



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
BANCO DIDÁCTICO DE UN SISTEMA DE  
CLIMATIZACIÓN HVAC PARA LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**MARTÍNEZ GAVILÁNEZ CARLOS FABIÁN  
CHICAIZA PALATE JAIME VINICIO**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MARTÍNEZ GAVILÁNEZ CARLOS FABIÁN**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE  
UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HVAC PARA LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

---

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Andrea Razo Cifuentes

DIRECTORA DE TESIS

---

Ing. Edwin Pozo Safla

ASESOR DE TESIS

---

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**CHICAIZA PALATE JAIME VINICIO**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE  
UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HVAC PARA LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Andrea Razo Cifuentes

DIRECTORA DE TESIS

Ing. Edwin Pozo Safla

ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MARTÍNEZ GAVILÁNEZ CARLOS FABIÁN

**TÍTULO DE LA TESIS:** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HVAC PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2014-12-01

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge Paucar Guambo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Andrea Razo Cifuentes DIRECTORA DE TESIS			
Ing. Edwin Pozo Safla ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Jorge Paucar Guambo  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CHICAIZA PALATE JAIME VINICIO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN HVAC PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2014-12-01

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jorge Paucar Guambo (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Andrea Razo Cifuentes (DIRECTORA DE TESIS)			
Ing. Edwin Pozo Safla (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Jorge Paucar Guambo  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Carlos Fabián Martínez Gavilánez

---

Jaime Vinicio Chicaiza Palate

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado la vida y fortaleza para no darme por vencido en cada obstáculo encontrado y culminar esta etapa importante de mi formación profesional. A mi madre por brindarme su apoyo incondicional y superar las dificultades siendo mi guía en los momentos tristes y así terminar mi objetivo. A mis hermanos que siempre estuvieron junto a mí escuchándome y demostrando su cariño sin importar nuestras diferencias. Finalmente a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta tesis por su gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

**Carlos Martínez Gavilánez**

Dedico este título de Ingeniero Automotriz a mi madre querida la Sra. Hisolina Palate que con tanto amor y cariño me apoyo todo el tiempo de mi vida, a mis hermanos por permitir ser un ejemplo de lucha, perseverancia, y esfuerzo, a mi esposa y a mi hijo por formar parte de mi vida y ser mi felicidad, a mis profesores que supieron impartir sus conocimientos necesarios para poder afrontar los retos que nos depara la vida profesional, y a una persona en especial que siempre estuvo apoyándome con sus bendiciones desde el cielo mi Padre quien en vida fue Neptalí Chicaiza.

**Jaime ChicaizaPalate**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

**Carlos Martínez Gavilánez**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

**Jaime Chicaiza Palate**



# CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Condiciones de climatización.....	3
2.1.1 <i>Calor</i> .....	3
2.1.2 <i>Transferencia de calor</i> .....	3
2.1.2.1 <i>Convección</i> .....	4
2.1.3 <i>Frío</i> .....	4
2.1.4 <i>Zona de confort</i> .....	4
2.1.4.1 <i>Temperatura</i> .....	4
2.1.4.2 <i>Humedad</i> .....	5
2.1.4.3 <i>Pureza del aire</i> .....	5
2.1.4.4 <i>Circulación del aire</i> .....	5
2.2 Sistema de climatización.....	5
2.3 Clasificación por el alcance de instalación.....	6
2.3.1 <i>Sistema básico</i> .....	6
2.3.2 <i>Sistema completo</i> .....	7
2.4 Clasificación por el fluido caloportador.....	7
2.4.1 <i>Sistema por agua</i> .....	8
2.4.2 <i>Sistema por aire</i> .....	8
2.4.3 <i>Sistema por fluido refrigerante</i> .....	9
2.5 Instalación de la climatización.....	9
2.6 Partes de la instalación.....	9
2.6.1 <i>Habitáculo</i> .....	9
2.6.2 <i>Tablero de mandos</i> .....	10
2.6.3 <i>Salpicadero</i> .....	10
2.6.4 <i>Compresor</i> .....	11
2.6.4.1 <i>Tipos de compresores</i> .....	11
2.6.5 <i>Condensador</i> .....	11
2.6.5.1 <i>Tipos de condensadores</i> .....	12
2.6.6 <i>Válvulas de expansión termostáticas</i> .....	12
2.6.6.1 <i>Tipos de válvulas de expansión termostáticas</i> .....	12
2.6.7 <i>Evaporador</i> .....	13
2.6.7.1 <i>Tipos de evaporadores</i> .....	13
2.6.8 <i>Presostato</i> .....	14
2.6.9 <i>Termocontacto</i> .....	14
2.6.10 <i>Filtro deshidratante</i> .....	15
2.6.11 <i>Sonda del evaporador</i> .....	15
2.6.12 <i>Electroventilador</i> .....	15
2.6.13 <i>Impulsor</i> .....	16
2.6.14 <i>Filtro del habitáculo</i> .....	16
2.6.15 <i>Motor térmico</i> .....	17
2.6.16 <i>Circuito de calor</i> .....	17
2.6.17 <i>Circuito de frío</i> .....	18
2.7 Sistema de calefacción.....	19

2.8	Sistema de ventilación.....	19
2.9	Sistema de refrigeración o aire acondicionado.....	20
2.9.1	<i>Ciclo de funcionamiento</i> .....	20
2.10	Fluidos refrigerantes.....	21
2.10.1	<i>Reglamentación de los refrigerantes</i> .....	22
2.10.2	<i>Nuevo fluido refrigerante</i> .....	22
2.11	Lubricantes para compresores del sistema de aire acondicionado.....	23
2.11.1	<i>Funciones principales del aceite lubricante</i> .....	23
2.11.2	<i>Tipos de aceites</i> .....	24
2.11.3	<i>Características de los aceites del sistema de aire acondicionado</i> .....	24
<b>3.</b>	<b>CÁLCULOS DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO DIDÁCTICO HVAC</b>	
3.1	Cálculos de cargas térmicas del sistema de aire acondicionado.....	25
3.1.1	<i>Intercambio térmico en el condensador</i> .....	27
3.1.2	<i>Intercambio térmico en el evaporador</i> .....	31
3.1.3	<i>Caudal de refrigerante mínimo requerido</i> .....	34
3.1.4	<i>Potencia absorbida por el refrigerante en el compresor</i> .....	36
3.1.5	<i>Cálculo para la selección de la polea del motor eléctrico y la banda de transmisión</i> .....	37
<b>4.</b>	<b>SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL BANCO DE PRUEBAS DEL SISTEMA HVAC</b>	
4.1	Sistema de calefacción.....	42
4.1.1	<i>Características</i> .....	44
4.2	Sistema de ventilación.....	44
4.2.1	<i>Características</i> .....	44
4.3	Sistema de aire acondicionado.....	45
4.3.1	<i>Motor eléctrico</i> .....	45
4.3.1.1	<i>Características</i> .....	45
4.3.2	<i>Compresor</i> .....	46
4.3.2.1	<i>Especificaciones</i> .....	48
4.3.3	<i>Condensador</i> .....	48
4.3.3.1	<i>Datos técnicos</i> .....	49
4.3.3.2	<i>Características</i> .....	49
4.3.4	<i>Filtro deshidratante</i> .....	50
4.3.4.1	<i>Características</i> .....	50
4.3.5	<i>Presostato</i> .....	50
4.3.6	<i>Válvula de expansión termostática</i> .....	51
4.3.6.1	<i>Características</i> .....	51
4.3.7	<i>Evaporador</i> .....	52
4.3.7.1	<i>Características</i> .....	52
4.3.8	<i>Electroventilador</i> .....	52
4.3.8.1	<i>Características</i> .....	52
4.3.9	<i>Impulsor de aire</i> .....	53
4.3.9.1	<i>Especificaciones del impulsor de aire</i> .....	53
4.3.10	<i>Mangueras</i> .....	54
4.3.11	<i>Manguitos</i> .....	54
4.3.12	<i>Banda de transmisión</i> .....	54
4.3.13	<i>Refrigerante R-134a</i> .....	55
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO HVAC</b>	
5.1	Construcción de la estructura del sistema HVAC.....	56
5.2	Instalación del motor eléctrico.....	57
5.3	Instalación del compresor.....	58
5.4	Instalación del condensador.....	58

5.5	Instalación del electroventilador.....	59
5.6	Instalación del filtro deshidratante.....	59
5.7	Instalación de la válvula de expansión.....	60
5.8	Instalación del evaporador.....	60
5.9	Instalación del impulsor.....	61
5.10	Instalación de las mangueras.....	61
5.11	Instalación del calefactor eléctrico.....	62
5.12	Instalación de los ventiladores.....	62
5.13	Instalación de los controles del sistema de climatización HVAC.....	63
5.14	Instalación del relé, contactor y fusibles de 110V.....	63
5.15	Banco de pruebas HVAC terminado.....	64
<b>6.</b>	<b>PRUEBAS Y ENSAYOS</b>	
6.1	Análisis de carga en el sistema de aire acondicionado.....	65
6.1.1	<i>Sistema de aire acondicionado descargado.....</i>	65
6.1.2	<i>Pruebas de fugas.....</i>	66
6.1.3	<i>Prueba de vacío.....</i>	67
6.1.4	<i>Carga con almacenamiento de gas.....</i>	68
6.1.5	<i>Prueba de potencia.....</i>	69
6.1.6	<i>Prueba de sobrecarga.....</i>	70
6.2	Pruebas de la calefacción.....	71
6.3	Pruebas de ventilación.....	71
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
7.1	Detalle de costos directos.....	72
7.2	Detalle de costos indirectos.....	73
7.3	Costo total.....	73
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1	Conclusiones.....	74
8.2	Recomendaciones.....	74

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
1	Propiedades para relacionar la temperatura .....	6
2	Etapas del aire acondicionado.....	21
3	Fluidos refrigerantes.....	21
4	Comparación R-12/R-134a.....	22
5	Nuevo refrigerante R-1234yf.....	23
6	Características y propiedades de los aceites para los compresores del sistema de A/C.....	24
7	Parámetros climáticos promedio de la ciudad de Riobamba, año 2013.....	25
8	Propiedades de los gases a baja presión.....	26
9	Propiedades físicas y químicas R-134a.....	34
10	Datos del motor eléctrico y compresor.....	37
11	Diámetro de las poleas en (in) disponibles en el mercado.....	39
12	Longitudes en (in) de bandas en V disponibles en el mercado.....	40
13	Tipos de calefactores.....	42
14	Análisis de las variables para la selección.....	42
15	Análisis de la temperatura máxima.....	43
16	Análisis del consumo.....	43
17	Análisis de la eficiencia.....	43
18	Análisis de costos.....	43
19	Selección del calefactor.....	43
20	Marcas de compresores.....	46
21	Análisis de las variables del compresor.....	46
22	Análisis de la cilindrada.....	47
23	Análisis de las RPM.....	47
24	Análisis de la eficiencia.....	47
25	Análisis de los costos.....	47
26	Selección del compresor.....	48
27	Marcas de condensadores.....	49
28	Presiones de referencia.....	55
29	Material utilizado.....	56
30	Resultado del sistema descargado.....	65
31	Medidas de la prueba de vacío.....	68
32	Medidas de carga de fluido refrigerante.....	68
33	Medidas de la prueba de potencia.....	69
34	Pruebas en el calefactor a temperatura ambiente 17°C.....	71
35	Pruebas de ventilación.....	71
36	Detalle de costos de los elementos normalizados.....	72
37	Detalle de costos indirectos.....	73
38	Costototal.....	73

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Sistema de climatización.....	6
2	Partes del sistema básico.....	7
3	Sistema HVAC.....	7
4	Sistema por agua.....	8
5	Sistema por aire.....	8
6	Sistema por gas refrigerante.....	9
7	Habitáculo.....	10
8	Tablero de mandos.....	10
9	Salpicadero.....	10
10	Compresor de cilindrada fija de simple efecto.....	11
11	Condensador de flujo paralelo.....	12
12	Válvula de expansión termostática con igualador interior.....	13
13	Evaporador de placas.....	14
14	Presostato.....	14
15	Termocontacto.....	14
16	Filtro deshidratante.....	15
17	Sonda del evaporador.....	15
18	Electroventilador.....	15
19	Impulsor.....	16
20	Filtro del habitáculo.....	16
21	Motor térmico.....	17
22	Circuito de calor.....	18
23	Circuito de frío.....	18
24	Sistema de calefacción.....	19
25	Sistema de ventilación.....	20
26	Sistema de aire acondicionado.....	20
27	Transferencia de calor en el condensador.....	28
28	Temperaturas consideradas en el condensador.....	29
29	Áreas del condensador.....	30
30	Áreas del evaporador.....	33
31	Compresor.....	37
32	Tamaño de secciones de bandas industriales en V.....	37
33	Diámetro de poleas.....	39
34	Distancias entre centros.....	40
35	Esquema del motor eléctrico y compresor.....	41
36	Calefactor.....	44
37	Ventilador.....	45
38	Motor eléctrico.....	46
39	Compresor.....	48
40	Eficiencia, costos del condensador.....	49
41	Condensador.....	50
42	Filtro deshidratante tipo universal.....	50
43	Presostato.....	51
44	Válvula de expansión.....	52
45	Evaporador.....	52
46	Electroventilador.....	53
47	Impulsor de aire.....	53
48	Mangueras.....	54
49	Manguitos.....	54
50	Banda de transmisión de 7 canales en V.....	55

51	Estructura del banco didáctico HVAC.....	57
52	Instalación del motor eléctrico.....	57
53	Instalación del compresor.....	58
54	Instalación del condensador.....	58
55	Instalación del electroventilador.....	59
56	Instalación del filtro deshidratante.....	59
57	Instalación de la válvula de expansión.....	60
58	Instalación del evaporador.....	60
59	Instalación del impulsor.....	61
60	Instalación de las mangueras y acoples .....	61
61	Instalación del calefactor.....	62
62	Instalación de los ventiladores.....	62
63	Instalación de los controles de mandos.....	63
64	Instalación del circuito de potencia.....	64
65	Banco de pruebas HVAC terminado.....	64
66	Sistema descargado.....	65
67	Comprobación de fugas.....	66
68	Fugas en el filtro deshidratante.....	66
69	Conexiones para la prueba de vacío.....	68
70	Carga con fluido refrigerante R-134a.....	69
71	Temperaturas de los componentes del A/C.....	69
72	Prueba a plena carga.....	70
73	Sobrecarga en el sistema.....	70

## SIMBOLOGÍA

$\rho$	Densidad del aire	$\text{g/cm}^3$
$T_{\text{max}}$	Temperatura máxima	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{min}}$	Temperatura mínima	$^{\circ}\text{C}$
$\dot{m}$	Flujo másico del aire	$\text{kg/s}$
$Q_c$	Calor cedido al aire por el refrigerante	$\text{kW}$
$Q_e$	Calor cedido por el aire al refrigerante	$\text{kW}$
$C_p$	Calor específico a presión constante	$\text{kcal/kg}^{\circ}\text{K}$
$T_i$	Temperatura de entrada del aire	$^{\circ}\text{C}$
$T_f$	Temperatura de salida del aire	$^{\circ}\text{C}$
$W_c$	Potencia absorbida por el refrigerante	$\text{W}$
A/C	Aire acondicionado	
$V_b$	Velocidad lineal	$\text{m/s}$
$\Omega$	Velocidad angular	$\text{rad/s}$
C	Distancia entre centros de poleas	$\text{M}$

## LISTA DE ABREVIACIONES

GWP	Global Warning Potencial
SAE	Society American Engineers
ODP	Ozone Depleting Potential
HFO	Hidrofluorolefinas
HFC	Hidrofluorocarbonados
CFC	Clorofluorocarbonos
ASHRAE	Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado
RMA	Asociación de Fabricantes de Productos de Hule
ARI	Instituto Americano de Refrigeración



## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Manual de operación.
- B** Manual de mantenimiento.
- C** Manual de seguridad.
- D** Material utilizado para la estructura del banco de climatización HVAC.
- E** Guías de prácticas.

## **LISTA DE PLANOS**

- A** Circuito de potencia.
- B** Circuito de control.
- C** Estructura del banco HVAC.

## RESUMEN

Se ha construido e implementado un banco didáctico de climatización HVAC para la Escuela de Ingeniería Automotriz, con la finalidad de proporcionar condiciones de confort en cuanto a temperatura, humedad y aire limpio en el vehículo; al mismo tiempo, ser utilizado como herramienta de aprendizaje para desarrollar habilidades en las aplicaciones en el sistema.

Analizando el funcionamiento y las características técnicas de los elementos de climatización se realizó la respectiva selección de componentes, en base a parámetros fundamentales como la entrega de temperatura, eficiencia y costo.

Una vez seleccionados los elementos de cada sistema; se eligió un calefactor eléctrico, dos ventiladores, mientras que al sistema de aire acondicionado se incorporó: motor eléctrico, banda de transmisión, compresor, condensador, filtro deshidratador, válvula de expansión termostática, evaporador, electroventilador, impulsor de aire, cañerías, manómetros y batería. Además, el banco didáctico cuenta con un control de mandos manuales eléctricos de 12 y 110 voltios diseñados en software específicos.

La construcción de la estructura, la ubicación y montaje de las partes y sistemas mencionados anteriormente, fue sometido a pruebas de funcionamiento como: presión para determinar fugas, vacío, carga con almacenamiento de fluido refrigerante, pruebas de potencia, de sobrecarga; y, finalmente pruebas de temperatura.

Con la implementación de este banco didáctico se obtiene temperaturas de confort consideradas entre 20 y 22 °C, proporcionado por el sistema de calefacción en un tiempo de 30 segundos con su máxima eficiencia, mientras que en el sistema de aire acondicionado tarda 10 segundos con presiones 30 y 150 Psi en los circuitos de baja y alta presión respectivamente, para este sistema se recomienda utilizar nuevos fluidos refrigerantes como el R-1234yf por ser muy ecológicos.

## **ABSTRACT**

It has built and implemented a HVAC training bench for the school of Automotive Engineering, in order to provide comfort conditions for temperature, humidity and clean air in the vehicle at the same time be used as a learning tool for develop skills in applications in the system.

Analyzing the performance and technical characteristics of the climate control elements a component selection was made, based on fundamental parameters such as temperature delivery, efficiency and cost.

After the selection of the elements of each system, these ones were selected: an electric heater and two fans; while the air conditioning system was incorporated: and electric motor, a transmission, band, compressor, capacitor, filter-drier, thermal expansion valve, evaporator, electric fan, air impeller, pipes, gauges and battery. In addition, the training bench has an electric hand control of 12 and 110 volts designed in specific software.

The construction of the structure, location and assembly of parts and system mentioned above, was tested for operation as pressure for leak, vacuum, charge with refrigerant storage fluid, power testing, overload, finally tests temperature.

With the implementation of this training bench comfort temperatures have been gotten considered between 20 and 22°C, provided by the heating system in a time of 60 seconds at maximum efficiency is obtained while the air conditioning system takes 10 seconds with pressures 30 and 150 Psi in the circuits of low and high pressure respectively, for this system is recommended as new refrigerants such as R-1234yf because it is very ecological.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En los primeros vehículos se utilizó en la parte interna del habitáculo materiales (alfombras y cuero) que proporcionaban un excesivo calor, para resolver estos problemas se instalaron sistemas de aire acondicionado pero tenían una gran desventaja, no existía un embrague que permita desacoplar el compresor del movimiento continuo del motor debido a esto siempre permanecía encendido mientras que el vehículo estaba en funcionamiento, y para apagar el sistema, se tenía que parar el auto salir de éste, abrir el capo y quitar la correa del compresor.

Posteriormente se implementó controles para el aire acondicionado, que estaban colocados en el asiento trasero, el conductor debía estirarse hacia el asiento trasero para apagar el sistema, pero aun así era mejor que apagar el carro y desconectar la correa del compresor.

La necesidad de mejorar estos sistemas y conseguir un confort para los ocupantes del vehículo se incorpora un climatizador que regula la temperatura, la humedad, la pureza y la circulación del aire mediante unidades manuales, automáticas o combinadas de calefacción, ventilación y aire acondicionado que permite al conductor tener control de la temperatura en el interior del habitáculo. Las unidades de aire acondicionado automotoras están evolucionando continuamente, ahora hay más diseños de compresores y nuevos componentes electrónicos que mejoran las eficiencias de estos equipos.

La Escuela de Ingeniería Automotriz forma profesionales capacitados para enfrentar un demandante crecimiento tecnológico, sobre todo en los sistemas de climatización para un mejor confort del habitáculo del vehículo.

## **1.2 Justificación**

Mediante el desarrollo de la tesis se pretende demostrar que estamos en capacidad de resolver cualquier tipo de trabajo e inconveniente. Es importante reflejar los conocimientos adquiridos dentro de las aulas de la universidad, al mismo tiempo implementar un banco didáctico de un sistema de climatización para el laboratorio refrigeración y aire acondicionado de la Escuela de Ingeniería Automotriz con el propósito de mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

La investigación de esta tesis significara un avance tecnológico importante y se basa en una amplia investigación de los sistemas de climatización de los vehículos porque el aire acondicionado es una parte importante de un sistema integrado que proporciona enfriamiento, calentamiento, desempañado del parabrisas, filtrado de aire y control de humedad para la comodidad del pasajero y la seguridad del vehículo.

## **1.2 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Construir e implementar un banco didáctico de un sistema de climatización HVAC para la Escuela de Ingeniería Automotriz.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

Conocer los elementos que conforman el sistema de climatización.

Analizar el funcionamiento de los componentes del sistema HVAC mediante pruebas y ensayos.

Instalarlas partes del sistema de climatización en la estructura.

Realizar las pruebas de funcionamiento y mostrar la funcionalidad de cada elemento del sistema de climatización.

Elaborar guíasde prácticas del sistema para los estudiantes.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Condiciones de climatización

La climatización es alcanzar bienestar para las personas y obtener un ambiente confortable en el vehículo para ello se utilizan diversas técnicas.

Las condiciones de climatización es un proceso de tratamiento del aire para espacios interiores, para regular la temperatura, controlar la humedad, pureza y circulación del aire, las principales condiciones de sistema de climatización de un vehículo son las siguientes.

**2.1.1** *Calor.* Es la transición de pasar de un cuerpo o un sistema a otro, debido a una diferencia de temperaturas de dichos cuerpo o sistema en la climatización se basa en la transmisión de calor de unos a otros.

$$Q = mC_p\Delta T(1)$$

Dónde:

m= Masa del cuerpo.

C<sub>p</sub>=Calor específico.

ΔT=Incremento de temperatura.

**2.1.2***Transferencia de calor.*Corresponde a la cantidad de transferencia de calor conforme a un sistema que pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura, para nuestros cálculos se utilizará la transferencia de calor por convección.

**2.1.2.1 Convección.** Se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido-gas) que transporta el calor por diferentes temperaturas (DÍAZ, 2011).

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Dónde:

h= Coeficiente de convección.

$A_s$ = Área cuerpo contacto con el fluido.

$T_s$ = Temperatura superficie del cuerpo.

$T_\infty$ = Temperatura fluido lejos del cuerpo.

**2.1.3 Frío.** Es la ausencia de calor, aplicado al ser humano es la sensación que se experimenta por su pérdida y se nota cuando la temperatura interior del cuerpo es más elevada que la de otros elementos externos.

**2.1.4 Zona confort.** Son comodidades para el ser humano donde influye el ambiente, la climatización que ofrecen los modernos sistemas permite tener mejor control de la temperatura ambiente entre los 12 °C y 25 °C según las circunstancias del clima, para obtener un ambiente confortable y saludable.

**2.1.4.1 Temperatura.** Es una propiedad termodinámica y está asociada directamente con el movimiento molecular, no depende del tamaño de la masa ni del tipo de masa y se puede medir en °C, °F.

Tabla 1. Propiedades para relacionar la temperatura

Cambio de volumen	Fenómeno dilatación de una sustancia al incremento de temperatura.
Cambio de presión	Volumen constante, su presión incrementa a medida que incrementa la temperatura.
Cambio de resistividad eléctrica	La resistencia eléctrica de los metales incrementa casi en proporción con el cambio de la temperatura.
Cambio de potencial eléctrico	Dispositivo que mide la temperatura por la fuerza electromotriz se llama termopar funciona cuando 2 metales se unen.
Cambio ópticos	Dispositivo que utiliza se llama pirómetro óptico cuando el cuerpo se encuentra caliente.

Fuente: BUQUÉ L. Tecnología de la climatización.



**2.1.4.2 Humedad.** Es el equilibrio entre la humedad del aire para que proporcione la temperatura mayor grado de confort al ser humano. Los grados de humedad excesivamente altos o bajos llegan a incomodar a los usuarios, el confort se encuentra entre 40 y 60% de humedad relativa tanto en ambientes fríos como en cálidos, existen dos tipos de humedad la relativa y la absoluta.

**2.1.4.3 Pureza del aire.** En el aire existen pequeñas partículas en suspensión difíciles de detectar que causan molestias o alergias al ser humano cuando respira además de provocar suciedad en los objetos y en el mobiliario los filtros de los climatizadores constituyen a mejorar la calidad del aire.

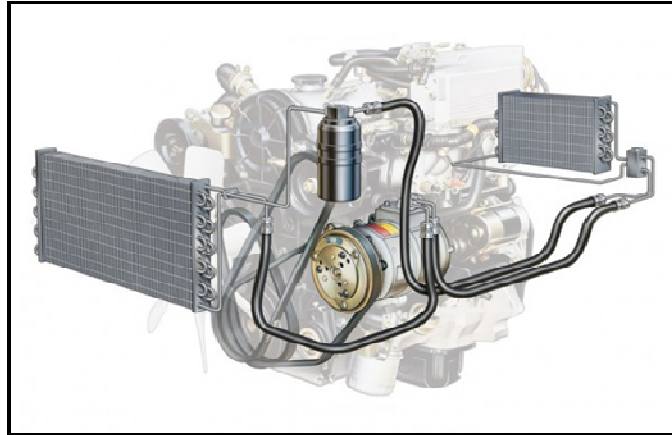
**2.1.4.4 Circulación del aire.** El calor y la humedad son distintos si el aire está en proceso o en movimiento de ahí que la circulación del aire también contribuya a crear sensación de bienestar. Lo mejor es que el aire circule de manera uniforme a la velocidad adecuada y que no se concentre en una sola dirección (BUQUÉ, 2009).

## **2.2 Sistema de climatización**

Un sistema HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) son sistemas encargados del tratamiento del aire para enviar a diferentes partes del vehículo mediante mangueras, cañerías y circuitos controlados desde el interior del habitáculo. El motor de combustión interna transmite el movimiento al compresor mediante una banda que permite poner en funcionamiento al sistema de aire acondicionado y calefacción.

El aire acondicionado utiliza un fluido refrigerante que aumenta de presión y temperatura en el compresor después se traslada al condensador en donde se enfría por medio de un electroventilador. Posteriormente pasa a través de la válvula de expansión para luego circular por el evaporador, donde un impulsor y el aire caliente existente en el interior del habitáculo producen una evaporación del líquido refrigerante convirtiéndose así en aire frío. La distribución del aire en el interior del habitáculo se produce por medio de un conjunto de trampillas enviando así hacia los distintos componentes y zonas del habitáculo. Existen diferentes trampillas de recirculación y distribución de mezcla de aire frío-caliente.

Figura 1. Sistema de climatización



Fuente:<http://www.gruporivero.com/web/mitos-sobre-la-recarga-del-aire-acondicionado/>

En el sistema de calefacción el motor de combustión hace que el líquido refrigerante alcance una temperatura entre los 80 °C hasta los 110 °C impulsado por una bomba de agua que hace circular por mangueras al radiador de calefacción donde se produce que el aire pase por este retirando la temperatura del agua. En los 3 sistemas el aire entrante es impulsado al interior del habitáculo mediante el impulsor. La regulación de la climatización se realiza desde el tablero de mandos que puede ser manual o automática permitiendo así tener un mejor confort del aire interior en el vehículo.

La finalidad de un sistema HVAC es entregar calefacción y enfriamiento adecuado a cada área del habitáculo manteniendo de forma fiable los valores requeridos de temperatura y calidad del aire cuando los pasajeros lo requieran (BUQUÉ, 2009).

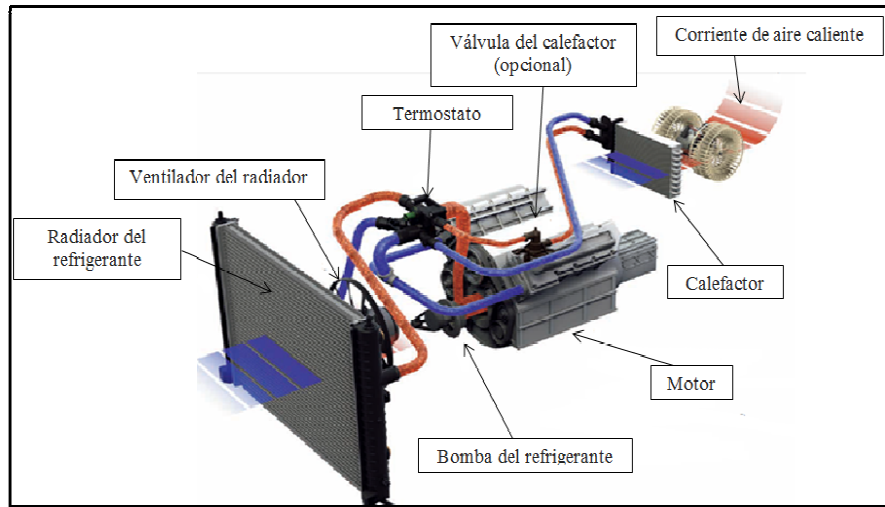
### **2.3 Clasificación por el alcance de instalación**

Este sistema de climatización HVAC puede clasificarse en dos tipos según la conveniencia del usuario, sistema básico y sistema completo este último brinda una mejor calidad de aire y confort para el usuario cuando este lo desee.

**2.3.1 Sistema básico.** Este tipo de climatización tiene los sistemas de calefacción y ventilación debido a que estos son necesarios e indispensables para los pasajeros en un vehículo. Existen dos tipos de calefacciones, una que intercambia calor mediante líquido (agua-refrigerante) y otra eléctrica de 24 voltios. La ventilación de aire puede ser de

flujo natural o flujo forzado mediante un impulsor, a este se puede regular el flujo de aire.

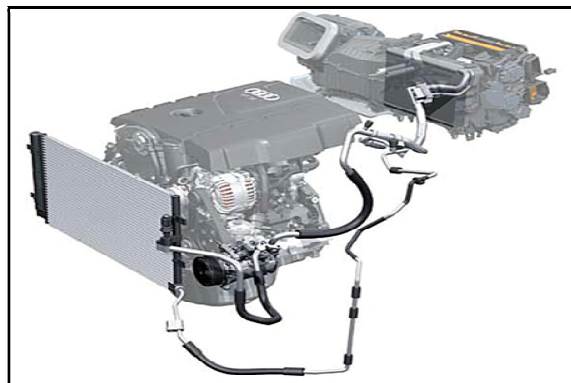
Figura 2. Partes del sistema básico



Fuente: BHS\_ refrigeración del vehículo 2013. Pdf. P.8

**2.3.2 Sistema completo.** La diferencia con el sistema básico es el incremento del sistema de aire acondicionado siendo más costoso al momento de adquirirlo por sus beneficios (CARRIER, 2009).

Figura 3. Sistema HVAC



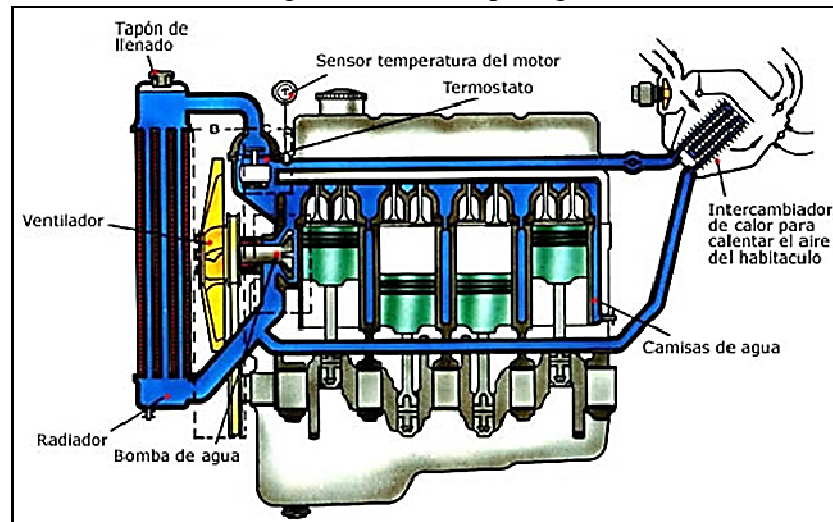
Fuente: <http://www.refecol.com.ec/productos/climatizacion-automotriz/>

## 2.4 Clasificación por el fluido caloportador

Son fluidos que transportan la energía térmica a diferentes partes del vehículo para cumplir distintas funciones denominados fluidos caloportadores y se clasifican en:

**2.4.1 Sistema por agua.** El agua que se encuentra en movimiento a través de las cámaras de refrigeración del motor de combustión interna llega al radiador de calefacción a altas temperaturas provocando el intercambio de calor por conducción con el flujo de aire del impulsor.

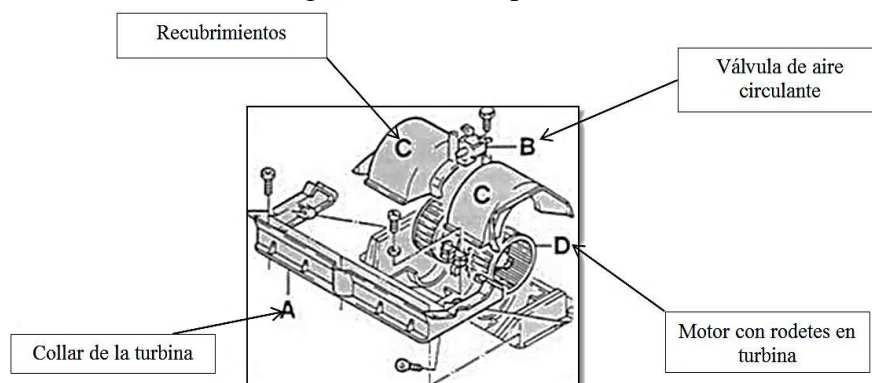
Figura 4. Sistema por agua



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>

**2.4.2 Sistema por aire.** Permite controlar la temperatura mediante un impulsor ubicado en la parte interna del tablero que envía flujo de aire a diferentes partes del habitáculo.

Figura 5. Sistema por aire



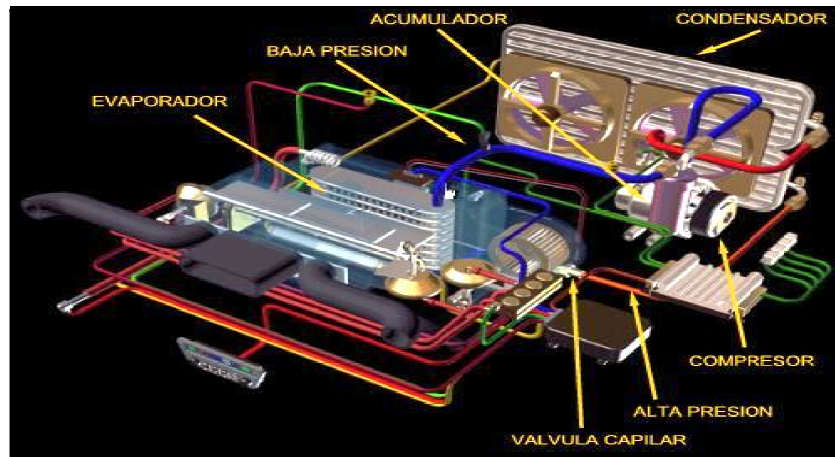
Fuente: <http://www.triple3a.com/guia1.html>

En el tablero de mandos se puede variar la velocidad del impulsor mediante la regulación de corriente del motor eléctrico del impulsor para obtener una distribución y transmisión de aire adecuada.

**2.4.3 Sistema por fluido refrigerante.** La función es producir aire frío receptando calor del habitáculo con la utilización de fluidos frigoríficos para la climatización, tienen gran

capacidad de absorción de calor, circula por mangueras de alta y baja presión por varios elementos del sistema de aire acondicionado ubicados en diferentes partes internas del habitáculo del vehículo(LESUR, 2009).

Figura 6. Sistema por gas refrigerante



Fuente:<http://www.thaya.net/articulos2.htm>

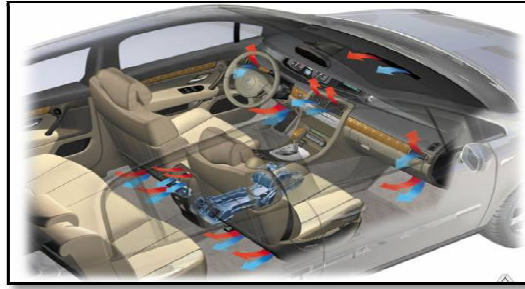
## 2.5 Instalación de la climatización

La instalación correcta del sistema HVAC proporciona confort y comodidad para los pasajeros en la parte interna del habitáculo debido a que la ubicación y conexión intervienen en el funcionamiento de los elementos que conforman el sistema de climatización. Una incorrecta instalación de algún elemento podría causar daños graves en la parte interna del compresor, válvula de expansión, filtro deshidratante o acumulador y también en el sistema eléctrico, para evitar estos daños se debe tener precaución al momento de instalar y seguir las indicaciones de los fabricantes.

## 2.6 Partes de la instalación

**2.6.1 Habitáculo.** Es la parte del vehículo donde se encuentran los pasajeros, tablero de mandos y las distintas distribuciones de los sistemas de climatización, las paredes del habitáculo brindan aislamiento térmico que influyen en el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura deseada.

Figura 7. Habitáculo



Fuente: <http://dagomatiass.blogspot.com/>

**2.6.2** *Tablero de mandos.* Los controles del sistema de climatización se encuentran en la mitad del conductor y acompañante permitiendo seleccionar la velocidad de la circulación del aire y temperatura para enviar a las distintas zonas del habitáculo.

Figura 8. Tablero de mandos



Fuente: <http://www.chevrolet.com.ec/aveo-family-auto-economico/accesorios.html>

**2.6.3** *Salpicadero.* Está conformada por conductos de diferentes formas y ubicaciones para distribuir flujo de aire en la parte interina del habitáculo por los sistemas de climatización, el material utilizado para la fabricación del salpicadero es de poliuretano (WHITMAN, 2012).

Figura 9. Salpicadero



Fuente: [http://www.arpem.com/coches/coches/audi/a\\_8/fotos/2009/audi-a8-ventilacion.html](http://www.arpem.com/coches/coches/audi/a_8/fotos/2009/audi-a8-ventilacion.html)

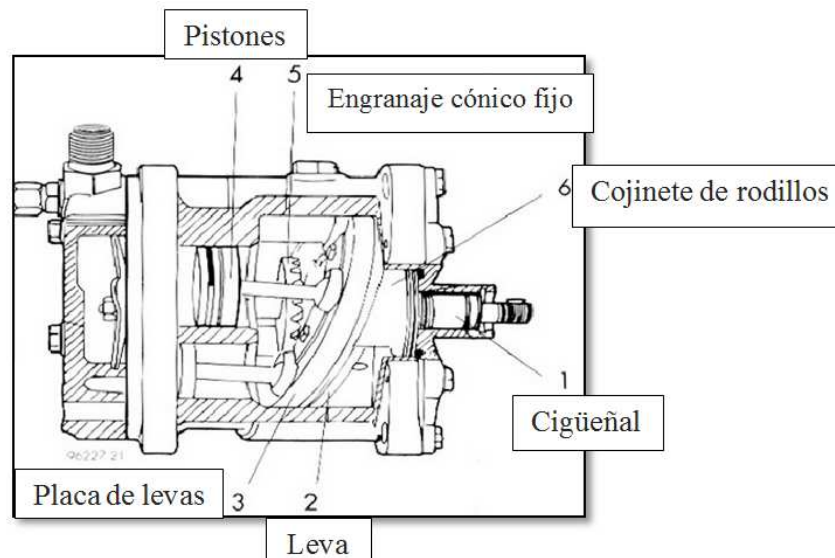
**2.6.4 Compresor.** Un compresor tiene función de elevar la presión y temperatura del fluido refrigerante, que permite tener un ciclo de funcionamiento en el sistema de aire acondicionado de carga y descarga.

**2.6.4.1 Tipos de compresores:**

- Compresor de pistones axiales.
- Compresor de cilindrada fija.
- Compresor de cilindrada variable.
- Compresor rotativo.

El compresor que se utilizará en sistema de climatización HVAC es de cilindrada fija que se caracteriza por el movimiento de pistones paralelamente al eje principal. La transmisión de movimiento rotacional del eje principal, es transformada en movimiento lineal hacia los pistones, gracias a la acción de movimiento alternativo provocado por el plato oscilante (HELLAMEX, 2007).

Figura 10. Compresor de cilindrada fija de simple efecto



Fuente: <http://es.slideshare.net/dialmi/compresores-9940813>

**2.6.5 Condensador.** Está ubicado en la parte delantera del vehículo cumple una función dispersar el calor absorbido por el fluido frigorífico durante las fases de evaporación y compresión, al pasar por este elemento el fluido se enfría y se condensa,

el material de fabricación de los primeros condensadores fue cobre-aluminio, actualmente se utiliza los de aluminio.

#### **2.6.5.1** *Tipos de condensadores:*

- Condensador de serpentín.
- Condensador tubo / aletas.
- Condensador de flujo paralelo.

El condensador que se utilizará en sistema de climatización HVAC es de flujo paralelo que tiene dos tubos verticales colectores a ambos lados. Los microtubos horizontales paralelos van de un colector a otro en el caso de flujo paralelo puro, todos los tubos están en paralelos.

En el caso de multiflujo, normalmente el número de tubos conectados en paralelo va disminuyendo a medida que el refrigerante se va condensando y existe un mejor subenfriamiento del refrigerante.

Figura 11. Condensador de flujo paralelo



Fuente: Autores

**2.6.6** *Válvulas de expansión termostáticas.* El fluido refrigerante circula en estado líquido a alta presión y en su interior sufre una expansión convirtiéndose en estado difásico, a baja presión y temperatura para luego pasar hacia el evaporador.

#### **2.6.6.1** *Tipos de válvulas de expansión termostáticas:*

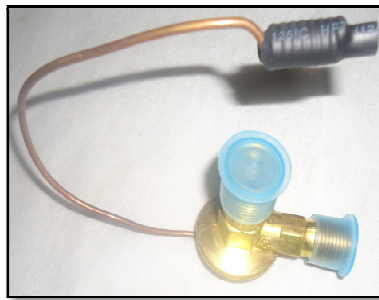
- Válvula de expansión termostática con igualador interior.
- Válvula de expansión termostática con igualador exterior.



- Válvula de expansión termostática tipo H.
- Válvula de expansión de orificio fijo.

La válvula de expansión a utilizar en el banco de climatización es con igualador interior que está compuesto de un papilar con un sensor de tipo bulbo o de serpentín, la membrana de control y la válvula de bola, el bulbo se encuentra acoplado a la salida del evaporador y en su interior existe gas que se expande o se contrae en función de la temperatura.

Figura 12. Válvula de expansión termostática con igualador interior



Fuente: Autores

**2.6.7 Evaporador.** Está ubicado en el interior del tablero después del impulsor y antes del radiador de calefacción, cumple la función de enfriar el aire que envía el impulsor, los primeros evaporadores estaban fabricados de cobre-aluminio, actualmente se utiliza en los vehículos los evaporadores de aluminio.

#### **2.6.7.1 Tipos de evaporadores:**

- Evaporador de serpentín.
- Evaporador tubo / aletas.
- Evaporador de placa.

El evaporador a utilizar en el banco de climatización es de placas que tiene un tubo de mayor anchura denominándose placas para mejorar la evaporación del refrigerante su material de fabricación es de aluminio con la ventaja de ser liviano y con alta eficiencia en la transferencia de calor.

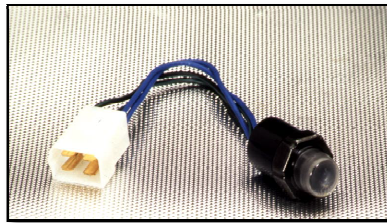
Figura 13. Evaporador de placas



Fuente:Autores

**2.6.8 Presostato.** Es un elemento de seguridad del sistema de aire acondicionado instalado en las cañerías de alta presión o incluido en el filtro deshidratante, si existe una sobre presión detendrá al compresory también envié la señal de activar la segunda marcha al electroventilador.

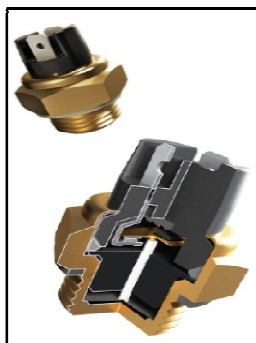
Figura 14. Presostato



Fuente: VALEO distribución vde s.a. Climatización introducción pdf. p.139

**2.6.9 Termocontacto.** Actúa de una forma similar cuando la temperatura de líquido refrigerante es demasiado alta en el sistema de A/C manda una señal al electroventilador para que conecte la segunda velocidad actuando de forma más rápida en la condensación.

Figura 15. Termocontacto



Fuente:[http://www.mlhvernet.com.ar/es\\_tecnica\\_termocontacto.html](http://www.mlhvernet.com.ar/es_tecnica_termocontacto.html)

**2.6.10 Filtro deshidratante.** Sirve para retener el agua y las impurezas que existen en el circuito evitando que pueda llegar al compresor y sufrir daños graves.

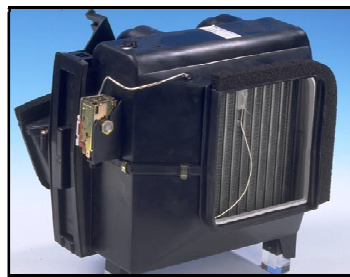
Figura 16. Filtro deshidratante



Fuente: Autores

**2.6.11 Sonda del evaporador.** Contiene en su interior al evaporador la sonda es un elemento que previene la introducción de hielo en el evaporador.

Figura 17. Sonda del evaporador



Fuente: VALEO distribución vde s.a. Climatización actualización talleres pdf.p.129

**2.6.12 Electroventilador.** Envía flujo de aire para refrigerar al condensador a diferentes velocidades según la temperatura y presión del sistema de A/C este se conecta y desconecta automáticamente, está fabricado de polietileno.

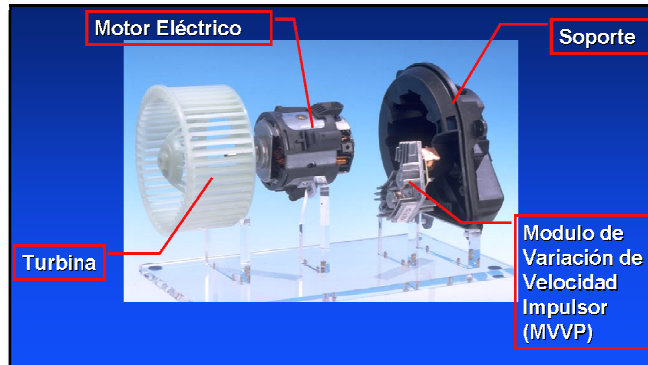
Figura 18. Electroventilador



Fuente: Autores

**2.6.13 Impulsor.** El segundo elemento cumple la misma función de enviar flujo de aire hacia el evaporador y también lo hace para el sistema de ventilación, se puede regular la velocidad flujo de aire que entrega al habitáculo.

Figura 19. Impulsor



Fuente: VALEO distribución vde s.a. Climatización actualización talleres pdf. p.140

**2.6.14 Filtro del habitáculo.** Evita que se introduzcan partículas al interior del habitáculo, está ubicado en la entrada de aire en el compartimento del motor o entre el impulsor y el evaporador bajo el salpicadero.

Los distintos tipos de filtros del habitáculo son, electrostáticos, carbón activado, tipo seco, tipo viscoso, de plasma, en la mayor parte de fabricación de estos filtros se utiliza el polipropileno.

Figura 20. Filtro del habitáculo



Fuente: VALEO distribución vde s.a. Climatización actualización talleres pdf. p.142

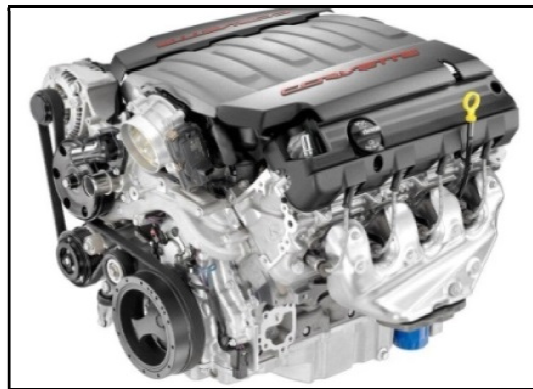
El filtro del habitáculo permite obtener distintas ventajas para la salud y el confort de los pasajeros cuando utilicen el sistema HVAC, evitando el malestar y desagrado del aire que circula en el interior del vehículo.

### ***Ventajas del filtro del habitáculo***

- Impide la entrada y circulación de partículas extrañas al interior del habitáculo.
- Evita la aparición de lágrimas y estornudos por un mal filtrado de aire.
- Beneficia a la limpieza del vaho del parabrisas, porque admite la entrada de aire seco que ayuda al desempañado.
- Desinfecta el aire del interior del vehículo para impedir el depósito de suciedad en salpicadero y parabrisas debido a la introducción de partículas del aire exterior (HERNANDEZ, 2008).

**2.6.15 Motor térmico.** Pone en movimiento a los diferentes componentes del sistema de climatización en un vehículo. La banda transmite movimiento al compresor para que cumpla con el ciclo de funcionamiento en el sistema de aire acondicionado, el compresor se acopla mediante un electroembrague que se encuentra en la polea. La bomba envía líquido refrigerante al sistema de calefacción a temperaturas altas y se realiza el intercambio de calor en el radiador de calefacción y se distribuya flujo de aire caliente al interior del habitáculo por medio del salpicadero (RUEDA, 2010).

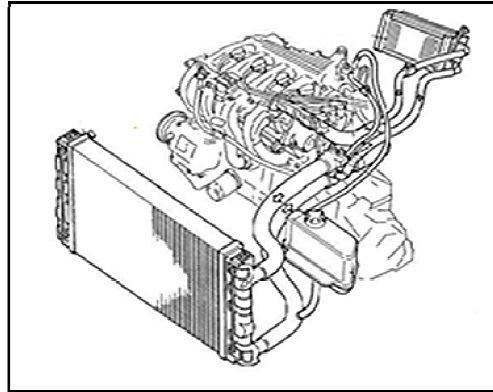
Figura 21. Motor térmico



Fuente: <http://www.arpem.com/coches/coches/corvette/stingray/fotos/2013/2p-motor-1.html>

**2.6.16 Circuito de calor.** El líquido refrigerante es impulsado por la bomba de agua hacia los conductos del motor de combustión después pasa a través de los manguitos al radiador de refrigeración. El termostato activa al electroventilador cuando el líquido refrigerante se encuentre a una temperatura alta en el radiador. El termostato permite el paso del líquido refrigerante hacia el radiador de calefacción, donde existe un intercambio de calor mediante un impulsor.

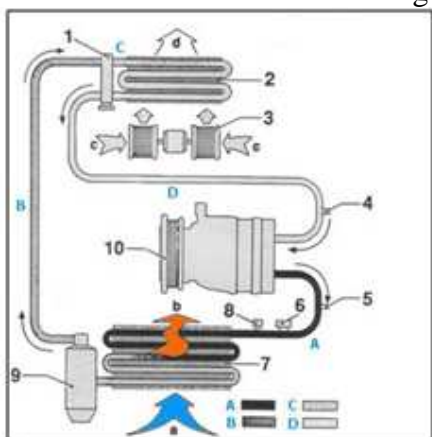
Figura 22. Circuito de calor



Fuente: <http://www.clubdelpalio.com.ar/showthread.php?40394-Problemas-con-la-calefaccion>

**2.6.17 Circuito de frío.** Está dividido en dos partes, la de alta presión y la de baja presión. El compresor origina alta presión enviando fluido refrigerante en estado gaseoso al condensador que enfría de alta presión a líquido refrigerante a alta presión. El filtro deshidratante retiene las impurezas y humedad del refrigerante también evita el paso de refrigerante en forma de gas hacia la válvula de expansión esta transforma el líquido refrigerante a estado difásico a baja presión y temperatura. La baja presión hace que el líquido refrigerante cambie de estado en el evaporador dando como resultado el enfriamiento del aire. El impulsor envía aire a través del evaporador obteniendo aire frío luego este será distribuido al interior del habitáculo en el vehículo. El refrigerante en forma de gas y a una baja temperatura regresa al compresor para ser comprimido y continuar con el ciclo (WHITMAN, 2012).

Figura 23. Circuito de frío



- 1 Válvula de expansión
- 2 Evaporador
- 3 Ventilador
- 4 Conexión servicio baja presión
- 5 Conexión servicio alta presión
- 6 Conmutador triple
- 7 Condensador
- 8 Conmutador motrónico
- 9 Filtro deshidratante
- 10 Compresor

- a Aire exterior
- b Aire caliente
- c Aire sin enfriar
- d Aire enfriado

Fuente: <http://www.todomecanica.com>

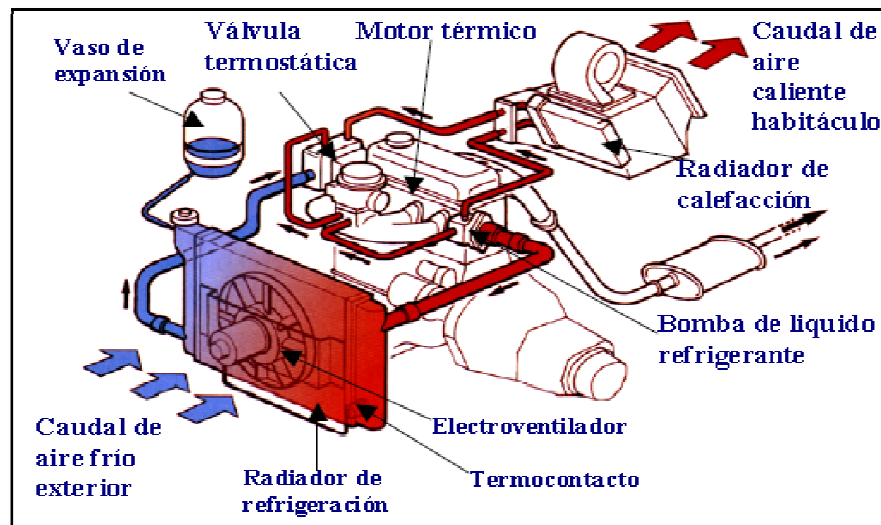
## 2.7 Sistema de calefacción

Su funcionamiento se basa en el calor desprendido del líquido refrigerante (agua-refrigerante) producido por el motor térmico donde se utiliza un radiador de calefacción para que exista un intercambio de calor hacia el habitáculo.

El intercambio se realiza por conducción, al entrar en contacto el aire con las aletas del radiador pero esto sucede cuando el líquido refrigerante a llegado a los 55°C esto tardara de 2 a 4 minutos hasta que el líquido alcance esa temperatura.

Los nuevos vehículos traen un PTC (coeficiente positivo de temperatura) o resistencias eléctricas de calefacción para reducir estos tiempos y así mejorar el rendimiento térmico.

Figura 24. Sistema de calefacción

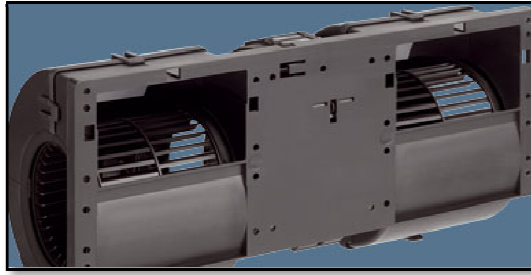


Fuente: VALEO distribución de s.a. Funcionamiento del circuito de calefacción pdf. p.1

## 2.8 Sistema de ventilación

El sistema de ventilación se efectúa mediante un ventilador o impulsor que introduce el aire exterior hacia el interior del vehículo permitiendo así ventilar el habitáculo dando un mejor confort a los pasajeros. El ventilador trabaja a distintas revoluciones según la selección que realice el pasajero, la distribución del aire se realiza mediante unos conductos o salpicadero por la parte lateral y frontal del tablero(BUQUÉ, 2009).

Figura 25. Sistema de ventilación



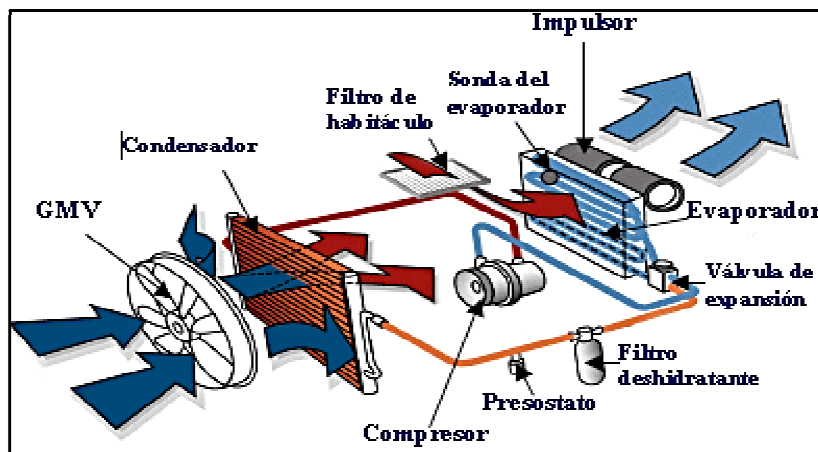
Fuente:[http://www.ebmpapst.com.ar/es\\_ar/products/newproducts/twincentrifugalblower/twincentrifugalblower.html](http://www.ebmpapst.com.ar/es_ar/products/newproducts/twincentrifugalblower/twincentrifugalblower.html)

## 2.9 Sistema de refrigeración o aire acondicionado

Los elementos que conforman el sistema aire acondicionado son diferentes, con funcionamiento complejo debido a que se utiliza un fluido refrigerante que cambia de estados para la obtención de flujo de aire frío.

El costo influye en la implementación por esta circunstancia todos los vehículos vienen con este sistema.

Figura 26. Sistema de aire acondicionado



Fuente: VALEO distribución vde s.a. Funcionamiento del circuito de aire acondicionado pdf.p.1

**2.9.1 Ciclo de funcionamiento.** El fluido refrigerante cumple con 6 etapas de funcionamiento con dos cambios de estados que en la tabla 2 se puede deducir la explicación del ciclo de funcionamiento del sistema de aire acondicionado tomando en cuenta todas sus etapas en función de la presión y temperaturas (LESUR, 2009).



Tabla2. Etapas del air acondicionado

Ciclo de funcionamiento							
N.-	Etapas	Entrada	Salida	Presión(Psi)		Temperatura(°C)	
1	Compresión	Gaseoso	Gaseoso	44	290	5	110
2	Condensación	Gaseoso	Líquido	290	130	110	60
3	Filtrado y desecado	Líquido	Líquido	276		60	
4	Expansión	Líquido	Difásico	276	44	60	0
5	Evaporación	Difásico	Gaseoso	44	73	-1	3
6	Control	Gaseoso	Gaseoso	73		3	

Fuente: Autores

## 2.10 Fluidos refrigerantes

Los fluidos frigoríficos se utilizan en climatización por su gran capacidad de absorción de calor. El primer fluido refrigerante R-12 era perjudicial para el medio ambiente y para la salud de las personas debida a estas circunstancias en la actualidad se utiliza el R-134a pero este fluido refrigerante influye en el efecto invernadero, en el futuro se utilizar un nuevo fluido refrigerante R-1234yf que es amigable con el medio ambiente.

Tabla 3. Fluidos refrigerantes

<b>R-12 (Freón12 o diclorodifluormetano)</b>	<b>R-134a (Tetrafluoroetano)</b>
Familia de los CFC (Clorofluorocarbonos), a 150°C se convierte en gas mortal y deteriora fuertemente a la capa de ozono.	Familia de los HCF (hidrogenofluorocarbonados), contribuyen al recalentamiento del planeta por el efecto invernadero pero no destruye la capa de ozono.
Miscibles con otros componentes químicos. Calor de evaporación es elevado. Cambia de estado a presiones bajas y su temperatura de evaporación es apropiada a la climatización.	
El R-12 y el R-134a son incompatibles. En presencia de agua ambos son corrosivos. El tamaño de la molécula del R134 es más pequeña.	

Fuente: Autores

**2.10.1** La reglamentación sobre los diferentes tipos de fluido refrigerante:

Tabla4. Comparación R-12/R-134a

AÑO	CFC: R-12	HCF: R-134a
1994	Fin de la producción	
1998		Obligatoriedad de la recuperación del 100% de los fluidos para instalaciones $\leq 2\text{Kg}$
2000	Prohibición de la comercialización en posventa	Obligatoriedad de la recuperación del 100% de los fluidos para instalaciones $\leq 0.5\text{Kg}$
2001	Prohibición de la utilización en posventa	
2011		No se concederán homologaciones a nuevos tipos de vehículos equipados con sistemas de aire acondicionado diseñados para contener gases fluorados de GWP superior a 150. Los modelos totalmente nuevos que salgan a partir de esa fecha no llevarán R134a
2014		Los vehículos actualmente utilizan este fluido refrigerante.
2017		Prohibición la venta de vehículos equipados con este gas.

Fuente: Autores

**2.10.2** Nuevo fluido refrigerante. La SAE afirma que el fluido refrigerante R-1234yf es óptimo para la utilización en sistema de aire acondicionado en vehículos con GWP de sólo 4 a 99,7% menor que el R-134a, con un impresionante rendimiento, menor impacto ambiental, adecuado para todos los climas en todo el mundo, cumple con las normas ambientales más duras del mundo, similar capacidad de enfriamiento y eficiencia energética que el R-134a, diseñado para uso de sistemas de aire acondicionado automotriz, no es tóxico y cero potencial de agotamiento del ozono

Tabla 5. Nuevo refrigerante R-1234yf

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Punto de ebullición	-29 °C
Punto crítico	95 °C
Presión de vapor(25 °C)	2.44MPa
Densidad líquida(25 °C)	1094kg/m <sup>3</sup>
Densidad de vapor(25 °C)	37.6kg/m <sup>3</sup>
Poder de calentamiento global	4
Límite superior de inflamabilidad (% volumen en aire)	12.3
Límite inferior de inflamabilidad (% volumen en aire)	6.3
Mínima energía de ignición (mJ a 20°C 1 atm)	5000-10000
Temperatura de autoignición (°C)	405

Fuente: Dupont y Honeywell

## **2.11 Lubricantes para compresores del sistema de aire acondicionado**

Los aceites lubricantes para el sistema de aire acondicionado tienen distintas aplicaciones y requisitos que permite tener una mejor función del lubricante, en bajas o altas presiones y temperaturas que se encuentran en el sistema(CARRIER, 2009).

### **2.11.1 Funciones principales del aceite lubricante:**

- Lubrificar las piezas en movimiento para evitar el gripado del compresor.
- Refrigerar al compresor.
- Reduce la fricción.
- Reforzar la estanqueidad de los componentes.
- Evacuar las impurezas.
- Higroscópico.
- Buen índice de viscosidad.
- Más bajas temperaturas de congelación.

- Mayor estabilidad química y térmica.
- Miscibilidad con los refrigerantes de nueva generación.

### 2.11.2 Tipos de aceites:

- Aceite mineral.
- Aceite sintético PAG.
- Aceite sintético ESTER.

**2.11.3 Características de los aceites del sistema de aire acondicionado.** Los aceites minerales y sintéticos jamás se deben mezclar porque tienen diferentes propiedades y características de utilización e instalación en el sistema de climatización.

Tabla 6. Características y propiedades de los aceites para el compresor del sistema de A/C

<b>Aceite mineral.</b>	<b>Aceite sintético PAG.</b>	<b>Aceite sintético ESTER.</b>
Es compatible con el R-12. Excelente capacidad lubricante. Buen índice de viscosidad. Higroscopía muy débil. No debe utilizar con el R1-34a.	Componente del líquido de frenos. Buen índice de viscosidad. Compatible con el R1-34a. Es muy higroscópico. Es agresivo con los metales, elastómeros y plásticos en presencia de agua.	Excelente capacidad lubricante. Buen índice de viscosidad. Es compatible con el R-134a y el R-12. Higroscopía media. No es recomendable su uso con R-134a.

Fuente: Autores

## CAPÍTULO III

### 3. CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO HVAC.

#### 3.1 Cálculos de cargas térmicas del sistema del aire acondicionado

A continuación se indican parámetros climáticos de la ciudad de Riobamba que son fundamentales para realizar los cálculos de transferencia de calor.

Tabla 7. Parámetros climáticos promedio de la ciudad de Riobamba, año 2013

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta (°C)	27	28	27	28	28	26	27	28	29	28	27	28	27
Temperatura máxima media (°C)	20	21	20	20	19	19	19	19	19	21	20	20	19
Temperatura mínima media (°C)	10	10	7	4	5	3	3	6	9	4	7	9	7
Temperatura mínima absoluta (°C)	1	1	-2	-4	0	0	-3	-1	2	0	0	1	-2

Fuente: <http://www.climaenelmundo.com/ecuador/clima-riobamba-1508>

Considerando las temperaturas bruscas expuestas en la tabla 7 se deduce que es muy necesario disponer de un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, de esta manera mejorar el confort y la comodidad de las personas.

Dónde:

T= Temperatura promedio del aire ambiente.  $T = -2$  a  $27^{\circ} \text{C}$

H= Altitud promedio sobre el nivel del mar.  $H = 2750 \text{ m}$

Pat= Presión atmosférica en la ciudad de Riobamba.  $Pat = 69467 \text{ Pa}$

$\square$  = Caudal de aire máximo requerido.  $\square = 0.125 \text{ m}^3/\text{s}$

Las propiedades de los gases en especial del aire son consideradas para los cálculos posteriores de transferencia de calor en los diferentes elementos del sistema de aire acondicionado.

Dónde:

M = Masa.

$C_p$  = Calor específico a presión constante.

$C_v$  = Calor específico a volumen constante.

K = Relación de calores específicos.

R = Constante de los gases.

Tabla 8. Propiedades de los gases a baja presión

GAS	M kg/kmol o lb/lbmol	$C_p$ kcal/kg °K o Btu/lb °K	$C_v$ kcal/kg °K o Btu/lb °K	K= $C_p/C_v$	$C_p$ kcal/kmol°K o lb/lbmol°K	R $\frac{\text{kgm}}{\text{kg °K}}$
Argón	39.95	0.124	0.074	1.666	4.97	21.22
Helio	4.003	1.241	0.745	1.666	4.97	211.82
Aire	28.97	0.24	0.171	1.4	6.593	29.269
CO	28.01	0.248	0.177	1.399	6.965	30.268
Hidrógeno	2.016	3.419	2.434	1.4	6.892	420.6
NO	30	0.237	0.171	1.386	7.137	28.256
Nitrógeno	28.016	0.248	0.177	1.399	6.96	30.265
Oxígeno	32	0.219	0.157	1.395	7.02	26.497
CO <sub>2</sub>	44.01	0.201	0.156	1.288	8.874	19.26
H <sub>2</sub> S	34.086	0.239	0.179	1.321	8.172	24.87
NO <sub>2</sub>	46.008	0.192	0.148	1.29	8.837	18.43
N <sub>2</sub> O	44.016	0.209	0.164	1.274	9.23	19.26
Ozono	48	0.195	0.154	1.269	9.378	17.67
SO <sub>2</sub>	64.07	0.148	0.117	1.263	9.53	13.23
Vapor	18.016	0.445	0.335	1.329	8.025	47.06
Agua	26.036	0.404	0.328	1.232	10.539	32.57
Acetileno	58.12	0.400	0.366	1.093	23.29	14.59
Etano	28.52	0.365	0.294	1.24	10.25	30.23
Metano	32.042	0.336	0.274	1.226	10.46	26.46
Metanol	114.224	0.395	0.377	1.046	45.14	7.42
n-octano	44.094	0.398	0.353	1.127	17.57	19.23

Fuente: Termodinámica. Faires

Primeramente se realiza el cálculo de la densidad promedio: ( $\varphi$ ) que tiene el aire ambiente en la ciudad de Riobamba, a partir de la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{P_{at}}{R T} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] (3)$$

Dónde:

R = Constante del aire. R = 287 Nm/kg °K

T = Temperatura máxima promedio.

$$T = (27+19)/2 = 23 \text{ °C}$$

Transformando la temperatura a grados kelvin:

$$T = 23 + 273 = 296 \text{ °K}$$

Remplazamos los valores y obtenemos:

$$\varphi = \frac{69467 \text{ N/m}^2}{287 \text{ Nm/kg}^\circ\text{k} \cdot 296 \text{ }^\circ\text{k}}$$

$$\varphi = 0.82 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Una vez encontrado la densidad específica del aire ( $\varphi = 0.82 \text{ kg/m}^3$ ) se procede a calcular el flujo másico ( $\dot{m}$ ).

$$\begin{aligned} &= \varphi \text{ [kg/s]} && (4) \\ &= (0.82 \text{ kg/m}^3)(0.125 \text{ m}^3/\text{s}) \\ &= 0.102 \text{ [kg/s]} \end{aligned}$$

El flujo másico se mantendrá constante en las diferentes secciones del sistema de aire acondicionado.

**3.1.1 Intercambio térmico en el condensador.** Se refiere a la cantidad de calor que recibe el aire que atraviesa el condensador al entrar en contacto con sus paredes viene dado por la ecuación (1):

$$(Q_c = c_p (T_f - T_i) \text{ [kW]})$$

Dónde:

$Q_c$  = Calor cedido por el refrigerante al aire en el condensador en [kW].

$\dot{m}$  = flujo másico de aire.

$$\dot{m} = 0.102 \text{ (kg/s)}$$

Calor específico del aire. = 1004

Temperatura del aire a la entrada del condensador. 23 °C = 296 (°K)

Temperatura del aire a la salida del condensador. 60 °C = 333 (°K)

Agregamos un 10% adicional por errores en la estimación de la carga y posible entradas de calor no consideradas.

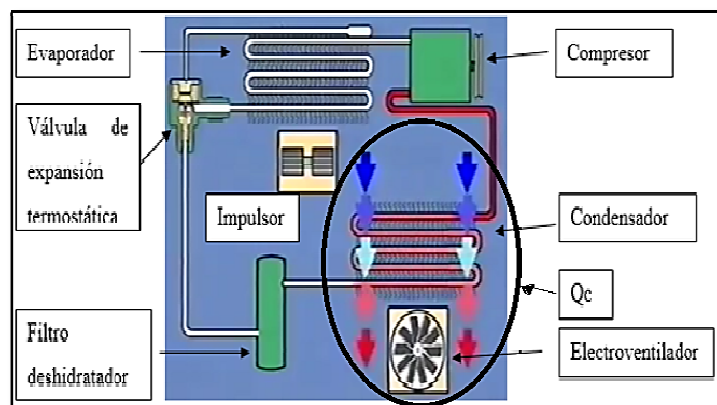
Se transforma las unidades de kW a BTU/h.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 27. Transferencia de calor en el condensador



Fuente: Aire acondicionado en el automóvil

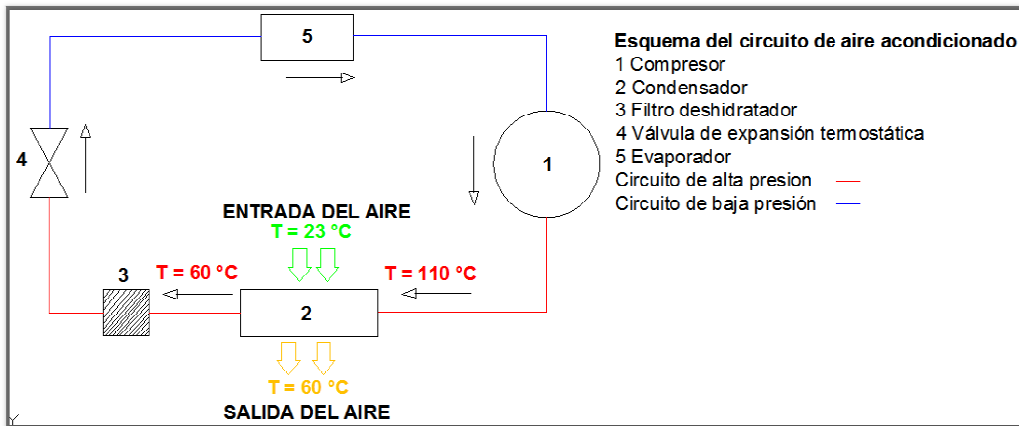
El proceso de transferencia de calor mostrada en la figura 27, nos indica claramente cómo se produce el efecto en donde el refrigerante sede calor al aire, se realiza a través de una corriente de aire extraído por el electroventilador la misma que va ubicada en



paralelo con el condensador, por otra parte el fluido refrigerante circula por los conductos del condensador, en ese instante se produce la condensación del fluido refrigerante es decir pasa de estado gaseoso a líquido, disminuyendo así la presión y temperatura.

Procedemos a calcular el área de transferencia de calor  $A_c$ , requerida en el condensador para alcanzar el intercambio de calor requerido. La transferencia de calor se calcula por convección, es decir transporta calor de un fluido (líquido o gas), entre zonas con diferentes temperaturas; siendo este método el más adecuado para el sistema de aire acondicionado. En la figura 28, se considera las temperaturas de entrada y salida tanto del aire como del fluido refrigerante, para calcular el área de transferencia de calor del condensador.

Figura 28. Temperaturas consideradas en el condensador



Fuente: Autores

Utilizamos la ecuación (2), y despejamos  $A_c$ .

)

Dónde:

- Coefficiente de transferencia de calor por convección.  $100 \text{ W/ } ^\circ\text{C}$
- Temperatura promedio en el condensador.  $0.5 (110+60) ^\circ\text{C} = 85 ^\circ\text{C}$
- Temperatura promedio del aire.

---

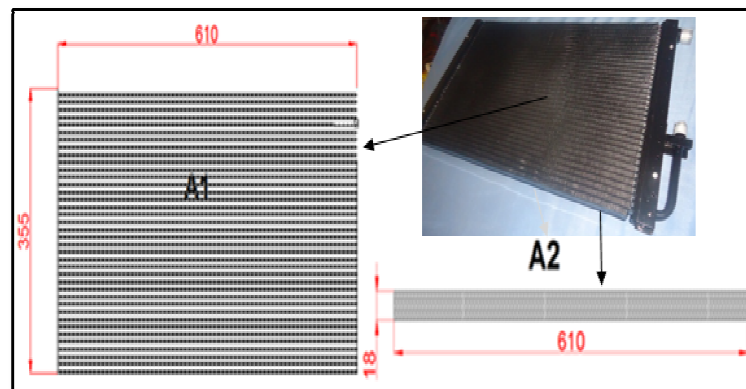
Por lo tanto debemos seleccionar un condensador con un área de transferencia mínima de 0.93 .

Utilizando información del catálogo de condensadores, se procedió a consultar en los almacenes de repuestos automotrices en algunas ciudades del Ecuador, teniendo como resultado el tipo, modelo, y dimensiones, para calcular el área de transferencia de calor en el condensador el mismo que será instalado en nuestro sistema de aire acondicionado.

Brevemente, se detalla las características del condensador seleccionado:

- Tipo: Condensador de canal de flujo paralelo.
- Marca y modelo: RETEK.
- Dimensiones: 610x355x18 mm.

Figura 29. Áreas del condensador



Fuente: Autores

En la figura 29, se observa las áreas consideradas acalculadas mediante la ecuación:

(5)

El condensador dispone de 34 placas, por el interior de estas placas circula fluido refrigerante, y por el exterior están expuestas a las celdas por donde circula aire. Como son 32 placas serían 64 caras las que tendrían contacto con el aire.

$$A_t = A_1 + 64 A_2$$

$$A_t = 216\,550 + (64)(10\,980) \text{ mm}^2$$

$$A_t = 919\,270 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0.92 \text{ [m}^2\text{]}$$

Esta es el área real del condensador seleccionado  $0.92 \text{ [m}^2\text{]}$ .

**3.1.2 Intercambio térmico en el evaporador.** El evaporador del sistema de aire acondicionado es un intercambiador térmico que tiene por función enfriar y deshumidificar el aire que lo atraviesa. Para ello absorbe calor del aire, produciéndose dos fenómenos físicos.

- El aire se enfría y el vapor de agua presente en este aire se condensa en las aletas del evaporador.
- El fluido se evapora y se recalienta.

El evaporador enfría el aire puesto en movimiento por el impulsor de aire centrífugo, y lo envía hacia el exterior, (en el vehículo lo envía hacia el interior del habitáculo). La cantidad de calor cedida por el aire al refrigerante viene dado por la ecuación (1):

$$Q_e = c_p (T_f - T_i)$$

Dónde:

$Q_e$  = Calor cedido por el aire al refrigerante en el evaporador.

$\dot{m}$  = Flujo másico de aire.

$$\dot{m} = 0.102 \text{ kg/s}$$

$C_p$  = Calor específico del aire.

$$C_p = 1004 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$T_i$  = Temperatura del aire a la entrada del evaporador.

$$T_i = 23 \text{ }^\circ\text{C} = 296 \text{ }^\circ\text{K}$$

$T_f$  = Temperatura del aire a la salida del evaporador.

$$T_f = 11 \text{ }^\circ\text{C} = 285 \text{ }^\circ\text{K}$$

El valor de la temperatura del aire a la salida del evaporador, es considerado de la medición real de un sistema de aire acondicionado, instalado en un automóvil.

$$Q_e = 0.102 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} (296 - 284)^\circ\text{K}$$

$$Q_e = 1.228 \text{ [kW]}$$

$$Q_e = 1.228 \text{ kW} \cdot \frac{\frac{860\text{kcal}}{\text{h}}}{1\text{kW}} \cdot \frac{3.96\text{BTU/h}}{1\text{kcal/h}}$$

$$Q_e = 4185 \left[ \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right]$$

Esta es la cantidad de calor que el aire que atraviesa el haz de tubos del evaporador cede al refrigerante que circula por el interior del evaporador.

Procedemos a calcular el área de transferencia de calor mínima ( $A_e$ ), que debe tener el evaporador mediante la ecuación (2):

$$Q_e = h_\infty A_e (T_s - T_\infty)$$

Dónde:

Valor considerado:

$h_\infty$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección.  $h_\infty = 100 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$

$T_s$  = Temperatura en el evaporador.  $T_s = -1^\circ\text{C}$

$T_\infty$  = Temperatura promedio del aire.  $T_\infty = 0.5 (23+11)^\circ\text{C} = 17^\circ\text{C}$

Respecto al valor de la temperatura en el evaporador  $T_s = -1^\circ\text{C}$ , es el valor apreciado en la parte central del evaporador mediante un pirómetro.

Entonces despejando ( $A_e$ ) de la ecuación anterior nos queda:

$$A_e = \frac{Q_e}{h_\infty (T_s - T_\infty)} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_e = \frac{1228 \text{ W}}{100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2^\circ\text{C}} (17 - (-1))^\circ\text{C}}$$

$$A_e = 0.6 \text{ [m}^2\text{]}$$

En consecuencia se debe seleccionar un evaporador con un área de transferencia de calor mínima de 0.6 .

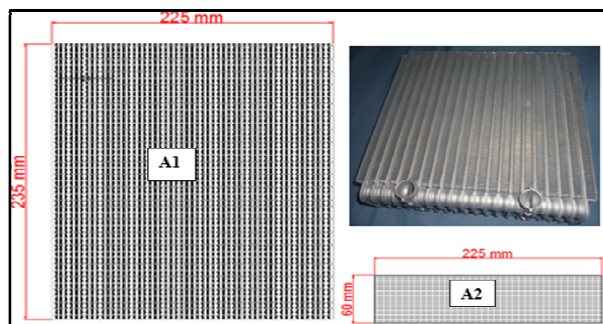
Partiendo del cálculo del área de transferencia de calor del evaporador, por medio de un catálogo se procedió a consultar en los almacenes el tipo, modelo, y las dimensiones de evaporador el mismo que será instalado en nuestro sistema de aire acondicionado.

Brevemente, se detalla algunas características del evaporador seleccionado.

- Tipo: Evaporador de placa.
- Material: Aluminio.
- Dimensiones externas: 225x235x60 mm.

Para calcular el área de transferencia de calor mostrada en la figura 30, se consideró las dimensiones de la parte frontal del evaporador y el número de celdas (conductos por donde fluye el refrigerante).

Figura 30. Áreas del evaporador



Fuente: Autores

Se procede a calcular las áreas expuestas a la transferencia de calor del evaporador mediante la ecuación (5).

El evaporador dispone de 20 placas, por el interior de estas placas circula fluido refrigerante, y por el exterior las celdas estan expuestas al flujo de circula aire.

Como son 20 placas serian 40 caras las que tendrían contacto con el aire.

$$A_t = A_1 + 40 A_2$$

$$A_t = 52\,875 + (40)(13\,500)$$

$$A_t = 592\,875 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0.6 \text{ [m}^2\text{]}$$

Esta es el área real del evaporador seleccionado  $0.6 \text{ [m}^2\text{]}$ .

**3.1.3 Caudal de refrigerante mínimo requerido.** En base a la cantidad de calor que entrega el refrigerante al aire en el condensador, calculada en la sección anterior y tomando los valores de las propiedades del aire, a continuación se determina el flujo mínimo de refrigerante necesario para producir el intercambio de calor.

Tabla 9. Propiedades físicas y químicas R-134a

<b>R-134<sup>a</sup></b>	
Formula química	$CH_2FCF_2$
Peso molecular (g/mol)	102.0
Punto de ebullición (°C)	-26.1
Punto de congelación (°C)	-101
Temperatura crítica (°C)	101.1
Presión crítica (Bar)	40.60
Volumen crítica ( $m^3/kg$ )	$1.95 \times 10^{-3}$
Densidad crítica ( $kg/m^3$ )	511.7
Densidad del líquido a (25 °C) ( $kg/m^3$ )	1206
Tensión de vapor a (25 °C) (Bar)	6.66
Densidad del vapor saturado ( $kg/m^3$ )	5.26

Calor específico del líquido a (25 °C) (kJ/kg°k)	1.43
Calor específico del vapor a (25 °C) (kJ/kg°k)	0.852
Potencia de destrucción de ozono	0

Fuente: Aire acondicionado del automóvil, Centro Nacional de Automoción, Valladolid

A continuación se determina el flujo mínimo de refrigerante necesario para producir el intercambio de calor mediante la ecuación (1).

$$Q_c = c_p (T_i - T_f)$$

Dónde:

$Q_c$  = Calor cedido por el refrigerante al aire en el condensador = 4.056 kW

$\dot{m}$  = Flujo másico de refrigerante R-134a

$c_p$  = Calor específico del refrigerante = 852 J/kg°K

$T_i$  = Temperatura del R-134a a la entrada del condensador = 110 °C = 383 °K

$T_f$  = Temperatura de R-134a a la salida del condensador = 60 °C = 333°K

$$\dot{m} = \frac{Q_c}{c_p (T_i - T_f)} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = \frac{4056 \text{ W}}{852 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} (383 - 333)^\circ\text{K}}$$

$$\dot{m} = 0.095 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Por lo tanto el caudal de refrigerante mínimo requerido es:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\varphi} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \tag{6}$$

$$\dot{V} = \frac{0.095 \text{ kg/s}}{5.26 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V} = 0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 65.02 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

**3.1.4 Potencia absorbida por el refrigerante en el compresor.** Se seleccionó en función de la potencia requerida y la temperatura de evaporación del refrigerante. La potencia del compresor se determina utilizando la siguiente ecuación en base a la conservación de la energía. En la siguiente ecuación se procede a calcular la ganancia y la pérdida de calor de aire al pasar a través del condensador y el evaporador respectivamente.

$$Q_c = Q_e + W_c \quad (7)$$

Dónde:

$Q_c$  = Calor cedido por el refrigerante al aire en el condensador.

$Q_e$  = Calor absorbido por el refrigerante al aire en el evaporador.

$W_c$  = Potencia absorbida por el refrigerante en el compresor.

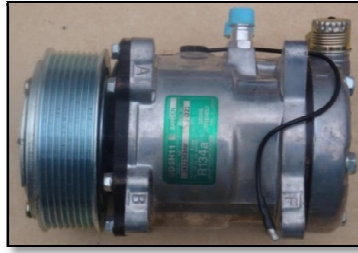
$$\begin{aligned} W_c &= Q_c - Q_e \\ W_c &= (3\,687 - 1\,640)W \\ W_c &= 2\,047 \text{ [W]} \end{aligned}$$

La potencia absorbida es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo. En resultado del compresor seleccionado para nuestro banco de pruebas presenta las siguientes características.

- Marca: SANDEN SD5H11.
- Voltaje: 12 V o 24 V.
- Número de cilindros: 5.
- Cilindrada: 108cc.
- Velocidad angular máxima: 7000 RPM.
- Cantidad de aceite: 200-220 gr (Sintético).
- Peso total: 6.6 Kg.

Figura 31. Compresor





Fuente:Compresores-de-Aire-Acondicionado/SANDEN-507-5H11

**3.1.5 Cálculo para la selección de la polea del motor eléctrico y la banda de transmisión.** Conociendo la potencia requerida para el funcionamiento del compresor se adquirió un motor eléctrico de igual potencia, que será instalada en nuestro banco de pruebas para el sistema de aire acondicionado.

**Datos del motor eléctrico seleccionado**

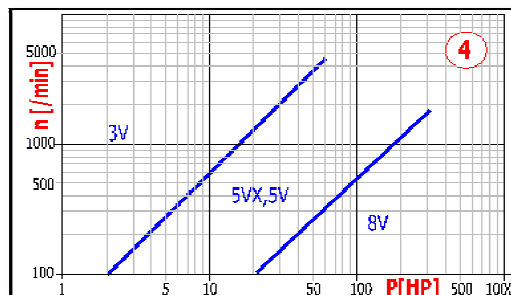
- Alimentación: (110 V / 22.9 A) (220 V / 11.45 A).
- Potencia: 2 HP (1.5 kW).
- Velocidad angular: 3525 RPM.
- Polea de aluminio: 7 canales en V.

Tabla 10. Datos del motor eléctrico y compresor

<b>Motor eléctrico</b>	
Potencia	P = 2hp = 1.5 kW
Velocidad angular	
<b>Compresor del sistema A/C</b>	
Diámetro # 2 de la polea del compresor	= 115 mm = 4.5 in

Fuente: Autores

Figura 32. Tamaño de secciones de bandas industriales en V



Fuente:<http://www.mitcalc.com/doc/vbelts/help/en/vbelts.htm>

Proyectamos las respectivas medidas tanto de la velocidad angular (3525 rpm) y la potencia (2 hp), de acuerdo al gráfico se selecciono una banda de transmisión mecánica de 3V. Procedemos a calcular la polea del motor eléctrico, en función de la siguiente hipótesis, utilizando la ecuación de la velocidad lineal de la banda:

$$V_b = d_1 \cdot \omega_1 \quad (8)$$

Dónde:

$V_b$  = Velocidad lineal de la banda.

$d_1$  = Diámetro de la polea del motor eléctrico.

$\omega_1$  = Velocidad angular del motor eléctrico.

Hipótesis:

$V_b = (4000 - 5000) \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ ; transmite máxima potencia.

$V_b \leq 6500 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ ; Velocidad para la duración de la banda.

$V_b \leq 5000 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ ; evita vibraciones debido a la aceleración centrífuga.

Se utiliza  $V_b = 5000 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ , por las condiciones de funcionamiento de la banda procedemos a encontrar el diámetro de la polea del motor eléctrico disponible en el mercado, estos cálculos permitirá seleccionar correctamente la banda de transmisión para la polea del motor eléctrico y compresor.

$$\omega_1 = 3525 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 22\,148.23 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

$$d_1 = \frac{V_b}{\omega_1}$$

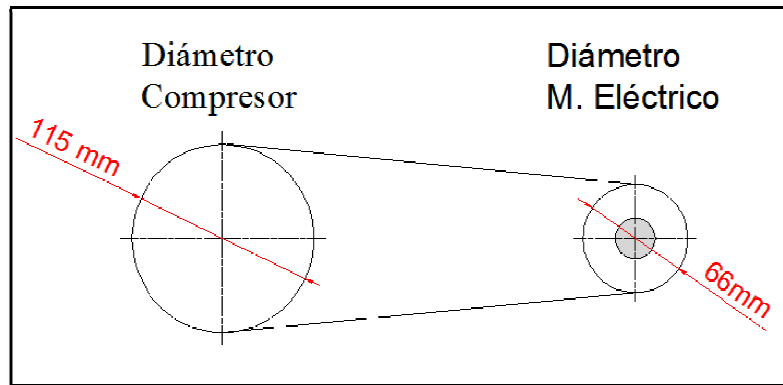
$$d_1 = \frac{5000 \text{ ft/min}}{22\,148.23 \text{ rad/min}}$$

$$d_1 = 0.22 \text{ ft} \cdot \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} = 2.6 \text{ in}$$

$$d_1 = 2.6 \text{ in} \cdot \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}}$$

$$d_1 = [66 \text{ mm}]$$

Figura 33. Diámetros de las poleas



Fuente: Autores

Se comprobó que coincide el valor del diámetro calculado con un valor de la tabla de diámetros de poleas disponible en el mercado. Este dato ayudará a encontrar otros parámetros como la velocidad angular de la polea del compresor, la longitud entre centros.

Tabla 11. Diámetro de poleas en (in) disponibles en el mercado

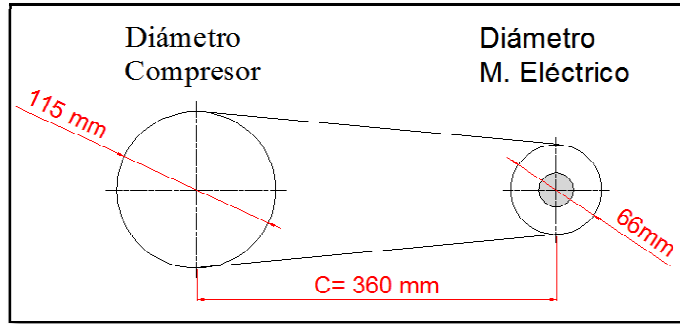
Banda 3 V		Banda 5 V		Banda 8 V	
2.2	5.3	4.3	8.1	12.3	22.2
2.3	5.6	4.5	8.4	13	29.8
2.5	6.0	4.8	8.9	13.8	39.8
2.6	6.5	4.9	9.2	14.8	47.8
2.8	6.9	5.1	9.7	15.8	52.8
3	8.0	5.4	10.2	16.8	57.8
3.1	10.6	5.5	11.1	17.8	63.8
3.3	14	5.8	12.5	18.8	
3.6	19	5.9	13.9	19.8	

Fuente: NORTON Robert

El diámetro de la polea que debe ser seleccionada es de 2.6 (in) para la banda 3V disponibles en el mercado. Procedemos a calcular la distancia entre centros de la banda:

(9)

Figura 34. Distancia entre centros



Fuente: Autores

Consideramos la distancia entre centros con un valor de  $c = 14.17 \text{ in} = 360 \text{ mm}$ ,  
reemplazamos en la ecuación de la longitud de banda.



Tabla 12. Longitudes (in) de bandas en V disponible en el mercado

Longitud de bandas 3V					
25	33.5	45	60	80	106
26.5	35.5	47.5	63	85	112
28	37.5	50	67	90	118
30	40	53	71	95	125
31.5	42.5	56	75	100	132

Fuente: <http://www.mitcalc.com/doc/vbelts/help/en/vbelts.htm>

La longitud de la banda de transmisión que se debe seleccionar tiene que ser mayor a 61.67 in, en consecuencia seleccionamos la de 63 in disponible en el mercado. Por ultimo calculamos la velocidad angular de la polea del compresor que permite tener una mejor transmisión de movimiento al sistema de aire acondicionado en el banco de pruebas HVAC.

Ecuaciones:

(11)

Dónde:

= Diámetro de la polea del motor eléctrico.

= Diámetro de la polea del compresor.

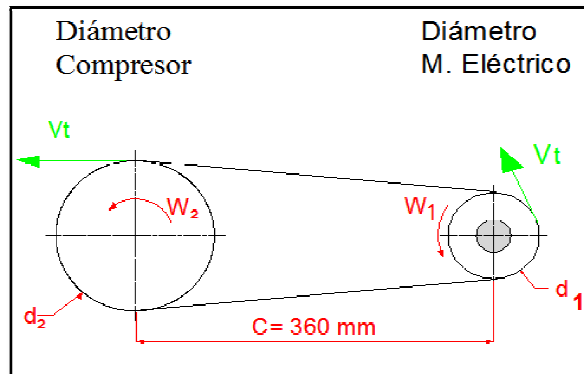
= RPM del motor eléctrico.

= RPM del compresor.

Calculamos las rpm del compresor:

—  
—

Figura 35. Esquema del motor eléctrico y compresor



Fuente: Autores

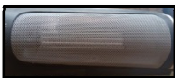



## CAPÍTULO IV

### 4. SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL BANCO DE PRUEBAS DEL SISTEMA HVAC

#### 4.1 Sistema de calefacción

Cuando nos encontramos con temperaturas ambiente bajas, es preciso calentar el aire con el fin de mantener la temperatura del mismo en unos niveles aceptables de confort. El calefactor seleccionado tiene diferentes opciones de temperatura ya que esto nos permite controlar el confort inmediato y entrega de calor en poco segundos.

Tabla 13. Tipos de calefactores

N.-	Tipo	Figura	Tmax (°C)	Consumo (W/h)	Eficiencia (%)	Costos (\$)
1	HPQ15A-M		25	1500	90	100
2	Lakewood LCH4051LA013		24.2	1419.8	85	96
3	Bonaire BFH416-LA013		24.5	733.5	86	108
4	Home line EH30522G		24.7	1369	91	115

Fuente: Autores

Tabla 14. Análisis de las variables para la selección

Criterio	°Tmax	Consumo	Eficiencia	Costos	$\sum+1$	Ponderación
°Tmax		1	1	1	4	0.4
Consumo	0.5		0.5	0	2	0.2
Eficiencia	1	0		1	3	0.3
Costos	0	0	0		1	0.1

---

Suma	10	1
------	----	---

Fuente: Autores

Tabla15. Análisis de la temperatura máxima

Evaluación de la °Tmax	Cf <sub>1</sub>	Cf <sub>2</sub>	Cf <sub>3</sub>	Cf <sub>4</sub>	∑+1	Pondera
Cf <sub>1</sub>		1	1	0.5	3.5	0.35
Cf <sub>2</sub>	0		0.5	0	1.5	0.15
Cf <sub>3</sub>	0	1		0	2	0.2
Cf <sub>4</sub>	0.5	1	0.5		3	0.3
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 16. Análisis del consumo

Evaluación del consumo	Cf <sub>1</sub>	Cf <sub>2</sub>	Cf <sub>3</sub>	Cf <sub>4</sub>	∑+1	Pondera
Cf <sub>1</sub>		0.5	0	0	1.5	0.15
Cf <sub>2</sub>	0		0	0.5	1.5	0.15
Cf <sub>3</sub>	1	1		1	4	0.4
Cf <sub>4</sub>	1	1	0		3	0.3
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 17. Análisis de la eficiencia

Evaluación de la eficiencia	Cf <sub>1</sub>	Cf <sub>2</sub>	Cf <sub>3</sub>	Cf <sub>4</sub>	∑+1	Pondera
Cf <sub>1</sub>		1	1	1	4	0.4
Cf <sub>2</sub>	0		0.5	0	1.5	0.15
Cf <sub>3</sub>	0	0.5		0.5	2	0.2
Cf <sub>4</sub>	0	1	0.5		2.5	0.25
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 18. Análisis de los costos

Evaluación de los costos	Cf <sub>1</sub>	Cf <sub>2</sub>	Cf <sub>3</sub>	Cf <sub>4</sub>	∑+1	Pondera
Cf <sub>1</sub>		0	1	1	3.5	3
Cf <sub>2</sub>	0.5		1	1	1.5	3.5
Cf <sub>3</sub>	0	0		1	2	2
Cf <sub>4</sub>	0	0	0.5		3	1.5
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 19. Selección del calefactor

Conclusión	°Tmax	Consumo	Eficiencia	Costos	∑	Prioridad
Cf <sub>1</sub>	(0.35)(0.4)	(0.15)(0.2)	(0.4)(0.3)	(0.3)(0.1)	0.32	1
Cf <sub>2</sub>	(0.15)(0.4)	(0.15)(0.2)	(0.15)(0.3)	(0.35)(0.1)	0.170	4
Cf <sub>3</sub>	(0.2)(0.4)	(0.4)(0.2)	(0.2)(0.3)	(0.2)(0.1)	0.24	3
Cf <sub>4</sub>	(0.3)(0.4)	(0.3)(0.2)	(0.25)(0.3)	(0.15)(0.1)	0.27	2

Fuente: Autores



De acuerdo al análisis realizado para la selección del calefactor se deberá seleccionar la prioridad 1 que es el calefactor de tipo HPQ15A-M que brinda las características requeridas para nuestro sistema de climatización.

#### **4.1.1** *Características:*

- Tipo: HPQ15A-M.
- Norma: UL N° 1278.
- Fuente de alimentación: 110 V; 15 A; 60 Hz.
- Potencia de consumo: 1500 W.
- Temperatura: 0 – 134 °C.

Figura 36. Calefactor



Fuente: Autores

## **4.2 Sistema de ventilación**

Para mantener un aire fresco y una sensación agradable es necesario renovar el aire constantemente, debido a esto se seleccionó 2 ventiladores, estos elementos nos proporcionan un flujo de aire a temperatura ambiente.

#### **4.2.1** *Características:*

- Fuente de alimentación: 110 V; 0.23 A.

- Frecuencia: 50-60 Hz.
- Potencia de consumo: 25.3 W.
- Dimensiones: 172x150x51 mm.
- Velocidad angular: 1725RPM.
- Material: Poliuretano.

Figura 37. Ventilador



Fuente: Autores

### 4.3 Sistema de aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado está determinado por un compresor, condensador, filtro deshidratante, presostato, válvula de expansión, evaporador, electro ventilador, motor ventilador y mangueras y sus respectivas uniones.

**4.3.1 Motor eléctrico.** Este motor eléctrico de inducción de corriente alterna, funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez, mantenimiento y bajo costo, es el motor más utilizado de todos, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica.

Es el encargado de poner en movimiento al compresor mediante dos poleas y una banda de transmisión, de esta manera se pone en movimiento el sistema de aire acondicionado. El motor eléctrico en el banco de pruebas es un elemento fundamental porque sustituye al motor de combustión interna.

#### 4.3.1.1 Características:

- Alimentación: (110 V / 22.9 A) (220 V / 11.45 A).
- Fuerza: 2 HP (1.5 kW).

- Velocidad angular: 3525 RPM.
- Frecuencia: 50-60 Hz.
- Peso: 29 kg.
- Consumo: 1.75 kW/h.

Figura 38. Motor eléctrico



Fuente: Autores

**4.3.2 Compresor.** Entre los diversos tipos de compresores se seleccionó el compresor de cilindra fija tipo axial de pistones, su función es hacer circular el refrigerante en diferentes estados. Este compresor posee un embrague magnético que funciona mediante accionamientos eléctricos.

Tabla 20. Marcas de compresores

N.-	Marca	Cilindrada (cc)	Velocidad max (RPM)	Consumo (W/h)	Eficiencia (%)	Costos (\$)
1	SANDEN SD5H11	108	7000	30	88	300
2	SANDEN SD7H15	154	6000	40	88	500
3	DENSO 10P30B	300	6000	50	89	550
4	DENSO 10P30C	300	6000	50	89	600

Fuente: Autores

Tabla 21. Análisis de variables del compresor

Criterio	Cilindrada (cc)	RPM	Eficiencia	Costos	$\sum+1$	Ponderación
Cilindrada (cc)		1	1	0	3	0.3
RPM	1		1	0.5	3.5	0.35

<b>Eficiencia</b>	0.5	0.5		0	2	0.2
<b>Costos</b>	0	0.5	0		1.5	0.15
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 22. Análisis de la cilindrada

<b>Evaluación de la cilindrada</b>	<b>Com<sub>1</sub></b>	<b>Com<sub>2</sub></b>	<b>Com<sub>3</sub></b>	<b>Com<sub>4</sub></b>	<b>Σ+1</b>	<b>Pondera</b>
<b>Com<sub>1</sub></b>		1	0	0	2	0.2
<b>Com<sub>2</sub></b>	1		0	0	2	0.2
<b>Com<sub>3</sub></b>	1	1		0	3	0.3
<b>Com<sub>4</sub></b>	1	1	0		3	0.3
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 23. Análisis de las RPM

<b>Evaluación del RPM</b>	<b>Com<sub>1</sub></b>	<b>Com<sub>2</sub></b>	<b>Com<sub>3</sub></b>	<b>Com<sub>4</sub></b>	<b>Σ+1</b>	<b>Pondera</b>
<b>Com<sub>1</sub></b>		1	1	1	4	0.4
<b>Com<sub>2</sub></b>	0		0.5	0.5	2	0.2
<b>Com<sub>3</sub></b>	0	0.5		0.5	2	0.2
<b>Com<sub>4</sub></b>	0	0.5	0.5		2	0.2
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 24. Análisis de la eficiencia

<b>Evaluación de la eficiencia</b>	<b>Com<sub>1</sub></b>	<b>Com<sub>2</sub></b>	<b>Com<sub>3</sub></b>	<b>Com<sub>4</sub></b>	<b>Σ+1</b>	<b>Pondera</b>
<b>Com<sub>1</sub></b>		1	0	0	2	0.2
<b>Com<sub>2</sub></b>	1		0	0	2	0.2
<b>Com<sub>3</sub></b>	1	1		0	3	0.3
<b>Com<sub>4</sub></b>	1	1	0		3	0.3
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 25. Análisis de costos

<b>Evaluación de los costos</b>	<b>Com<sub>1</sub></b>	<b>Com<sub>2</sub></b>	<b>Com<sub>3</sub></b>	<b>Com<sub>4</sub></b>	<b>Σ+1</b>	<b>Pondera</b>
<b>Com<sub>1</sub></b>		1	1	1	4	0.4

<b>Com<sub>2</sub></b>	0		0.5	1	2.5	0.25
<b>Com<sub>3</sub></b>	0	0		0.5	1.5	0.15
<b>Com<sub>4</sub></b>	0	0	1		2	0.2
				Suma	10	1

Fuente: Autores

Tabla 26. Selección del compresor

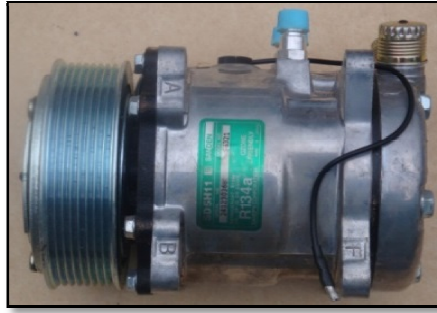
Conclusión	Cilindrada	RPM	Eficiencia	Costos	$\Sigma$	Prioridad
Com <sub>1</sub>	(0.2)(0.3)	(0.4)(0.35)	(0.2)(0.2)	(0.4)(0.15)	0.3	1
Com <sub>2</sub>	(0.2)(0.3)	(0.2)(0.35)	(0.2)(0.2)	(0.2)(0.15)	0.23	4
Com <sub>3</sub>	(0.3)(0.3)	(0.2)(0.35)	(0.3)(0.2)	(0.2)(0.15)	0.24	3
Com <sub>4</sub>	(0.3)(0.3)	(0.2)(0.35)	(0.3)(0.2)	(0.2)(0.15)	0.25	2

Fuente: Autores

#### 4.3.2.1 Especificaciones:

- Marca: SANDEN SD5H11.
- Voltaje: 12V o 24V.
- Número de cilindros: 5.
- Cilindrada: 108 cc.
- Refrigerante: R-134a.
- Aceite: Sp - 20 o equivalente.
- Diámetro exterior: 118 mm.
- Longitud total: 202 mm.
- Peso total: 6.6 Kg.
- Velocidad angular mínima: 6000 RPM.
- Velocidad angular máxima: 7000 RPM.

Figura 39. Compresor



Fuente: Autores

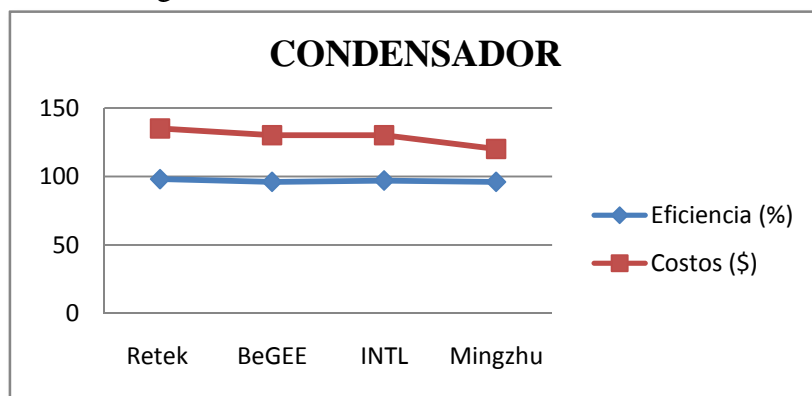
4.3.3 *Condensador.* El condensador es el elemento que recibe gas refrigerante a alta presión del compresor y la transforma de estado gaseoso a líquido para su selección se deberá cumplir con diferentes condiciones de un sistema de climatización automotriz como son las siguientes:

Tabla 27. Marcas de condensadores

N.-	Marca	Tipo	Tamaño	Eficiencia (%)	Costos (\$)
1	Retek	Flujo paralelo	610x355x18	98	135
2	BeGEE	Flujo paralelo	430x341x18	96	130
3	INTL	Flujo paralelo	370x600x16	97	130
4	Mingzhu	Serpentín	571x290x16	96	120

Fuente: Autores

Figura 40. Eficiencia, costos del condensador



Fuente: Autores

#### 4.3.3.1 Datos técnicos:

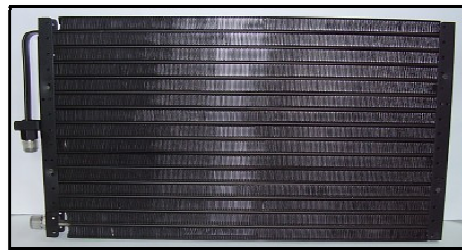
- Tipo: Condensador de canal de flujo paralelo.

- Marca y modelo: RETEK.
- Agente frigorífico: R-134a.
- Material: Aluminio.
- Superficie externa: 355 x 609 x 18 mm.

#### 4.3.3.2 Características:

- El diseño exclusivo de la aleta minimiza la obstrucción de flujo de aire.
- Eficacia del sistema, las ondas de aleta superior ofrece un coeficiente de transferencia de calor superior y una condensación completa.
- Este condensador de alto rendimiento reduce la potencia del motor.

Figura 41. Condensador



Fuente: Autores

**4.3.4** *Filtro deshidratante.* Este elemento sirve para que el sistema de refrigeración esté libre de humedad, en su interior contiene sílica que sirve para retener la humedad. Los filtros deshidratadores publican en sus catálogos tablas de selección, se clasifican de acuerdo a la norma 710 de ARI.

#### 4.3.4.1 Características:

- Temperatura de trabajo: 24°C y 52°C.
- Presión de trabajo 155 Psi.
- Presión de ruptura: 5 veces la presión de trabajo; es decir, 750 Psi.

Figura 42. Filtro deshidratador tipo universal



Fuente: Autores

**4.3.5** *Presostato.* Va montado en la entrada del acumulador deshidratador su función se de cortar el funcionamiento del compresor cuando la presión alcanzada en el circuito de alta presión sea igual o mayor a 25 bar, evitando dañar las mangueras, el condensador y el compresor al estar en un rango de presión de 16 a 20 bar nuevamente se acopla el compresor, a continuación se especifican algunos datos:

Figura 43. Presostato



Fuente: Autores

El presostato seleccionado es de alta presión que permite desactivar el compresor del electroembrague cuando la presión supera los 250Psi en el manómetro de alta presión.

**4.3.6** *Válvula de expansión termostática.* Válvula de expansión termostática con igualador interior, está compuesta por un capilar exterior de tipo bulbo o de serpentín, la membrana de control y la válvula de bola.

El bulbo se encuentra montado a la salida del evaporador y en su interior hay gas que se expande o se contrae en función de la temperatura, si la temperatura a la salida del evaporador es alta ( $6^{\circ}\text{C}$ ) el gas contenida en el bulbo se expande empujando la



membrana a la varilla de mando y a la válvula de bola hacia abajo permitiendo que el líquido refrigerante a alta presión pase al evaporador.

Esto implica un mayor enfriamiento provocando a su vez que el gas del bulbo se contraiga reduciendo la presión sobre la membrana y actuando el muelle de recuperación sobre la válvula de bola para reducir el paso del refrigerante, la sección de apertura de la válvula de bola variará en función de la temperatura del evaporador.

#### 4.3.6.1 Características:

- Tipo: Válvula de expansión termostática con igualador interior.
- Presión entrada: 16 kg/ .
- Presión de salida: 2.8kg/ .
- Material: Cobre.
- Tipo de bulbo: Tubo capilar en serpentín.

Figura 44. Válvula de expansión



Fuente: Autores

**4.3.7 Evaporador.** Este elemento transforma el fluido refrigerante de estado líquido a estado gaseoso mediante el intercambio de temperatura, al momento de seleccionar el evaporador se deberá tomar en cuenta las siguientes características.

#### 4.3.7.1 Características:

- Tipo: Evaporador de placa.
- Material: Aluminio.
- Dimensiones externas: 225x235x60 mm.
- Refrigerante: R-134a.

Figura 45. Evaporador



Fuente: Autores

**4.3.8** *Electroventilador.* Para la selección del electroventilador tomaremos en cuenta las siguientes especificaciones.

**4.3.8.1** *Características:*

- Tipo de velocidades: Constante.
- Diseño y potencia: 80W, 12V.
- Material: Plástico.
- Dimensiones: 353x33 mm.

Figura 46. Electroventilador



Fuente: Autores

**4.3.9** *Impulsor de aire.* Proporciona una corriente de aire hacia el evaporador, obteniendo de esta condición la transferencia de calor y entregando aire fresco hacia la parte exterior del banco de climatización, en el tablero de mandos tienen un interruptor para activar y desactivar el flujo de aire.

**4.3.9.1** *Especificaciones del impulsor de aire:*

- Diámetro: 125 mm.
- Potencia: 100 W.
- Alimentación: 12V.
- Velocidad angular: 2660 RPM.

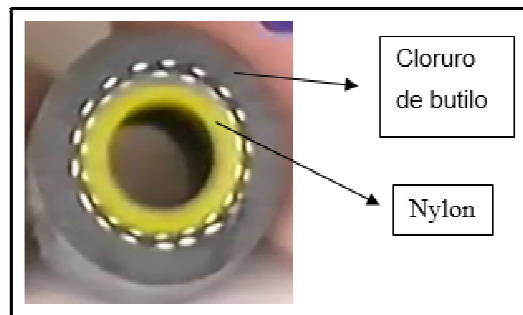
Figura 47. Impulsor de aire



Fuente: Autores

**4.3.10 Mangueras.** Son fabricadas de una capa interior de nylon que impermeabiliza la porosidad del caucho y una externa de cloruro de butilo que impide la entrada de humedad en el circuito.

Figura 48. Mangueras



Fuente: Autores

**4.3.11 Manguitos.** También conocidos como racores de asiento cónico tienen la función de unir las mangueras con los elementos como son: compresor, filtro deshidratador, válvula de expansión, y evaporador. Este elemento está fabricado de aluminio, con un ángulo de conexión de 90°, son remachados con las mangueras mediante abrazaderas también tiene sellos en el interior de las roscas para evitar que el fluido refrigerante escape hacia el exterior.

Figura 49. Manguitos



Fuente: Autores

**4.3.12 Banda de transmisión.** El funcionamiento de las bandas en micro-V supera otras bandas con bordes en V, dado que las costillas de la banda son más cortas. Esta característica de su diseño proporciona a las bandas micro-V mayor flexibilidad, reduciendo la acumulación de calor y permitiendo que operen a altas velocidades en poleas de diámetro menor. El diseño de las costillas truncadas es exclusivo de Gates, siendo ésta una de las razones por las que la banda ofrece hasta un 80% de mayor capacidad de transmisión de potencia que lo especificado por la RMA (Asociación de Fabricantes de Productos de Hule); lo que se traduce en una mayor duración.

Figura 50. Banda de transmisión de 7 canales en V



Fuente: Autores

**4.3.13 Refrigerante R-134a.** Se utiliza el tetrafluoroetano denominado R-134a por su baja toxicidad, no es inflamable en condiciones normales, pero sin embargo es corrosivo en presencia de agua porque produce ácido fluorhídrico. El tamaño de su molécula es inferior a las del R-12, debido a esta circunstancia este fluido refrigerante tiene una posibilidad de fugas es mayor.

Tabla 28. Presiones de referencia

Temp. Extern a °C	Presión de cilindrada variable (v)				Presión de cilindrada fija (F)			
	R-134a				R-134a			
	B.P (kg/cm <sup>2</sup> )		A.P (kg/cm <sup>2</sup> )		B.P (kg/cm <sup>2</sup> )		A.P (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
15.5	1.5	2.3	9.5	13.0	0.5	3.0	9.5	13.0
21.0	1.5	2.3	12.5	17.5	0.5	3.0	12.5	17.5
26.5	1.5	2.3	14.0	20.5	0.5	3.0	14.0	20.5
32.0	1.5	2.5	16.0	24.0	0.5	3.5	16.0	24.0
38.8	1.5	2.5	18.5	25.05	0.5	3.5	18.5	25.05
43.0	1.5	2.5	22.0	28.5	0.5	3.5	22.0	28.5

FUENTE: Aire acondicionado del automóvil, Centro Nacional de Automoción,  
Valladolid

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO HVAC

#### 5.1 Construcción de la estructura del sistema de climatización

Los materiales utilizados para construcción de la estructura están considerados del catálogo de DIPAC. Para unión de los diferentes materiales estructurales se realizó mediante el proceso de soldadura SMAW (shield metal arc welding soldadura de arco con metal o varilla recubierta). La soldadura SMAW se conoce con diferentes nombres que se pueden encontrar como: electrodo revestido, soldadura eléctrica, entre otros. Este proceso se trabaja con un electrodo revestido que está compuesto por una varilla metálica recubierta que genera el arco eléctrico al hacer contacto con el material base, el recubrimiento cumple diferentes funciones que son brindar protección al arco de la atmósfera, ayuda a que el material funda mejor y protege a que el cordón no se enfríe bruscamente es decir el recubrimiento estabiliza el arco ayudando a que el cordón quede óptimo.

Tabla 29. Material utilizado

Tubo cuadrado (40x2)		Ángulo de 90°		Platinas	
Cantidad	Medidas (mm)	Cantidad	Medidas (mm)	Cantidad	Medidas (mm)
2	1400	2	23x960x3	4	12x300x3
4	1320.50	1	27x620x3	1	12x750x3
2	1800	1	25x400x1	1	20x410x3
2	600			1	20x240x3
4	220			2	3x520x3
2	1050				
2	330				
2	460				

Fuente: Autores

Figura 51. Estructura del banco didáctico HVAC



Fuente: Autores

## 5.2 Instalación del motor eléctrico

El motor eléctrico está constituido de una polea de aluminio su medida es 2.5 pulgadas, 8 canales y con una relación de 2:1 con la polea del compresor, está acoplado mediante una banda al compresor que permite transmitir movimiento para que funcione el sistema de aire acondicionado, las conexiones internas del motor eléctrico para la selección del voltaje se encuentran especificadas en la placa de información, este motor eléctrico tiene un relé y un contactor que permite regular la corriente. La regulación del relé no debe sobrepasar por ninguna circunstancia los 21.5A debido que el máximo amperaje que soporta el motor es de 22A.

Figura 52. Instalación del motor eléctrico



Fuente: Autores

### 5.3 Instalación del compresor

Este elemento cumplirá con la función de enviar el fluido refrigerante al sistema de aire acondicionado en el banco de pruebas, trabaja en un rango de 800-7000RPM y 2 HP de fuerza que transmite el motor eléctrico, la fuente de alimentación del compresor es de 12 V de corriente continua que entrega la batería, si existe una sobrepresión en el sistema el compresor se detendrá debido al presostato que suspende el paso de corriente.

Figura 53. Instalación del compresor



Fuente: Autores

### 5.4 Instalación condensador

El condensador se instaló en la parte frontal que permite tener una mejor ventilación de este elemento, se encuentra sujetado con ángulos de acero y emperrnados para una mejor sujeción y evitar la vibración, la instalación con mangueras del compresor siempre se debe realizar en la parte superior del condensador y la salida hacia el filtro en la parte inferior.

Figura 54. Instalación del condensador



Fuente: Autores



## 5.5 Instalación del electroventilador

Se encuentra atornillado en la parte frontal del condensador con una base de platina que permite enviar flujo de aire al condensador y al interior del banco de pruebas, la ubicación de las aspas del electroventilador es importante debido a su forma porque puede convertir en impulsor y no cumplir con su objetivo de producir flujo de aire para que se produzca la condensación, la inversión del giro también ocasiona la sobrepresión en el sistema de aire acondicionado.

Figura 55. Instalación del electroventilador



Fuente: Autores

## 5.6 Instalación del filtro deshidratante

Antes de su instalación el filtro esta con sus correspondientes tapones para evitar que la humedad se introduzca en su interior y posteriormente falle, los tapones son retirados al momento de instalar e inmediatamente acoplar hacia a los manguitos de la mangueras, en su interior tiene un desecante para impedir la formación de humedad en el circuito, cuando el sistema de aire acondicionado sea desmontado este elemento debe ser reemplazo por otro con idénticas características.

Figura 56. Instalación del filtro deshidratante

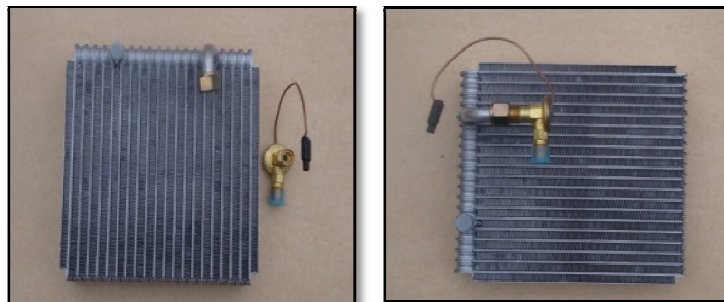


Fuente: Autores

## 5.7 Instalación de la válvula de expansión

Ubicada en la entrada del evaporador con una soldadura de aluminio que permite hacer una conexión con la válvula de expansión y un conector de 90 grados, el tubo capilar esta acoplado hacia el conector de salida del evaporador, regulando la variación de presión que pueda haber en el sistema.

Figura 57. Instalación de la válvula de expansión



Fuente: Autores

## 5.8 Instalación del evaporador

Se encuentra en la parte frontal para comprobar la transferencia de calor al ambiente y hacer las pruebas correspondientes, con un pirómetro se puede obtener la temperatura en diferentes partes del evaporador, la formación de cristales de hielo se tratará por la diferente regulación del impulsor. Previamente a la instalación el evaporador se le acopla la válvula de expansión para reducir inconvenientes, la entrada de la válvula y la salida del evaporador deben permanecer con sus respectivos sellos o tapones para evitar que se introduzca humedad en el interior de esos elementos.

Figura 58. Instalación del evaporador



Fuente: Autores

## 5.9 Instalación del impulsor

El impulsor tiene la función de enviar flujo de aire constante hacia el evaporador para el proceso de evaporación y producir el intercambio de calor mediante la transferencia de calor.

Figura 59. Instalación del impulsor



Fuente: Autores

## 5.10 Instalación de las mangueras

Son mangueras de alta presión de material de nylon (doble barrera anti-fugas de fluido) con una capa de cloruro de butilo (de alta resistencia a las tensiones anti-humedad), remachados a los conectores de aluminio que permite tener una mejor seguridad del sistema, las mangueras soportaran un caudal máximo de 240kg/h y presiones de estallido de 160 bar con temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $130^{\circ}\text{C}$ , el caucho reduce las vibraciones en el interior del circuito.

Figura 60. Instalación de las mangueras y acoples



Fuente: Autores

### **5.11 Instalación del calefactor eléctrico**

La disposición está en la parte frontal superior del banco para una mejor distribución de los elementos y realizar las pruebas correspondientes de temperatura hasta los 25°C con distintas velocidades de regulación, en su interior tiene resistencias que proporcionan calor hacia el ambiente, su fuente de alimentación es de 110 V CA.

Figura 61. Instalación del calefactor



Fuente: Autores

### **5.12 Instalación de los ventiladores**

Los ventiladores se encuentran instalados junto al calefactor que permite tener una mejor disposición y comprobación de su funcionamiento, todos los elementos cumplen con una función de ser un conjunto de climatización.

El funcionamiento de los ventiladores puede ser independiente o los dos iguales, la velocidad de los ventiladores es de 1800rpm. El flujo de aire es constante y reduce hasta 2°C de la temperatura ambiente esto se puede comprobar con un termómetro o un multímetro.

Figura 62. Instalación de los ventiladores



Fuente: Autores.

### **5.13 Instalación de los controles del sistema de climatización HVAC**

Los controles están ubicados en la parte frontal intermedia que permiten tener un control de todo el sistema de climatización y el motor eléctrico.

Los controles de calefacción tiene dos regulaciones distintas para obtener control de la temperatura, ventilación tiene dos interruptores independientes para cada ventilador.

Se puede utilizar los 2 a la vez o independientemente con una entrega de temperatura 2°C inferior a la temperatura ambiente constan de una misma fuente de alimentación de 110V CA.

Los controles del aire acondicionado tienen dos fuentes de alimentación independiente, el motor eléctrico funciona a 110V CA con los interruptores de marcha paro y emergencia mientras que los interruptores del compresor electroventilador e impulsor funcionan a 12V con CC.

Figura 63. Instalación de los controles de mandos

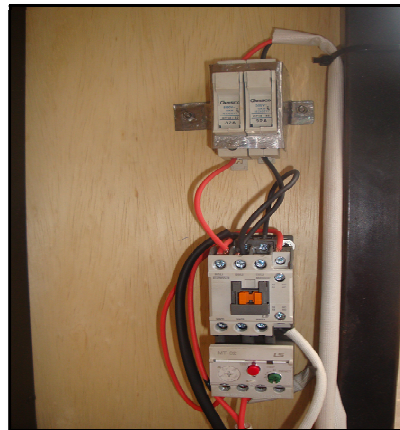


Fuente: Autores

#### 5.14 Instalación del relé, contactor y fusibles de 110V

Son dispositivos electromecánicos que se utilizan para estabilizar la corriente en el circuito de potencia y circuito de mando para evitar la caída de energía al momento de encender el motor eléctrico, también sirve para proteger el sistema de potencia de una sobrecarga eléctrica. Su amperaje máximo es de 25A pero esta regulado a 21.5A por el amperaje máximo que soporta el motor eléctrico.

Figura 64. Instalación del circuito de potencia



Fuente: Autores

#### 5.15 Banco de pruebas HVAC terminado

Figura 65. Banco de pruebas HVAC terminado



Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS Y ENSAYOS

#### 6.1 Análisis de carga en el sistema de aire acondicionado

Al sistema de aire acondicionado se realizó diferentes tipos de pruebas para verificar su funcionamiento de cada uno de sus elementos con sus correspondientes presiones y temperaturas, utilizando una máquina de carga que cuenta con un cilindro de carga con manómetros incorporados de alta y baja presión, sobre el cilindro se disponen las válvulas de carga y de entrada de líquido ambas en sus extremo inferior, mientras que el superior se acoplan las válvulas de entrada de gas y purga del cilindro.

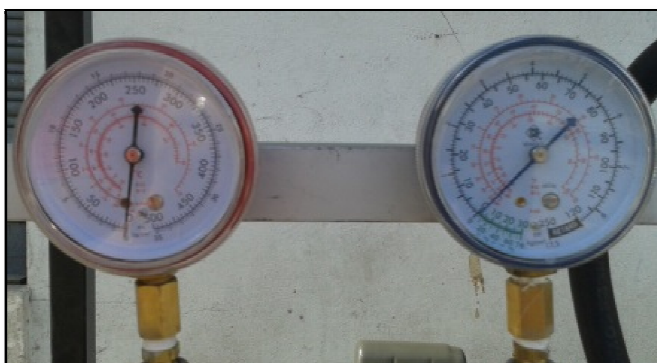
**6.1.1** *Sistema de aire acondicionado descargado.* Inicialmente el sistema se encuentra descargado como resultado los manómetros de alta y baja presión marcan las siguientes medidas.

Tabla 30. Resultado del sistema descargado

Manómetros	Medidas
Alta presión	0 Psi
Baja presión	0 Psi

Fuente: Autores

Figura 66. Sistema descargado



Fuente: Autores



**6.1.2 Pruebas de fugas.** Los métodos que se utilizan para encontrar fugas en los sistemas de aire acondicionado, son el detector electrónico, trazadores fluorescentes y agua jabonosa, también existen depósitos de R-134a con trazador incluido, se carga este gas al sistema y con la lámpara fluorescente se busca la traza para ubicar la fuga. Se realizó la prueba de fugas correspondiente utilizando agua jabonosa para el gas de nitrógeno (este gas hace un barrido interno del circuito eliminando la humedad existente) para así evitar desperdiciar el refrigerante y contaminar, el detector electrónico solo funciona con el refrigerante R-134a y por el costo optamos hacer las pruebas nitrógeno que brinda las mismas presiones correspondientes como el refrigerante para esta prueba.

Figura 67. Comprobación de fugas



Fuente: Autores

Se realizó una fuga entre una conexión y el filtro deshidratante, donde se observó que es evidente la fuga del nitrógeno al ambiente mediante la formación de burbujas del agua jabonosa.

Figura 68. Fugas en el filtro deshidratante



Fuente: Autores

**6.1.3 Pruebas de vacío.** Antes de realizar la prueba de vacío se debe colocar el aceite sintético cantidad de aceite en  $gr = (Q \times 0,06 + 60) \times 1,11$  Siendo Q la cantidad de refrigerante, el nivel de aceite para los compresores SANDEN está entre de 200 a 220 gr por el fabricante. Las conexiones de las mangueras se realizan de la siguiente forma.

De la bomba sale una manguera de succión de color amarillo al intermedio de los manómetros de alta y baja presión, la válvula del manómetro de alta presión se encuentra cerrada mientras que la válvula de baja presión se encuentra abierta que permite la succión de la humedad existente en el circuito y el refrigerante del sistema hacia el exterior.

#### ***Proceso para realizar la prueba de vacío***

- Conectar la bomba de vacío al sistema.
- Poner en marcha la bomba.
- Detener cuando se tenga una lectura de 1,500 micrones.
- Romper el vacío con nitrógeno y presurizar el sistema a 2 libras/pulgada<sup>2</sup> y esperar de 30 a 60 minutos.
- Soltar el nitrógeno.
- Poner en marcha la bomba.
- Detener cuando se tenga una lectura de 1,500 micrones.
- Romper el vacío con nitrógeno y presurizar el sistema a 2 ó 3 libras/pulgada<sup>2</sup> y esperar de 30 a 60 minutos.
- Soltar el nitrógeno.
- Poner en marcha la bomba.
- Detener cuando se tenga una lectura de 500 ó 250 micrones, según sea el tipo de lubricante.
- Romper el vacío con el fluido refrigerante R-134a.
- Cargar con gas el sistema.

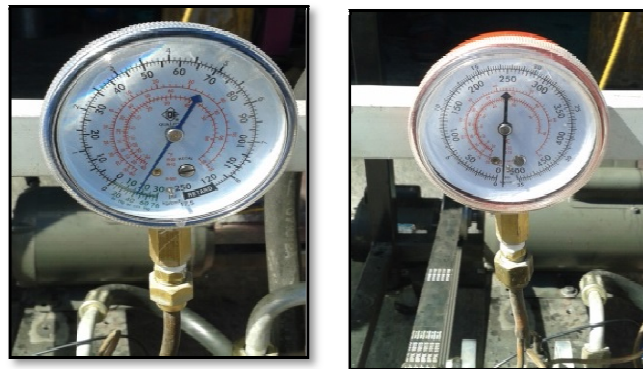
Para la prueba de vacío se utilizó las siguientes herramientas, bomba de vacío que succiona durante un tiempo de 30 hasta 60 minutos para retirar el nitrógeno y el agua existente en el sistema de aire acondicionado, manómetros de alta y baja presión, los manómetros marcaron las siguientes medidas.

Tabla 31. Medidas de la prueba de vacío

Manómetro de baja presión	Manómetro de alta presión
-17 Psi	0 Psi
-45 Kg/	0 Kg/

Fuente: Autores

Figura 69. Conexiones para la prueba de vacío



Fuente: Autores

**6.1.4 Carga con almacenamiento de gas.** La carga correspondiente en el sistema de aire acondicionado utilizando los siguientes materiales y herramientas, refrigerante R134a, aceite sintético compresor oil, manómetros de alta y baja presión, mangueras de igual denominación, el sistema se encuentra apagado como resultado tenemos estas medidas.

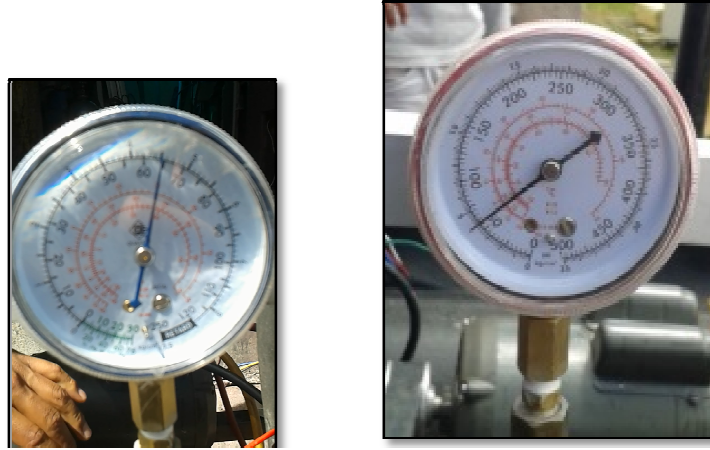
Tabla 32. Medidas de carga de fluido refrigerante

Manómetro de baja presión	Manómetro de alta presión
65 Psi	65 Psi
4.6 Kg/	4,6 Kg/

Fuente: Autores

Estas medidas permiten verificar que el sistema de aire acondicionado se encuentra correctamente cargado y posteriormente realizar la prueba de potencia.

Figura 70. Carga con fluido refrigerante R-134a



Fuente: Autores

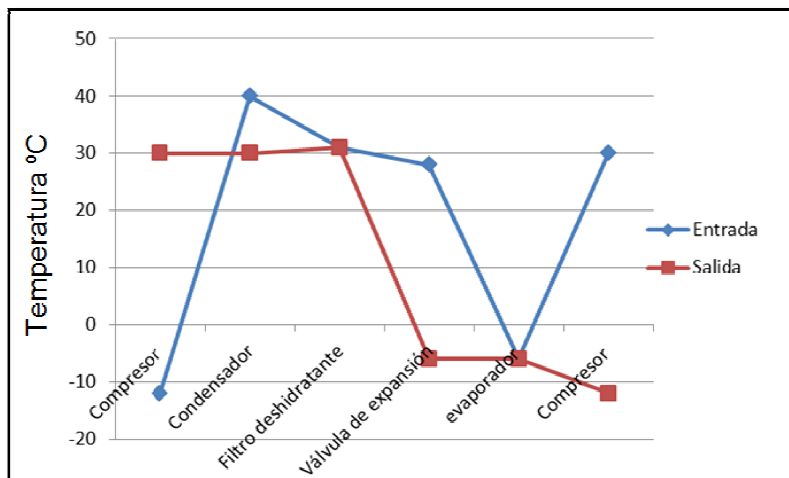
**6.1.5 Prueba de potencia.** Esta prueba da como resultado los siguientes datos a plena carga que nos permite verificar que el sistema está funcionando correctamente.

Tabla 33. Medidas de la prueba de potencia

Manómetro de baja presión	Manómetro de alta presión
30 Psi	150 Psi
2.1 Kg/	10.3Kg/

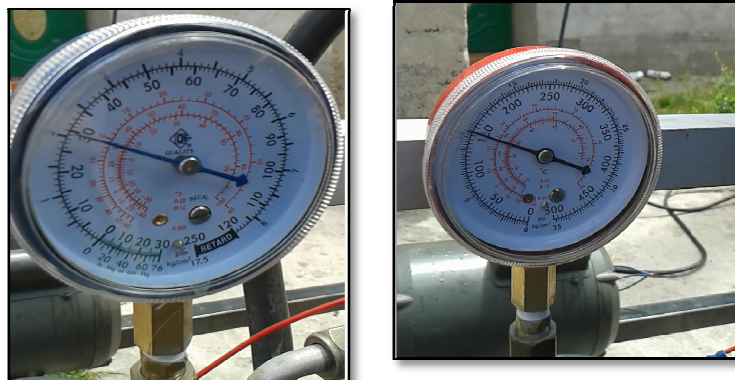
Fuente: Autores

Figura 71. Temperatura de los componentes del A/C



Fuente: Autores

Figura 72. Prueba a plena carga

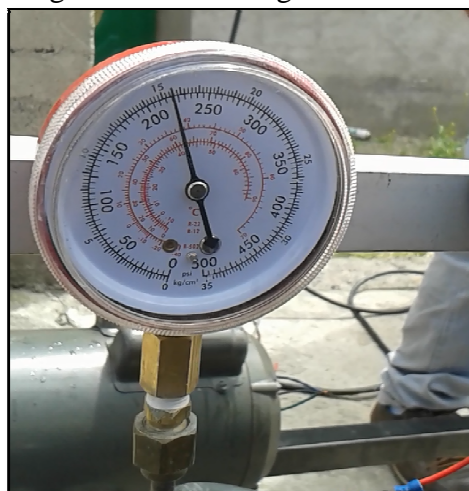


Fuente: Autores

**6.1.6 Prueba de sobrecarga.** Como resultado de esta prueba el manómetro de alta y baja presión se elevan excesivamente la presión debido alguna falla en el sistema.

Como ejemplo se ha realizado la desconexión del electroventilador provocando que no exista condensación así el líquido pasa en estado líquido al filtro deshidratante elevando también su temperatura, y puede a llegar a que el evaporador deje pasar fluido en estado líquido y exista una sobre presión en el compresor y si no existe un dispositivo que desconecte el compresor puede llegar a causar múltiples daños en el sistema hasta la explosión de los distintos elementos. Lo máximo que puede llegar la presión es 250 Psi, luego de esta medida se enciende el electroventilador con sus distintas velocidades para bajar la temperatura y presión o sino el presostato desconecta al compresor evitando que el sistema pueda dañarse.

Figura 73. Sobrecarga en el sistema



Fuente: Autores

## 6.2 Pruebas de calefacción

Las pruebas realizadas en el calefactor son de temperatura en función del tiempo de entrega, como resultado tenemos las siguientes medidas.

Tabla 34. Pruebas en el calefactor a temperatura ambiente 17 °C

Calefacción mínima				Calefacción máxima			
Tiempo (s)	T °C (mín)	T °C (media)	T °C (máx)	Tiempo (s)	T °C (mín)	T °C (media)	T °C (máx)
15	31	33	33	15	38	40	40
30	62	64	63	30	91	92	92
45	84	84	86	45	126	126	126
60	90	90	91	60	131	131	131

Fuente: Autores

- En la calefacción en posición mínima la temperatura máxima es de 92 °C pero esta puede descender a 17 °C en un tiempo de 50 s.
- En la posición máxima la temperatura máxima es de 134 °C mediante la ventilación puede descender a 17 °C en un tiempo de 110 s, esta prueba se realizó en la parte de la protección del calefactor.

## 6.3 Pruebas de ventilación

Esta prueba se realizó a una temperatura ambiente de 17 °C donde se comprobó que la temperatura desciende 2 °C, a partir los 15 °C la temperatura y flujo de aire se mantiene constante esto depende de la temperatura ambiente.

Tabla 35. Pruebas de ventilación

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
0	17
5	16
20	15

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 7.1 Detalle de costos directos

Tabla 36. Detalles de costos de elementos normalizados

<b>Sistema mecánico</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario USD</b>	<b>Valor Total USD</b>
1	Aire Acondicionado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compresor</li> <li>- Condensador</li> <li>- Filtro deshidratador</li> <li>- Válvula de expansión</li> <li>- Evaporador</li> <li>- Mangueras de alta presión</li> <li>- Manguitos de acople</li> <li>- Abrazaderas</li> </ul>	225,00 120,00 100,00 45,00 110,00 70,00 14,50 7,50	692,0
<b>Sistema eléctrico</b>				
1	Aire Acondicionado	<p style="text-align: center;"><b>Para 12 voltios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batería</li> <li>- Electroventilador</li> <li>- Impulsor de aire</li> <li>- Fusibles</li> <li>- Switches</li> <li>- Cables</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Para 110 voltios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motor eléctrico</li> <li>- Contactor</li> <li>- Relé</li> <li>- Fusibles</li> <li>- Interruptor P/M</li> <li>- Interruptor de emergencia</li> <li>- Cables</li> </ul>	70,00 80,00 70,00 12,80 9,00 18,00 200,00 40,00 30,00 6,60 10,00 8,00 18,00	571,6

2	Ventilación	- Ventiladores - Switches	60,00 8,00	68,00
1	Calefacción	- Calefactor - Cables - Enchufe	98,00 8,00 6,40	112,4
1	Estructura	- Tubo cuadrado de 40x40x2 mm - Angulo de 90° de 25x25x3 mm - Tornillos - Triplex	125,00 7,50 18,00 24,00	174,5
<b>TOTAL</b>				<b>1 618,5 USD</b>

Fuente: Autores

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>1618,5 USD</b>
------------------------	-------------------

## 7.2 Detalle de costos indirectos

Tabla 37. Detalles de costos indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Transporte	650,00
Cargadas de aire	240,00
Mano de obra de soldadura	200,00
Mano de obra de armada del sistema de aire acondicionado	120,00
Varios	680,00
<b>TOTAL</b>	<b>1 890,00 USD</b>

Fuente: Autores

## 7.3 Costo Total

Tabla 38. Costo total

Costos directos	1618,5
Costos indirectos	1890,00
<b>TOTAL</b>	<b>3508,50 USD</b>



## **CAPÍTULO VIII**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 Conclusiones**

Se construyó e implementó un banco didáctico de un sistema de climatización HVAC para la Escuela de Ingeniería Automotriz con el objetivo de mejorar el aprendizaje en los sistemas de climatización automotrices.

El rendimiento máximo en el sistema de calefacción alcanza una temperatura de 134 °C en un tiempo de 60 segundos en el interior de la calefacción, y transmite una temperatura de confort de 25 °C al exterior.

La presión normal de funcionamiento en sistema del aire acondicionado es de 150Psi pero si existe un incorrecto funcionamiento del electroventilador la presión se incrementará a 250Psi en un tiempo de 10s, produciendo daños en el sistema.

Se elaboró manuales de operación, mantenimiento y seguridad para su correcto manejo y evitar daños al operario y al banco de pruebas (Anexo A, Anexo B, anexo C).

#### **8.2 Recomendaciones**

Revisar la luz piloto del control del sistema de calefacción, debe encender al momento de conectar la fuente y al accionar el interruptor, la fuente de alimentación es de 110V y comparte con el sistema de ventilación.

Observar las presiones del sistema de aire acondicionado, esta no debe sobrepasar los 250 Psi en manómetro de alta presión, si esta pasa el presostato cortara la corriente del electroventilador y también el circuito de potencia del motor eléctrico se resetea para evitar daños en el sistema de aire acondicionado.

Comprobar que no se recaliente el filtro deshidratador, como consecuencia podría dañar la válvula de expansión y provocar que se deteriore el compresor.

Inspeccionar el estado y al tensión de la banda de transmisión por lo menos cada 10 horas de funcionamiento.

Verificar los manuales de operación, mantenimiento y seguridad para una adecuada manipulación del banco didáctico de climatización HVAC.

## BIBLIOGRAFÍA

**BUQUÉ Francesc, 2009.***Tecnología de la climatización, manuales técnicos.* España : Alfaomega, 2009.

**CARRIER. 2009.***Manual de Aire Acondicionado.* España: Barcelona : Marcombo, 2009. ISBN: 978-84-267-1499-2.

**CENGEL Yunus, BOLES Michael. 2012.***Termodinámica.* España : McGraw-Hill Educación, 2012. ISBM 978-607-15-0743-3.

**DÍAZ, Rodrigo. 2011.***Termodinámica Automotriz.* Riobamba : ECOFYCENTER, 2011.

**HELLAMEX S.A, 2007.***Compresores.* México : Marcombo, 2007.

**HERNANDEZ Goribar, 2008.***Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración.* México: Trillas, 2008.

**LESUR Luis. 2009.***Manual de refrigeración y aire acondicionado.* México : Trillas, 2009. ISBN: 0-13-770172-1.

**NORTON Robert, 2009.***Diseño de Maquinaria.* México : McGraw-Hill , 2009. ISBN:978-970-10-6884-7.

**WHITMAN William, 2012.***Tecnología de refrigeración y aire acondicionado.* México : Reverté, 2012. ISBN:1-4283-1938-7.

<http://www.automotriz.net/técnica/conocimientos-basicos-55.html>

