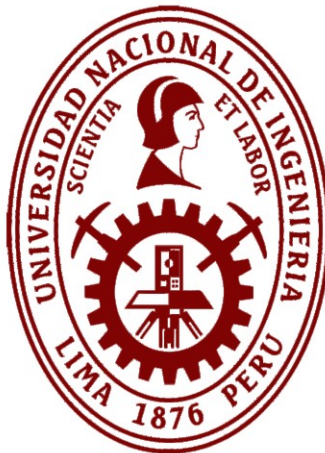


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“Localización de averías y buenas prácticas en el servicio de aire acondicionado automotriz”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FÍSICO

Elaborado por:

CARLOS RAUL CALDERON CAHUANA

0009-0006-3278-3347

Asesor:

ING. HENRY RENE HUANCA LOZA

0009-0007-8017-886X

**LIMA – PERÚ
2025**

Citar/How to cite	Calderón Cahuana [1]
Referencia/Reference	[1] C. Calderón Cahuana, “Localización de averías y buenas prácticas en el servicio de aire acondicionado automotriz” [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Calderón, 2025)
Referencia/Reference	Calderón, C. (2025). Localización de averías y buenas prácticas en el servicio de aire acondicionado automotriz. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma Ed.)	

Dedicatoria

A mis padres por su apoyo incondicional

Resumen

Este trabajo detalla el sistema de aire acondicionado automotriz, sus componentes, y recopila la experiencia de varios años de trabajo sobre la localización de averías frecuentes para los vehículos (sedan y camionetas). Se muestra un método a seguir para la localización de averías haciendo uso del manómetro múltiple para diagnosticar los problemas de enfriamiento en la cabina, donde las indicaciones típicas de presiones de los manómetros de baja y alta presión son fundamentales para el diagnóstico. Así mismo, se detalla el proceso completo de carga y descarga de refrigerante en los sistemas de aire acondicionado automotrices. Finalmente, se detallan buenas prácticas en los procedimientos frecuentes de servicio.

Abstract

This work shows the automotive air conditioning system, its components, and gather the experience over years of work about regarding to troubleshooting common problems for vehicles (sedan and pickups). A method to follow is shown to find problems by using the manifold gauge to diagnose cooling problems in the cabin, where typical pressure indications from the low and high pressure gauges are essential for the diagnosis. Also, the use of the manifold gauge to diagnose cooling problems in the cabin, where typical pressure indications from the low and high pressure gauges are essential for the diagnosis. Likewise, the complete process of charging and discharging refrigerant in automotive air conditioning systems is detailed. Finally, good practices in frequent service procedures are detailed.

Tabla de contenido

Resumen.....	iv
Abstract.	v
CAPITULO I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Descripción del problema.....	1
1.3. Objetivos del estudio	1
1.3.1. Objetivo general	1
1.3.2. Objetivos específicos	1
1.4. Antecedentes investigativos	2
CAPÍTULO II. Marco teórico y conceptual	3
2.1. Conceptos generales	3
2.1.1. Calor.....	3
2.1.2. Intensidad de Calor	3
2.1.3. Calor sensible	4
2.1.4. Calor específico.....	5
2.1.5. Calor latente	5
2.1.6. Conducción, convección y radiación	6
2.1.6.1. Conducción.....	6
2.1.6.2. Convección	7
2.1.6.3. Radiación	8
2.1.7. Entalpía	8
2.1.8. Presión.....	8
2.1.9. Presión y temperatura crítica	10
2.1.10. Refrigeración de compresión de vapor (p-h).....	10
2.2. Refrigerantes.....	11

2.2.1.	Selección de Refrigerantes	12
2.2.2.	Prefijos y códigos de refrigerantes	13
2.2.2.1.	Prefijos.....	13
2.2.3.	R-12.....	14
2.2.4.	R-134a	15
2.2.5.	Aceites lubricantes.....	17
2.3.	Aire acondicionado	20
2.3.1.	Sistema de refrigeración	21
2.3.2.	El sistema de calefacción del auto	21
2.3.3.	Análisis del ciclo de refrigeración de compresión de vapor	23
2.3.3.1.	Evaporación	23
2.3.3.2.	Compresión	24
2.3.3.3.	Condensación	24
2.3.3.4.	Expansión	24
2.3.4.	Análisis de energía del ciclo de refrigeración de compresión de vapor.....	27
2.3.5.	Ciclo real de refrigeración de compresión de vapor	29
2.3.6.	Circuito de A/C automotriz.....	31
2.3.7.	Aire en el sistema de A/C.....	33
2.4.	Componentes del sistema de a/c automotriz	33
2.4.1.	Compresor	33
2.4.2.	El Condensador.....	34
2.4.3.	El recibidor/secador	35
2.4.4.	La válvula de expansión	36
2.4.5.	El evaporador	37
2.4.6.	Componentes de seguridad del sistema de A/C	38
2.4.6.1.	Termostato.....	38

2.4.6.2. Switch cycling	39
2.4.6.3. Switch dual de presión o binario	40
2.4.6.4. Switch Trinario	40
2.4.7. Módulos de control de A/C	41
2.4.7.1. Control manual	41
2.4.7.2. Control semi-automático	41
2.4.7.3. Control automático.....	42
CAPÍTULO III. Método y materiales	43
3.1. Metodología.....	43
3.2. Materiales y equipos	43
CAPÍTULO IV. Resultados y análisis	48
4.1. Localización de averías	48
4.2. Localización de averías con el manómetro múltiple.....	50
4.2.1. Sistema de A/C funcionando correctamente.....	51
4.2.2. Baja carga de refrigerante R-134a	53
4.2.3. Mala circulación del refrigerante	55
4.2.4. Condensador expulsa poco calor o exceso de refrigerante	56
4.2.5. Aire en el sistema	58
4.2.6. Válvula de expansión instalada erróneamente o tubo sensor de calor en mal estado	59
4.2.7. Mal funcionamiento del compresor.....	60
4.2.8. Humedad en el sistema.....	62
4.3. Carga y descarga de refrigerante	63
4.3.1. Procedimiento de recuperación.....	63
4.3.2. Procedimiento de vacío	65
4.3.3. Procedimiento de carga.....	66

4.4.	Procedimiento de servicio.....	67
4.4.1.	Comprobación de fugas	67
4.4.2.	Ajuste de conexiones con fugas.	68
4.4.3.	Verificación del nivel de carga de refrigerante.....	68
4.4.4.	Prueba de los interruptores de presión.....	69
4.4.5.	Limpieza del panel del condensador.....	70
4.4.6.	Ajuste de la correa de transmisión del compresor	70
	Conclusiones.....	72
	Recomendaciones	73
	Referencias bibliográficas.....	74
	ANEXOS	76

Lista de Tablas

Tabla 1: Relación entre el vacío y la temperatura de ebullición del agua.	9
Tabla 2: Prefijos y átomos contenidos en refrigerantes	13
Tabla 3: Típicos valores normales de baja y alta presión en funcionamiento.....	50
Tabla 4: Típicos valores de temperatura en la cabina	51

Lista de Figuras

Figura 1:	Comparación de escalas de temperatura	4
Figura 2:	Temperatura versus calor.....	6
Figura 3:	Conducción	7
Figura 4:	Convección	7
Figura 5:	Radiación	8
Figura 6:	Diagrama presión-entalpía	11
Figura 7:	Balón de gas R-12	15
Figura 8:	Balón de gas R-134a	16
Figura 9:	Aceites lubricantes para R-134a	19
Figura 10:	Equipos de aire acondicionado de oficina	20
Figura 11:	Sistema de calefacción del vehículo	22
Figura 12:	Intercambiador de calor (radiador de calefacción)	23
Figura 13:	(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor básico (ideal), (b) su diagrama T-s, (c) su diagrama LogP-h.	26
Figura 14:	(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor ideal, (b) su diagrama temperatura-entropía.....	28
Figura 15:	(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor real, (b) su diagrama T-s.....	30
Figura 16:	Circuito de A/C automotriz con válvula de expansión.	32
Figura 17:	Incremento de presión y temperatura (izquierda: succión; derecha: descarga).	34
Figura 18:	Recibidor/secador.....	36
Figura 19:	Evaporador.....	37
Figura 20:	Termostato.....	38
Figura 21:	Switch cycling.....	39
Figura 22:	Switches de presión: (1) de baja; (2) dual o binario; (3) de alta	40

Figura 23:	Control manual.....	41
Figura 24:	Control semi-automático.....	42
Figura 25:	Control automático.....	42
Figura 26:	Manómetro múltiple para R-134a.....	44
Figura 27:	Bomba de vacío	45
Figura 28:	Balanza digital portátil para carga de aire acondicionado.....	45
Figura 29:	Detector de fugas electrónico de refrigerante R-134a	46
Figura 30:	Detector de fugas fluorescentes para refrigerante R-134a con tinte UV	46
Figura 31:	Manómetro múltiple conectado al sistema de A/C del vehículo	47
Figura 32:	Sistema de funcionamiento normal.....	53
Figura 33:	Poca carga de refrigerante R-134a.....	54
Figura 34:	Mala circulación del refrigerante	56
Figura 35:	Insuficiente enfriamiento del condensador o excesiva carga de refrigerante	57
Figura 36:	Aire en el sistema	59
Figura 37:	Válvula de expansión mal instalada o defectos en tubo sensor de calor	60
Figura 38:	Mal funcionamiento del compresor	61
Figura 39:	Humedad en el sistema.	63
Figura 40:	Equipo de recuperación de refrigerante.....	64
Figura 41:	Conexión del manómetro múltiple al sistema para realizar el vacío.....	66
Figura 42:	Diagrama para el ajuste de la faja de un compresor.....	71

CAPITULO I

Parte introductoria del trabajo

1.1. Generalidades

El aire acondicionado automotriz consta del control de la temperatura y la humedad para tener el confort térmico dentro de la cabina del vehículo, además de brindar mayor seguridad de que el piloto y los pasajeros no se fatiguen con la temperatura inadecuada en ciertas condiciones de manejo. Otra de las funciones de estos equipos es la de desempañar las lunas para tener una mejor visibilidad.

Así, el aire acondicionado automotriz debe estar en óptimo estado para evitar los inconvenientes descritos, y asegurar el confort térmico de los pasajeros incluido el conductor.

1.2. Descripción del problema

Los vehículos con aire acondicionado automotriz llegan a presentar problemas en su funcionamiento, con lo que no podría brindar el confort para los pasajeros, incluso podría presentar inconvenientes para que el conductor desarrolle correctamente el manejo del vehículo.

Los problemas comunes se presentan en este trabajo, y se explican los pasos a seguir para localizar las averías usando el manómetro múltiple.

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1. Objetivo general

- Localizar las averías comunes presentes en los sistemas de aire acondicionado automotriz.
- Realizar el correcto proceso de carga y descarga del refrigerante.

1.3.2. Objetivos específicos

- Mostrar los pasos a seguir para localizar las averías.
- Localizar averías en base a las presiones de los lados de alta y baja presión usando el manómetro múltiple.

- Realizar el correcto proceso de carga y descarga del refrigerante, mostrando el proceso de recuperación, vacío y proceso de carga.

1.4. Antecedentes investigativos

Los estudios previos para detallar los componentes y sistemas del aire acondicionado automotriz se detallan en la bibliografía.

La investigación desarrollada por los técnicos y su conocimiento acumulado en la reparación, mantenimiento e instalación de sistemas de aire acondicionado automotriz de R-13 full motor's S.R.L. ha sido fundamental para brindar soluciones a las fallas en estos sistemas.

CAPÍTULO II

Marco teórico y conceptual

Calefacción y ventilación automotriz no sólo consiste en controlar la temperatura. La seguridad del conductor y pasajeros, así como disminuir el cansancio del conductor, tener un buen confort y lograr mantener una buena visión del camino es importante para el buen diseño de tales sistemas. El dióxido de carbono se logra reducir dentro del vehículo haciendo circular un flujo permanente de aire, esto actúa como desempañador y previene la formación de malos olores. El dióxido de carbono en altas concentraciones puede causar al conductor estar menos alerta (Daly, 2006a).

2.1. Conceptos generales

Un acondicionador de aire implica que las condiciones de temperatura y humedad en el aire es controlado dentro de un espacio dado. Para alcanzar esto, un aire acondicionado debe tener un calentador, enfriador, controlador de humedad y un ventilador (Daly, 2006a).

2.1.1. Calor

El calor es una forma de energía en movimiento que no puede ser destruida, solo puede ser convertida hacia o desde otras formas de energía. De acuerdo con leyes científicas, el calor viajará de una superficie caliente a una fría hasta que las temperaturas se igualen. La rapidez a la que el calor viajará depende de la diferencia de temperaturas entre las áreas caliente (movimiento moléculas más energético) y frío (movimiento molecular menos energético). La unidad en el SI para el calor o energía es el joule. Otras unidades incluyen la caloría y BTU (British Thermal Unit). Los efectos del calor son medidos usando la temperatura (Daly, 2006a).

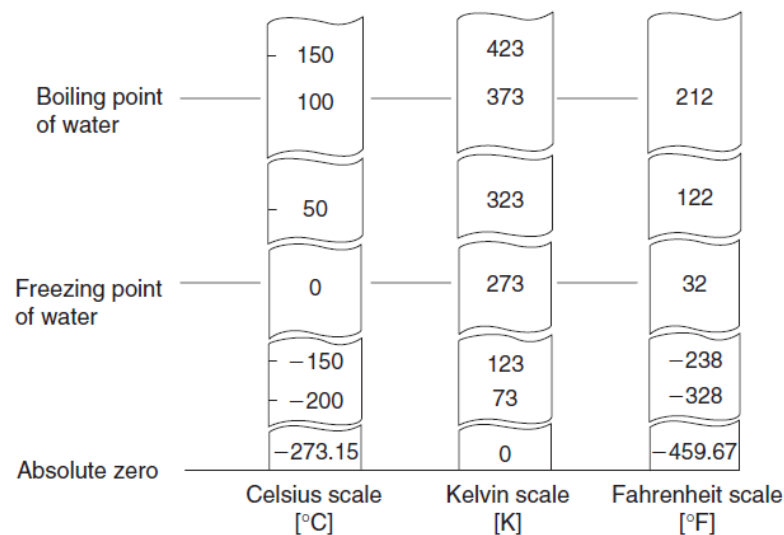
2.1.2. Intensidad de Calor

La unidad en el SI para la intensidad de calor es el kelvin, las unidades derivadas son Celsius o Fahrenheit. La escala kelvin es una escala teórica basada en las leyes de la termodinámica usando el cero absoluto como el inicio de su escala en

vez de cero que es usado en la escala Celsius. Los científicos afirman que una temperatura llamada “cero absoluto” es el punto donde todo el calor es removido de un objeto o sustancia (una ausencia completa de movimiento molecular) (Daly, 2006a).

Figura 1.

Comparación de escalas de temperatura



Nota: (Daly, 2006a).

La intensidad de calor es lo que se percibe y puede ser medida usando un termómetro. Esto sólo proporciona la intensidad de calor de una sustancia más no la cantidad de calor (Daly, 2006a).

Las escalas del cuadro en la Figura 1 muestra el punto de ebullición y el punto de congelamiento del agua. Debe notarse que esto sólo ocurre al nivel del mar (101.3 kPa o 1.013 bar). Las temperaturas extremadamente bajas pueden producir congelación o hipotermia, también en el otro extremo produce agotamiento por calor y deshidratación. La intensidad de calor dentro de un vehículo para el confort debe estar entre 21 y 27 °C (65 y 80 °F) (Daly, 2006a).

2.1.3. Calor sensible

El calor que causa un cambio en la temperatura es llamado calor sensible. Como dijimos anteriormente puede ser percibido y medido usando un termómetro o

pirómetro. La teoría nos dice que, agregando calor a un líquido como el agua, incrementará proporcionalmente su temperatura. Por ejemplo: “La cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C es 4.2 kJ”. 420 kJ de calor se debe aplicar a 1 kg de agua a 0 °C para llevarlo al punto de ebullición de 100 °C. Inversamente, la misma cantidad de calor debe ser removida del agua hirviendo para enfriarlo al punto de congelamiento. Alternativamente 1 BTU de calor cambia la temperatura de 1 lb de agua en 1 °F (Daly, 2006a)

2.1.4. Calor específico

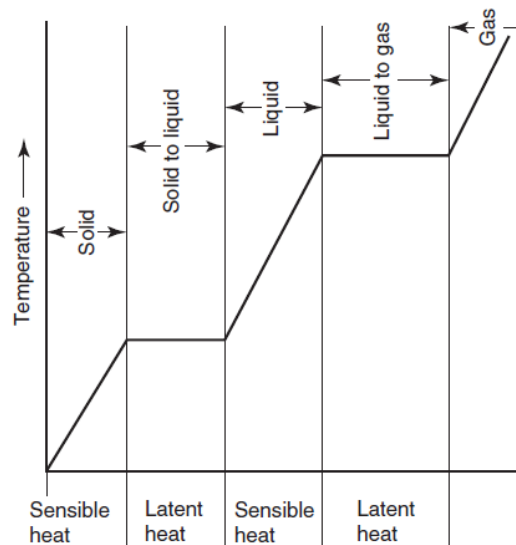
Diferentes sustancias absorben diferentes cantidades de calor para provocar el mismo incremento de temperatura. El calor específico es usado para medir la cantidad de calor requerido para provocar un cambio en la temperatura. Diferentes materiales tienen diferentes valores de calores específicos. La unidad básica para el calor específico es el joule por kilogramo kelvin $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$ (Daly, 2006a).

2.1.5. Calor latente

El calor latente (calor oculto) es el calor requerido para que una sustancia cambie de estado sin variar la temperatura. El calor puede tener un efecto directo en las sustancias cuando cambian su estado. La evaporación es el término usado cuando suficiente calor es absorbido por una sustancia para provocar que cambie de estado a vapor. La condensación es cuando suficiente calor es removido de un vapor para causarle que cambie de estado a líquido. Cuando un cambio de estado ocurre una gran cantidad de calor es absorbida o removida. Esto se llama el calor latente de vaporización y el calor latente de condensación. Por ejemplo: 2260 kJ de calor latente es absorbido cuando 2 kg de agua a 100 °C cambia de estado de líquido a vapor. 970 BTU de calor es absorbido cuando 1 lb de agua a 212 °F cambia de estado de líquido a vapor. (Daly, 2006a)

Figura 2.

Temperatura versus calor



Nota: (Daly, 2006a)

Cuando una sustancia cambia de estado, puede absorber cientos de veces más energía que si sólo aumentara su intensidad de calor (temperatura). Este calor latente es el proceso común usado para mover calor del interior del vehículo al exterior. La clave para un buen enfriamiento es obtener líquido al punto donde se quiere cambiar el estado (evaporar) al punto correcto dentro del sistema de aire acondicionado. Para hacer esto se manipula la presión del sistema. La Figura 2 muestra como el calor sensible cambia la temperatura, mientras que el calor latente mantiene constante la temperatura (Daly, 2006a).

2.1.6. Conducción, convección y radiación

El calor puede ser transferido usando una o una combinación de los tres procesos: conducción, convección o radiación (Daly, 2006a).

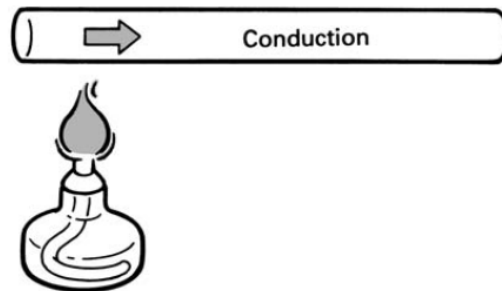
2.1.6.1. Conducción

La Figura 3 ilustra la transmisión directa de calor por conducción dentro de una sustancia, por ejemplo, si el calor es aplicado a un extremo de una barra de acero, el otro extremo eventualmente aumentará su temperatura. Algunos

materiales son excelentes conductores del calor: aluminio, cobre; y otros materiales actúan como aisladores: polímeros (plásticos) (Daly, 2006a).

Figura 3.

Conducción



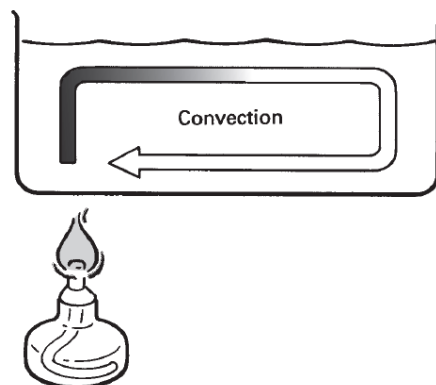
Nota: (Daly, 2006a)

2.1.6.2. Convección

La convección es movimiento de calor a través de un medio como el líquido en una olla, tal como es mostrado en la Figura 4. La convección es un movimiento continuo del medio y el calor. El medio, líquido o gas, mueve y emite calor a las áreas circundantes. Cuando se calienta un líquido o gas, ocurre la expansión y partes de la sustancia llegan a ser más ligeras que otras partes que contienen menos calor (Daly, 2006a).

Figura 4.

Convección



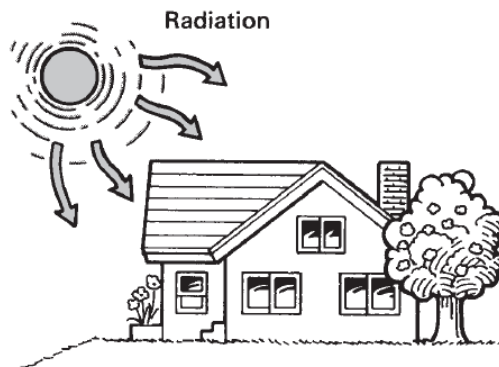
Nota: (Daly, 2006a).

2.1.6.3. Radiación

El calor puede viajar a través de rayos caloríficos y pasar de un lugar a otro sin calentar el aire por el que viajan (Figura 5). Un ejemplo es la radiación ultravioleta e infrarroja que viaja desde el sol. El calor radiante puede viajar de un objeto más caliente como el Sol a un objeto más frío como la superficie de la Tierra. El color y la textura de la superficie afectan el calor emitido y absorbido. El color no es tan importante como la textura; superficies ásperas oscuras son mejores colectores de calor que superficies lisas claras (Daly, 2006a).

Figura 5.

Radiación



Nota: (Daly, 2006a).

2.1.7. Entalpía

La entalpía es la medida de energía disponible de una sustancia. Cuando un líquido aumenta su temperatura, también aumenta su entalpía. Cuando el líquido cambia de estado a vapor debido al calor latente de vaporización no aumenta su temperatura, pero sí aumenta su entalpía por que la energía dentro de la sustancia aumenta (Daly, 2006a).

2.1.8. Presión

La presión es definida como la fuerza ejercida por unidad de área por un sólido, líquido o gas. La unidad en el SI es el pascal (Pa). Otras unidades de presión son la

libra por pulgada cuadrada (psi), kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado ($\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$), atmosferas (atm) y milímetros de mercurio (mmHg). La presión atmosférica a nivel del mar es 101.325 kPa (14.6 psi). Es generalmente indicado en el manómetro como cero (presión manométrica) a menos que sea un manómetro que mida la presión atmosférica. Anteriormente se discutió que el agua cambia de estado a 100 °C si el líquido se encuentra al nivel del mar bajo la presión atmosférica. Si reduces la presión sobre el líquido llevándolo por encima del nivel del mar o aplicándole un vacío, el punto de ebullición disminuirá. Si aumentas la presión aplicada al líquido llevándolo por debajo del nivel del mar o aplicándole una presión, el punto de ebullición aumentará (Daly, 2006a).

La Tabla 1 muestra que si un vacío (1 bar de vacío) es creado en un sistema cerrado como en un sistema de A/C, el agua hervirá a 10 °C (50°F). Esto permite a los técnicos remover la humedad del sistema de A/C usando una bomba de vacío. El cuadro también muestra la importancia de crear suficiente vacío bajo condiciones ambientales frías (Daly, 2006a).

Tabla 1.

Relación entre el vacío y la temperatura de ebullición del agua.

<i>Boiling point of water °C</i>	<i>Boiling point of water °F</i>	<i>kPa</i>	<i>bar</i>
48.9	120.02	-89.60	-0.896
43.3	109.94	-92.50	-0.925
37.8	100.04	-94.80	-0.948
32.2	89.96	-96.50	-0.965
26.7	80.06	-97.80	-0.978
21.1	69.98	-98.80	-0.988
15.6	60.08	-99.60	-0.996
10	50	-100.40	-1.004
4.4	39.92	-100.60	-1.006
-1.1	30.02	-100.80	-1.008
-6.7	19.94	-101.00	-1.01
-12.2	10.04	-101.10	-1.011
-15	5	-101.20	-1.012

Nota: (Daly, 2006a)

2.1.9. Presión y temperatura crítica

Hay una temperatura crítica que es el punto máximo al cual un gas puede ser condensado y un líquido puede ser vaporizado por medio del aumento de presión. Los refrigerantes R134a y R12 tienen presiones y temperaturas críticas que dictan la relación presión/temperatura máxima a la que pueden ser sujetos. Si un sistema de aire acondicionado opera por debajo del punto crítico de su refrigerante, este es llamado sistema sub-crítico. Si excede su relación presión/temperatura, es llamado sistema tras-crítico (Daly, 2006a).

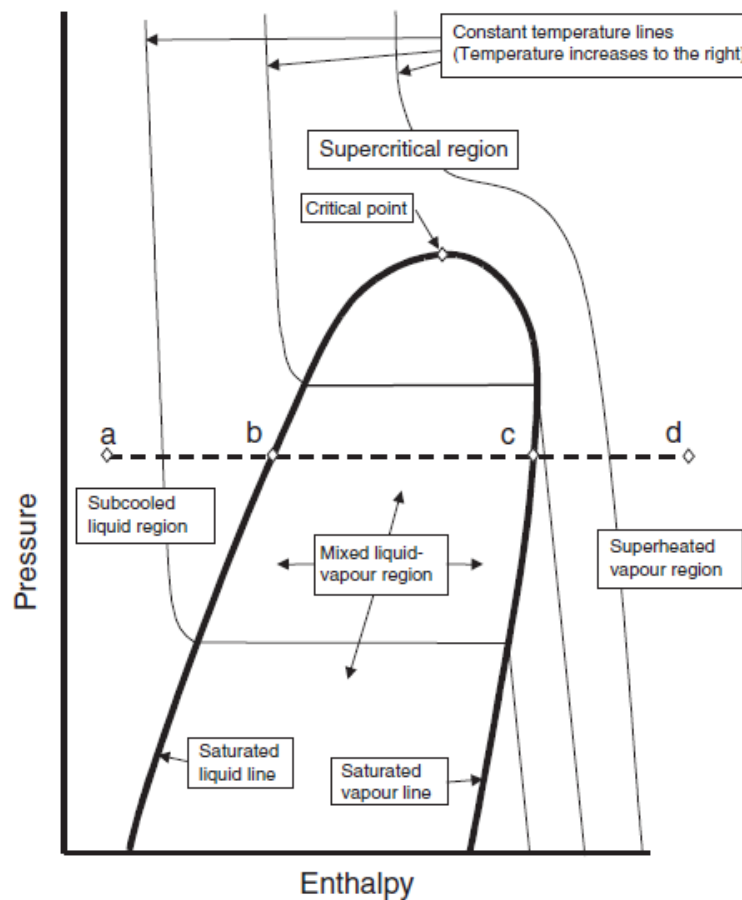
2.1.10. Refrigeración de compresión de vapor (p-h)

Actualmente, el ciclo más usado en aplicaciones automotrices es el ciclo de compresión de vapor, por ejemplo, sistemas cerrados R-12 y R-134a. Para entender el ciclo de compresión de vapor y otros ciclos, es importante entender los tipos de cambios que un refrigerante se somete cuando circula en un sistema de aire acondicionado. Esto se explica usando un diagrama presión/entalpía (Figura 6). Un refrigerante en la región de líquido sub-enfriado se posiciona en "a" con una temperatura por debajo de su punto de ebullición. Si se añade calor continuamente mientras la presión se mantiene constante, la temperatura y entalpía del refrigerante aumentará. Su estado eventualmente alcanzará el punto "b" de líquido saturado. Acá es donde el líquido empezará a vaporizarse. Mientras se añade calor continuamente, el líquido se vaporiza y continúa aumentando su entalpía pero no su temperatura. El líquido saturado se vaporiza entre los puntos "b" y "c" hasta que llega a ser vapor saturado. El vapor saturado en el punto "c" no contiene líquido por que ha sido completamente vaporizado. El calor que fue absorbido durante la transición de líquido saturado a vapor saturado es llamado el calor latente de vaporización (calor es absorbido sin aumentar la temperatura). Añadiendo adicionalmente calor al vapor saturado, la temperatura aumenta provocando que el refrigerante llegue al estado de vapor sobrecalentado en el punto "d". En este punto, la adición de calor provoca un aumento en la temperatura. Las curvas de líquido saturado y vapor saturado coinciden

en un punto llamado el punto crítico. Este punto tiene una correspondiente presión crítica y temperatura crítica. Por encima de la presión crítica, el refrigerante se encuentra en la región supercrítica. En la región supercrítica cualquier adición o sustracción de calor no provoca un cambio de fase líquido-vapor (Daly, 2006a).

Figura 6.

Diagrama presión-entalpía



Nota: (Daly, 2006a).

2.2. Refrigerantes

En general, refrigerantes tienen la capacidad de absorber energía en forma de calor durante el proceso de evaporación. Estos refrigerantes producen, en consecuencia, el enfriamiento requerido cuando cambia de fase líquida a la fase vapor. Por lo general son usados en sistemas de refrigeración, A/C, y bombas de calor (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

2.2.1. Selección de Refrigerantes

En la selección de un refrigerante apropiado para su uso en sistemas de refrigeración, A/C, o bombas de calor, hay muchos criterios que deben ser considerados. Los refrigerantes deben cumplir con las siguientes condiciones (Dinçer & Kanoğlu, 2010a), estos deben:

- Ser no dañinos con el medio ambiente y la capa de ozono.
- Tener baja temperatura de ebullición.
- Tener bajo volumen específico.
- Tener presión de vaporización menor que la presión atmosférica.
- Tener alto calor latente de vaporización.
- Ser no inflamable ni explosivo.
- Ser no corrosivos ni tóxicos.
- No reaccionar ni ser nocivos con el aceite lubricante del compresor.
- Ser no ácidos en caso se mezclen con agua o aire.
- Ser químicamente estables.
- Tener adecuadas propiedades térmicas y físicas (conductividad térmica, viscosidad, etc.)
- Ser comercialmente disponibles.
- Ser fáciles de detectar en caso de fuga.
- Tener bajo costo de producción.

Cuando se seleccione el refrigerante, las propiedades de saturación del refrigerante deben ser tomadas en cuenta. Para tener una adecuada rapidez de transferencia de calor, una diferencia de temperatura de 5 a 10 °C debe ser considerada entre el refrigerante y el medio con el que intercambia calor. Además, la temperatura (y por consiguiente la presión) en el condensador depende del medio al cual el calor es expulsado. Temperaturas inferiores en el condensador (y por

consiguiente alto COP) pueden ser obtenidas si el refrigerante es enfriado por un medio de menor temperatura tal como el agua (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

2.2.2. Prefijos y códigos de refrigerantes

Varios refrigerantes son enumerados de acuerdo a un sistema ideado muchas décadas atrás y ahora son usados mundialmente. Aunque puede parecer confuso, proporciona información muy compleja acerca de la estructura molecular y también fácilmente hace la distinción entre varias clases de químicos. Es de mucha importancia primero comprender los prefijos de los refrigerantes y sus significados (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

2.2.2.1. Prefijos

Algunos de los prefijos de refrigerantes más conocidos son CFC, HCFC, y HFC. En CFCs y HCFCs, la primera “C” es para cloro (Cl), y en todos “F” es para fluor (F), “H” es para hidrógeno (H), y la “C” final es para carbón (C). Un HFC no contiene cloro, así que los resultados no deben mostrar ningún átomo de Cl. La Tabla 2 resume los prefijos y átomos contenidos en cada refrigerante (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Tabla 2

Prefijos y átomos contenidos en refrigerantes.

Name	Prefix	Atoms Contained
Chlorofluorocarbon	CFC	Cl, F, C
Hydrochlorofluorocarbon	HCFC	H, Cl, F, C
Hydrobromofluorocarbon	HBFC	H, Br, F, C
Hydrofluorocarbon	HFC	H, F, C
Hydrocarbon	HC	H, C
Perfluorocarbon	PFC	F, C
Halon	Halon	Br, Cl (in some), F, H (in some), C

Nota: (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Compuestos usados como refrigerantes pueden ser descritos usando el prefijo adecuado como el dado en la Tabla 2 o con el prefijo “R-” o “Refrigerante”. Por ejemplo,

CFC-12 también puede ser escrito como R-12 o Refrigerante 12. Los refrigerantes que son mezclas, se les asigna números seriales. Las mezclas cuyos componentes son los mismos, pero tienen diferentes porcentajes son diferenciados por letras mayúsculas. Por ejemplo, R-401A contiene 53% HCFC-22, 13% HFC-152a, y 34% HCFC-124, pero R-401B contiene 61% HCFC-22, 11% HFC-152a, y 28% HCFC-124 (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

2.2.3. R-12

R-12 es un CFC (Cloro Flúor Carbono). El refrigerante consiste de cloro, flúor y carbón, y tiene el símbolo químico CCl_2F_2 . R-12 tiene una temperatura de ebullición de $-29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un calor latente de vaporización de 165 kJ/kg a la presión atmosférica. La Figura 7 muestra el balón de gas R-12 y su color típico. Fue usado por muchos años hasta mediados de los noventa cuando fue progresivamente retirado y llevado a una prohibición total el 1 de enero del 2001 debido a sus propiedades que acaban con el ozono y contribuyen al calentamiento global. Un beneficio del R12, cuando fue originalmente diseñado, fue su habilidad para soportar altas presiones y temperaturas (punto crítico de temperatura y presión) sin deteriorarse comparado con otros refrigerantes que existían en su época. R-12 se mezcla bien con aceite mineral que circula en sistemas de A/C. No es tóxico en pequeñas cantidades a pesar de que no desplaza oxígeno y es inodoro en concentraciones menores al 20%. R-12 también puede ser reciclado. No se debe quemar o calentar R-12 a temperaturas altas ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$) con una flama porque una reacción química toma lugar y gas fosgeno es producido. Una concentración letal de fosgeno es 0.004% por volumen (Daly, 2006a).

Figura 7.

Balón de gas R-12.



Nota: (R12 Refrigerante con alta pureza)

Propiedades:

- Es miscible con aceites minerales.
- No ataca metales o caucho.
- No es explosivo.
- Es inodoro (en concentraciones menores al 20%)
- No es tóxico (excepto en contacto con fuego o superficies calientes)
- Absorbe humedad fácilmente.
- Es un gas CFC medioambientalmente dañino (que contiene cloro que destruye la capa de ozono)
- Es más pesado que el aire en estado gaseoso, por consiguiente existe el peligro de sofocación.

2.2.4. R-134a

R-134a es un sustituto conocido para el R-12. R-134a es un HFC (Hidrogeno Flúor Carbono). El refrigerante consiste de hidrógeno, fluor y carbón, y su símbolo químico es CH_2FCF_3 . R-134a tiene una temperatura de ebullición de $-26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un calor latente de vaporización de 215 kJ/kg a la presión atmosférica. La Figura 8

muestra un balón de R-134a y su color típico. Debido a que el refrigerante no contiene cloro, no reduce el ozono. R-134a no es tóxico, ni corrosivo y no contribuye al calentamiento global; no es miscible con aceite mineral así que un aceite sintético, llamado PAG (Poly Alkaline Glycol), fue desarrollado. El aceite PAG es higroscópico así que absorbe rápidamente humedad, lo que significa que cuando sea usado se debe cerrar el contenedor tan rápido como sea posible. R-134a no puede ser mezclado con R-12 y no es tan eficiente a altas presiones y temperaturas. R-134a puede ser reciclado.

R-12 y R-134a tienen diferente tamaño de moléculas, las moléculas de R-12 son más grandes. Esto supone que la cantidad de refrigerante requerido para un sistema con R134a es mayor que en un sistema con R12. Esto también requiere tuberías flexibles, sellos incluyendo aceite sean reemplazados con componentes compatibles con R134a si una conversión de R-12 a R-134a es requerida. R-134a no es un reemplazo directo para sistemas A/C que usan R-12. Varias modificaciones se deben hacer a los componentes del sistema para permitir que un sistema R-12 use R-134a como refrigerante (Daly, 2006a).

Figura 8.

Balón de gas R-134a.



Propiedades:

- Es miscible solamente con lubricantes sintéticos como polyalkylglycol (PAG) o esteres no con aceites minerales.
- No ataca a los metales.
- Ataca algunos plásticos, así que se usa sellos especiales para R134a.
- Es inodoro.
- No es tóxico en bajas concentraciones.
- Absorbe fácilmente la humedad.
- Es más pesado que el aire en estado gaseoso, por consiguiente, existe el peligro de sofocación cerca al suelo.

2.2.5. Aceites lubricantes

Es conocido que en el carter del compresor se encuentran el refrigerante con el aceite lubricante. Si se llega a disolver el aceite en el refrigerante, afectaría las propiedades termodinámicas del refrigerante. Entre las principales consecuencias estaría la reducción de la presión de vapor de acuerdo a la composición del aceite y el refrigerante, y sobre cuanto aceite se disuelve. Es importante decir que los refrigerantes deben ser estables química y físicamente en la presencia de aceite, para que ni el refrigerante ni el aceite sean afectados negativamente por la interacción (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Por ejemplo, en sistemas de amonio la proporción de aceite en la solución con líquido amonio es extremadamente pequeño para lograr alguna consecuencia. Por consiguiente, con refrigerantes basados en hidrocarbón la proporción de aceite en la solución es mucho mayor y, por lo tanto, algunos refrigerantes de hidrocarbón reaccionan con los aceites a cierto nivel. Los resultados son dependientes de las condiciones de operación – a condiciones normales de operación con aceite de gran calidad en sistemas secos y limpios la reacción llega a ser pequeña para causar efecto alguno. Sin embargo, si contaminantes tales como aire y humedad están presentes en

el sistema cuyo aceite no posee gran calidad, varios problemas pueden aparecer, entre éstos se mencionan: la pérdida de la composición del aceite y la aparición de ácidos corrosivos. También se debe mencionar que mayores temperaturas de descarga incrementan tales problemas tremendamente. En cuanto a la relación entre el aceite lubricante y el refrigerante, una de las características para varios refrigerantes es la miscibilidad del aceite, que es definido como la habilidad del refrigerante para ser disuelto en el aceite y viceversa. Con la referencia de la miscibilidad del aceite, los refrigerantes pueden ser divididos en tres grupos (Dinçer & Kanoğlu, 2010a):

- Aquellos que se mezclan con el aceite en todas las cantidades en ciertas condiciones en el sistema de refrigeración.
- Aquellos que se mezclan bajo las condiciones normalmente dadas en el condensador, pero que luego son separados del aceite en ciertas condiciones usualmente en la sección de evaporación.
- Aquellos que no son miscibles con el aceite (o lo son muy levemente) bajo las condiciones dadas en el sistema.

La viscosidad del aceite lubricante es también uno de los aspectos termofísicos significantes y deben ser mantenidos dentro de ciertos límites para formar una película protectora entre las diversas superficies de fricción y mantenerlas separadas. Por ejemplo, si la viscosidad es muy baja, el aceite no puede hacerlo; si la viscosidad es muy alta, el aceite no tiene la suficiente fluidez para hacer la penetración necesaria. En ambos casos, la lubricación del compresor no es adecuada. Es importante mencionar que para minimizar la circulación del aceite en el refrigerante, algunas veces un separador de aceite o trampa es instalado en la línea de descarga del compresor (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Refrigerantes HFC y mezclas no son miscibles con aceite mineral. El aceite mineral usado con R-12 no puede ser suficientemente transportado completamente en los sistemas con R-134a. Fabricantes usan PAGs y ésteres para la miscibilidad,

lubricidad, estabilidad química y compatibilidad de materiales del refrigerante con el lubricante, estos son mostrados en la Figura 9. La mayoría escoge lubricantes PAG en nuevos sistemas equipados con R-134a, y también recomiendan lubricantes PAG para reacondicionamiento. Algunos fabricantes de compresores entregan nuevos compresores con PAG, algunos con esterres, y algunos los envían sin aceite (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Figura 9.

Aceites lubricantes para R-134a



Nota: (Refrigeración Emkarate)

PAGs son higroscópicos, significa que absorben agua de la atmosfera cuando están expuestos. Muchos especialistas en postventa escogen usar lubricantes basados en éster porque creen que las características higroscópicas de PAGs pueden limitar su habilidad de lubricación y pueden introducir humedad en el sistema. Los esterres son también higroscópicos (aunque menos que PAGs), y cuidados de todas maneras deben ser tomados en cuenta para asegurar que humedad excesiva no entre al sistema (Dinçer & Kanoğlu, 2010a).

Advertencia:

- Es una práctica recomendable el uso de guantes cubiertos de PVC y gafas de seguridad cuando se maneje estos lubricantes, porque el contacto prolongado con

la piel y/o un breve contacto con los ojos puede causar irritaciones tales como picazón y quemaduras.

- Se debe evitar el respirar vapores producidos por los lubricantes, y asegurarse de usarlos en áreas bien ventiladas.
- Además, lubricantes PAGs y esterres se deben mantener en contenedores bien sellados, para que la humedad no contamine el aceite y los vapores no se escapen.

2.3. Aire acondicionado

Es un sistema que busca controlar algunas variables del aire (tales como temperatura y humedad) para proporcionar confort al conductor y los pasajeros. Más aun, el A/C puede referirse a cualquier tipo de tecnología refrigeración, calefacción, ventilación o desinfección que modifica las condiciones del aire, por ejemplo, el mostrado en la Figura 10 (Sinopoli, 2010).

Figura 10.

Equipos de aire acondicionado de oficina



Nota: (Aire acondicionado Split pared Cold Point 18000 btu)

Un aire acondicionado es un sistema simple o avanzado, o un mecanismo designado para cambiar las condiciones del aire, tales como la temperatura y la humedad dentro de un área. La refrigeración es típicamente hecha usando un simple ciclo de refrigeración, pero algunas veces la evaporación también es usada, comúnmente para proporcionar confort en hogares y vehículos. En el antiguo Egipto, el carrizo colgado en las ventanas contenía agua que goteaba. La evaporación del agua enfría el aire que es soplado a través de las ventanas, pero este proceso también hace el aire más húmedo. En la Persia medieval, el uso de cisternas y torres de viento enfriaban las edificaciones durante los meses cálidos (Sinopoli, 2010).

2.3.1. Sistema de refrigeración

El ciclo termodinámico de un sistema de aire acondicionado es el modelo conceptual y matemático de un sistema de refrigeración. Un sistema de refrigeración es una máquina o dispositivo que mueve calor de un lugar de menor temperatura a uno de mayor temperatura usando trabajo mecánico. En la industria y a nivel doméstico, los sistemas de refrigeración de compresión de vapor son los más frecuentemente utilizados en los sistemas de refrigeración. Así, un sistema de compresión de vapor puede ser usado para enfriar (a través del evaporador) un lugar y/o calentarlo (a través del condensador). En cualquier caso, el calor es absorbido en el evaporador y expulsado en el condensador, usualmente mayor cantidad de calor (Dinçer & Kanoğlu, 2010c).

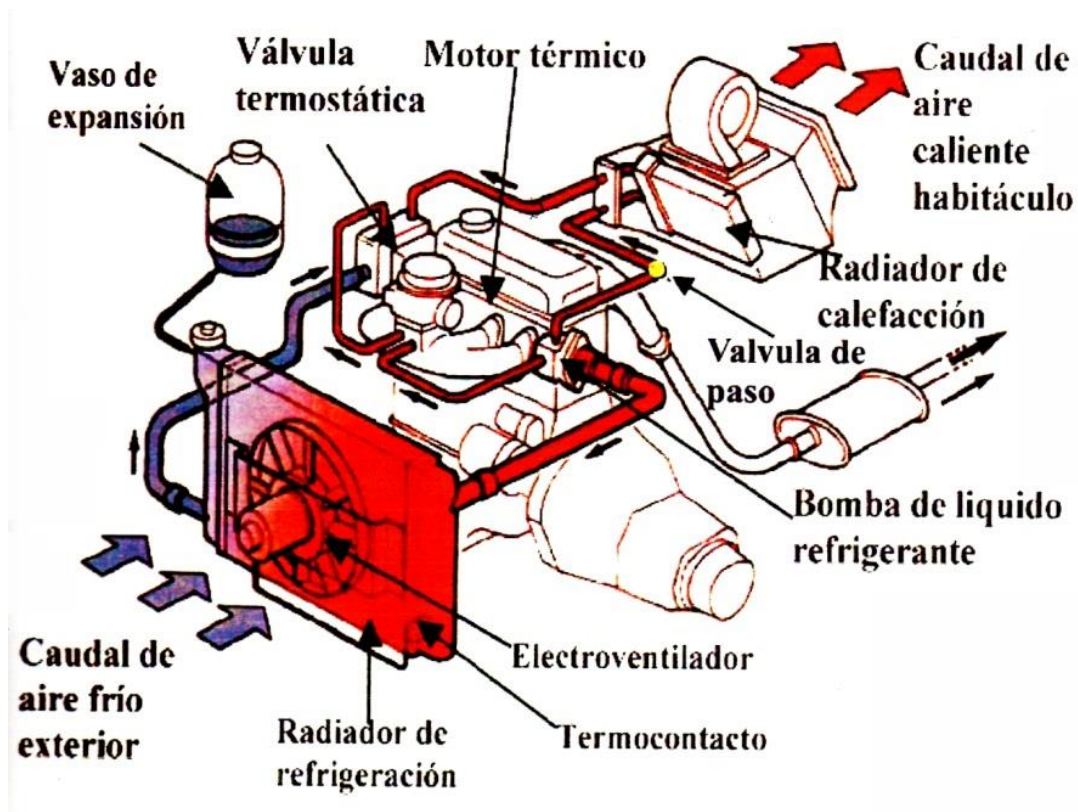
2.3.2. El sistema de calefacción del auto

El calor es una forma de energía lo que significa que no se puede destruir. La calefacción dentro del vehículo busca mover la cantidad necesaria de calor entre un lugar y otro. El radiador o intercambiador de calor incrementa la temperatura del aire que entra al vehículo o que ya está en el vehículo (recirculación). Luego, el aire calentado es dirigido a una combinación de diferentes lugares vía la distribución de ductos de aire dentro del vehículo. Hay diversos métodos de calentar el aire: calor como sub-producto de la combustión, dispositivos eléctricos, etc. Generalmente, los

vehículos usan calor de la combustión que es transferido a través de agua o aire dependiendo si el motor es refrigerado con agua o aire (Daly, 2006a).

Figura 11.

Sistema de calefacción del vehículo



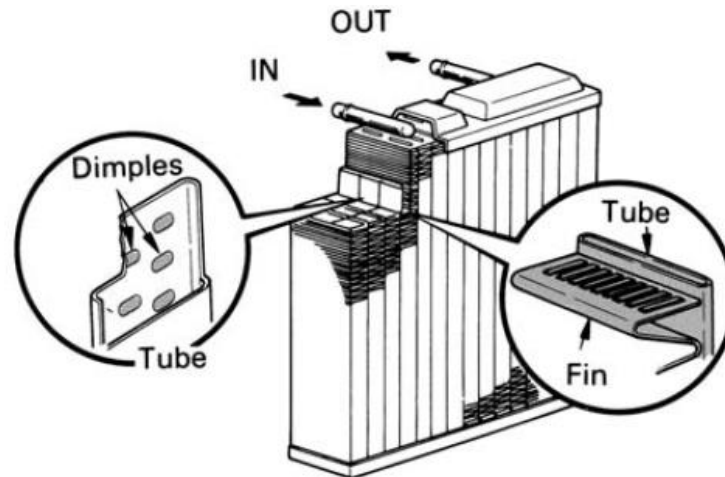
Nota: (*¿Cómo Funcionan Los Sistemas De Calefacción Vehicular?*).

Si el motor es refrigerado con líquido refrigerante basado en agua, éste es usado para transferir el calor del proceso de combustión (como un sub-producto) fuera de la cámara de combustión. Luego, el refrigerante calentado es llevado de la cámara de combustión por medio de tuberías a un intercambiador de calor o radiador de calefacción, como mostrado en la Figura 11. Si la calefacción pierde líquido significa que también lo está perdiendo el refrigerante del motor. El intercambiador de calor (Figura 12), frecuentemente llamado radiador de calefacción, es situado dentro del vehículo y alojado dentro del sistema de calefacción (Figura 11), es diseñado para que tenga un área superficial grande permitiendo que el aire atraviese la superficie de sus aletas. Aire fresco o reciclado es dirigido forzosamente sobre la superficie del

intercambiador de calor y luego distribuido vía los paneles de ventilación al interior del vehículo (Daly, 2006a).

Figura 12.

Intercambiador de calor (radiador de calefacción)



Nota: (Daly, 2006a).

El control de la sensación de calor es seleccionado por los pasajeros del vehículo. Para esto, selecciona la temperatura interior deseada por los ocupantes vía un panel de control. El control de temperatura controlará los componentes para permitir que más o menos agua ingrese al intercambiador de calor o permitir que más o menos aire fluya sobre su superficie (Daly, 2006a).

2.3.3. Análisis del ciclo de refrigeración de compresión de vapor

Los procesos térmicos que se realizan en el ciclo de compresión de vapor son: la evaporación, compresión, condensación, y expansión (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.3.1. Evaporación

La evaporación y condensación ocurren en diferente combinación de presión y temperatura, lo cual difiere con la fusión y congelación. En la evaporación, las moléculas escapan en forma de gas desde la frontera líquida y es acompañado por una dotación de calor absorbida sin cambiar la temperatura. El líquido (refrigerante) evapora a cualquier temperatura pero con mayor rapidez a mayor temperatura. El gas evaporado ejerce una presión

llamada la presión de vapor. A medida que la temperatura dentro en el líquido se incrementa, se reduce la cantidad de líquido en la superficie, incrementando la presión de vapor. En el evaporador, el refrigerante que se encuentra con la menor presión del sistema intercambia calor con el medio o materia (a ser enfriado), obtiene el calor y por consiguiente hierve, llegando a vapor saturado a baja presión (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.3.2. Compresión

El vapor que se obtiene en el evaporador, al entrar al compresor, se aumenta la presión mediante el trabajo que es añadido. Aumentando la presión del gas, aumenta la temperatura de ebullición y por lo tanto su temperatura de condensación del refrigerante. Comprimiendo suficientemente el refrigerante en forma de gas, su temperatura de ebullición es mayor que la temperatura del disipador de calor (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.3.3. Condensación

Este es un proceso de cambio de estado de vapor a líquido debido a la expulsión del calor. El refrigerante en estado gaseoso y a alta presión, que transporta la energía absorbida en el evaporador y el trabajo realizado por el compresor, entra en contacto con el condensador. La temperatura de condensación del refrigerante es superior a la del disipador de calor (condensador), lo que provoca que el calor se transfiera, convirtiendo el refrigerante de vapor a alta presión en un líquido saturado a alta presión. Condensando el gas refrigerante permite reusarlo al inicio del siguiente ciclo (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.3.4. Expansión

El líquido refrigerante condensado retorna al inicio del siguiente ciclo. Un dispositivo de estrangulamiento tal como una válvula, placa con orificio, o tubo capilar para el proceso de expansión es usado para reducir la presión del refrigerante líquido al nivel de baja presión y la temperatura de ebullición del

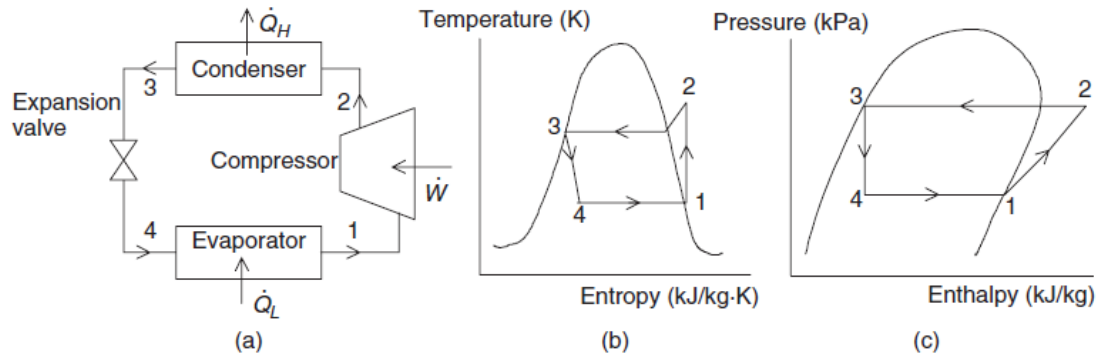
refrigerante llega a ser menor que la temperatura de la fuente de calor (interior del vehículo) (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

Las siguientes suposiciones son tomadas en cuenta para el análisis del sistema de refrigeración de compresión de vapor (Calderón, 2011):

- A. Cada componente del proceso mostrado en la Figura 13 es analizado como un volumen de control en estado estacionario.
- B. La dirección de la transferencia de calor es asumido positivo cuando va hacia el sistema, así como cuando el sistema desarrolla trabajo.
- C. Todas las caídas de presión a lo largo del evaporador y condensador son despreciables.
- D. El compresor funciona de manera adiabática, mientras que la expansión del gas a través de la válvula de expansión se realiza en un proceso de estrangulamiento.
- E. Todos los efectos de energía cinética y potencial son insignificantes así como no hay reacciones químicas ni nucleares.
- F. Componentes tales como tuberías o mangueras no producen caídas de presión en el refrigerante ni intercambios de calor, debido a que se consideran cortos en longitud.
- G. El aire es considerado como un gas ideal sin contenido de humedad relativa, y calor específico constante.

Figura 13.

(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor básico (ideal), (b) su diagrama T-s, (c) su diagrama LogP-h.



Nota: (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

La Figura 13 presenta el diagrama esquematizado de un ciclo termodinámico ideal de un sistema de refrigeración de compresión de vapor. Para una mejor comprensión, el ciclo de refrigeración se muestra en los diagramas temperatura-entropía (T-s) y presión-entalpía (LogP-h). A lo largo de estas líneas los procesos térmicos dados anteriormente en el ciclo termodinámico del sistema de refrigeración de compresión de vapor son (Dinçer & Kanoğlu, 2010b):

(1 – 2) Compresión adiabática reversible. Del evaporador, el refrigerante como vapor saturado entra al compresor, el cual es comprimido aumentando su presión y temperatura. En la válvula de expansión el lado de baja presión del sistema se divide del lado de alta presión y cumple con dos logros importantes: (i) remover el (refrigerante) vapor del evaporador para mantener el punto de ebullición del (refrigerante) evaporador bajo y (ii) comprimir el refrigerante vapor a baja presión en un pequeño volumen, creando una alta temperatura y vapor sobrecalentado a alta presión (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

(2 – 3) Expulsión de calor sin variar la presión. Del compresor, el refrigerante vapor (sobrecalentado) a alta presión ingresa al condensador donde se condensa. Este dispositivo es usado para intercambiar calor, similar al evaporador, excepto que su trabajo es irradiar calor, no absorberlo. Aquí el estado del refrigerante se transforma

de vapor sobrecalentado a líquido. Esto se da creando una alta presión que eleva el punto de ebullición del refrigerante y expulsa suficiente calor que causa que el refrigerante condense a líquido (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

(3 – 4) Expansión irreversible sin variar la entalpía. Del condensador, el refrigerante como líquido saturado a alta presión atraviesa una válvula de expansión en el cual se realiza un proceso de expansión adiabático irreversible donde la entalpía permanece constante (proceso de estrangulamiento) lo que causa que su presión y temperatura sean reducidas (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

(4 – 1) Absorción de calor reversible sin variar la presión. De la válvula de expansión, el refrigerante como una mezcla líquido-vapor a baja presión entra al evaporador donde hierve a baja temperatura en el proceso de absorción de calor del medio circundante, por lo que proporciona el efecto ‘frio’ (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.4. Análisis de energía del ciclo de refrigeración de compresión de vapor

Un ciclo de refrigeración de compresión de vapor consiste de un número de procesos de flujo, como mencionados anteriormente, que pueden ser analizados aplicando balances de masa y energía de acuerdo a la primera ley de la termodinámica. Por consiguiente, aplicamos esto a los cuatro componentes de la Figura 14 y al sistema completo (Calderón, 2011).

Para el compresor:

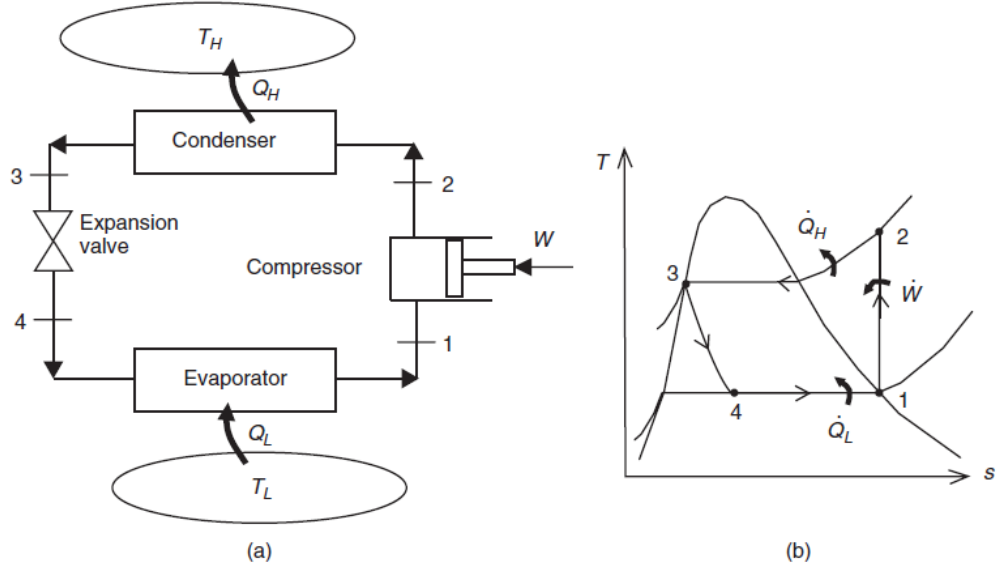
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad (1)$$

$$\dot{W} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Donde $\dot{m}_r$ es el flujo de masa del refrigerante, kg/s; h es la entalpía, kJ/kg; y $\dot{W}$ es la potencia que ingresa al compresor, kW.

Figura 14.

(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor ideal, (b) su diagrama temperatura-entropía.



Nota: (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

Para la válvula de expansión:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_r \quad (3)$$

$$h_3 = h_4 \quad (4)$$

Para el evaporador:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (6)$$

Donde $\dot{Q}_{ev}$ es la cantidad de calor absorbido por el evaporador.

El coeficiente de rendimiento (COP) del sistema de refrigeración es definido como el cociente entre la cantidad de calor extraído del ambiente a través del evaporador y el trabajo neto hecho al refrigerante (Calderón, 2011), así esto llega a ser:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{W}} \quad (7)$$

$$COP = \frac{\dot{m}_r (h_1 - h_4)}{\dot{m}_r (h_2 - h_1)} \quad (8)$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (9)$$

Nota: En los análisis de energía de este tipo de sistema de compresión de vapor, se requiere obtener los valores de entalpía. Tres métodos prácticos son (Dinçer & Kanoğlu, 2010b):

- Usando los diagramas LogP-h (presión-entalpía), que proporcionan las propiedades termodinámicas de los refrigerantes.
- Usando los valores numéricos tabulados de las propiedades termodinámicas de los refrigerantes.
- Usando valores conocidos de calores específicos y calores latentes de los refrigerantes así como haciendo uso de que las áreas en los diagramas T-s (temperatura-entropía) representan cantidades de calor.

2.3.5. Ciclo real de refrigeración de compresión de vapor

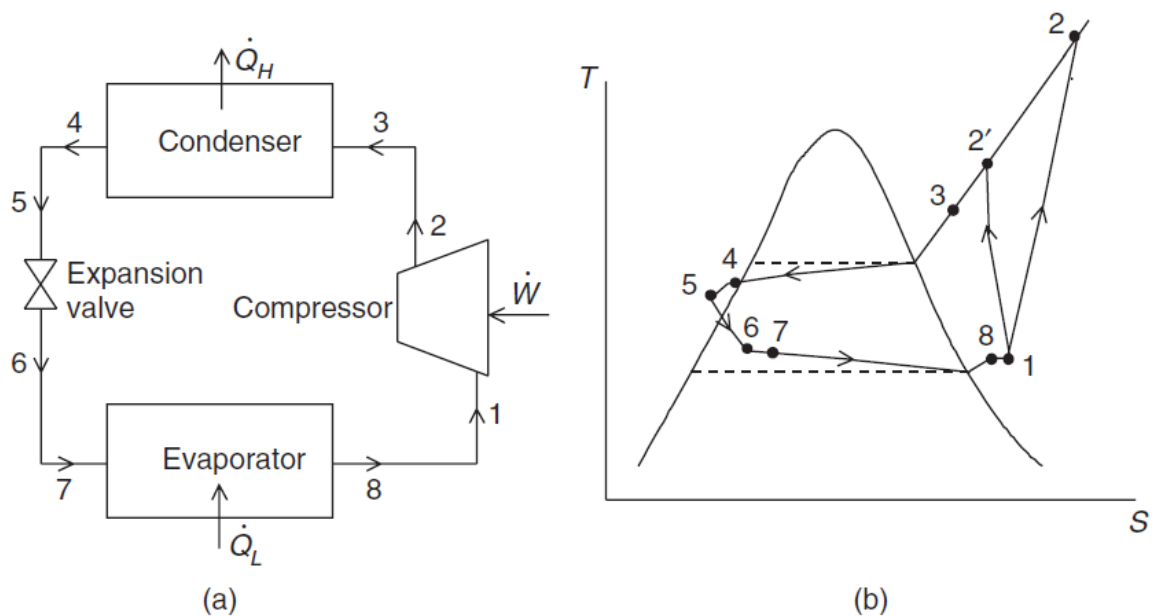
Existen algunas diferencias importantes entre el ciclo real y el ciclo teórico (ciclo ideal estándar) principalmente debido a la caída de presión y temperatura asociados con el flujo de refrigerante y la transferencia de calor desde o hacia el ambiente. La Figura 15 muestra un ciclo real de refrigeración de compresión (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

El refrigerante vapor que ingresa al compresor es comúnmente sobrecalentado. Durante el proceso de compresión, dependiendo de las temperaturas del refrigerante y del ambiente, la entropía puede aumentar (debido a la irreversibilidad y al calor transferido al refrigerante) o disminuir (debido a la irreversibilidad y al calor transferido desde el refrigerante), tal como es mostrado por las líneas 1-2 y 1-2'. La presión del líquido que sale del condensador es inferior a la presión de vapor que ingresó, y la

temperatura del refrigerante en el condensador es algo mayor que la del ambiente al que se transfiere el calor. Como siempre, la temperatura del líquido que sale del condensador es menor que la temperatura de saturación. La temperatura puede reducirse incluso más en la tubería entre el condensador y la válvula de expansión. Sin embargo, la ventaja mostrada debido a que este calor lo donó el refrigerante entrando al evaporador con inferior entalpía, permite que más calor se transfiera al refrigerante en el evaporador. También, hay una reducción de presión mientras el refrigerante atraviesa el evaporador. El refrigerante puede estar ligeramente sobrecalentado mientras deja el evaporador, y a lo largo de la tubería entre el evaporador y el compresor, calor es transferido desde el ambiente por lo que su temperatura aumenta. Esta transferencia de calor representa una desventaja, porque incrementa el trabajo del compresor, debido a que el fluido que le ingresa tiene un volumen específico mayor (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

Figura 15.

(a) Un sistema de refrigeración de compresión de vapor real, (b) su diagrama T-s.



Nota: (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

2.3.6. Circuito de A/C automotriz

El sistema de aire acondicionado de un automóvil o maquinaria pesada tiene un intercambiador de calor para enfriar y calentar, de esa manera controlar la temperatura y humedad del aire dentro del vehículo y lograr el confort en todo momento.

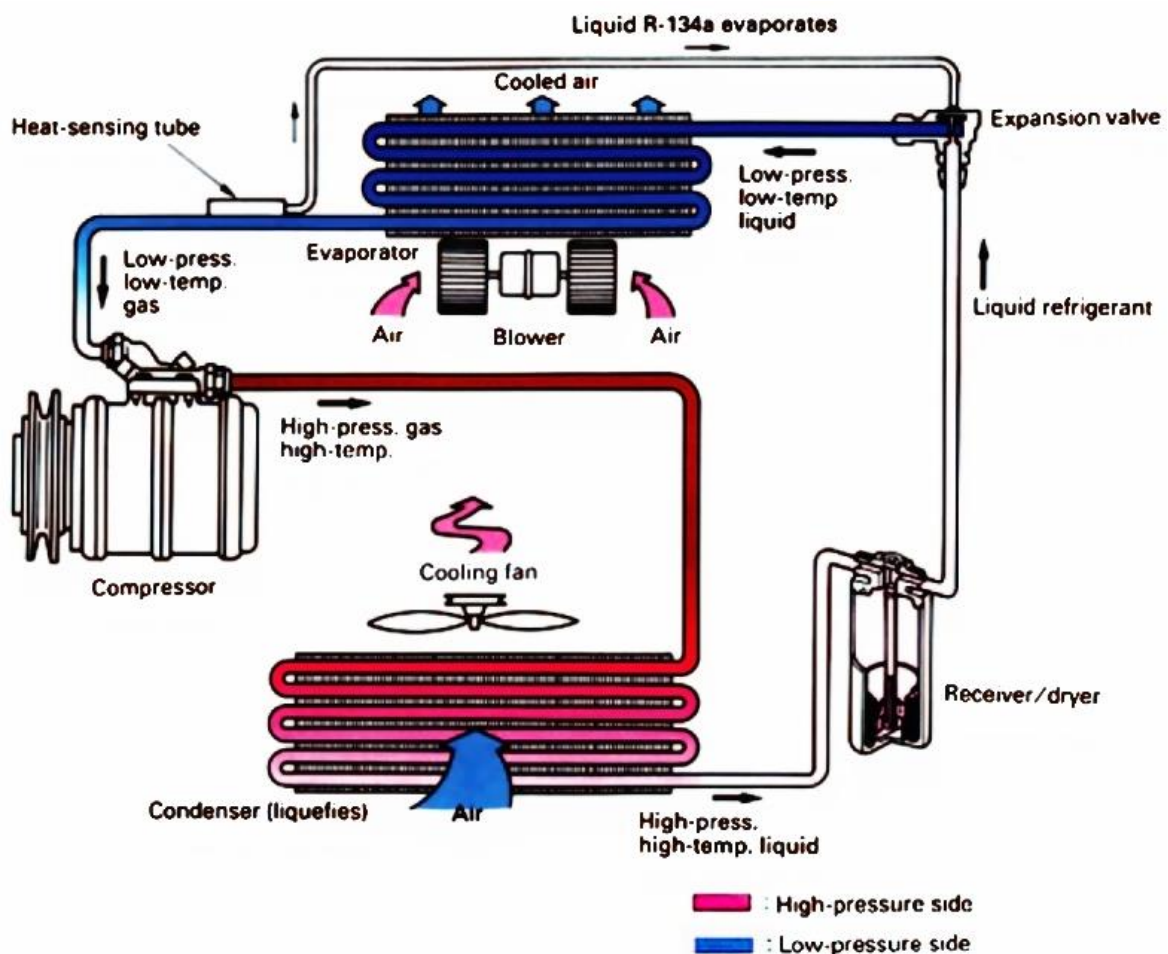
El sistema de aire acondicionado trabaja en un ciclo continuo (Figura 16). El compresor recibe del evaporador el refrigerante a baja presión en estado de vapor. El compresor presuriza el refrigerante de 30 psi a 213 psi (aproximadamente) dependiendo de la demanda del sistema. Esto aumenta la temperatura del 0 a 80 °C (aproximadamente). A esta temperatura el refrigerante está por encima de su punto de ebullición que es 55 °C (aproximadamente). El compresor descarga refrigerante en estado de vapor sobrecalentado al condensador. El refrigerante fluye hacia el condensador. El condensador tiene numerosas aletas para intercambiar calor con el exterior. En el condensador, el refrigerante que ingresó como vapor a alta presión condensa en líquido a alta presión. Esto se alcanza reduciéndole la temperatura de, por ejemplo, 80 °C a 55 °C (o menos) que es la temperatura de ebullición del refrigerante a esa alta presión. Esto se hace haciendo circular aire sobre la superficie del condensador por acción de un ventilador, permitiendo que el refrigerante transfiera calor al aire exterior, con lo que el refrigerante reduce su temperatura (Daly, 2006a).

El refrigerante como líquido sub-enfriado fluye a la botella recibidor/secador donde se almacena, seca y filtra. La botella recibidor/secador asegura que sólo líquido vaya hacia a la válvula de expansión a través de la tubería. Luego, el refrigerante fluye de la botella recibidor/secador a la válvula de expansión donde el refrigerante cambia a una mezcla líquido-vapor con baja presión y baja temperatura. Esto se logra haciendo pasar el refrigerante a través de un pequeño orificio para reducir su presión. El orificio tiene en un lado alta presión (la de la botella recibidor/secador) y baja presión en el otro lado (del evaporador), y permite que poca cantidad de refrigerante fluya a través de él. La repentina caída de presión y temperatura provoca que parte del

refrigerante se vaporice lo que se llama “flash gas”. Luego, el refrigerante como mezcla líquido-vapor a baja presión y baja temperatura fluye al evaporador donde el calor se transfiere de la superficie al refrigerante a través de la vaporización. El calor viene del aire interior (aire de recirculación) o exterior (aire fresco) del vehículo y es soplado forzosamente por el blower hacia la superficie del evaporador. Una vez que el refrigerante ha sido completamente vaporizado y ha alcanzado su punto de saturación (ebullición), aun puede transportar más calor. El refrigerante continúa fluyendo el resto del serpentín del evaporador absorbiendo más calor y llega a estar ligeramente sobrecalentado (Daly, 2006a).

Figura 16.

Circuito de A/C automotriz con válvula de expansión.



Nota: (Daly, 2006a)

El refrigerante como vapor sobrecalentado a baja presión y baja temperatura fluye al compresor y el ciclo se repite.

Nota: las temperaturas son aproximadas y son dependientes del tipo de refrigerante, carga del sistema, y relación presión-temperatura.

2.3.7. Aire en el sistema de A/C

El aire como la humedad son enemigos de cualquier sistema de refrigeración. El aire es un gas no condensable bajo las condiciones de trabajo de los sistemas de A/C. Purgar el aire del circuito de refrigeración maximiza el rendimiento del sistema de A/C (Dinçer & Kanoğlu, 2010b).

El aire puede entrar a los sistemas de A/C:

- Cuando la presión de succión está por debajo de la atmosférica, el aire puede ingresar a través de sellos, fugas o uniones deficientes.
- Cuando el sistema se encuentra abierto para reparaciones o mantenimiento.
- Cuando se carga el sistema con refrigerante o se agrega aceite.

El aire tiene impacto negativo en el rendimiento del sistema, que puede ser resumido:

- El aire acumulado aísla la superficie y reduce el tamaño efectivo del condensador. Para compensar esto, el sistema debe trabajar más arduamente elevando la presión y temperatura del refrigerante.
- El aire en el sistema puede resultar en exceso de desgaste para rodajes, el motor y contribuir a acortar el tiempo de vida de sellos y correas.

2.4. Componentes del sistema de a/c automotriz

Vamos a estudiar por separado cada uno de estos componentes siguiendo el orden que indicamos a continuación:

2.4.1. Compresor

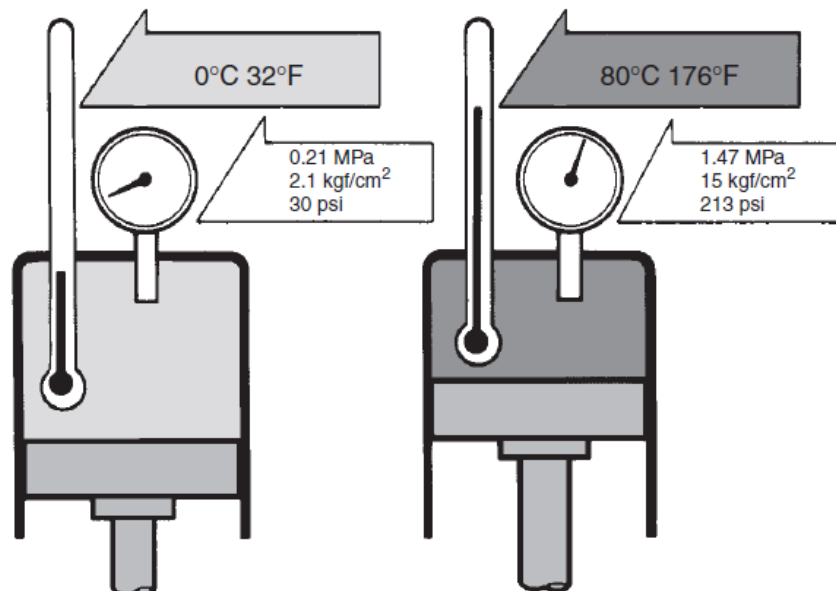
La función del compresor es comprimir y hacer circular el refrigerante alrededor de un circuito cerrado (cualquier líquido o suciedad dañará el compresor). Los

compresores varían en diseño, tamaño, peso, velocidad de rotación y dirección. Existen compresores de velocidad variable y de velocidad fija. El compresor consume aproximadamente el 80% de la energía necesaria para funcionar en un sistema de aire acondicionado. Esto significa que el tipo de compresor utilizado en el sistema influirá directamente en la eficiencia general del mismo. Esto es de particular importancia para el ahorro de combustible y la reducción de la contaminación (Daly, 2006b).

Durante la compresión del refrigerante dentro del compresor la presión y la temperatura se incrementa rápidamente como se puede apreciar en la Figura 17.

Figura 17.

Incremento de presión y temperatura (izquierda: succión; derecha: descarga).



Nota: (Daly, 2006b)

El compresor sólo puede comprimir refrigerante vapor. Cualquier líquido o suciedad dañará el compresor.

2.4.2. El Condensador

La principal tarea del condensador es funcionar como intercambiador de calor para expulsar el calor contenido en el refrigerante. Vapor sobrecalentado ingresa al condensador y líquido subenfriado sale del condensador. El condensador debe ser altamente eficiente pero tan compacto como sea posible. La presión y la temperatura

han sido elevadas en el compresor. Existe la necesidad de reducir la temperatura del refrigerante para que el refrigerante cambie de estado a líquido. Para hacer esto el refrigerante fluye dentro del condensador como vapor y expulsa calor hacia el medio ambiente, así la mayoría de refrigerante (dependiendo de la carga del sistema) se condensa a líquido que luego fluye dentro del recibidor/secador (Daly, 2006b).

El condensador está localizado en la parte frontal del vehículo donde se obtiene mayor flujo de aire cuando el vehículo está en movimiento. Para ayudar a remover el calor cuando el vehículo está estacionado o se mueve lentamente el condensador tiene un sistema de ventiladores simple o doble. El condensador ideal no debe tener caída de presión entre la entrada y salida. Los condensadores son generalmente hechos de aluminio para evitar reacciones químicas entre el condensador y la mezcla refrigerante-aceite. Estos son generalmente contruidos con tubos y aletas. Los tubos transportan el refrigerante y las aletas aumentan el área superficial en contacto con el aire (Daly, 2006b).

2.4.3. El recibidor/secador

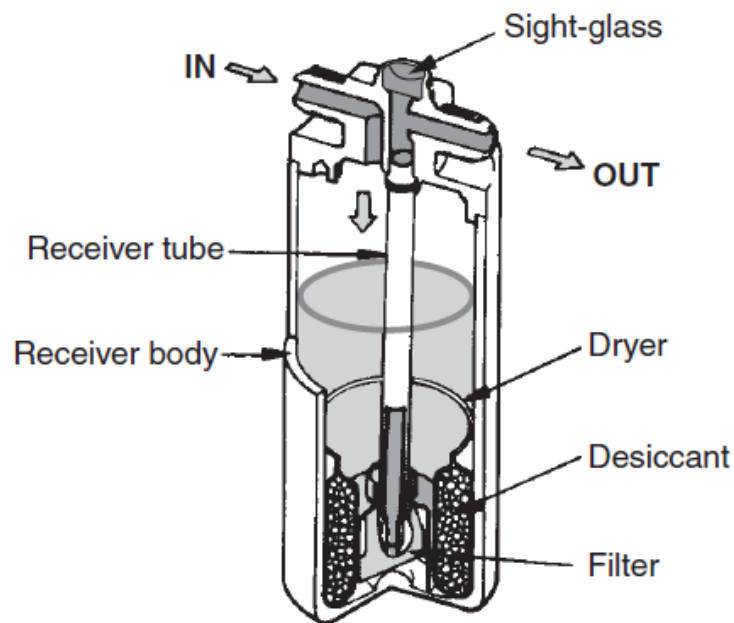
La Figura 18 muestra la botella recibidor/secador usada, cuando una válvula de expansión termostática es usada, y se encuentra posicionada entre el condensador y la válvula de expansión termostática en el sistema de A/C (Daly, 2006b).

La función del recibidor/secador es:

- Asegurar que el sistema esté libre de suciedad previniendo cualquier desgaste excesivo o falla prematura de los componentes.
- Remover la humedad del refrigerante asegurando que no se produzca la formación de hielo en ninguno de los componentes dentro del sistema que pueda causar obstrucción y asegurar que no se produzca corrosión interna.
- Crear un reservorio temporal que suministre al sistema bajo condiciones de carga variable.
- Permitir que sólo refrigerante líquido fluya hacia la válvula de expansión.
- Ser un punto para diagnóstico (ojo visor).

Figura 18.

Recibidor/secador.



Nota: (Daly, 2006b)

Operación:

El refrigerante que ingresa a la botella recibidor/secador está en estado líquido en un sistema ideal. Si el sistema está bajo condiciones de carga pesada, el condensador podrá no completar la tarea de condensar todo el refrigerante. Esto significa que una pequeña cantidad de vapor estará presente. La mezcla líquido-vapor ingresará al recibidor donde se separarán. El líquido irá a la parte inferior del recibidor mientras que el vapor estará en la parte superior. La salida está conectada internamente a un tubo que tiene la toma en la parte baja del recibidor donde el filtro está posicionado. El refrigerante fluye a través del secador y filtro para salir por el tubo interno. Esto asegura que sólo refrigerante líquido fluya hacia la válvula de expansión. El ojo visor, generalmente, no es usado en sistemas con R-134a por que el refrigerante tiene una apariencia turbia en su condición normal (Daly, 2006b).

2.4.4. La válvula de expansión

Para controlar el volumen de refrigerante que fluye a través del evaporador, un dispositivo dosificador debe ser usado. La función del dispositivo es (Daly, 2006b):

- Separar los lados de baja presión y alta presión del sistema.
- Dosificar el volumen de refrigerante y por consiguiente la capacidad de enfriamiento del evaporador.
- Asegurar que haya refrigerante sobrecalentado a la salida del evaporador.

Actualmente hay dos categorías principales de dispositivos de medición usados: la Válvula de Expansión Termostática y la Válvula de Orificio Fijo (Daly, 2006b).

2.4.5. El evaporador

El evaporador (Figura 19) es muy similar en su construcción al condensador. Un evaporador tiene un serpentín, tubos y aletas, o tipo paralelo. La función del evaporador es de proporcionar una gran área superficial que permita que el aire caliente, frecuentemente húmedo, fluya a través de él para que le entregue calor al refrigerante (Daly, 2006b).

Figura 19.
Evaporador.



El evaporador es extremadamente frío funcionando, y cualquier humedad en el aire que fluya a través del evaporador quedará adherida a él. Las gotas de agua de la superficie del evaporador ayudan a limpiar el aire atrapando la suciedad y las partículas extrañas. Así aire limpio y más seco es soplado al interior del vehículo. Esto mejora el nivel de confort especialmente en ambientes muy húmedos y permite que el sudor se evapore más rápido. La humedad se escurre fuera del evaporador a través de un desfogue que va hacia afuera del vehículo vía un ducto. El aire deshumidificado

es muy efectivo desempañando las ventanas debido al alto número de personas en el vehículo y/o condiciones húmedas (Daly, 2006b).

2.4.6. Componentes de seguridad del sistema de A/C

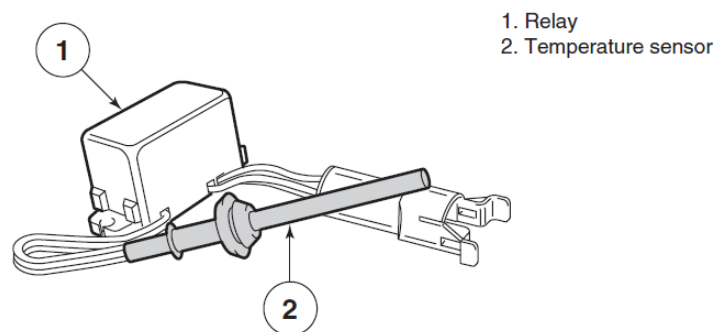
Cuando alguno de estos elementos se encuentra en situación próxima a la de peligro para la integridad del elemento o del circuito, las válvulas de seguridad lo protegen a base de su desconexión o de la apertura de tuberías de bypass que alivian la situación crítica que se ha producido en aquel momento. Por lo general el elemento más protegido del circuito suele ser el compresor, ya que es el elemento que se encuentra sometido a trabajo mecánico.

2.4.6.1. Termostato

Este switch (Figura 20), consta de un sensor de temperatura y un relay integrados. El sensor de temperatura es situado en las aletas del evaporador y mide la temperatura de la superficie del evaporador usando un resistor sensitivo de temperatura. Este sensor envía la información al relay en la forma de voltaje y cuando se aproxima al punto de congelación del agua (0 °C), la corriente de la bobina del compresor es interrumpida hasta que aumente la presión en el evaporador y evite que se congele el agua de la superficie. Una vez que la superficie llega a 2.5 °C, el compresor, vía el relay, será activado nuevamente (Daly, 2006b).

Figura 20.

Termostato.



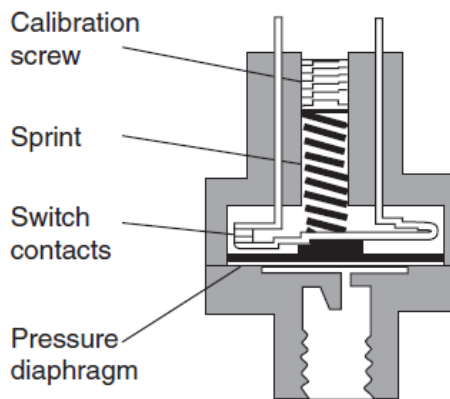
Nota: (Daly, 2006b)

2.4.6.2. Switch cycling

Si la superficie del evaporador llega a 0 °C, se formará hielo en la superficie del evaporador debido a las gotas de agua que se encontraban en la superficie. Esto reducirá el flujo de aire a través del evaporador y reducirá la eficiencia del sistema. Para prevenir esto un switch cycling (Figura 21), en sistemas de válvula de orificio fijo, se coloca al acumulador para desactivar el embrague del compresor cuando una presión específica se alcance. Por ejemplo, cuando la presión baja sea menor a 1.5 bar el switch abrirá circuito e interrumpirá la corriente al embrague del compresor. Una vez que se alcance 2.9 bar, el switch cerrará circuito nuevamente y el compresor volverá a activarse. Frecuentemente el switch cycling es usado como un switch de baja presión (Daly, 2006b).

Figura 21.

Switch cycling.

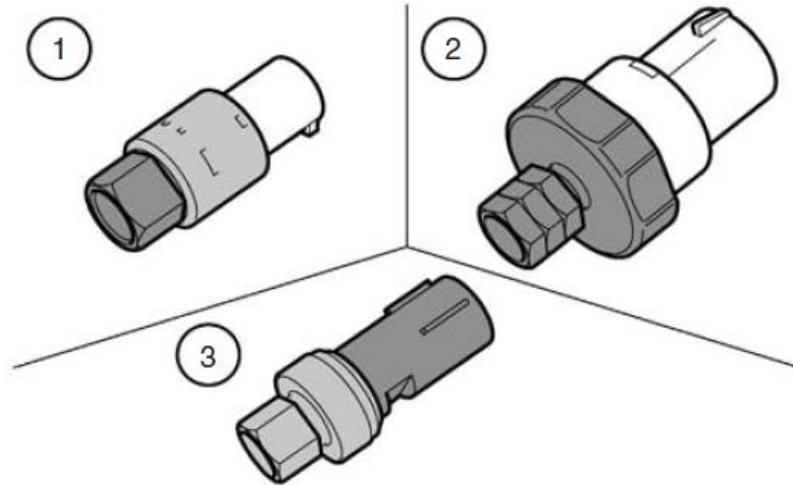


Nota: (Daly, 2006b)

(1) en Figura 22. Se activa con la presión en el lado de succión del sistema, generalmente en el acumulador y desacopla el embrague del compresor si la presión cae por debajo de 1.5 bar (aproximadamente). En un sistema con válvula de orificio fijo, el switch de baja presión y el cycling switch son el mismo dispositivo.

Figura 22.

Switches de presión: (1) de baja; (2) dual o binario; (3) de alta.



Nota: (Daly, 2006b)

2.4.6.3. Switch dual de presión o binario

Dos switches sensores de presión están contenidos en el switch de alta presión, (2) en Figura 22, (switch del ventilador del condensador y switch de alta presión). Uno de estos actúa como un switch de seguridad para prevenir la presión excesiva del sistema. El segundo switch activa el ventilador auxiliar del condensador a 20.7 bar y lo desactiva a 17.2 bar (aproximadamente). Este proceso de activación mejora el rendimiento del sistema en caso de calor excesivo (Daly, 2006b).

2.4.6.4. Switch Trinario

Tres switches sensores de presión están integrados en este switch, (3) en Figura 22. Un switch de baja presión que abre circuito removiendo la corriente del compresor si la presión del sistema está por debajo de 1.4 bar. Un switch de alta presión que opera a 30 bar (aproximadamente) removiendo la corriente del compresor en caso que haya un bloqueo en el sistema. El tercer switch es usado para accionar la alta velocidad del ventilador del condensador ayudando a remover más calor. Esto opera a 18 bar (aproximadamente). El

switch está situado en el lado de alta presión en sistemas con TXV (Daly, 2006b).

2.4.7. Módulos de control de A/C

Varían dependiendo del sistema que estén controlando. Los siguientes mandos permiten la apreciación de las diferencias entre módulos simples y complejos.

2.4.7.1. Control manual

Como el mostrado en Figura 23, tiene un control del ventilador del aire forzado manual, distribución manual de aire, control de temperatura manual, un switch para activar el sistema de A/C y un switch para activar la recirculación. Las compuertas distribución y mezcla de aire son operadas por cables (Daly, 2006c).

Figura 23.

Control manual.



Nota: (Daly, 2006c)

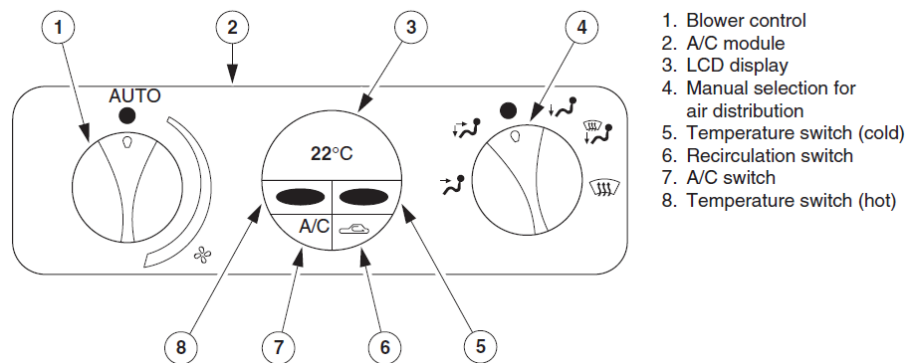
2.4.7.2. Control semi-automático

Como el mostrado en la Figura 24, tiene un control del ventilador del aire forzado automático y manual, distribución manual de aire, control de temperatura manual y automático, generalmente una pantalla LCD, un switch

para activar el sistema de A/C y un switch para activar la recirculación (Daly, 2006c).

Figura 24.

Control semi-automático.



Nota: (Daly, 2006c)

2.4.7.3. Control automático

Como el mostrado en Figura 25, tiene un control del ventilador del aire forzado, control de temperatura y distribución de aire manual y automático. Switches para activar el sistema de A/C y la recirculación están en el módulo, aunque la recirculación puede ser automáticamente controlado en algunos modos de A/C. las compuertas de distribución y mezcla de aire y recirculación son operadas por motores (Daly, 2006c).

Figura 25.

Control automático.



Nota: (Daly, 2006c)

CAPÍTULO III

Método y materiales

3.1. Metodología

Se procede a dar una guía práctica para la localización de averías y localización de averías con el manómetro múltiple en los sistemas de aire acondicionado automotriz.

Para la localización de averías se muestran pasos a seguir, los cuales han sido verificados durante los trabajos realizados en el taller en los sistemas de aire acondicionado automotriz. Con estos pasos a seguir, podemos empezar a detectar que parte del sistema puede presentar un problema ("Service Manual,") ("manual de refrigeracion calefaccion y aire acondicionado,").

Para la localización de averías usando el manómetro múltiple, se escogió el manómetro múltiple por ser el elemento práctico y que se puede llevar a diferentes lugares en vez de la máquina de recuperación de refrigerante. La manguera de baja presión del manómetro se coloca en la válvula de llenado de baja presión, la manguera de alta presión del manómetro se conecta en la válvula de alta presión, y la manguera de carga del manómetro se coloca en el balón de gas refrigerante ("Service Manual,").

3.2. Materiales y equipos

Entre los diversos materiales y equipos usados para el diagnóstico de averías en el sistema de aire acondicionado automotriz se encuentran:

- El manómetro múltiple, como el mostrado en la Figura 26.
- Balón de gas R-134a, como el mostrado en la Figura 8.
- Aceite lubricante para R-134a, como el mostrado en la Figura 9.
- Bomba de vacío, como el mostrado en la Figura 27.
- Balanza digital portátil para carga de aire acondicionado, como el mostrado en la Figura 28.

Detector de fugas electrónico de refrigerante R-134a, como el mostrado en la Figura 29.

- Detector de fugas fluorescentes para refrigerante R-134a con tinte UV, como el mostrado en la Figura 30.

Figura 26.

Manómetro múltiple para R-134a.



Nota: (Manómetro múltiple, Juego de manómetros de diagnóstico de CA de 3 vías for carga, compatible con manómetro de aire de refrigeración R12 R22 R-404A R-134a para sistemas HVAC (Color : Set1 , Size : 0))

Figura 27.

Bomba de vacío.



Nota: (Robinair Bomba de vacío 15234 1.2 CFM)

Figura 28.

Balanza digital portátil para carga de aire acondicionado.



Nota: (BALANZA PROGRAMABLE PORTATIL PARA CARGA AIRE ACONDICIONADO TIF)

Figura 29.

Detector de fugas electrónico de refrigerante R-134a.



Nota: (Detector de Fugas de refrigerante, ALD-200 Detector de Fugas de freón, Alimentado por batería, Detector de Fugas de Gas halógeno automotriz para R134A R410A R22 R1234YF R600a R290 CFC HCFC HFC HC HFO)

Figura 30.

Detector de fugas fluorescentes para refrigerante R-134a con tinte UV.



Nota: (Detector de fugas fluorescentes automotrices, herramienta de reparación de Gas refrigerante R134a, freón de CA, tinte UV)

Figura 31.

Manómetro múltiple conectado al sistema de A/C del vehículo.



CAPÍTULO IV

Resultados y análisis

Es recomendable que, para localizar averías en el sistema de manera rápida y precisa, se use un detector de fugas electrónico y un manómetro múltiple. Sin embargo, las fugas pueden ser detectadas en el sistema aplicando una solución de jabón en el área donde se sospeche que hay fugas siempre que sean lo suficientemente grande para que se puedan observar.

4.1. Localización de averías

Cuando no funciona el sistema de aire acondicionado automotriz, procedemos a inspeccionar de la siguiente manera ("Service Manual,"):

Pasos preliminares para la revisión

- El aire acondicionado debe estar activado en el control de la cabina
 - La velocidad del ventilador del aire forzado debe estar al máximo.
 - La recirculación debe estar activada.
 - La temperatura debe estar seleccionada en frío máximo.
 - Todas las rejillas de ventilación deben estar abiertas.
 - Todas las ventanas y puertas deben estar cerradas.
 - La distribución de aire debe estar seleccionada hacia la cara.
- a) Si están los “pasos preliminares para la revisión” completos, entonces revisar el paso b); sino Complete los “pasos preliminares para la revisión” y vuelva a probar.
- b) Si está funcionando el ventilador de aire forzado (blower), entonces revisar el paso c); sino revisar el paso d).
- c) Si está funcionando el compresor (comprobación visual de la polea/embrague), entonces revisar el paso i); sino revisar el paso e).
- d) Si están fundidos los fusibles del aire acondicionado, entonces cambie los fusibles y vuelva a probar; sino revise el paso h).

- e) Si hay suministro de 12 V al cableado del switch de presión, entonces revisar el paso f); sino revisar el paso g).
- f) Si el embrague del compresor se activa con el switch de presión puenteado, entonces reemplaze el switch de presión; de lo contrario, cambie la bobina del embrague del compresor y realice otra prueba.
- g) Si actúa el embrague del compresor con el termostato puenteado, entonces cambie el termostato y vuelva a probar; sino compruebe todas las conexiones eléctricas.
- h) Si está funcionando el switch de tablero, resistencias y cableado del blower, entonces cambie el blower; sino cambie el switch de tablero, resistencias o cableado.
- i) Si tiene suficiente refrigerante el sistema, entonces revisar el paso j); sino se requiere comprobar la carga de refrigerante por un técnico de aire acondicionado automotriz.
- j) Si está obstruido el flujo de aire del condensador, entonces limpie el panel del condensador y del radiador; sino revise el paso k).
- k) Si el flujo de aire al evaporador está obstruido, limpie el filtro de polen y, si es necesario, también limpie el evaporador; de lo contrario, contacte a un técnico especializado en aire acondicionado automotriz.

4.2. Localización de averías con el manómetro múltiple

Pasos preliminares para la revisión ("Service Manual,"):

- El filtro polen debe estar en buen estado.
- La temperatura del motor debe estar por encima de 85 °C.
- El sistema de A/C debe estar funcionando por al menos 5 minutos.
- La velocidad del ventilador del aire forzado debe estar al máximo.
- La recirculación debe estar activada.
- La temperatura debe estar seleccionada en frío máximo.
- Todas las rejillas de ventilación deben estar abiertas.
- Todas las ventanas y puertas deben estar cerradas.
- La distribución de aire debe estar seleccionada hacia la cara.
- El motor debe estar funcionando de 1500 – 2000 rpm.
- La punta del termómetro debe estar 10 cm dentro de la rejilla de ventilación central de la cara.

Así las presiones de alta y de baja presión serán las mostradas en la Tabla 3 en un funcionamiento normal.

Tabla 3

Típicos valores normales de baja y alta presión en funcionamiento

Temperatura ambiente [°C]	Manómetro de alta presión [bar (psi)]	Manómetro de baja presión [bar (psi)]
15.5	9.5 – 13 (137 – 188)	0.5 – 3 (7.3 – 43.5)
21	12.5 – 17.5 (181 – 253)	0.5 – 3 (7.3 – 43.5)
26.5	14 – 20.5 (203 – 297)	0.5 – 3 (7.3 – 43.5)
32	16 – 24 (232 – 348)	0.5 – 3.5 (7.3 – 50.8)
38.8	18.5 – 25.5 (268 – 370)	0.5 – 3.5 (7.3 – 50.8)

Nota: (Nissens, 2017)

Tabla 4

Típicos valores de temperatura en la cabina, a la salida de la rejilla de ventilación

Temperatura ambiente [°C]	Temperatura interior [°C]
20	6 - 12

Este es un método por el cual las fallas son detectadas o reparadas usando el manómetro múltiple para medir las presiones de los lados de alta y baja presión del refrigerante en el sistema de A/C en los medidores respectivos. Para ello, cierre adecuadamente las válvulas de los lados de alta y baja presión del manómetro múltiple y conecte las mangueras de carga roja y azul a sus correspondientes válvulas de servicio. Primero se muestra el sistema de A/C funcionando correctamente, y luego se muestra algunas averías típicas en los sistemas de A/C ("Service Manual,"), tales como:

- Baja carga de refrigerante R-134a
- Mala circulación del refrigerante
- Condensador expulsa poco calor o exceso de refrigerante
- Aire en el sistema
- Válvula de expansión instalada erróneamente o tubo sensor de calor en mal estado
- Mal funcionamiento del compresor
- Humedad en el sistema

4.2.1. Sistema de A/C funcionando correctamente

Los manómetros mostrarán medidas correctas dependiendo del sistema y de las condiciones del ambiente. Asegúrese de que las válvulas estén cerradas, que las lecturas sean invariables y que el sistema esté completamente cargado con el refrigerante ("Service Manual,").

Indicaciones de los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): normal
- Manómetro de alta presión (Y): normal

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 2.0 bar (29 psi)
- Manómetro de alta presión: 14.8 bar (215 psi)

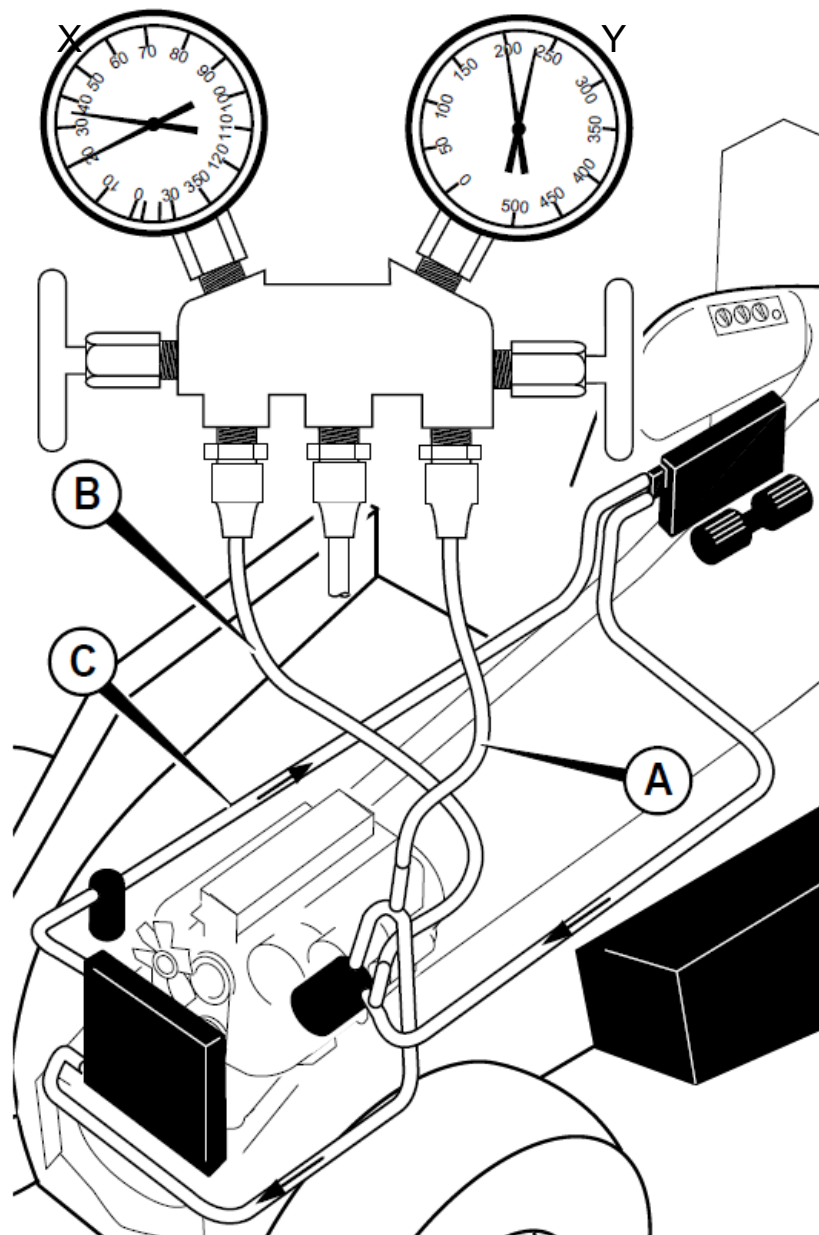
Otras indicaciones:

- Ojo visor (vidrio): transparente
- Aire en la cabina: frío

En la Figura 32, se representa un manómetro múltiple conectado a un sistema de aire acondicionado automotriz, donde X es el manómetro de baja presión, Y es el manómetro de alta presión, A es manguera de alta presión conectada a la válvula de alta presión, B es manguera de baja presión conectado a la válvula de carga de baja presión, C es conducto por donde circula refrigerante líquido a alta presión. Las mangueras de los manómetros están generalmente codificadas por color: azul para el lado de baja presión y rojo para el lado de alta presión ("Service Manual,").

Figura 32.

Sistema de funcionamiento normal.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.2. Baja carga de refrigerante R-134a

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): baja
- Manómetro de alta presión (Y): baja

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 0.76 bar (11 psi)

- Manómetro de alta presión: 8.3 bar (121 psi)

Otros síntomas:

- Ojo visor (vidrio): burbujas visibles regularmente

Diagnóstico:

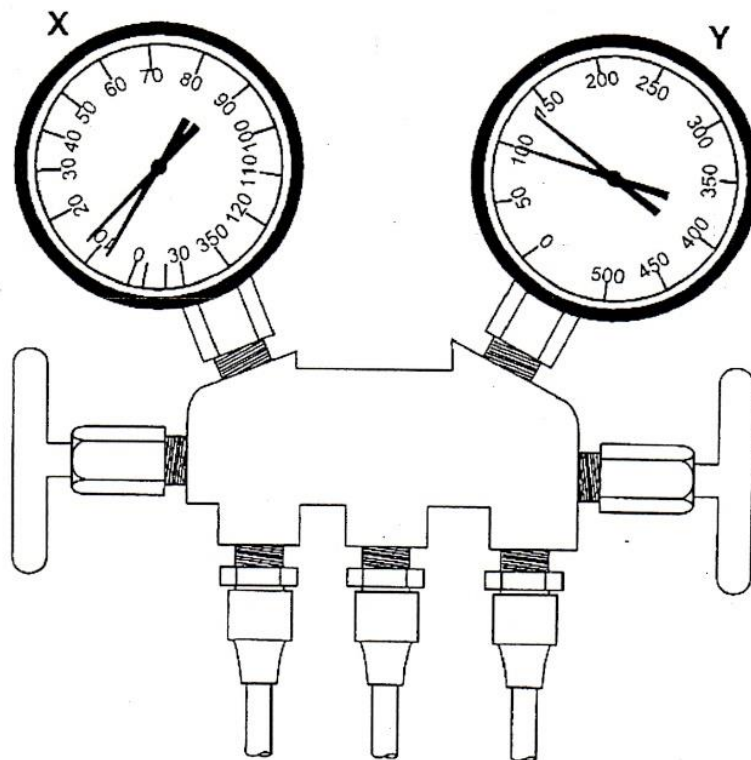
- El sistema tiene fuga de gas refrigerante debido a que le falta nivel de carga, o es debido a que el proceso de carga no completó en su totalidad.

Corrección:

- Verifique si existen fugas en el sistema de A/C
- Repare las fugas en caso sea necesario
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 33.

Poca carga de refrigerante R-134a.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.3. Mala circulación del refrigerante

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): entre cero y negativo
- Manómetro de alta presión (Y): baja

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: -1.0 bar (-15 psi)
- Manómetro de alta presión: 5.4 bar (78 psi)

Otros síntomas:

- Se produce ligero congelamiento en la tubería desde el depósito-secador hacia evaporador.

Diagnóstico:

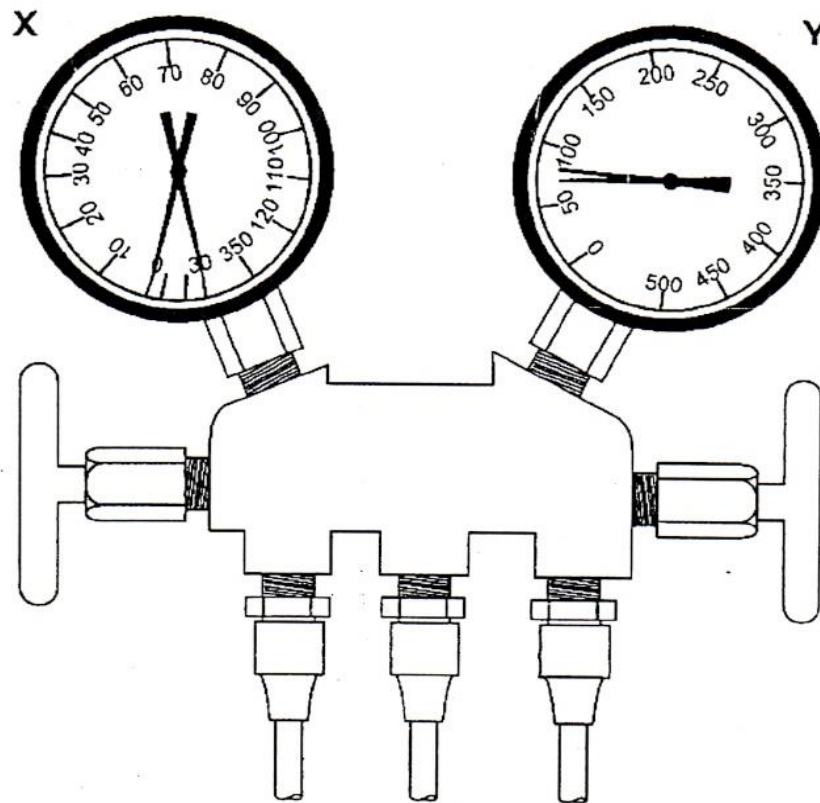
- Flujo del refrigerante está obstruido, depósito-secador atorado.

Corrección:

- Reemplace el depósito-secador
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 34.

Mala circulación del refrigerante.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.4. Condensador expulsa poco calor o exceso de refrigerante

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): alta
- Manómetro de alta presión (Y): alta

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 3.0 bar (43 psi)
- Manómetro de alta presión: 22.1 bar (320 psi)

Otros síntomas:

- Ojo visor (vidrio): Ausencia de burbujas con el motor en ralentí.

Diagnóstico:

- Exceso de refrigerante en el sistema

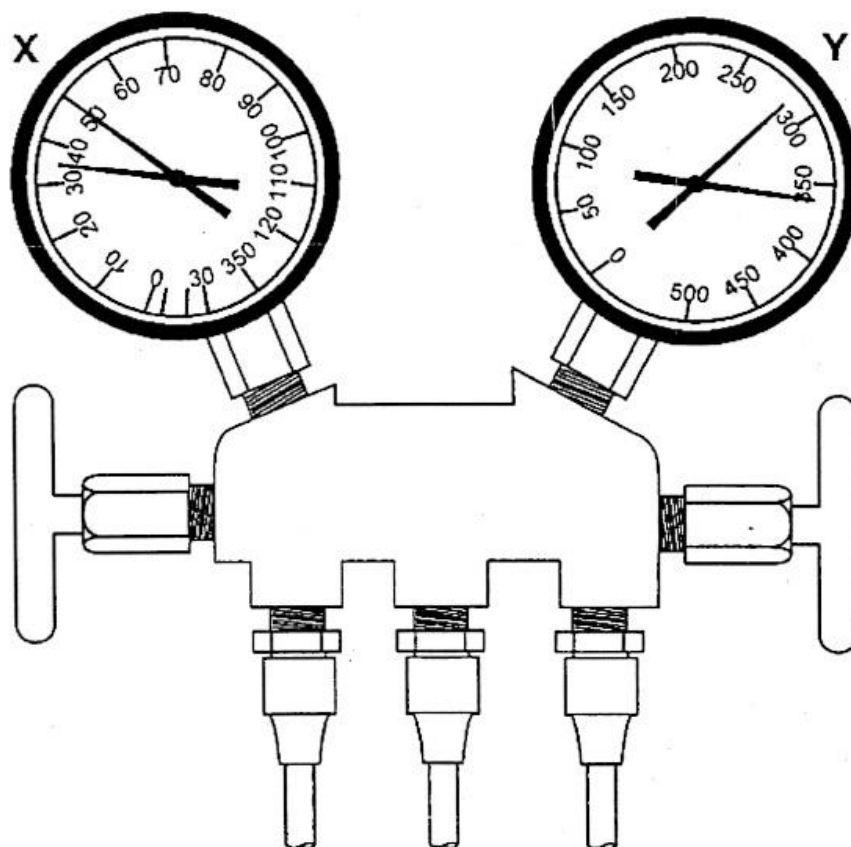
- Aletas de disipación de calor del condensador han sido obstruidas.
- Los ventiladores no funcionan correctamente.

Corrección:

- Peine y realice una limpieza al panel del condensador
- Verifique si los ventiladores funcionan correctamente
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 35.

Insuficiente enfriamiento del condensador o excesiva carga de refrigerante.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.5. Aire en el sistema

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): alta
- Manómetro de alta presión (Y): alta

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 2.8 bar (40 psi)
- Manómetro de alta presión: 22.1 bar (320 psi)

Otros síntomas:

- Ojo visor (vidrio): burbujas se muestran cuando el sistema funciona.
- Tuberías: la tubería de baja presión no está fría al tacto.

Diagnóstico:

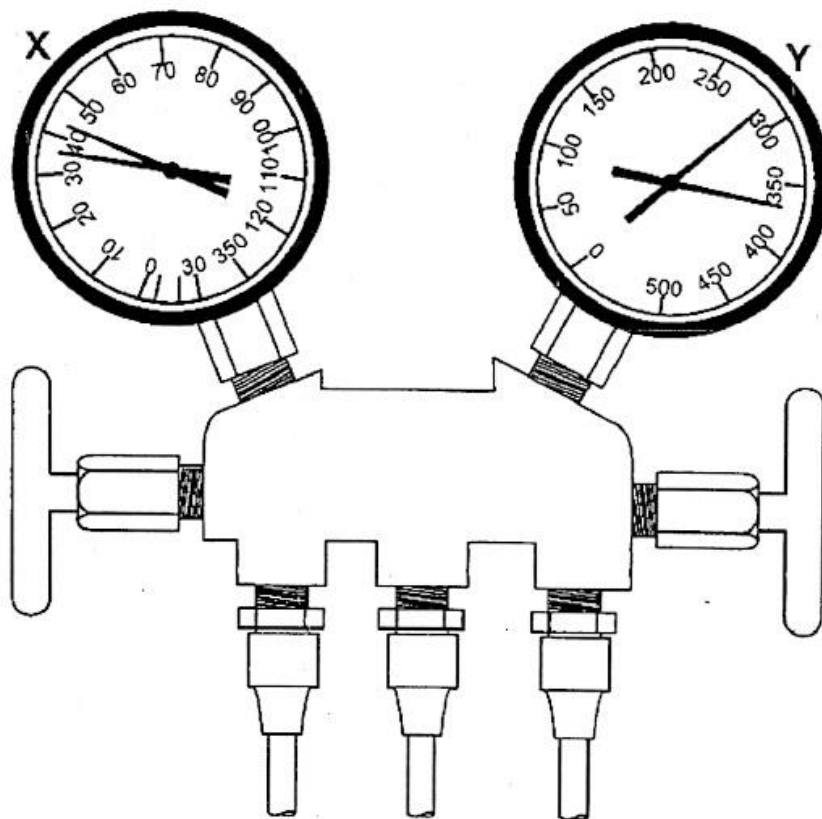
- Aire en el sistema de A/C, probablemente un vacío inadecuado se ha realizado.

Corrección:

- Inspeccione si existe aceite contaminado en el compresor, verifique si el compresor tiene aceite en su nivel adecuado. Corrija de ser requerido.
- Compruebe si el compresor está con aceite contaminado, compruebe que el compresor tiene la cantidad de aceite correcta. Subsane en caso sea necesario
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 36.

Aire en el sistema.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.6. Válvula de expansión instalada erróneamente o tubo sensor de calor en mal estado

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): alta
- Manómetro de alta presión (Y): alta

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 3.5 bar (50 psi)
- Manómetro de alta presión: 22.1 bar (320 psi)

Otros síntomas:

- La tubería de baja presión se ha congelado.

Diagnóstico:

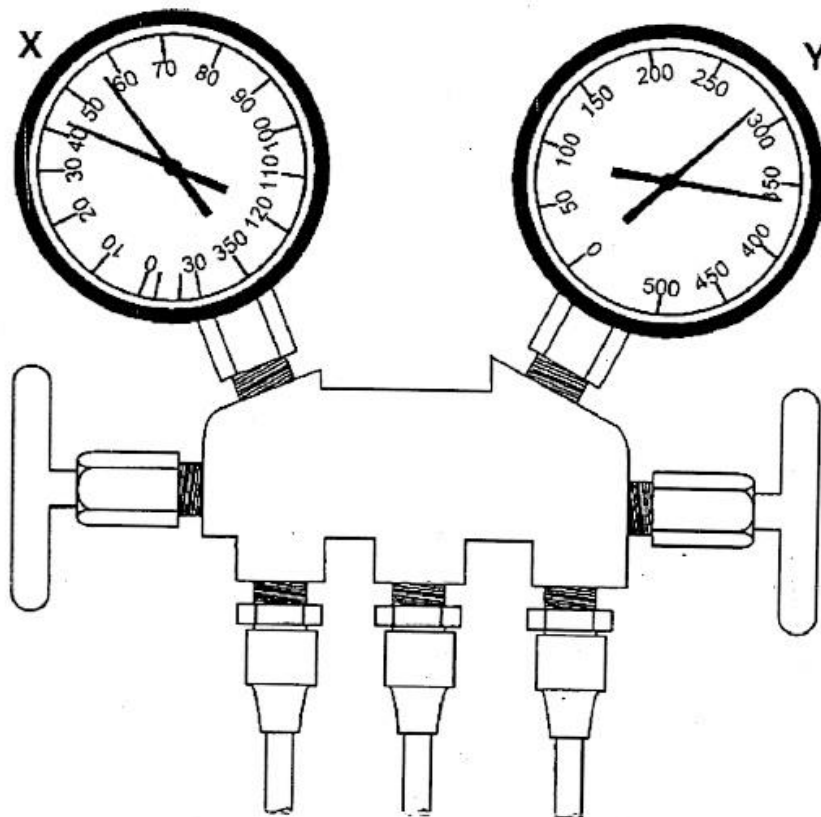
- La válvula de expansión debe presentar mucha abertura, por lo que hay mucho refrigerante en la tubería de baja presión.

Corrección:

- Reemplazar la válvula de expansión
- Compruebe si hay fugas en el sistema, subsane en caso sea necesario
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 37.

Válvula de expansión mal instalada o defectos en tubo sensor de calor.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.7. Mal funcionamiento del compresor**Indicaciones en los manómetros:**

- Manómetro de baja presión (X): alta

- Manómetro de alta presión (Y): baja

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: 4.9 bar (71 psi)
- Manómetro de alta presión: 8.3 bar (121 psi)

Diagnóstico:

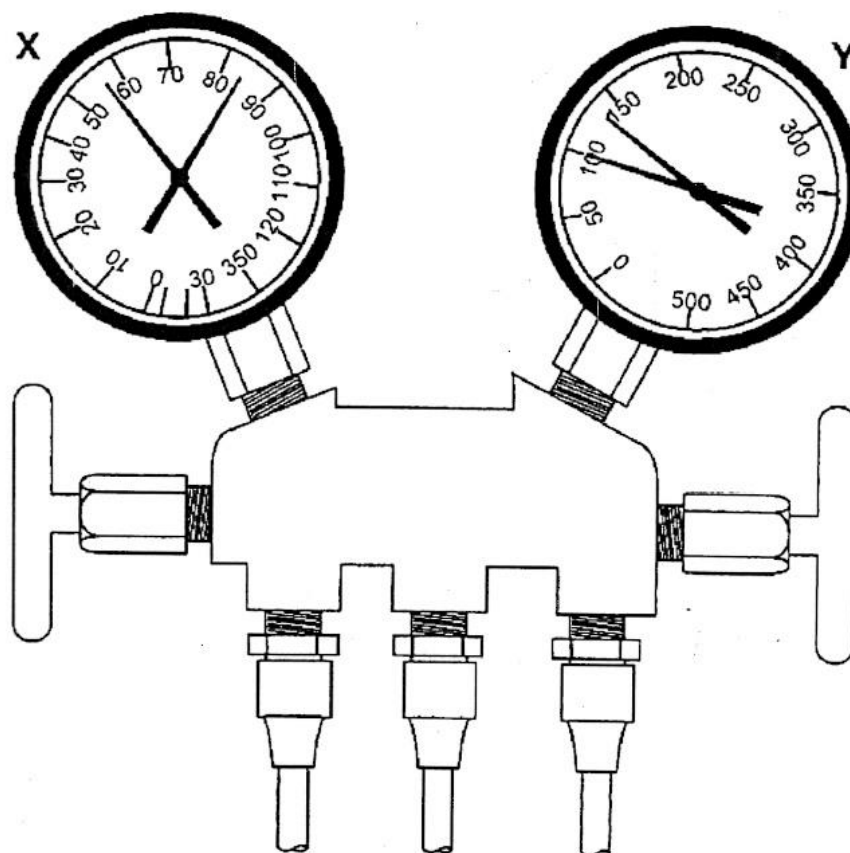
- El compresor presenta fugas o alguna avería en su funcionamiento.

Corrección:

- Retire el compresor para evaluarlo, corregir la avería o cambiar el compresor
- Realice un vacío al sistema de A/C
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 38.

Mal funcionamiento del compresor.



Nota: ("Service Manual,")

4.2.8. Humedad en el sistema

Indicaciones en los manómetros:

- Manómetro de baja presión (X): normal, ocasionalmente bajando a menos de cero.
- Manómetro de alta presión (Y): normal, ocasionalmente alta.

Lecturas de presión típicas:

- Manómetro de baja presión: -2.1 bar (-30 psi)
- Manómetro de alta presión: 14.8 bar (214 psi)

Diagnóstico:

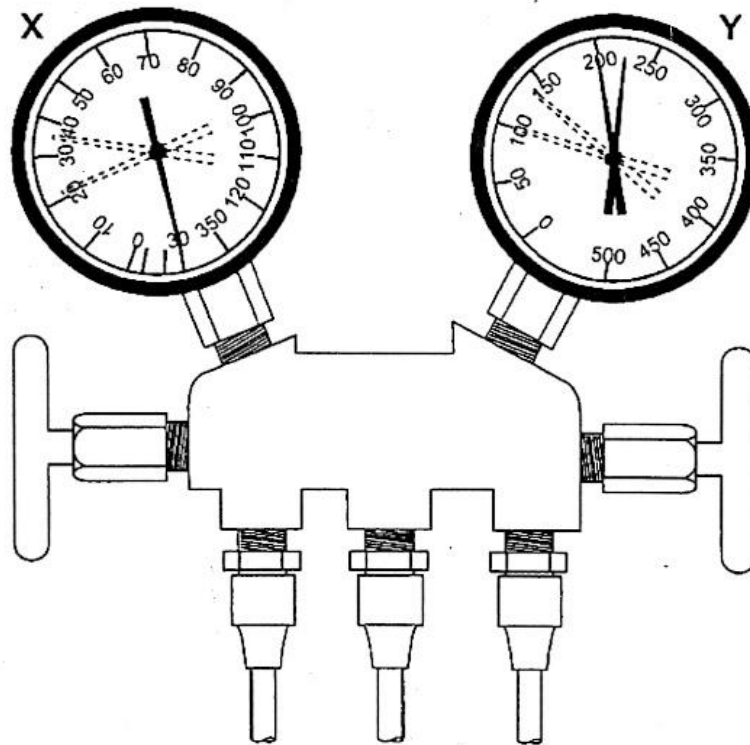
- Se obstruye el flujo de refrigerante debido a que la humedad en el sistema se vuelve hielo. Regresa a su modo de operación normal cuando se derrite el hielo dentro de las tuberías.

Corrección:

- Cambie el depósito-secador
- Retire la humedad vaciando repetidamente el sistema
- Llene con la cantidad correcta de R-134a
- Arranque el vehículo, active el A/C y verifique el funcionamiento.

Figura 39.

Humedad en el sistema.



Nota: ("Service Manual,")

4.3. Carga y descarga de refrigerante

El sistema de A/C es de circuito cerrado y contiene refrigerante a mayor presión que la atmosférica. El servicio para el llenado y descarga del refrigerante debe efectuarlo técnicos de aire acondicionado automotriz. El operario puede dañarse gravemente por congelación o herirse con el refrigerante saliente ("Service Manual,").

4.3.1. Procedimiento de recuperación

Para esto empleamos el equipo de la Figura 40 que nos permite recuperar el refrigerante R-134a y no desecharlo al medio ambiente, y realizamos los siguientes pasos:

Figura 40.

Equipo de recuperación de refrigerante.



- a) Pare el motor y extraiga la llave de arranque.
- b) Inserte los conectores de las mangueras de baja y alta presión, de la misma manera en la que lo realiza con el manómetro múltiple.
- c) Verifique que las válvulas de alta y baja presión del panel de control se encuentren en posición abierto. Además, verifique que las dos válvulas del tanque estén también abiertas.
- d) Arranque la unidad recicladora. Busque la indicación R-134a.
- e) Presione RECOVER o RECUPERACION dependiendo del idioma del sistema.
- f) Mantenga observando unos minutos para cerciorarse de que los indicadores de los manómetros están superiores a cero. Realice la operación otra vez hasta que la presión en el equipo reciclador se quede estable.
- g) El refrigerante extraído viene con aceite lubricante. Este aceite va a ser almacenado en un envase en el equipo.

- h) Una vez obtenido el aceite recuperado, se debe anotar la medida obtenida.

Ahora el sistema de A/C está sin refrigerante. Realice las reparaciones necesarias.

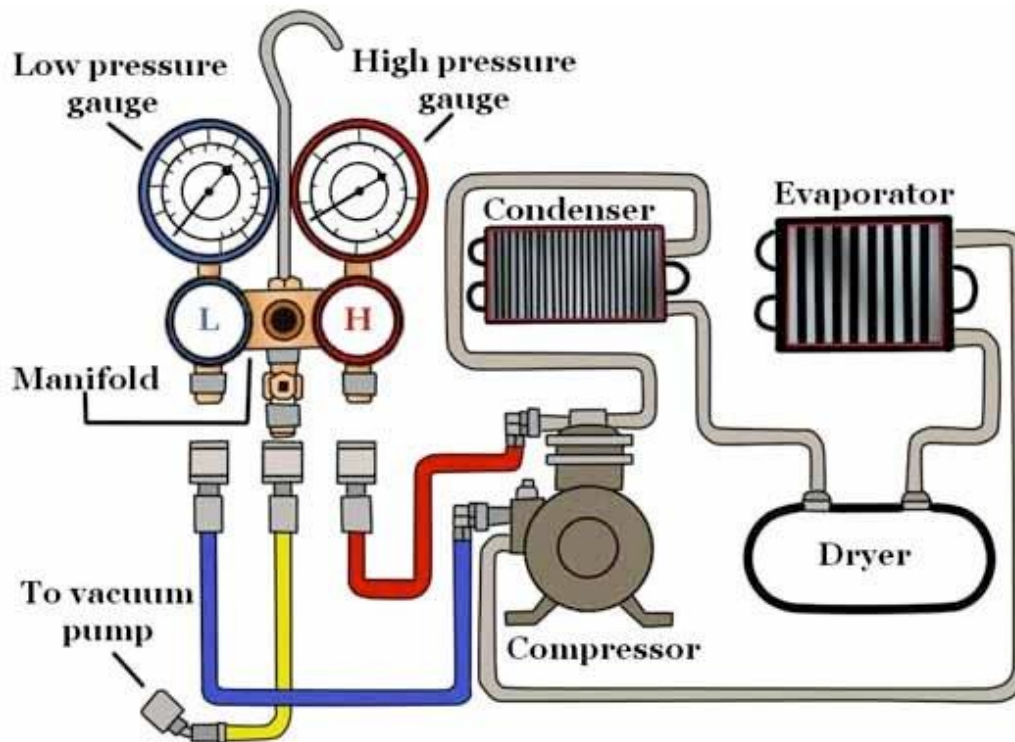
4.3.2. Procedimiento de vacío

El vacío es imprescindible en el sistema de aire acondicionado automotriz para extraer no sólo el aire en las tuberías, sino también la humedad del aire. Esta humedad ya ha sido mencionada que puede llegar a obstruir el sistema.

- a) Recupere todo el refrigerante del sistema como se indica en el procedimiento de recuperación.
- b) Cierre todas las válvulas en el manómetro múltiple y realice la conexión como se muestra en la Figura 41.
- c) Realice la conexión de la manguera amarilla hacia la bomba de vacío.
- d) Abra las válvulas del múltiple.
- e) Energice la bomba de vacío hasta que se registre un vacío de 740 mmHg en ambos manómetros.
- f) Mantenga la aspiración durante unos 30 minutos.
- g) Cierre las válvulas y desconecte el equipo.

Figura 41.

Conexión del manómetro múltiple al sistema para realizar el vacío.



Nota: (How To Use AC Vacuum Pump For Pulling Out The Moisture?)

4.3.3. Procedimiento de carga

Hay que seguir los pasos correctamente para proceder a llenar el sistema con R-134a. El sistema debe presentar una presión de 740 mmHg de vacío ("Service Manual,").

- Cierre todas las válvulas y conecte el múltiple como se muestra en la Figura 31, con la manguera azul conectada al lado de baja presión de sistema de A/C y la manguera roja al lado de alta presión.
- Conecte la manguera amarilla a la botella de refrigerante.
- Coloque la botella de una válvula cabeza abajo en la báscula o balanza y ajuste a cero la indicación de la báscula.
- El refrigerante ingresará al sistema conforme se abra la válvula de alta presión, debido a que el sistema se encuentra en vacío, éste succionará R-134a hasta la masa especificada para el sistema.

- e) Cierre todas las válvulas y desconecte el equipo.

4.4. Procedimiento de servicio

En esta sección se muestran los procedimientos para los siguientes servicios:

- Comprobación de fugas
- Apriete de mangueras con fugas.
- Comprobación del nivel de carga de refrigerante
- Prueba de los interruptores de presión
- Limpieza del panel del condensador
- Ajuste de la correa de transmisión del compresor

4.4.1. Comprobación de fugas

La comprobación de fugas en sistemas de A/C sólo debe hacerse en lugares ventilados.

- El refrigerante es más denso que el aire por lo que el refrigerante tenderá a salir desde el componente afectado.
- Las conexiones de mangueras o tubos son posibles puntos de fugas en cualquier sistema de A/C.
- Para comprobar si hay fugas en el lado de alta presión deje funcionando el A/C unos minutos, apague el motor y compruebe con un detector de fugas electrónico y/o ultravioleta ("Service Manual,").
- Para comprobar si hay fugas en el lado de baja presión, apague el A/C y deje transcurrir unos minutos ("Service Manual,").

4.4.2. Ajuste de conexiones con fugas.

El circuito de aire acondicionado automotriz es un sistema cerrado y hermético, donde el refrigerante se encuentra a mayor presión que la atmosférica. Ningún elemento del sistema debe ser desconectado por nadie excepto por un técnico de aire acondicionado automotriz.

- Se emplean mangueras para conectar las entradas y salidas del compresor, condensador, depósito-secador y válvula de expansión. Si una fuga es detectada por un conector (ya sea con un detector de fugas electrónico o mediante un detector ultravioleta), apriete el conector y repita la prueba de fugas. Si persiste el problema, habrá que vaciar el sistema y cambiar el empaque (o-ring) del conector ("Service Manual,").
- Las mangueras de refrigerante tienen casquillos prensados en los extremos. Los nipples de las mangueras o tuberías tienen un empaque que es comprimido al apretar la conexión, creando así un cierre hermético. Los anillos tóricos utilizados en un sistema de refrigerante R-134a son de compuesto HNBR (Nitrilo Altamente Saturado) y están codificados en color verde. Debe emplearse este tipo de anillos porque están diseñados para trabajar a las condiciones de presión y temperatura adecuadas. El material de ciertos anillos puede ser poroso para el refrigerante y causar fugas ("Service Manual,").

4.4.3. Verificación del nivel de carga de refrigerante

- Si el nivel de carga es correcto, el sistema de A/C funcionará correctamente: las presiones y temperatura interior serán las correctas.
- Si el nivel de carga es incorrecto, el sistema no funcionará como debe.
- El sistema no funcionará como debe si hay menos refrigerante del recomendado.
- El sistema no funcionará correctamente si hay más refrigerante del recomendado.

- El sistema no funcionará correctamente si algún elemento se encuentra en mal estado.

Compruebe el nivel de carga como sigue:

- Aparque el vehículo en un sitio firme y llano.
- Extraiga la llave de arranque.
- Arranque el motor, siga los pasos preliminares y proceda a la revisión.

4.4.4. Prueba de los interruptores de presión

Si el sistema utiliza el conjunto de interruptor de presión binario comprende un interruptor de baja presión diseñado para abrirse a presiones menores a 1.96 bar (28.4 psi) y un interruptor de alta presión diseñado para abrirse a presiones mayores a 27.5 bar (400 psi), cuando la presión del refrigerante esté dentro de los límites de 1.96 a 27.5 bar, se cerrarán los interruptores, con los interruptores ON/OFF y termostato anticongelación cerrados, pasará una corriente a la bobina del embrague del compresor. Por la acción electromagnética, la bobina creará un campo magnético y atraerá al embrague del compresor para que empiece el ciclo de refrigeración. Vea 'Verificación del Nivel de Carga de Refrigerante'. Si el nivel de la carga de refrigerante es el adecuado, realice las siguientes comprobaciones ("Service Manual,").

- a) Pare el motor para que no pueda funcionar el sistema de A/C.
- b) Desconecte el conector del interruptor de presión binario. Luego, conecte una alimentación externa de 12 V o 24 V (dependiendo del sistema) al conector del interruptor de presión. Si los dos interruptores de presión están en buen estado y el sistema tiene la carga adecuada de refrigerante, el embrague del compresor se activará.
- c) Si el embrague del compresor no se activa con conexión directa a la batería, uno de los switch de presión se encuentra en mal estado o el nivel de carga no es el correcto para que pueda cerrar el circuito del aire acondicionado.

- d) Se deberá sustituir los switches de presión. Si el embrague sigue sin accionar, revise las demás conexiones eléctricas.

4.4.5. Limpieza del panel del condensador

Debido al ambiente de trabajo de la maquina es probable que con el tiempo el panel del condensador se vaya cubriendo con polvo y suciedad, de esa manera el aire no podrá atravesar fácilmente el condensador.

Si el panel del condensador llega a bloquearse con la acumulación de polvo, tierra o barro, el aire ya no lo podrá atravesar, resultando en malas prestaciones al acondicionador de aire. En casos extremos se produce un exceso de presión en el sistema de A/C, causando que actúe (se abra) el interruptor de alta presión y apague el sistema. El corte de alta presión puede también estar causado por una obstrucción interna del panel del condensador ("Service Manual,").

El procedimiento de limpieza del panel del condensador es:

- a) Con el condensador bien soportado, utilice aire comprimido o agua a baja presión para limpiar a contracorriente las aletas del panel.
- b) Monte el panel del condensador, invirtiendo el procedimiento seguido al desmontar.
- c) Active el A/C y compruebe sus prestaciones.

4.4.6. Ajuste de la correa de transmisión del compresor

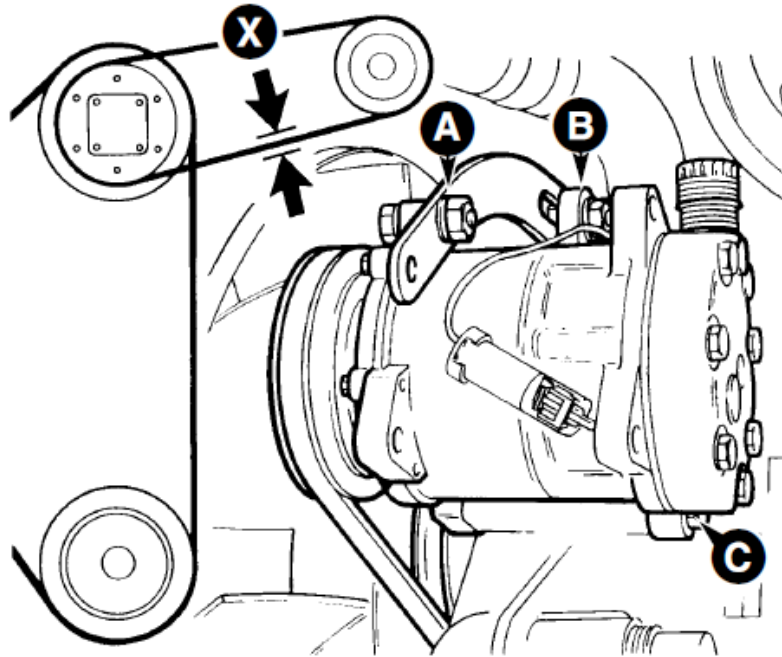
Para esto emplearemos un ejemplo mostrado en la Figura 42

- a) Levantar el capó.
- b) Aflojar el perno de sujeción del pivote A. Aflojar los pernos de sujeción de la articulación de los ajustes B y C.
- c) Situar el compresor de forma que haya aproximadamente 10 mm (3/8") de holgura en X (alrededor del centro del recorrido libre de la correa).
- d) Apretar los pernos A, B y C. Asegurarse de que el perno A sea el último en apretarse.

Nota: si se monta una nueva correa, comprobar la tensión de la correa después de 20 horas de funcionamiento.

Figura 42.

Diagrama para el ajuste de la faja de un compresor.



Nota: ("Service Manual,")

Conclusiones

- El manómetro múltiple nos permite medir la presión en los lados de baja y alta presión en el sistema de aire acondicionado automotriz, de esa manera podemos identificar diversas averías en el sistema.
- Midiendo la presión con el manómetro múltiple podemos verificar si es que hay poca carga de refrigerante, mala circulación del refrigerante, excesiva carga del refrigerante o insuficiente enfriamiento del condensador, aire en el sistema. También, se puede detectar si es que la válvula de expansión presenta fallas o defectos en el tubo sensor de calor, el compresor presenta fallas, o si es que hay humedad presente en el sistema, entre otros problemas que se presenten.
- El proceso de carga del refrigerante R-134a para un sistema de aire acondicionado automotriz se detalla en este trabajo. El refrigerante se puede recuperar si es que no hay fugas en el sistema. De lo contrario, se debe reparar las fugas y proceder con el vacío al sistema, agregar el aceite lubricante al sistema, el cual ingresa debido a que el sistema lo succiona por el vacío que se realizó. Luego se procede a agregar el refrigerante por la manguera de baja presión del manómetro, la masa de refrigerante que ingresa se puede medir en una balanza.

Recomendaciones

- Se debería seguir los pasos propuestos en el capítulo IV para tener una localización de averías más precisa, siempre realizado por un técnico especializado.
- La cantidad de aceite que se extrae al recuperar el refrigerante, se debe registrar para agregar la misma cantidad de aceite al sistema.
- Se recomienda seguir los pasos del manual de mantenimiento del vehículo para cambiar el filtro-secador del sistema de aire acondicionado, o cuando el sistema se abra para alguna reparación debido a que la humedad del ambiente entraría en contacto con el filtro-secador.

Referencias bibliográficas

- Abdulsalam, O., Santoso, B., & Aries, D. (2015). Cooling Load Calculation and Thermal Modeling for Vehicle by MATLAB. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4, 3052-3060.
- Aire acondicionado Split pared Cold Point 18000 btu. Retrieved 12/12/2024, from <https://www.electroclima.com.pe/producto/aire-acondicionado-split-pared-cold-point-18000-btu/>
- American Society of Heating, R. a. A.-C. E. I. 2021 ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition). In. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE).
- BALANZA PROGRAMABLE PORTATIL PARA CARGA AIRE ACONDICIONADO TIF. Retrieved 12/12/2024, from <https://www.ayrtools.com/productos/balanza-programable-portatil-para-carga-aire-acondicionado-tif/>
- Bueno, S. E. (2021). *Vehicle HVAC system modeling and controlling* [Master Thesis, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Calderón, C. (2011). *Heat Pumps for Simultaneous Heating and Cooling for Passive Houses* [Master Thesis, Royal Institute of Technology]. Stockholm.
- ¿Cómo Funcionan Los Sistemas De Calefacción Vehicular? Retrieved 12/12/2024, from <https://como-funciona.org/como-funcionan-los-sistemas-de-calefaccion-vehicular/>
- Daly, S. (2006a). 1 - Air-conditioning fundamentals. In S. Daly (Ed.), *Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems* (pp. 1-61). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066955-9/50003-3>
- Daly, S. (2006b). 2 - Air-conditioning components. In S. Daly (Ed.), *Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems* (pp. 62-94). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066955-9/50004-5>
- Daly, S. (2006c). 3 - Air-conditioning electrical and electronic control. In S. Daly (Ed.), *Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems* (pp. 95-263). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066955-9/50005-7>
- Detector de Fugas de refrigerante, ALD-200 Detector de Fugas de freón, Alimentado por batería, Detector de Fugas de Gas halógeno automotriz para R134A R410A R22 R1234YF R600a R290 CFC HCFC HFC HC HFO. Retrieved 12/12/2024, from <https://www.amazon.es/Detector-refrigerante-detector-ALD-200-automotriz/dp/B0BW3RSWJQ?th=1>
- Detector de fugas fluorescentes automotrices, herramienta de reparación de Gas refrigerante R134a, freón de CA, tinte UV. Retrieved 12/12/2024, from <https://es.aliexpress.com/i/32342040736.html>
- Dinçer, İ., & Kanoğlu, M. (2010a). Refrigerants. In *Refrigeration Systems and Applications* (2nd ed., pp. 63-103). John Wiley and Sons. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470661093.ch2>
- Dinçer, İ., & Kanoğlu, M. (2010b). Refrigeration Cycles and Systems. In *Refrigeration Systems and Applications* (2nd ed., pp. 155-218). John Wiley and Sons. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470661093.ch4>
- Dinçer, İ., & Kanoğlu, M. (2010c). Refrigeration System Components. In *Refrigeration Systems and Applications* (2nd ed., pp. 105-153). John Wiley and Sons. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470661093.ch3>
- How To Use AC Vacuum Pump For Pulling Out The Moisture? Retrieved 12/12/2024, from <https://mectips.com/how-to-use-ac-vacuum-pump-for-pulling-out-the-moisture/>
- manual de refrigeracion calefaccion y aire acondicionado. In (pp. 202): NISSAN.
- Manómetro múltiple, Juego de manómetros de diagnóstico de CA de 3 vías for carga, compatible con manómetro de aire de refrigeración R12 R22 R-404A R-134a para sistemas HVAC (Color : Set1 , Size : 0). Retrieved 12/12/2024, from <https://www.amazon.com.mx/Man%C3%B3metro-man%C3%B3metros->

- [diagn%C3%B3stico-compatible-refrigeraci%C3%B3n/dp/B0CGQYSNYP](#)
- Naqvi, S. A. H., Ikhlaiq, A. W., & Munir, H. (2018). Cooling Load of Car Report. In (pp. 15). Pakistan: Pakistan Institute of Engineering & Applied Sciences.
- Nissens. (2017). Diagnóstico del sistema AC - Presiones de funcionamiento R134A. In. Dinamarca.
- R12 Refrigerante con alta pureza*. Retrieved 12/12/2024, from <https://es.refrigerant-supplier.com/hfc-refrigerant/1132790.html>
- Refrigeración Emkarate*. Retrieved 12/12/2024, from <https://miganchinindustrial.com/lubricantes-especiales/refrigeracion-emkarate/>
- Robinair Bomba de vacío 15234 1.2 CFM*. Retrieved 12/12/2024, from <https://www.amazon.com/-/es/Robinair-Bomba-vac%C3%ADo-15234-1-2/dp/B000NP3KR2>
- Service Manual. In *3CX, 4CX, 214e, 214, 215, 217 & VARIANTS Backhoe Loader* (pp. 1212). ENGLAND: THE TECHNICAL PUBLICATIONS DEPARTMENT OF JCB SERVICE.
- Sinopoli, J. (2010). Chapter 3 - Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems. In J. Sinopoli (Ed.), *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders* (pp. 31-46). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-653-8.00003-X>
- Technical specifications: TM13 / TM15 / TM16*. Retrieved 07/03/2025, from <http://www.valeocompressors.com/en/tm13-tm15-tm16>
- Vinofer, B. P., & S.Rajakumar. (2016). COOLING LOAD CALCULATION AND DESIGN OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN AUTOMOBILE. *International Journal of Research in Social Sciences And Humanities*, 6(1), 2249-4642.

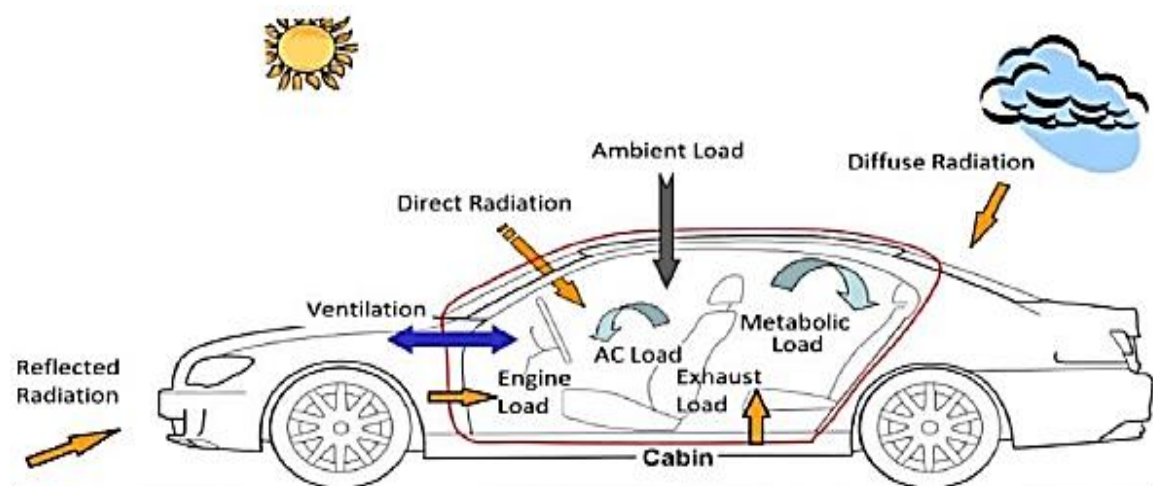
ANEXOS

Anexo 1: Calculo de carga térmica en el vehículo.....	1
Anexo 2: Precios de algunos servicios realizados en R-13 Full Motor's S.R.L.....	10
Anexo 3: Información técnica de compresor VALEO SELTEC.....	11
Anexo 4: Ficha técnica de Herramientas y equipos.....	13

Anexo 1: Cálculo de carga térmica en el vehículo

La carga térmica en la cabina es el calor que será removido para mantener la temperatura de la cabina en el nivel de confort térmico para las personas cuando la temperatura en el exterior de la cabina sea alta. Esta carga térmica total puede ser subdividida en cargas tales como temperatura ambiente, radiación solar, calor del motor, metabolismo humano, etc. La formulación matemática del modelo se puede resumir de la siguiente manera:

Diversas cargas térmicas



Nota: (Vinofer & S.Rajakumar, 2016)

$$Q_{tot} = Q_{Met} + Q_{Dir} + Q_{Dif} + Q_{Ref} + Q_{Amb} + Q_{Exh} + Q_{Eng} + Q_{Ven} + Q_{AC}$$

Donde:

Q_{tot} es la carga térmica neta en la cabina

Q_{Met} es la carga metabólica

Q_{Dir} es la carga directa

Q_{Dif} es la carga difusa

Q_{Ref} es la carga de radiación reflejada

Q_{Amb} es la carga del ambiente

Q_{Exh} Es la carga del escape debido a la alta temperatura

Q_{Eng} es la carga del motor debido a la alta temperatura

Q_{Ven} es la carga generada debido al ingreso de aire exterior a la cabina

Q_{AC} es la carga térmica creada por el sistema de aire acondicionado

El objetivo es determinar valores de todos éstos factores para el caso extremo de condiciones interior y exterior en la cabina para determinar la carga total en la cabina (Naqvi et al., 2018).

Los humanos tienen una temperatura de alrededor 37°C. La temperatura de confort será tomada a 23°C para nuestros cálculos (Naqvi et al., 2018).

Carga Metabólica

Tomaremos en consideración a 1 conductor y 3 pasajeros para calcular el calor en la cabina debido al metabolismo humano. La carga metabólica está dada por:

$$Q_{met} = \sum_{i=0}^4 M_i A_{du,i}$$

	Masa (kg)	Altura (m)	Tasa de producción de calor metabólico (W/m²)
Conductor	70	1.7	85
Pasajeros	70	1.7	55

Donde M es la tasa de producción de calor metabólico. Éstos se encuentran tabulados en ISO 8986 (Naqvi et al., 2018). El área superficial del cuerpo, A_{du} , que es una estimación de la altura y la masa:

$$A_{du} = 0.202 W^{0.425} H^{0.725}$$

Donde W y H son la masa y altura respectivamente de los pasajeros

$$A_{du} = 0.202(70)^{0.425}(1.7)^{0.725} = 1.805 \text{ m}^2$$

$$Q_{met} = (85 + 55 + 55 + 55) \times 1.805 = 451.37 \text{ W}$$

Carga Directa

$$Q_{Dir} = \sum_{superficie} S \tau I_{dir} \cos \theta$$

Donde I_{dir} es el calor por radiación directa por unidad de área y θ es el ángulo

entre la normal a la superficie y la posición del sol en el cielo. τ es la transmisividad del vidrio y S es el área superficial, respectivamente. Antes de que salga el sol y después de que se ponga el sol, no se considera radiación. El calor por radiación directa por unidad de área es:

$$I_{dir} = \frac{A}{\exp(B/\text{Sen}\beta)}$$

Donde A y B son constantes tabuladas para enero en el ASHRAE Handbook of Fundamentals para diferentes meses. β es el ángulo de altitud que es calculado basado en la posición y el tiempo. Las cargas de radiación directa son cargas importantes de aire acondicionado que influyen la temperatura en la cabina. La carga de radiación directa aumenta debido al aumento del ángulo de altitud del sol que está sucediendo en este trabajo (Bueno, 2021) (American Society of Heating).

$$A = 1230 \frac{W}{m^2}$$

$$B = 0.142$$

$$\text{longitud } L = 12^\circ S \text{ ó } -12^\circ (\text{Lima})$$

$$\text{declinación } \delta = -20.1^\circ (\text{para el 21 de enero})$$

$$\text{hora local } LST = 15 h$$

$$ET = -10.6 \text{ min}$$

$$\text{longitud } LON = 77^\circ W \text{ ó } -77^\circ E$$

$$\text{zona horaria } TZ = -5 h$$

$$LSM = 15TZ = -75^\circ$$

$$\text{tiempo solar aparente } AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{LON - LSM}{15}$$

$$AST = 14.69 h$$

$$H = 15(AST - 12) = 40.35^\circ$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1}[\text{Cos}(L)\text{Cos}(H)\text{Cos}(\delta) + \text{Sen}(L)\text{Sen}(\delta)] = 50.49^\circ$$

$$\text{Sen}(\phi) = \frac{\text{sen}(H)\text{Cos}(\delta)}{\cos(\beta)}$$

$$\text{Angulo azimutal } \phi = 72.87^\circ$$

supongamos que el angulo de incidencia de las ventanas verticales es 60° al sur oeste

$$\text{Azimut de la superficie } \psi = +60^\circ$$

$$\text{El ángulo azimut solar – superficie } \gamma = \phi - \psi$$

$$\gamma = 12.87^\circ$$

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) \cos(\gamma)$$

$$\theta = 51.66^\circ$$

$$I_{dir} = \frac{1080}{\exp(-0.21/\text{Sen}(50.49^\circ))}$$

$$\Rightarrow I_{dir} = 1023.22 \frac{W}{m^2}$$

$$\text{Suponemos área } S = 4 m^2$$

$$\text{transmisividad vidrio } \tau = 0.5$$

Por lo tanto,

$$Q_{Dir} = 3 \times 0.5 \times 1023.22 \times \cos(51.66^\circ)$$

$$Q_{Dir} = 1269.28 W$$

Carga Difusa

La radiación difusa es la parte de la radiación solar, que resulta de la radiación indirecta de la luz solar en la superficie.

$$Q_{Dif} = \sum_{\text{superficie}} S \tau I_{dif}$$

Donde I_{dif} es el calor de radiación difusa por área que es calculado de:

$$I_{dif} = C I_{dir} \frac{1 + \cos(\xi)}{2}$$

La distribución de radiación difusa dentro de la cabina es independiente del ángulo solar. Para otras orientaciones, el efecto de la latitud es más evidente, pero no influyente. La carga difusa aumenta debido al aumento del ángulo de latitud del sol (Bueno, 2021).

$$\text{ángulo de inclinación de la superficie } \xi = 45^\circ$$

constante tabulada para enero(Bueno, 2021) $C = 0.058$

$$I_{dif} = 0.058 \times 1023.22 \frac{1 + \cos(45^\circ)}{2} = 50.65 \frac{W}{m^2}$$

$$\Rightarrow Q_{Dif} = 4 \times 0.5 \times 50.65 = 101.31 W$$

Carga reflejada

El valor de reflectividad depende obviamente de las propiedades de la superficie del terreno. La reflectividad del terreno o una superficie horizontal desde donde la radiación solar es reflejada hacia una superficie dada es 0.6 (suponiendo superficies de construcción claras) (American Society of Heating).

$$Q_{Ref} = \sum_{superficie} S \tau I_{ref}$$

I_{ref} es el calor de la radiación reflejada por unidad de área, calculado como:

$$I_{ref} = \rho_g (I_{dir} + I_{dif}) \frac{1 + \cos(\xi)}{2}$$

Donde ρ_g es el coeficiente de reflectividad del terreno. Basado en la absorptividad de cada elemento superficial, un porcentaje de radiación incidente puede ser absorbido por la superficie, de esa manera aumenta su temperatura (Naqvi et al., 2018).

Tenemos todas las variables (desde propiedades de materiales y valores determinados previamente) para la ecuación anterior. De esa manera:

$$I_{ref} = 0.6(1023.22 + 50.66) \frac{1 + \cos(45^\circ)}{2}$$

$$I_{ref} = 94.36 \frac{W}{m^2}$$

$$Q_{Ref} = 3 \times 0.5 \times 94.36 = 188.72 W$$

Carga Ambiental

El aumento del calor indica que el efecto del clima es muy importante porque el cambio en la temperatura ambiente afecta el cálculo de las cargas a enfriar internas y externas. Por consiguiente, la máxima carga a enfriar está por encima de la capacidad de enfriamiento del sistema ocurrido en una temperatura ambiente alta.

$$Q_{Amb} = \sum_{superficie} SU(T_s - T_i)$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor global del elemento superficial. T_s y T_i son la temperatura promedio y temperatura de cabina promedio, respectivamente. U tiene diferentes componentes que consiste de la convección interior, conducción a través de la superficie, y la convección exterior que puede ser escrita así:

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{Donde } R = \frac{1}{h_o} + \frac{\lambda}{k} + \frac{1}{h_i}$$

Donde R es la resistencia térmica neta para una superficie. h_o y h_i con los coeficientes de convección exterior e interior, k es la conductividad térmica superficial, y λ es el grosor de la superficie. La conductividad térmica y el grosor de la superficie del vehículo pueden ser medidas fácilmente. Los coeficientes de convección h_o y h_i dependen de la orientación de la superficie y de la velocidad del aire. Así, la siguiente estimación es usada para estimar los coeficientes de transferencia de calor por convección como una función de la velocidad del vehículo.

$$h = 0.6 + 6.64\sqrt{v}$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección en W/m^2K y v es la velocidad del vehículo en m/s. A pesar de su simplicidad, esta correlación es usada en todas las instancias automovilísticas prácticas. El aire en la cabina se asume estacionario y la velocidad del aire del ambiente es considerado igual a la velocidad del vehículo (Abdulsalam et al., 2015).

$$\text{para: } v = 60 \frac{km}{h} = 16.6 \frac{m}{s} \rightarrow h_o = 24.65 \frac{W}{m^2K}$$

$$\text{para: } v = 1 \frac{m}{s} \rightarrow h_i = 7.24 \frac{W}{m^2K}$$

$$\lambda_{vidrio} = 5 \text{ mm}$$

$$k_{vidrio} = 1.05 \frac{W}{m.K}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{27.65} + \frac{5 \times 10^{-3}}{1.05} + \frac{1}{7.24} \rightarrow U = 5.59 \frac{W}{m^2 K}$$

$$T_s = 34.4 \text{ } ^\circ C; T_i = 23 \text{ } ^\circ C$$

Se obtiene:

$$Q_{Amb} = SU(T_s - T_i) = 4 \times 5.59 \times (34.4 - 23)$$

$$Q_{Amb} = 254.90 \text{ W}$$

Carga de escape

Asumiendo las RPM del motor en 2000 rpm. Los gases de escape están a una temperatura significativamente mayor, así que éstos también contribuyen al calentamiento de la cabina. La temperatura de los gases de escape, en $^\circ C$, puede ser calculada como (Abdulsalam et al., 2015):

$$T_{exh} = 0.138RPM - 17$$

Donde no hay aceleración o hay un manejo estable, las RPM del motor se mantiene alrededor de 2000. Así, la temperatura será:

$$T_{exh} = 259 \text{ } ^\circ C$$

El área de contacto en la parte inferior con el tubo de escape, lo asumimos en:

$$A_{exh} = 0.5 \text{ m}^2$$

El coeficiente de transferencia de calor total global, lo asumimos en:

$$U = 1.61 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

De esa manera, la carga de escape viene a ser:

$$Q_{Exh} = A_{exh}U(T_{exh} - T_i)$$

$$Q_{Exh} = 189.98 \text{ W}$$

Carga del motor

Debido a la alta temperatura del motor, algo de calor también es añadido a la cabina y eso contribuye a la carga total de calor (Abdulsalam et al., 2015). La temperatura del motor se obtiene de:

$$T_{eng} = -2 \times 10^{-6}RPM^2 + 0.0355RPM + 77.5$$

$$T_{eng} = 140.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El área superficial es asumida: $A_{eng} = 1.5 \text{ m}^2$

El coeficiente de transferencia de calor total se asume en:

$$U = 1.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Así, la carga del motor se puede calcular:

$$Q_{Eng} = A_{eng} U (T_{eng} - T_i)$$

$$Q_{Eng} = 264.37 \text{ W}$$

Carga de ventilación

No es eficiente usar aire caliente del ambiente para ventilar cuando lo que se requiere es enfriamiento. Por consiguiente, un pequeño flujo de aire se asume para cubrir los requerimientos mínimos de aire fresco (Bueno, 2021).

$$Q_{Ven} = m_{ven} (e_o - e_i)$$

Donde m_{ven} es el flujo másico de ventilación y e_o y e_i son las entalpías de ambiente y cabina, respectivamente. Las entalpías se calculan con ayuda de los gráficos psicrométricos o usando las tablas termodinámicas (American Society of Heating):

Donde ϕ es la humedad relativa, P es la presión y P_s es la presión de saturación del agua a la temperatura T .

$$T_{amb} = 34.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_{amb} = 0.7$$

$$P_{s,amb} = 5.446 \text{ kPa}$$

$$e_o = 96.94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_{cabin} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_{cabin} = 0.5$$

$$P_{s,cabin} = 2.812 \text{ kPa}$$

$$e_i = 45.4 \frac{kJ}{kg}$$

Para una persona se requiere 20 l/s de ventilación (Bueno, 2021), y como se supone 4 personas en el vehículo, con volumen específico del aire a 0.85 m³/kg, se tiene:

$$m_{ven} = 9.41 \times 10^{-2} \frac{kg}{s}$$

Colocando estos valores en la ecuación correspondiente, se obtiene:

$$Q_{Ven} = 4.85 W$$

La labor del sistema de aire acondicionado es compensar las cargas de calor, para que la temperatura en la cabina permanezca dentro del rango aceptable.

$$Q_{AC} = -(Q_{Met} + Q_{Dir} + Q_{Dif} + Q_{Ref} + Q_{Amb} + Q_{Exh} + Q_{Eng} + Q_{Ven}) - Q_{tot}$$

$$Q_{AC} = -(Q_{Met} + Q_{Dir} + Q_{Dif} + Q_{Ref} + Q_{Amb} + Q_{Exh} + Q_{Eng} + Q_{Ven})$$

$$- \frac{(m_a c_a + DTM)(T_s - T_i)}{t_c}$$

$$\text{masa de aire en la cabina, } m_a = 0.08 \text{ kg}$$

$$\text{calor especifico del aire, } c_a = 1008 \frac{J}{kgK}$$

$$\text{Deep thermal mass } DTM = 5700 \frac{J}{K}$$

Thermal mass es la habilidad de un material de absorber, almacenar, y liberar calor. Deep thermal mass describe como un material conduce calor dentro de su estructura.

t_c se refiere al tiempo que le toma al sistema enfriar desde una temperatura inicial a la temperatura deseada, tomemos este valor como $t_c = 180 \text{ s}$

$$Q_{AC} = -(2724.79) - (603.47)$$

$$Q_{AC} = -3328.27 W$$

El signo negativo implica que esa carga debe ser extraída de la cabina por el sistema de aire acondicionado.

Anexo 2: Precios de algunos servicios realizados en R-13 Full Motor's S.R.L.

Se muestran los precios de algunos servicios que realiza la empresa R-13 Full motor's S.R.L. y algunos productos. Estos típicos servicios se realizan a un automóvil, a menos que se especifique lo contrario. Los precios son especificados para febrero 2025.

Precios de algunos productos y servicios en R-13 Full Motor's para febrero 2025

Aceite lubricante	S/.50
Refrigerante R-134a	S/.100
Servicio de carga de refrigerante	S/.75
Desmontaje y montaje de tablero de automóvil	S/.300
Mantenimiento del condensador	S/.150
Manguera de baja presión 1/2" (compresor – evaporador)	S/.170
Manguera de alta presión 5/16" (compresor – condensador)	S/.150
5 metros de manguera de 1/2" (baja presión)	S/.400
5 metros de manguera de 5/16" (alta presión)	S/.350
Compresor para automóvil a 12V (de marca)	1000 USD
Compresor para automóvil a 12V (alternativo)	S/.1200

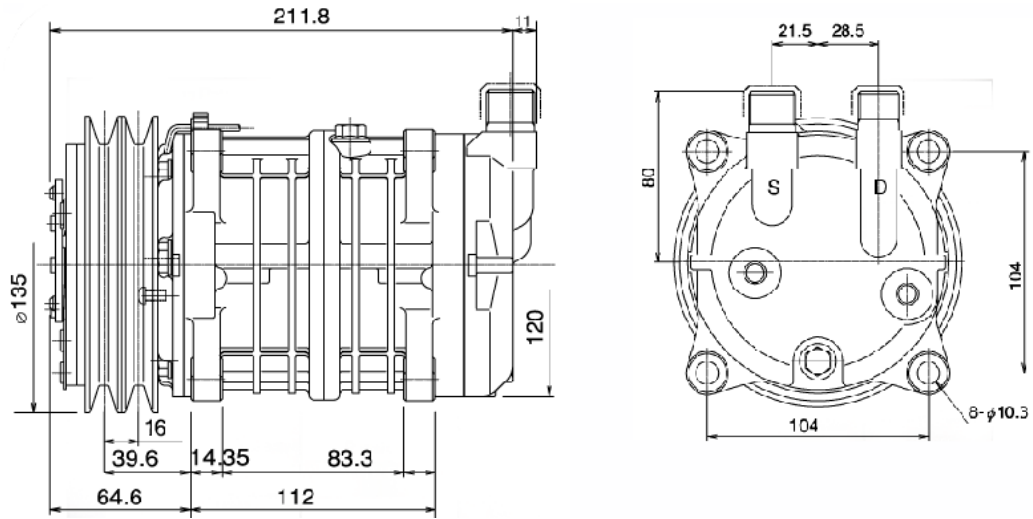
En el taller de R-13 Full motor's S.R.L. se realizan éstos y muchos más servicios relacionados al aire acondicionado automotriz para vehículos livianos, así como para maquinaria pesada.

Anexo 3: Información técnica de compresor VALEO SELTEC

Este es uno de los equipos que comercializa R-13 Full motor's S.R.L. muy usado en la industria, la información técnica se muestra a continuación de <http://www.valeocompressors.com/> (*Technical specifications: TM13 / TM15 / TM16*)

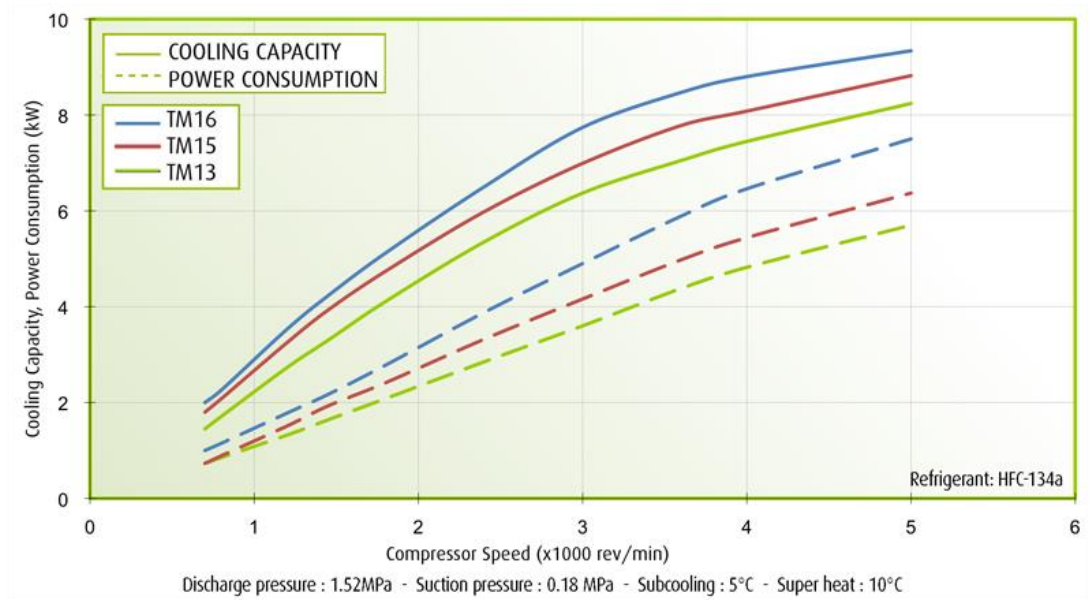
Model	TM13	TM15	TM16
Technology	Heavy Duty Swash Plate	Heavy Duty Swash Plate	Heavy Duty Swash Plate
Displacement	131 cm ³ / rev	147 cm ³ / rev	163 cm ³ / rev
Number of cylinders	6 (3 double-headed pistons)	6 (3 double-headed pistons)	6 (3 double-headed pistons)
Revolution range	700 – 6000 rpm	700 – 6000 rpm	700 – 6000 rpm
Direction of rotation	Clockwise & Counterclockwise	Clockwise & Counterclockwise	Clockwise & Counterclockwise
Bore	36.0 mm	36.0 mm	36.0 mm
Stroke	21.4 mm	24.0 mm	26.7 mm
Lubrication syste,	Splash lubrication	Splash lubrication	Splash lubrication
Shaft seal	Lip seal type	Lip seal type	Lip seal type
Oil	ZXL 100PG PAG OIL (150 cm ³)	ZXL 100PG PAG OIL (150 cm ³)	ZXL 100PG PAG OIL (180 cm ³)
Weight	4.4 kg (w/o clutch)	4.6 kg (w/o clutch)	4.9 kg (w/o clutch)
Dimensions	192 – 124 – 142 mm (w/o clutch)	202 – 124 – 142 mm (w/o clutch)	207 – 124 – 142 mm (w/o clutch)
Mounting	Ear or Direct	Ear or Direct	Ear or Direct

Dimensiones



Nota: (Technical specifications: TM13 / TM15 / TM16)

Curvas de rendimiento



Nota: (Technical specifications: TM13 / TM15 / TM16)

Anexo 4: Ficha técnica de Herramientas y equipos

BALANZA PROGRAMABLE PORTATIL PARA CARGA AIRE ACONDICIONADO TIF [17]

Especificaciones :

Rango : 0 lbs. 0.0 oz a 219.99 lbs 0.0 oz ó 0.000 lbs. a 219.990 lbs ó 0.000 kg a 100.000 kg

Resolución : 0.2 oz / 0.010 lbs / 4 grs

Precisión : $\pm 0.5\%$ de la lectura

Fuente de alimentación: Cuatro pilas AA y una batería de 9V

Duración de la batería : 30 horas

Max. presión del solenoide de servicio : 500 psi

Temperatura de funcionamiento : 0 °C a 49 °C (32 °F a 120 °F)

Puertos de Entrada / Salida : 1/4" con adaptadores 1/2"

Peso : Aprox. 3 kg. (Aprox. 7 lbs)

Balanza certificada.

Manómetro múltiple, Juego de manómetros de diagnóstico de CA de 3 vías for carga, compatible con manómetro de aire de refrigeración R12 R22 R-404A R-134a para sistemas HVAC [15]

3-VALVE MANIFOLD GAUGE

Blue low pressure gauge with range -30inHg~250PSI, and red high pressure 0~500PSI

3 COLOR-CODED HOSES

88cm lengths
Dual 1/4 " Female Couplers

CAN TAP

Piercing Style

HIGH PRESSURE COUPLER

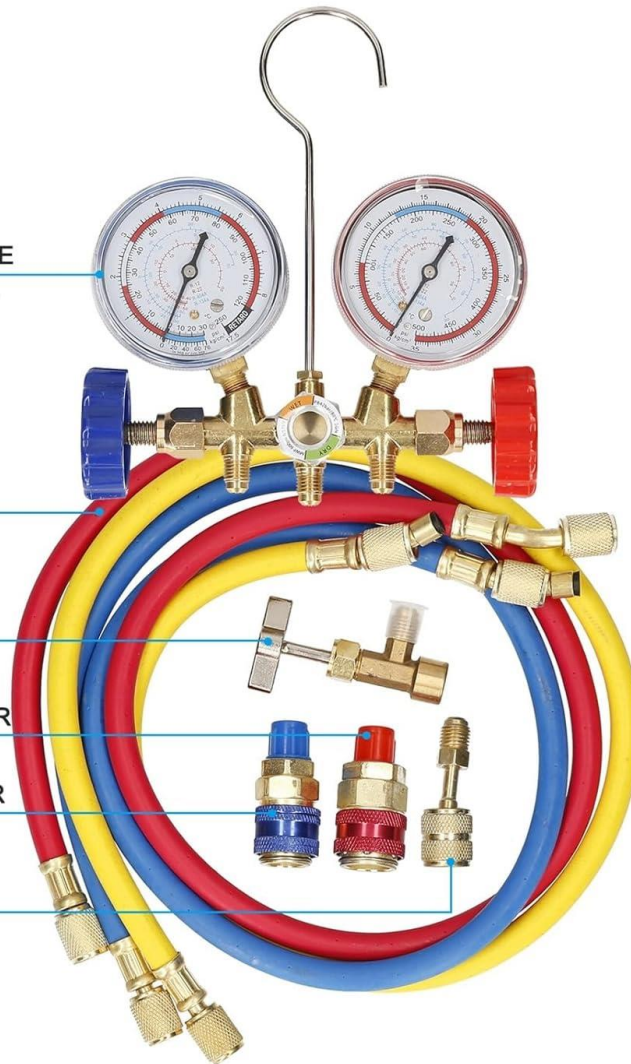
1/4 " Male Adjustable Coupler

LOW PRESSURE COUPLER

1/4 " Male Adjustable Coupler

ACME ADAPTER

1/4 " Male to 1/2 " Female



Detector de Fugas de refrigerante, ALD-200 Detector de Fugas de freón, Alimentado por batería, Detector de Fugas de Gas halógeno automotriz para R134A R410A R22 R1234YF R600a R290 CFC HCFC HFC HC HFO [18]

Vida útil del sensor	500 horas (diodo calentado)
Sensibilidad máxima	4g oz/año
Tiempo de respuesta	≤ 1s
Tiempo de precalentamiento	30s
Tipos de refrigerante	CFC/HFC/HCFC/HFO
Paquete incluido	1 x Detector de fugas, 1 x Cable USB
Pantalla	2.8" TFT LCD
Auto OFF	10 minutos sin operación
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 52°C (14°F a 125,6 °F)
Humedad de funcionamiento	50%~85%RH
Temperatura de almacenamiento	-20°C a 60°C (-4°F a 140 °F)
Peso	0,93 lbs
Tamaño	7.9*3.3*1.5 pulgadas
Batería	Batería de litio recargable de 3,7 V y 3000 mAh, carga completa para 6 horas de trabajo continuo

Detección de fugas fluorescentes automotrices, aire acondicionado automático R134a, refrigerante, Gas, freón, CA, Detector de prueba de fugas, herramienta de reparación, tinte UV [19]

Peso del artículo

0.4kg

Nombre del Modelo

0071

Nombre de la marca

Gcfix

Material

Plastic,fluorescent

Tipo de artículo

Instalación de aire acondicionado

Special Features

Automotive Air Conditioning Leak Test Tool

Suitable for

All vehicles air conditioner system pipeline

Applicaation

Engine oil / fuel system / power steering / transmission

Robinair Bomba de vacío 15226 1.2 CFM [16]

Specifications

Model	15234	15226	15296
Number of Stages	2	2	2
Free air displacement	1.2 cfm	1.2 cfm	1.0 cfm
Factory Micron Rating	50	50	50
Oil Capacity	5 oz	5 oz	5 oz
	148 ml	148 ml	148 ml
Weight	10 lbs	10 lbs	10 lbs
	4.54 kg	4.54 kg	4.54 kg
Width	4 1/2 "	4 1/2 "	4 1/2 "
	11.4 cm	11.4 cm	11.4 cm
Length	9 13/16 "	9 13/16 "	9 13/16 "
	25 cm	25 cm	25 cm
height	8 1/2 "	8 1/2 "	8 1/2 "
	21.6 cm	21.6 cm	21.6 cm
intake Fittings	1/2" acme	1/2" acme	1/2" acme
	1/4" MFL	1/4" MFL	1/4" MFL
Motor Size	1/8 hp	1/8 hp	1/8 hp
	capacitor	capacitor	capacitor
	Start	Start	Start
Voltage	110-115 V	220 V	250 V
operating Temperature	185 °F	185 °F	185 °F
	85°F	85°F	85°F