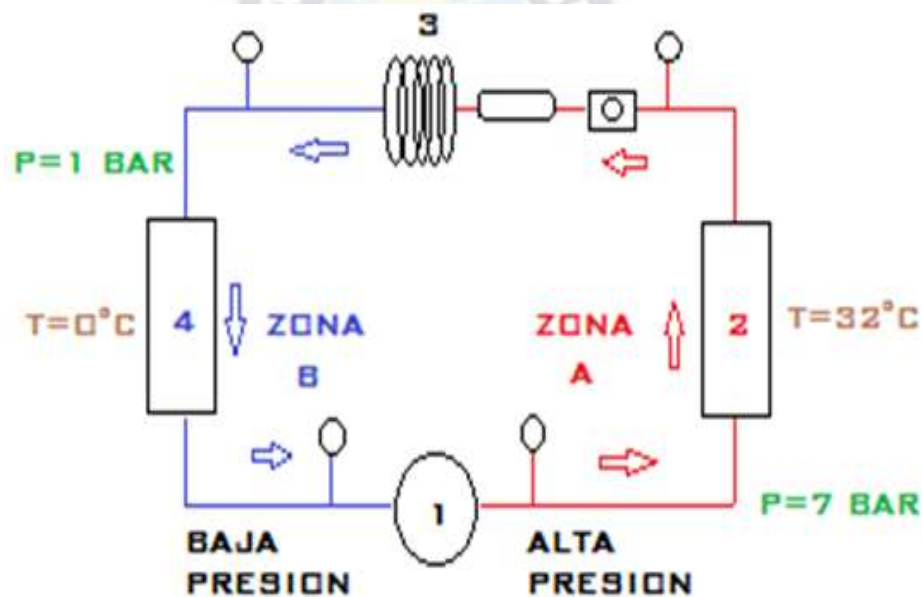


Figura 4.66 Sistema de refrigeración con datos reales del equipo
(Fuente: Elaboración Propia)

1. Compresor hermético
2. Condensador de aletas
3. Tubo capilar
4. Evaporador

- MANTENIMIENTO

4.2. Definición

Conjunto de operaciones necesarias para asegurar un elevado rendimiento energético, la seguridad del servicio y defensa del medio ambiente durante el funcionamiento de la instalación.

Conservación

Conjunto de operaciones mínimas a realizar sobre un equipo, normalmente recomendadas por el fabricante, con el fin de conseguir un funcionamiento correcto.

Podemos observar por estas definiciones que el mantenimiento es un concepto más amplio que la conservación, incluyendo además de las operaciones de conservación, el rendimiento energético y la protección al medio ambiente.

La conservación se dirige a los equipos y el mantenimiento al conjunto de la instalación. Los equipos de una instalación pueden estar correctamente conservados, funcionando dentro los parámetros indicados por el fabricante, y el conjunto de la instalación tener un mal mantenimiento.

Las principales ventajas de tener un buen mantenimiento, son las siguientes

- Aumento de la vida de los equipos
- Consumo energético menores
- Perjuicios ocasionados por paradas por averías
- No aportar a la destrucción de la capa de ozono

4.2.1. Tipos de Mantenimiento

Existen tres tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objeto particular para el cual son puestos en marcha, y en función de los recursos utilizados, así tenemos:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo

- Mantenimiento predictivo

4.2.2. Mantenimiento Correctivo

Este mantenimiento también es denominado mantenimiento reactivo, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actúa cuando se presente un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- ✓ Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- ✓ Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posterior se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- ✓ Presenta costos de reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- ✓ La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

4.2.3. Mantenimiento Preventivo

Este mantenimiento también es denominado MANTENIMIENTO PLANIFICADO, tiene lugar antes que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- ✓ Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- ✓ Se lleva a cabo siguiente un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener herramientas y repuestos necesarios a la mano.
- ✓ Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobada por la directiva de la empresa.

- ✓ Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.

4.2.4. Mantenimiento Predictivo

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la maquina examinada, mientras este se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene por objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de estos tipos de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos y en contratación de personal calificado.

Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

- ✓ Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)
- ✓ Endoscopia (para poder ver lugares ocultos)
- ✓ Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros)
- ✓ Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado)
- ✓ Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, etc.)

4.2.5. Fallas más Comunes

A continuación se muestra un listado con las fallas más comunes en cada uno de los componentes principales del ciclo por compresión de vapor, también se menciona cual es la condición que origina cada falla, con lo que se podría agilizar el proceso de mantenimiento en caso de que se presente alguna avería.

4.2.6. Averías Típicas en el Compresor

- Gripado por falta de engrase
- Gripado por falta de limpieza en el circuito
- Fugas a través de las juntas de la culata y retenes
- Deterioro de la placa de válvulas
- Corrosión interna por presencia de humedad en el circuito
- Averías eléctricas en los devanados

4.2.7. Averías Típicas en el Condensador

- Perforación debido a la presencia de corrosión en la superficie del condensador
- Obturación en las aletas debido a la presencia de cuerpos extraños
- Fugas en las tuberías de entrada y salida de gas

4.2.8. Averías Típicas en el Evaporador

- Perforación debido a la presencia de corrosión en la superficie del evaporador
- obturación de las aletas debido a la presencia de hielo
- fugas en la superficie del evaporador.

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

FALLA EVENTUAL	SOLUCIÓN
Temperatura en el condensador demasiado elevada.	Verificar funcionamiento del ventilador
Falta de refrigerante en el sistema.	Verificar el visor de líquido y verificar posibles fugas en el sistema
Filtro deshidratador obstruido de forma total o parcial.	De cualquier forma cambiar el filtro.
Compresor no se pone en marcha.	Revisar los devanados del compresor con multímetro.
Nivel de Ruidos anormales	Localizar y ajuste.
Corriente de arranque demasiado elevado	Disminuir la cantidad de refrigerante al sistema
Recalentamiento del motor eléctrico	Apague el sistema y verificar con un técnico especializado.

Tabla A-17 Causas y soluciones del equipo. (Fuente: Elaboración Propia)

- SEGURIDAD INDUSTRIAL (Consideraciones)

4.3. Riesgos de Salud

Inhalar una gran cantidad de gases refrigerantes es peligroso y puede llegar a ser mortal. Exponerse a niveles elevados de fluorocarbonados por arriba de los permitidos puede ocasionar síntomas de asfixia, también es posible que se presente pérdida de coordinación sicomotriz, aumento de pulso cardiaco, sensibilización cardiaca, respiración más profunda o inconciencia. Si se presentan algunos de estos síntomas se debe salir al aire fresco.

Piel

El contacto del refrigerante líquido sobre la piel puede causar quemaduras por congelación, la cual se manifiesta por palidez o enrojecimiento, pérdida de sensibilidad o hinchazón. Se debe lavar la parte afectada con agua abundante durante 15 minutos.

Ojos

Los mismos efectos y medidas preventivas que para la piel.

Otros riesgos

La mayoría de los compuestos halogenados se descomponen a altas temperaturas. Los químicos que se presentan bajo estas condiciones son ácidos halogenados, y posiblemente halogenuros de carbonilo. También se libera ácido fluorhídrico. Si el compuesto contiene cloro se liberara el ácido clorhídrico.

Afortunadamente los ácidos halogenados pueden ser detectados, ya que ocasionan picazón en la nariz, y así pueden ser detectados en bajas concentraciones cuando no han alcanzado un nivel en donde puedan ser tóxicos. Estos ácidos sirven como aviso de que una descomposición de gas ha ocurrido. Si son detectados, el área debe ser evacuada y ventilada hasta que se eliminen los productos de la descomposición (ácidos en el sistema, quemadura de un compresor hermético o semi hermético).

4.3.1. Seguridad Industrial en el Entrenador Didáctico

Los puntos a tomar en cuenta al realizar las prácticas de laboratorio son los siguientes:

1. Realizar las prácticas de laboratorio en un área ventilada.
2. A la mínima sospecha de fuga de gas, parar el funcionamiento del entrenador para proceder a su revisión respectiva.
3. Durante el funcionamiento del equipo verificar que el motor compresor no se sobrecaliente demasiado y medir la Intensidad con la ayuda de un amperímetro digital.
4. Antes de empezar la práctica de laboratorio verificar la presión en los manómetros tanto en los de alta como los de baja presión, se debe observar el mismo valor de presión en ambas zonas.
5. No introducir las manos al ventilador del condensador cuando el equipo se encuentre en marcha.
6. En caso de no encender el motor compresor, verificar el voltaje con un instrumento de medición en el térmico de protección principal.



CAPITULO 5

ANALISIS FINANCIERO

5.1. Análisis Económico

El análisis económico permite establecer la factibilidad del presente proyecto de grado, ya que genera información confiable para la toma de decisiones. Este comienza con la determinación de los costos totales y de la inversión inicial.

Controlar los gastos es de vital importancia, los cuales fueron indispensables para el diseño y construcción del mismo.

En un inicio se expresó un presupuesto inicial y teórico, que luego del desarrollo del proyecto se llegó a obtener los costos finales y totales los cuales detallaremos en este capítulo.

5.1.1. Costos Directos

Los costos directos son aquellos costos que se asigna directamente a un producto o un servicio, haciendo referencia a los materiales directos empleados y a la mano de obra directa.

En el presente proyecto de grado los costos directos representan los costos de construcción, equipos, materiales y mano de obra directa, los cuales damos a conocer a continuación.

7.1.1. Equipos y Materiales

Son los principales recursos que se usan durante el desarrollo del proyecto de grado, transformándolos en bienes terminados.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	VALOR TORTAL (Bs)
Motor Compresor Denominación: EG AS80HLR Marca: Motoc. EMBRACO ¼	1	860,00	860,00
Evaporador	1	350,00	350,00
Motor ventilador (evaporador)	1	60,00	60,00
Condensador Marca: ELGIN Modelo:2776	1	250,00	250,00
Motor ventilador (Condensador)	1	115,00	115,00
Termostato (unidad de enfriamiento) Marca: FULL GAUGE Modelo:TIC-17RGTi	1	430,00	430,00
Gas refrigerante Kg	1	250,00	250,00
Termómetro Digital WT-2	1	125,00	125,00
Manómetros de alta M2-500-DS-134a	2	114,00	228,00
Manómetros de baja M2-250-DS-134a	2	114,00	228,00
		TOTAL Bs	2896,00

Tabla A-18 Equipos e instrumentos
(Fuente: Elaboración Propia)

ESTRUCTURA METALICA Y BASE DE MADERA PARA EL MONTAJE

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	VALOR TORTAL (Bs)
Tubo cuadrado 40 x 30 x 1.2(mm)	3	69,00	207,00
Melaminico eucatex blanco 18.00 2.75 1.86	1	322,00	322,00
Disco de corte (madera)	1	15,00	15,00
Pintura y tener anticorrosivo color negro	1	30,00	30,00
Perno ¼"	6	2,50	15,00
Electrodos 6013 (kg)	1	25,00	25,00
Disco de corte y amolar d=4	1	35,00	35,00
Angular ¼"	1	25,00	25,00
		TOTAL Bs	674,00

Tabla A-19 Estructura y base del entrenador
(Fuente: Elaboración Propia)

UNIDAD DE ENFRIAMIENTO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	VALOR TOTAL (Bs)
Plancha de acero (Recinto evaporador) mm	1	80,00	80,00
Vidrio (Recinto evaporador)	1	20,00	20,00
Bisagras	2	5,00	10,00
Goma	1	10,00	10,00
Pintura Blanca	1	15,00	15,00
Plasto formo	1	10,00	10,00
		TOTAL Bs	145,00

Tabla A-20 Descripción unidad de enfriamiento
(Fuente: Elaboración Propia)

ACCESORIOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	VALOR TORTAL (Bs)
Tubo Capilar	1	28,00	28,00
Filtro deshidratador TP	1	15,00	15,00
Visor de líquido MIF 3/8"	1	188,00	188,00
Cañería de cobre 1/4" (m)	7.5	10.45	78.40
Cañería de cobre 5/16"(m)	7.5	15.07	113.00
Barra de plata	3	6,00	18,00
T de bronce 1/4"	4	25,00	100,00
Tuerca de bronce 1/4"	8	12.00	96,00
Válvula de paso manual	1	110,00	110,00
		TOTAL	746,40

Tabla A-21 Descripción accesorios
(Fuente: Elaboración Propia)

DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Bs)	VALOR TORTAL (Bs)
Contactos eléctrico	2	120,00	120,00
Cable multifilar AWG 14 (m)	6	8,30	49,00
Interruptor eléctrico	2	10,00	20,00
Luz piloto	2	24,00	24,00
Térmico eléctrico	1	35,00	35,00
Caja blanca eléctrica	1	40,00	40,00
Relay de corriente	1	50,00	50,00
Cinta aislante	2	7,00	14,00
		TOTAL	352,00

Tabla A-22 Descripción elementos eléctricos

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.2. Mano de Obra Directa

Es el esfuerzo físico o mental que se utiliza para transformar la materia prima en producto terminado.

En este caso por ser desarrollado la instalación y construcción por el propio ejecutor del trabajo de grado, tomando en cuenta un tiempo de trabajo de 4 horas diarias el valor de la mano de obra será:

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
4 HORAS DIARIAS (3 meses)	3000,00
Valor Total Bs	3000,00

Tabla A-23 Descripción Mano de Obra (Fuente: Elaboración Propia)

Entonces nuestros costos totales serán:

DESCRIPCIÓN	VALOR
Equipos e Instrumentos	2896,00
Estructura Metálica y base de Madera	674,00
Unidad de enfriamiento (recinto evaporador)	145,00
Accesorios	746,40
Dispositivos eléctricos	352,00
Mano de obra directa	3000,00
Valor Total (Bs)	7813,40

Tabla A-24 Descripción costos directos (Fuente: Elaboración Propia)

Unas veces obtenidas los costos por equipo, materiales y mano de obra directa procedemos a determinar los costos totales correspondientes a costos directos.

5.2. Costos Indirectos

Los costos indirectos son aquellos costos que no pueden cargarse directamente a unidades específicas; siendo estos los recursos que son utilizados en la elaboración del bien o prestación de servicios que no pueden considerarse como material o mano de obra directa.

MATERIALES INDIRECTOS

Estos forman parte auxiliar en la presentación del producto terminado, sin ser el producto en sí.

Aquí se incluyen; envases primarios y secundarios.

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
Transporte	180,00
Imprevistos	50,00
Valor total (Bs)	230,00

Tabla A-25 Descripción materiales Indirectos
(Fuente: Elaboración Propia)

OTROS COSTOS INDIRECTOS

Todo proceso productivo requiere una serie de insumos para su funcionamiento. Estos son por lo general: agua, energía eléctrica, combustibles, impuestos entre otros.

A continuación se detallan los costos indirectos del presente proyecto de grado.

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (Bs)
COSTOS DIRECTOS	7813,40
COSTOS INDIRECTOS	230,00
COSTO TOTAL DEL EQUIPO	8043,40

Tabla A-26 Descripción total del equipo
(Fuente: Elaboración Propia)

El costo total del equipo es de Bs 8043.40 (ocho mil cuarenta y tres bolivianos con 40/100).

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el presente trabajo de grado se ha diseñado, calculado, construido e instalado un Entrenador didáctico de un Sistema de Refrigeración por Compresión para la realización de prácticas en el Laboratorio de Maquinas Térmicas de la Carrera Mecánica Industrial, el cual cumple con el objetivo principal planteado.

Con el presente proyecto de grado se contribuirá con el desarrollo tecnológico del Laboratorio de Maquinas Térmicas.

El entrenador didáctico permitirá al estudiante analizar, interpretar los principios básicos de los sistemas de refrigeración por compresión.

El entrenador didáctico ayudara al estudiante a identificar y manipular cada uno de los elementos que conforman el sistema, a la vez conocer y entrenarse en lo que respecta a una estructura básica de una planta frigorífica para el servicio de refrigeración.

La instalación del equipo se hizo de acuerdo a la disponibilidad de espacio existente en el laboratorio.

6.2. Recomendaciones

Verificar durante el funcionamiento del entrenador las presiones de trabajo si son las adecuadas y la de carga de refrigerante a través del visor de líquido.

Los componentes del sistema de refrigeración son de uso comercial por lo tanto se recomienda llevar a cabo mantenimiento preventivo como correctivo.

En caso que exista fuga de refrigerante por daños en algunos de los elementos de la instalación, se debe realizar pruebas con detectores de fugas con el equipo apagado.

Cualquier problema de funcionamiento del equipo se debe analizar adecuadamente según los esquemas de conexiones del circuito de refrigeración y el eléctrico.

Controlar periódicamente la corriente nominal del compresor con un amperímetro de gancho, debido a que si se eleva demasiado podría ocasionar averías al devanado del motor eléctrico.



Bibliografía

Fundamentos del aire acondicionado y Refrigeración primera edición Editorial Limusa 1973

Manual de Refrigeración y aire acondicionado Edición Prentice 1987.

COPENLAND. Manual de Refrigeration.

DANFOSS, Automatic controls for refrigeration and air conditioning plant, Quick Reference (09/92)

FRANCO,J. Manual de Refrigeración. España 2006.

VALENZUELA, R. Apuntes de refrigeración. Ecuador 2010.

PITA, E. Principios y Sistemas de Refrigeración.

FERNANDEZ, D. Termodinámica Técnica 2da Edición España 2013.



ANEXOS

NOMENCLATURA

COP Coeficiente de Rendimiento

h Entalpia

m flujo másico del refrigerante

T Temperatura

t Tiempo

V volumen

P Presión

Q_e Capacidad de refrigeración

q_c Calor total eliminado en el condensador

Q_w Energía equivalente al trabajo del compresor

ER Efecto de refrigerante

W_c Trabajo de compresión



GLOSARIO

Aire ambiental Genéricamente hablando, el aire alrededor de un objeto. En un sistema de refrigeración doméstico o comercial en el que se cuenta con un condensador enfriado por aire, la temperatura del aire a la entrada del condensador.

ASHRAE Sociedad Americana de Ingenieros para Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado.

BTU Calor requerido para producir aumento en la temperatura de 1°F en lb de agua. El significado de BTU es 1/180 de la energía requerida para calentar agua de 32°F a 212°F.

ABSORCION Es la extracción de uno o más componentes de una mezcla de gases cuando los gases y los líquidos entran en contacto. El proceso se caracteriza por un cambio de estado físico o químico de los componentes.

CAIDA DE PRESION Perdida de presión desde un extremo a otro en una tubería de refrigeración, debido a la fricción, etc.

CALOR ESPECÍFICO Energía por unidad de masa requerida para producir que la temperatura, aumente un grado, generalmente BTU/lb-°F numéricamente igual a cal/gr-°C.

CALOR LATENTE Calor caracterizado por el cambio de estado de la sustancia en estudio, para una presión dada y siempre a temperatura constante para una sustancia pura.

CALOR SENCIBLE Calor que es asociado con un cambio de temperatura, calor específico por cambio de temperatura, en contraste a un intercambio de calor en el cual ocurre un cambio de estado (calor latente).

CICLO Trayectoria cerrada en un sistema termodinámico por la que el fluido activo retorna después de una serie de cambios a las condiciones originales de temperatura, presión y entalpia.

CONDENSADOR Recipiente o disposición de tubos en el que el vapor caliente se enfría y se licua por la extracción del calor.

COP Coeficiente de Operación

DENSIDAD Peso o masa por unidad de volumen. Se expresa habitualmente en kg/m³.

ENTALPIA Denominada como contenido de calor total, en ciclos termodinámicos. En ingeniería la unidad de la entalpía KJ/kg se representa comúnmente por “H”.

ER Efecto Refrigerante

ENFRIADOR DE AIRE Circulación forzada, es un conjunto de elementos ensamblados desde fábrica, por medio del cual el calor se transfiere del aire al refrigerante que se evapora.

ENFRIAMIENTO Aplicación moderada de refrigeración tal como de la carne sin llegar a la congelación.

ESCARCHAMIENTO inundación de líquido de un evaporador en la línea de succión acompañado de la formación de escarcha en la línea de succión en la mayoría de los casos.

EVAPORADOR Parte de un sistema en el cual el refrigerante líquido es vaporizado para producir refrigeración.

HALOCARBUIROS Son gases de origen, de los cuales los más conocidos son los clorofluorocarbonos CFCs(CFC-11 Y CFC-12) que contienen moléculas de cloro, flúor y carbono.

HFC Son gases refrigerantes cuyas moléculas son hidrógeno, flúor y carbono.

INTERCAMBIADOR DE CALOR Dispositivo en el que el calor se transfiere de un fluido que tiene determinada temperatura a otro fluido que tiene una temperatura inferior.

LADO DE ALTA Parte del sistema de refrigeración bajo la presión del condensador.

LADO DE BAJA Parte del sistema de refrigeración bajo la presión del evaporador.

LÍNEA DE LÍQUIDO Tubo o tubería que transporta el refrigerante líquido desde el condensador de un sistema de refrigeración a un dispositivo reductor de presión.

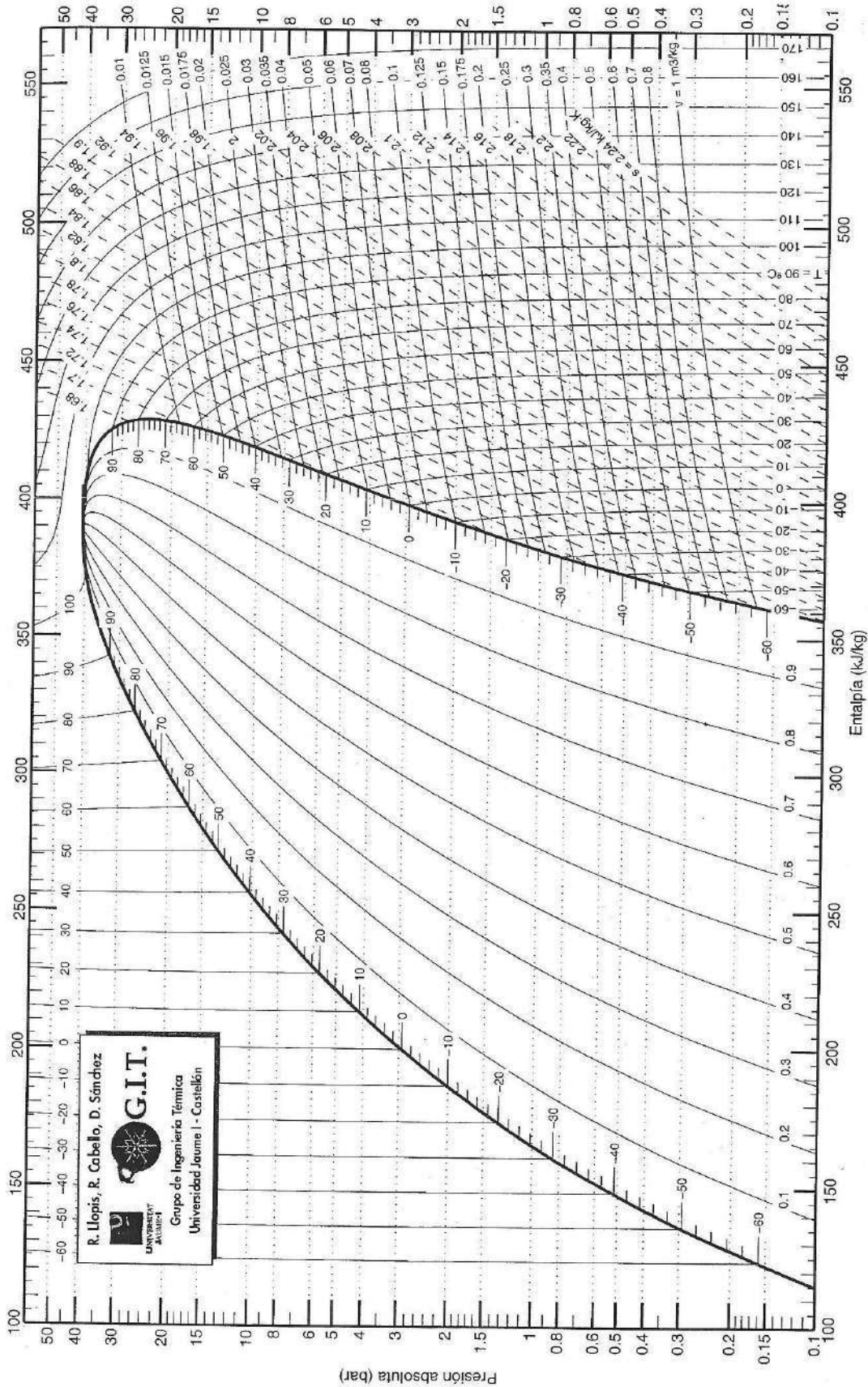
LÍNEA DE SUCCIÓN Tubo o tubería la cual transporta el refrigerante en estado de vapor, desde el evaporador a la entrada del compresor.

PRESIÓN DE ALTA Presión de funcionamiento medidas en la línea de descarga a la salida del compresor.

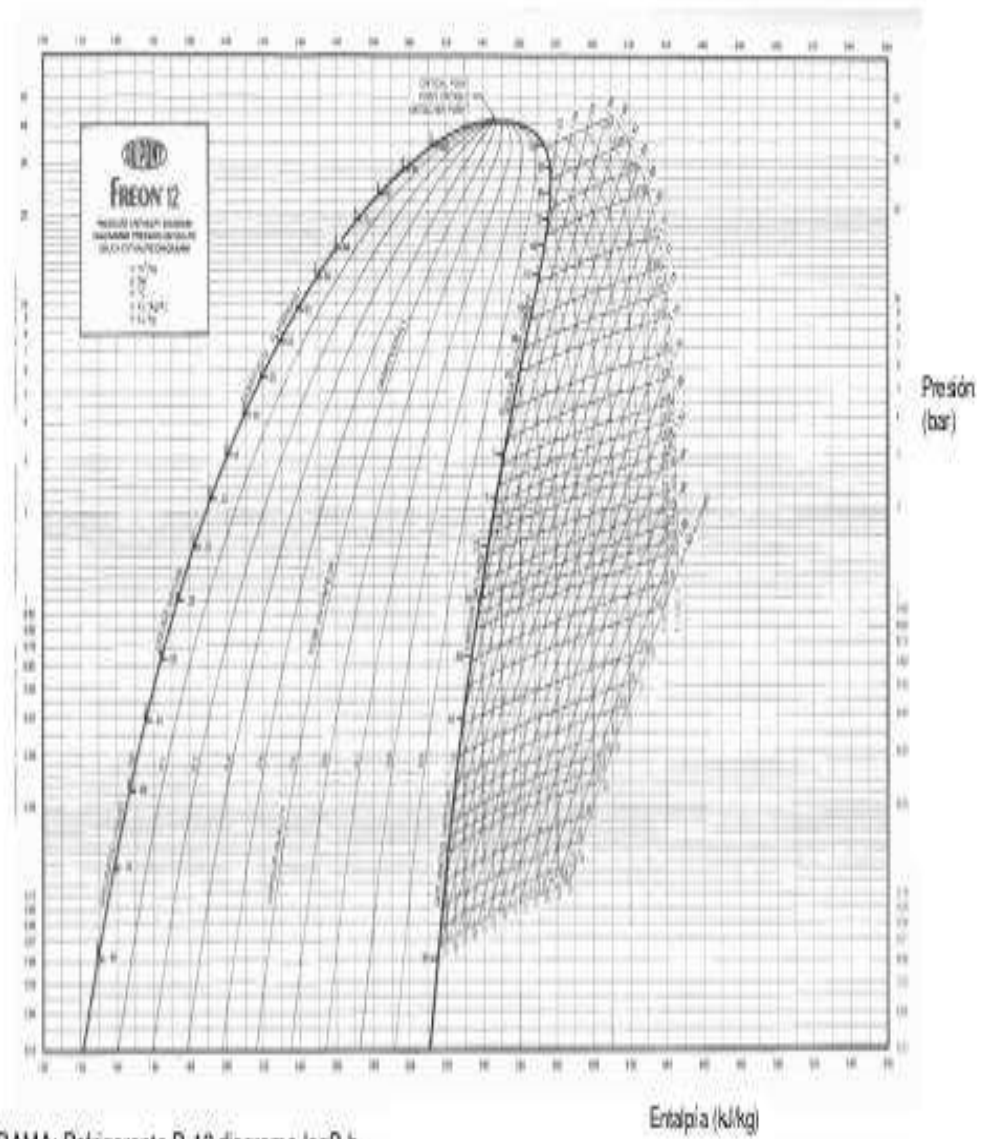
PRESION DE RETORNO Terminología indefinida para la presión de succión del vapor refrigerante en un sistema.



R134a (1,1,1,2 Tetrafluoroetano)



R. Llopis, R. Cabello, D. Sánchez
**G.I.T.**
Grupo de Ingeniería Térmica
Universidad Jaume I - Castellón



12. DIAGRAMA: Refrigerante R-12 diagrama logP-h