



Fundamentos del aire acondicionado del automóvil

Fausto Jácome, Héctor Terán, Oscar Arteaga,
Jonathan Zurita y Luis Ángel Coello

Fundamentos del aire acondicionado del automóvil

Fausto Jácome, Héctor Terán, Oscar Arteaga, Jonathan Zurita y Luis Ángel Coello

Primera edición electrónica: diciembre, 2023

ISBN: 978-9942-765-94-9

Revisión científica:

Mgtr. Alex Santiago Mayorga Pardo - Universidad Técnica de Ambato

Mgtr. Santiago Paúl Cabrera Anda - Universidad Técnica de Ambato

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Cnrl. de C.S.M. Víctor Villavicencio A., Ph. D.

Rector

Publicación autorizada por:

Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Cpcb. Rolando Patricio Reyes Chicango, Ph.D.

Presidente

Corrección de estilo y diseño

Mtr. Xavier Chinga

Imagen de cubierta: <https://acortar.link/BdHtSU>

Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción de esta obra por cualquier medio impreso, reprográfico o electrónico. El contenido, uso de fotografía, gráficos, cuadros, tablas, y referencias es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador
www.espe.edu.ec

Los derechos de esta edición electrónica son de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, para consulta de profesores y estudiantes de la universidad e investigadores en www.repositorio.espe.edu.ec.



Fundamentos del aire acondicionado del automóvil

Ing. Fausto Andrés Jácome Guevara, Mgtr.

Ing. Héctor Cochise Terán Herrera, Mgtr.

Ing. Oscar Bladimir Arteaga López, Mgtr.

Tlgo. Jonathan Raphael Zurita Caisaguano.

Ing. Luis Ángel Coello Tapia.

EDITORIAL



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

Agradecimiento

En la culminación de este libro sobre sistemas de aire acondicionado automotriz, nos gustaría expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que han contribuido de manera significativa a su realización. Sin su apoyo, dedicación y conocimientos, este proyecto no habría sido posible.

En primer lugar, queremos agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE por su apoyo, el cual ha permitido llevar a cabo la investigación y recopilación de información necesaria para la creación de este libro. Su compromiso con la educación y la difusión de conocimientos es invaluable.

También queremos expresar nuestra gratitud a todos los profesionales de la industria automotriz y a los expertos en climatización automotriz que han compartido su tiempo y experiencia para brindar información adicional, consejos y casos prácticos. Sus contribuciones han enriquecido enormemente este libro y han ayudado a ofrecer una visión más completa de la climatización automotriz.

Agradecemos a todo el equipo editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE por su arduo trabajo, dedicación y paciencia en la revisión y edición de este libro. Su atención meticulosa a los detalles y su habilidad para mejorar la estructura y el estilo han sido esenciales para garantizar la claridad y coherencia del contenido.

Por último, pero no menos importante, queremos agradecer a los lectores de este libro. Su interés y entusiasmo por aprender y explorar el campo de la climatización automotriz son la razón principal por la cual este proyecto se ha convertido en realidad. Esperamos sinceramente que encuentren en estas páginas información valiosa y útil que contribuya a su conocimiento y comprensión de los sistemas de aire acondicionado automotriz.

Los autores.

Ing. Fausto Andrés Jácome Guevara, Mgtr.

fajacome1@espe.edu.ec

Ingeniero Automotriz por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE; Magister en Mecánica Mención Manufactura, Universidad Técnica de Ambato. Asesor en implementación de sistemas de refrigeración, Diseñador de equipos enfocados en la Industria Alimenticia, Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE. Se desempeña en el área de Sistemas Automotrices, Energía y Termo Fluidos, Procesos de Manufactura. Actualmente investiga temas sobre Sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire industrial y automotriz, Procesos de manufactura y Ciencia de los materiales.

Ing. Héctor Cochise Terán Herrera, Mgtr.

hcteran@espe.edu.ec

Ingeniero Electromecánico por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE; Magister en Gestión de Energías y Redes Industriales. Investiga en temas de: mecanizado en máquinas y herramientas convencionales y de control numérico computarizado, procesos de soldadura, metalurgia y tecnología de la fundición, energías renovables y automatización industrial.

Ing. Oscar Bladimir Arteaga López, Mgtr.

obarteaga@espe.edu.ec

Ingeniero Mecánico por la Escuela Politécnica del Chimborazo ESPOCH; Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa; Magister en Gestión de Energía. Investiga en temas de: diseño y construcción de bastidores y carrocerías para vehículos de competición (FORMULA STUDENT), diseño y construcción de vehículos blindados 4X4, diseño y construcción de prótesis robóticas.

Tlgo. Jonathan Raphael Zurita Caisaguano

jrzurita1@espe.edu.ec

Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica, Mención Motores por el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico; Técnico en Mantenimiento de Aeronaves; Instructor de especialización Aeronáutica. Certificado en el mantenimiento de diferentes tipos de Aeronaves, Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Se desempeña en el área de Generalidades Técnicas Aeronáuticas, Célula y Sistemas Técnicos Aeronáuticos, Propulsión Técnica Aeronáutica. Investiga en temas relacionados con: energías, climatización de aeronaves, materiales compuestos y tecnología de fabricación.

Ing. Luis Ángel Coello Tapia
lacoello@espe.edu.ec

Ingeniero Aeronáutico por la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) - Argentina; Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE - Ecuador. Especializado en planificación y control de mantenimiento, gestión de proyectos y materiales compuestos. Certificaciones como instructor, auditor interno ISO 9001:2015 y licencia de mecánico aeronáutico. Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Investiga en temas de: desarrollo de materiales avanzados, caracterización y análisis de materiales compuestos, optimización de procesos de fabricación, diseño y análisis de estructuras, sistemas de control y sistemas de climatización.

Índice

Prefacio.....	18
Capítulo I - Teoría básica de operación.....	19
Introducción.....	21
Sistemas de aire acondicionado y calefacción.....	22
Principios fundamentales.....	22
Termodinámica.....	22
Ley cero de la termodinámica.....	23
Primera ley de la termodinámica.....	24
Segunda ley de la termodinámica.....	24
Materia.....	25
Principios de transferencia de calor.....	25
Transferencia de calor.....	25
Conducción.....	26
Convección.....	26
Radiación.....	28
Unidades principales de estudio.....	29
Temperatura.....	29
Presión.....	30
Calor.....	31
Entalpía.....	31
Humedad del aire.....	32

Punto de Rocío (PR).....	33
Psicrometría.....	33
El confort humano.....	35
Capítulo II - Componentes básicos.....	37
Ciclo de refrigeración.....	39
Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	39
Fluidos refrigerantes.....	40
Fluido refrigerante R12.....	41
Fluido refrigerante R134a.....	43
Fluido refrigerante R1234yf.....	46
Componentes de los sistemas de refrigeración automotriz.....	48
Compresor.....	49
Condensador.....	56
Filtro deshidratador.....	61
Elemento expansor.....	62
Evaporador.....	64
Cañerías y ductos.....	67
Presostato.....	67
Termostato.....	68
Capítulo III - Diagnóstico y mantenimiento del sistema de aire acondicionado.....	71
Inspección preliminar del sistema.....	73
Inspección de juntas.....	74

Vaciado del circuito.....	77
Proceso de vaciado.....	77
Carga del circuito.....	79
Precauciones y medidas de seguridad.....	79
Herramientas recomendadas.....	81
Procedimiento de carga.....	82
Comprobación de fugas.....	85
Prueba de fugas.....	85
Métodos de detección de fugas.....	86
Diagnóstico de falla por presiones.....	90
Capítulo IV - Sistema de climatización.....	97
Climatización automotriz.....	99
Aire acondicionado vs Climatización automotriz.....	99
Funcionamiento del sistema de climatización.....	100
Componentes de control.....	101
Paneles de control.....	105
Referencias.....	109

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Propiedades de Freón 12</i>	42
Tabla 2 <i>Propiedades del R134a</i>	45
Tabla 3 <i>Comparación de parámetros de funcionamiento entre R12 y R134a</i>	45
Tabla 4 <i>Propiedades del R1234yf</i>	47
Tabla 5 <i>Guía del uso del aceite según el tipo de refrigerante</i>	56
Tabla 6 <i>Cantidades de aceite en función del componente sustituido</i>	56
Tabla 7 <i>Temperaturas para el correcto funcionamiento del sistema A/C</i>	85
Tabla 8 <i>Posibles daños en el sistema por fugas</i>	86
Tabla 9 <i>Para gas refrigerante R134a con el sistema apagado</i>	90
Tabla 10 <i>Presiones normales</i>	90
Tabla 11 <i>Exceso de fluido refrigerante</i>	91
Tabla 12 <i>Falta de fluido refrigerante</i>	91
Tabla 13 <i>Obstrucción de la válvula de expansión</i>	92
Tabla 14 <i>Válvula de expansión abierta</i>	92
Tabla 15 <i>Ventilador parado</i>	93
Tabla 16 <i>Válvulas de escape defectuosas</i>	93
Tabla 17 <i>Válvulas de admisión defectuosas</i>	94
Tabla 18 <i>Falta de fluido refrigerante</i>	94
Tabla 19 <i>Exceso de fluido refrigerante</i>	95

Índice de figuras

Figura 1 Controles de aire acondicionado y calefacción.....	22
Figura 2 Termodinámica.....	23
Figura 3 Estados de la materia.....	24
Figura 4 Transferencia de calor.....	25
Figura 5 Transferencia de calor por conducción.....	26
Figura 6 Transferencia de calor por convección.....	27
Figura 7 Transferencia de calor por radiación.....	28
Figura 8 Presión.....	30
Figura 9 Calor sensible y latente.....	32
Figura 10 Diagrama psicrométrico.....	34
Figura 11 Uso de los diagramas psicrométricos.....	35
Figura 12 Extensión de la zona de confort y estrategias aplicables.....	36
Figura 13 Ciclo de compresión de vapor.....	39
Figura 14 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	40
Figura 15 Fluido refrigerante R12.....	41
Figura 16 Fluido refrigerante R134a.....	44
Figura 17 Fluido refrigerante R1234yf.....	46
Figura 18 Componentes de los sistemas de refrigeración automotriz.....	48
Figura 19 Etapa de compresión.....	49
Figura 20 Compresor A/C para vehículos con MCI.....	50

Figura 21	Compresor A/C para vehículos eléctricos.....	50
Figura 22	Compresores alternativos.....	51
Figura 23	Compresores de paletas.....	52
Figura 24	Compresores tipo scroll.....	52
Figura 25	Rendimiento del compresor.....	54
Figura 26	Lubricantes para compresores.....	55
Figura 27	Etapa de condensación.....	57
Figura 28	Condensador.....	57
Figura 29	Condensador de serpentín.....	58
Figura 30	Condensador de tubo o aletas.....	59
Figura 31	Condensador de flujo paralelo.....	59
Figura 32	Dimensiones de un condensador universal.....	60
Figura 33	Filtro deshidratador.....	61
Figura 34	Etapa de expansión.....	62
Figura 35	Válvula en L o 90°.....	63
Figura 36	Válvula en bloque o en H.....	63
Figura 37	Válvula tipo OT.....	64
Figura 38	Etapa de evaporación.....	65
Figura 39	Evaporador.....	65
Figura 40	Tipos de evaporadores.....	66
Figura 41	Cañerías y ductos.....	67
Figura 42	Presostato.....	68
Figura 43	Termostato.....	68

Figura 44 <i>Termostato mecánico</i>	69
Figura 45 <i>Termostato eléctrico</i>	69
Figura 46 <i>Tipos de ensamblaje A/C</i>	73
Figura 47 <i>Estado óptimo de un o'ring</i>	75
Figura 48 <i>O'ring con daño por abrasión y por degradación química</i>	75
Figura 49 <i>O'ring con daño por hinchazón química y por compresión</i>	75
Figura 50 <i>O' ring con daño por mala instalación y por extrusión - mordisqueado</i>	76
Figura 51 <i>O'ring con daño por desgasificación y por descompresión rápida de gases</i>	76
Figura 52 <i>O'ring con daño por fallo en espiral y por degradación térmica</i>	76
Figura 53 <i>O'ring con daño por extrusión térmica y por degradación UV</i>	77
Figura 54 <i>Conexión para proceso de vacío</i>	78
Figura 55 <i>Medición de vacío en los manómetros</i>	78
Figura 56 <i>Gafas</i>	79
Figura 57 <i>Uso de guantes aislantes</i>	80
Figura 58 <i>Uso de ropa de seguridad</i>	80
Figura 59 <i>No levantar un cilindro de refrigerante por la válvula</i>	80
Figura 60 <i>Bomba de vacío</i>	81
Figura 61 <i>Máquina automática de carga de A/C</i>	81
Figura 62 <i>Manómetros de refrigeración</i>	82
Figura 63 <i>Conexión de los manómetros</i>	83

Figura 64 Manómetro de baja presión - rango de 70 a 80 psi.....	84
Figura 65 Manómetro de baja presión 70 psi, alta presión 70 psi.....	84
Figura 66 Manómetro de baja presión 35 psi, alta presión 200 psi.....	85
Figura 67 Detección visual de fugas.....	87
Figura 68 Solución jabonosa.....	88
Figura 69 Detector de fugas electrónico.....	89
Figura 70 Sistema fluorescente ultravioleta.....	89
Figura 71 Presiones normales.....	91
Figura 72 Exceso de fluido refrigerante.....	91
Figura 73 Falta de fluido refrigerante.....	92
Figura 74 Obstrucción de la válvula de expansión.....	92
Figura 75 Válvula de expansión abierta.....	93
Figura 76 Ventilador parado.....	93
Figura 77 Válvulas de escape defectuosas.....	94
Figura 78 Válvulas de admisión defectuosas.....	94
Figura 79 Falta de fluido refrigerante.....	95
Figura 80 Exceso de fluido refrigerante.....	95
Figura 81 Control de climatización.....	99
Figura 82 Calentador de asientos en automóviles.....	100
Figura 83 Diagrama de funcionamiento del climatizador.....	101
Figura 84 Esquema de control sensores – UCE – actuadores.....	102
Figura 85 Sensor de temperatura del refrigerante.....	103

Figura 86 <i>Sensor de temperatura exterior</i>	103
Figura 87 <i>Sensor de temperatura del evaporador</i>	104
Figura 88 <i>Sensor de temperatura de salida al habitáculo</i>	104
Figura 89 <i>Sensor de temperatura interior</i>	105
Figura 90 <i>Regulación manual</i>	106
Figura 91 <i>Regulación semi-automática</i>	107
Figura 92 <i>Regulación automática</i>	108

Prefacio

Este libro está diseñado para el proceso de aprendizaje de nivel técnico y universitario, proporciona una combinación adecuada de fundamentación teórica y práctica del funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y climatización automotriz, con un lenguaje técnico de fácil comprensión y adecuadamente estructurado.

Los autores proporcionan un enfoque de aprendizaje práctico para la aplicación de los contenidos en el reconocimiento y mantenimiento de los sistemas de climatización usados en el área automotriz.

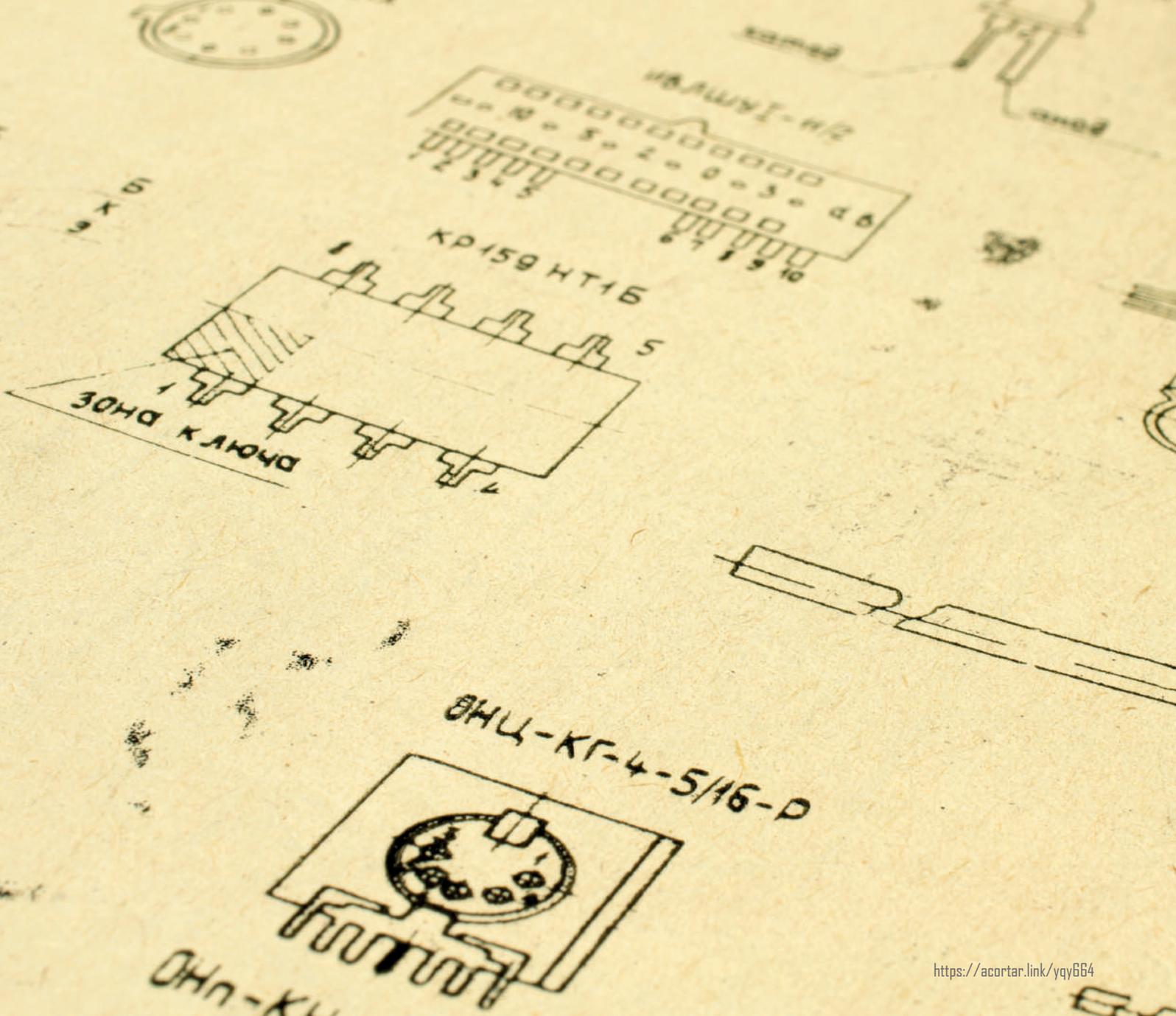
Entre las características principales se tiene:

Aborda la teoría del ciclo de refrigeración por compresión de vapor usado en los sistemas de aire acondicionado.

Explica detalladamente los componentes que posee un sistema de climatización automotriz y la función que cumple cada uno de ellos.

Plantea el diagnóstico de los equipos por presiones y las posibles soluciones que permitan reparar el sistema de aire acondicionado.

Los autores



<https://acortar.link/yqy664>

CAPÍTULO I

Teoría básica de operación

Introducción

En la actualidad, los sistemas de aire acondicionado y calefacción son indispensables en los automotores para mejorar el confort, tanto del conductor como en los ocupantes. El inicio de la climatización automotriz inició en el año de 1884, cuando William Whiteley colocó cubos de hielo en un contenedor bajo la cabina de un vehículo, este aire frío lo llevó hacia el habitáculo mediante un ventilador. Sin embargo, en aquellos días los vehículos eran construidos con capotas desmontables; si el calor era intenso, simplemente las capotas eran retiradas, por lo que durante este tiempo no hubo mayores avances en cuanto a los sistemas de aire acondicionado (Chicaiza, 2017).

Desde 1908 se empezaron a producir vehículos con cabinas cerradas, generando así la problemática de la temperatura en los vehículos, calores intensos en verano y excesiva sensación de frío durante invierno. Poco a poco se implementaban pequeños sistemas rudimentarios, como los ductos en la parte inferior del parabrisas, apertura de las ventanillas, inclusive ductos bajo el piso; pero estos sistemas poco eficientes provocaban el ingreso de partículas no deseadas e inclusive gases provocados por la combustión del motor.

En 1932, General Motors desarrolló la idea de los sistemas de aire acondicionado mediante el uso de vapor comprimido del refrigerante R12, para ello se estableció que la capacidad de enfriamiento no debía ser mayor a una tonelada para evitar que la temperatura sea menor a 5.6 °C, y de esta manera se evitaba un posible choque térmico (shock termal) al salir del vehículo. A partir de este punto empezaron a construirse sistemas poco eficientes e incómodos debido a que la conexión y desconexión consistía en colocar o retirar una banda que conecta el motor al compresor (Amigo & Vergel, 2012).

Durante los años setenta se implementaron los sistemas conocidos actualmente. Se puede hablar de variaciones significativas en el uso del gas refrigerante, ya que hasta finales de los 80 se utilizaba como gases refrigerantes R12 y R22, actualmente prohibidos debido a que sus componentes provocan daños graves en la capa de ozono, por lo que durante la década de los 90 y aun en la actualidad se usa el refrigerante R134a, el cual se extinguirá paulatinamente con la aplicación del refrigerante R1234yf.

Sistemas de aire acondicionado y calefacción

El acondicionar aire es el método por el cual se controla la temperatura, humedad, velocidad, distribución y pureza del mismo para mantener la comodidad o confort en los ocupantes de un vehículo, siempre que se trate la variación de la temperatura existente en el habitáculo. En la actualidad son implementados en los automóviles sistemas de acondicionamiento de aire muy eficientes con controles electrónicos que regulan la temperatura para mejorar la eficiencia y el confort al mismo tiempo (Serrano, 2013).

El sistema de calefacción existente desde los años 60 en todos los vehículos consiste en la circulación de líquido refrigerante proveniente del sistema de refrigeración del motor a través de un intercambiador de calor o radiador dentro del habitáculo, de esta manera se realiza un intercambio disipando de cierta manera el calor proveniente del motor dentro del espacio. Para conocer adecuadamente el funcionamiento de los sistemas es importante analizar los fundamentos teóricos que rigen a estos sistemas.

Figura 1

Controles de aire acondicionado y calefacción



Nota. En la figura se observan los controles del aire acondicionado de un automóvil.

Principios fundamentales

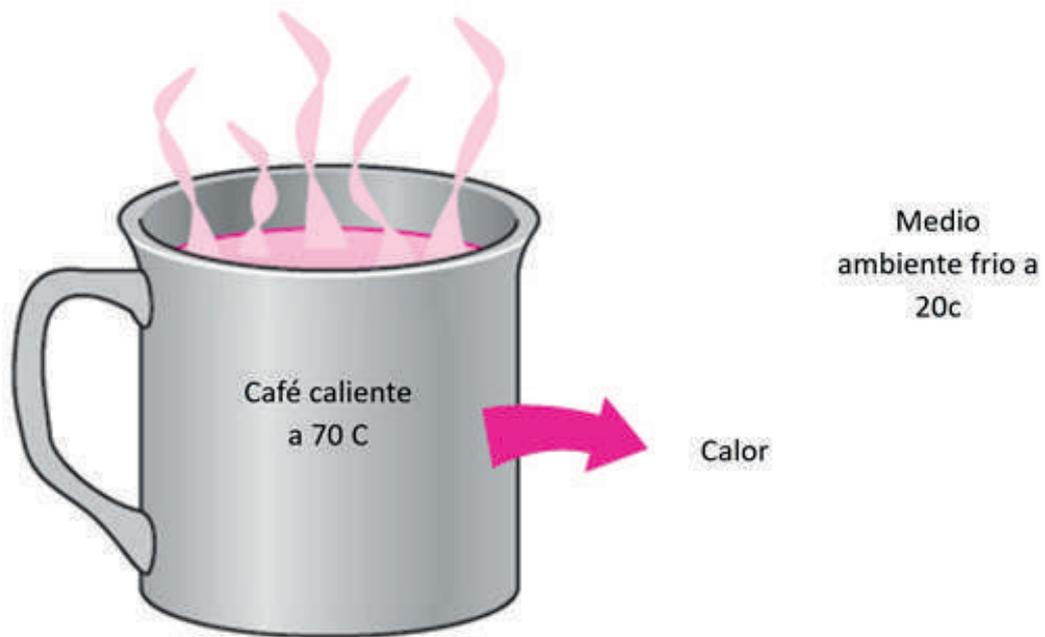
Termodinámica

Se puede definir a la termodinámica como la ciencia que estudia a la energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración,

y las relaciones entre las propiedades de la materia. La energía se la puede definir como la capacidad para causar cambios, es importante recordar que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma (Cengel & Boles, 2009).

Figura 2

Termodinámica



Nota. La figura muestra que el calor se transfiere en la dirección de la menor temperatura. Tomado de (Cengel & Boles, 2009).

Ley cero de la termodinámica

La ley cero de la termodinámica establece que, si dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, también están en equilibrio térmico entre sí. La ley cero fue formulada y etiquetada por primera vez por R. H. Fowler en 1931. Su valor como principio físico fundamental fue reconocido más de medio siglo después de la formulación de la primera y la segunda ley de la termodinámica. Se la denominó ley cero porque debería haber precedido a la primera y segunda leyes de la termodinámica (Cengel & Boles, 2009).

Primera ley de la termodinámica

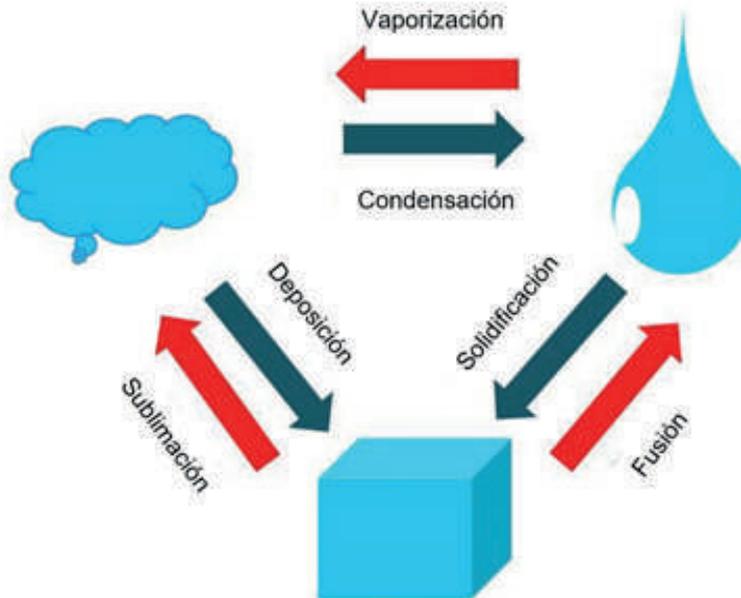
La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que: en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso (Cengel & Boles, 2009).

Segunda ley de la termodinámica

La segunda ley de la termodinámica establece que, si bien todo el trabajo mecánico puede transformarse en calor, no todo el calor puede transformarse en trabajo mecánico. Además, define que la energía posee cantidad y calidad (Cengel & Boles, 2009).

Figura 3

Estados de la materia



Nota. La figura muestra los tres estados en los que se puede encontrar la materia. Tomado de (Goodstein, 2014).

Materia

Es todo aquello que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio. Los estados de la materia cambian en función a las variaciones de temperatura o presión, los principales son: sólido, líquido, gaseoso (ver Figura 3). La materia en estado sólido presenta una forma definida debido a que sus átomos se entrelazan entre si formando estructuras estrechas, la materia en estado líquido no posee estructuras cristalinas perdiendo su forma definida adaptándose al recipiente en el que se aloja; finalmente en la materia en estado gaseoso sus moléculas no están unidas, tienen poca fuerza de atracción, esto hace que los gases no tengan forma definida ni volumen de manera que se expanden hasta ocupar todo el recipiente que lo contiene (Goodstein, 2014).

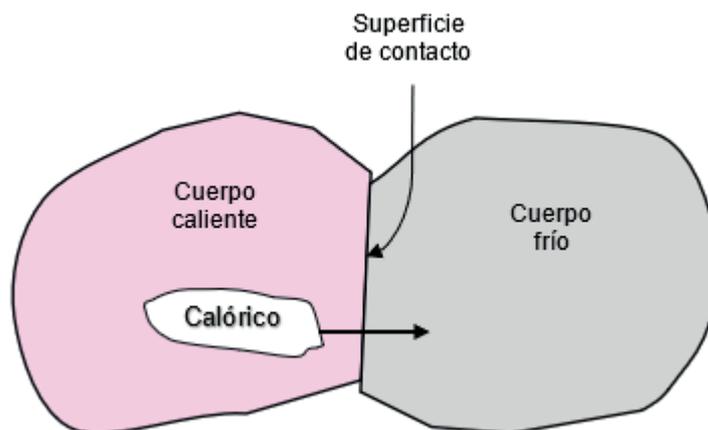
Principios de transferencia de calor

Transferencia de calor

Se conoce como transferencia de calor al intercambio de energía entre dos cuerpos debido a la diferencia de temperaturas entre los mismos; la transferencia de calor se realizará siempre desde un cuerpo de mayor temperatura hacia otro de menor temperatura. Existen tres tipos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Figura 4

Transferencia de calor



Nota. Tomado de (Cengel & Boles, 2009).

Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre ellas (Cengel & Boles, 2009). Dicha transferencia de calor, está dada por la ecuación (1) y (2).

$$Q = A \frac{\lambda}{S} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$Q = A \frac{1}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \dots} (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Donde:

Q = Corriente calorífica

A = Área

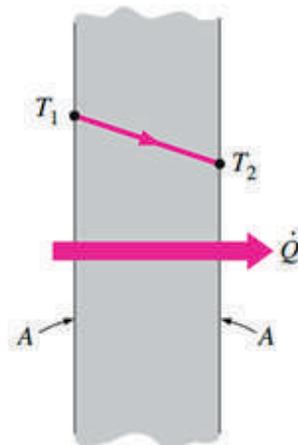
λ = Capacidad de conducción calorífica

S = Entropía específica

T = Temperatura °C

Figura 5

Transferencia de calor por conducción



Nota. Tomado de (Cengel & Boles, 2009).

Convección

La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido (Cengel & Boles, 2009). Dicha transferencia de calor está dada por la ecuación (3) y (4).

$$Q = AU(T_1 - T_2) \quad (3)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \left[\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \dots \right] \quad (4)$$

Donde:

Q = Corriente calorífica

A = Área

T = Temperatura °C

U = Coeficiente de transmisibilidad del calor

h = Entalpía específica

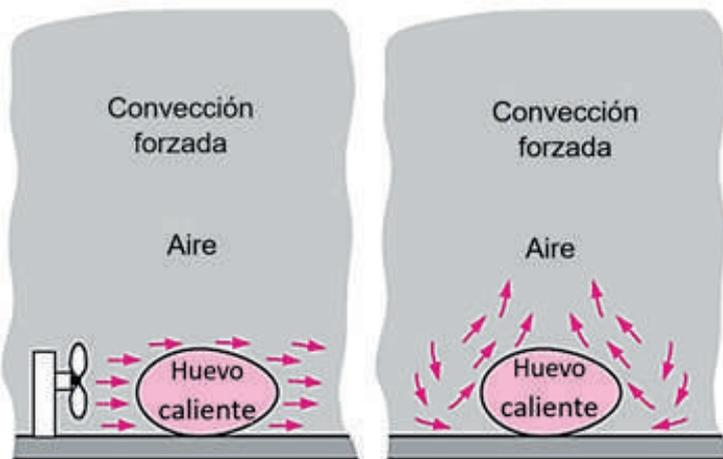
λ = Capacidad de conducción calorífica

S = entropía específica

Existen dos principales tipos de transferencia de calor por convección: Natural (únicamente se da la transferencia de calor debido al movimiento del fluido gracias a la fuerza gravitatoria o bien al incremento de la temperatura del fluido lo que provoca su movimiento) y Forzada (lo que se hace es obligar al fluido a moverse por medio de instrumentos externos como por ejemplo ventiladores en el caso de gases y bombas en el caso de líquidos).

Figura 6

Transferencia de calor por convección



Nota. Tomado de (Cengel & Boles, 2009).

Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electro-magnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas (Cengel & Boles, 2009). Dicha transferencia de calor está dada por la ecuación (5).

$$Q = A C_s \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varphi_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (5)$$

Donde:

Q = Corriente calorífica

A = Área

C_s = Coeficiente de radiación

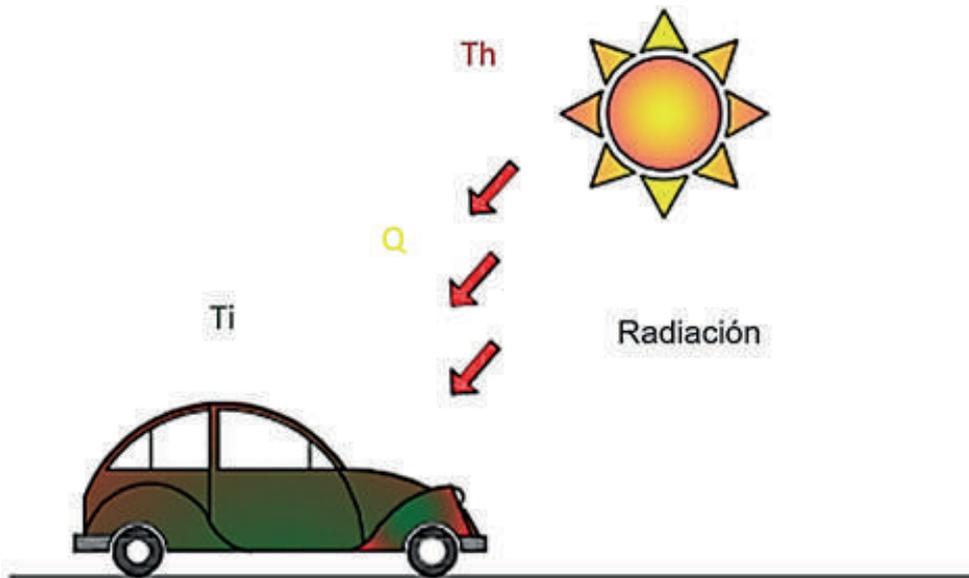
ε = Coeficiente de emisión

φ = Humedad relativa del aire

T = Temperatura K

Figura 7

Transferencia de calor por radiación



Nota. Tomado de (Incropera et al., 1996).

Unidades principales de estudio

Temperatura

La temperatura es una magnitud que mide la cantidad de calor de un cuerpo. Todas las sustancias o elementos poseen calor en cualquiera de sus estados de agregación, esto debido al movimiento que generan sus partículas, llamado también energía térmica. La temperatura puede ser medida y calculada con base en los diferentes sistemas de medida (internacional e inglés), las unidades más comunes son las descritas a continuación.

Grados Kelvin (K): Es considerada la escala absoluta, se refiere en el Sistema Internacional y corresponde a $1/273.16$ partes de la temperatura del punto triple del agua. Se asume que a 0 K las partículas dejan de moverse por lo que ha sido imposible llegar hasta esta temperatura, se puede convertir a otras unidades como se indica en la ecuación (6) y (7).

$$K = ^\circ C + 273.15 \quad (6)$$

$$K = \frac{5}{9}(^\circ F + 459.67) \quad (7)$$

Grados Celsius ($^\circ C$): Basada como punto 0 en el punto triple del agua, es equivalente en magnitud a los Kelvin como se observa en la ecuación (8).

$$^\circ C = K - 273.15 \quad (8)$$

$$^\circ C = \frac{^\circ F - 32}{1.8} \quad (9)$$

Grados Rankine (R): Considera la escala absoluta equivalente en magnitud a los grados Fahrenheit, según la ecuación (10).

$$R = ^\circ F + 460 \quad (10)$$

$$R = \left(\frac{9}{5}\right)(K - 273) + 492 \quad (11)$$

Grados Fahrenheit (°F): Basada como punto 0 en la mezcla entre hielo, agua y cloruro de amonio. Igualmente se puede transformar a otras unidades a través de la ecuación (12) y (13).

$$^{\circ}F = (1.8^{\circ}C) + 32 \quad (12)$$

$$^{\circ}F = R - 459.67 \quad (13)$$

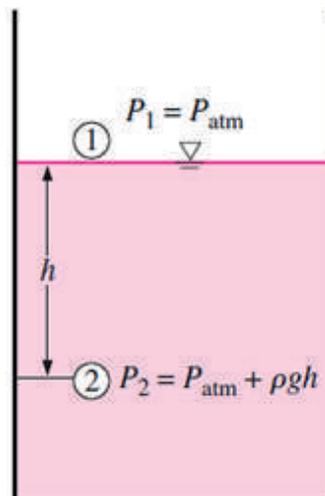
Presión

La presión es una magnitud que mide la fuerza que actúa sobre una superficie, está determinada por la ecuación (14). Todos los gases y vapores ejercen una presión igual y en todas las direcciones, si la presión del gas aumenta, bien porque se ha disminuido el volumen ocupado por este gas o por aumentar el volumen del gas dentro de un recipiente con dimensiones fijas, se dice que se ha comprimido; a su vez, la temperatura se eleva. Igualmente existe una relación fija y definida entre la temperatura de un vapor y su presión (Royo & Carnicer, 1997). Se puede transformar diferentes unidades de presión, a distintos sistemas de medida como sea necesario.

$$P = \frac{F}{A} \quad (14)$$

Figura 8

Presión



Nota. Tomado de (Cengel & Boles, 2009).

Calor

El calor es el valor medio de la energía intercambiada entre un sistema y el medio que lo rodea, debido a los intercambios individuales de energía ocasionados por los choques entre las moléculas del sistema y del medio (Royo & Carnicer, 1997). Se puede transformar diferentes unidades de calor, a distintos sistemas de medida como sea necesario, además se puede identificar diferentes tipos de calor como los indicados a continuación.

Calor específico: Es el calor necesario para elevar 1 °C la temperatura de 1 kg de una sustancia específica.

Calor específico del aire seco: En el campo del aire acondicionado puede tomarse igual a 0.24 kcal/(kg °C), y para el calor específico del vapor de agua el valor de 0.46 kcal/(kg °C).

Calor sensible: Es el calor introducido o extraído en la mezcla aire-vapor, para cambiar su temperatura, pero sin variar el estado (Royo & Carnicer, 1997).

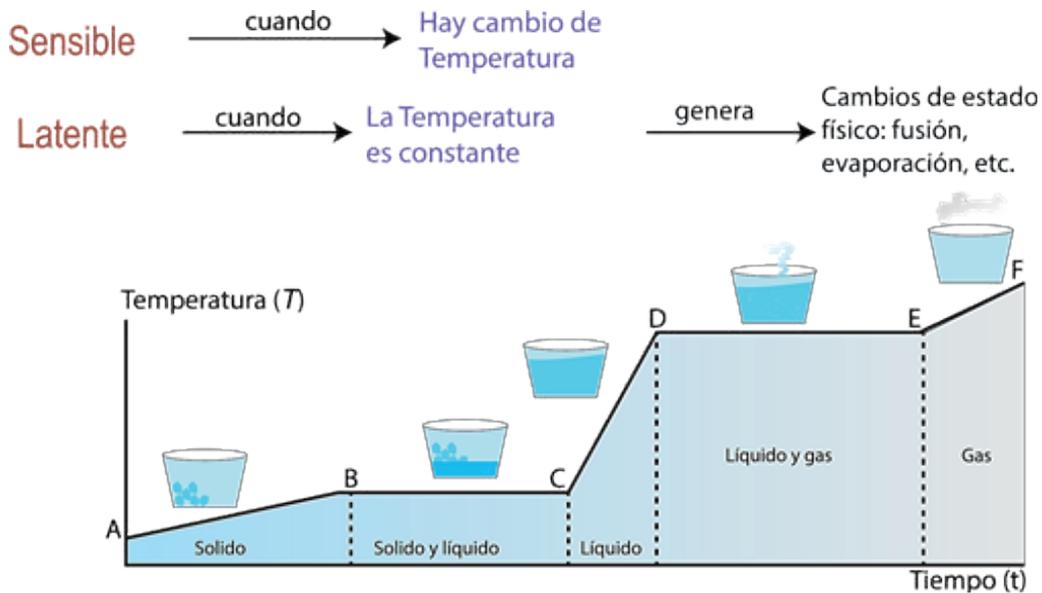
Calor latente: Es el calor que suministrado o sustraído de una sustancia produce un cambio de estado sin variar la temperatura (Quadri, 2001). Se puede observar esquemáticamente en la Figura 9.

Entalpía

Representa el flujo de calor en cambios químicos que se efectúan a presión constante al efectuarse más trabajo que el trabajo presión volumen, es decir la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno (Brown et al., 2004).

Figura 9

Calor sensible y latente



Nota. Tomado de (Quadri, 2001).

Humedad del aire

El aire atmosférico contiene cierta proporción de humedad, su humedad se origina de la evaporación parcial de las masas de agua como los mares, océanos, lagos, etc. Así como el vapor de agua que exhalan los seres vivos. La disposición del aire para retener agua vaporizada está relacionada con la presión y la temperatura. Un aire saturado puede retener más humedad si aumenta la temperatura o desciende la presión y, al revés, desprende parte de su contenido de humedad si baja la temperatura o sube la presión (Royo & Carnicer, 1997). Se puede definir diferentes tipos de humedad.

Humedad específica: Es el peso del vapor de agua por unidad de peso de aire seco, expresada en gramos por kilogramos de aire seco.

Humedad absoluta (h_{ab}): Es el peso del vapor de agua, referido a kg, contenido en un kilogramo de aire seco.

Humedad Relativa (h_r): Es la relación entre la humedad absoluta existente y la humedad máxima que el sistema podría contener, es decir la humedad de saturación, como se indica en la ecuación (15).

$$h_r = \frac{h_{ab}}{h_s} \quad (15)$$

Humedad de saturación (h_s): Es el máximo peso de vapor de agua que admite un kg de aire seco a una determinada temperatura y presión.

Una humedad relativa del 100 % quiere decir que el ambiente se encuentra saturado, por ende $h_{ab} = h_s$, mientras que una humedad relativa del 0 % indica que se trata de un ambiente exento en su totalidad de humedad, el porcentaje indicado de humedad relativa permite conocer el grado de saturación (Royo & Carnicer, 1997).

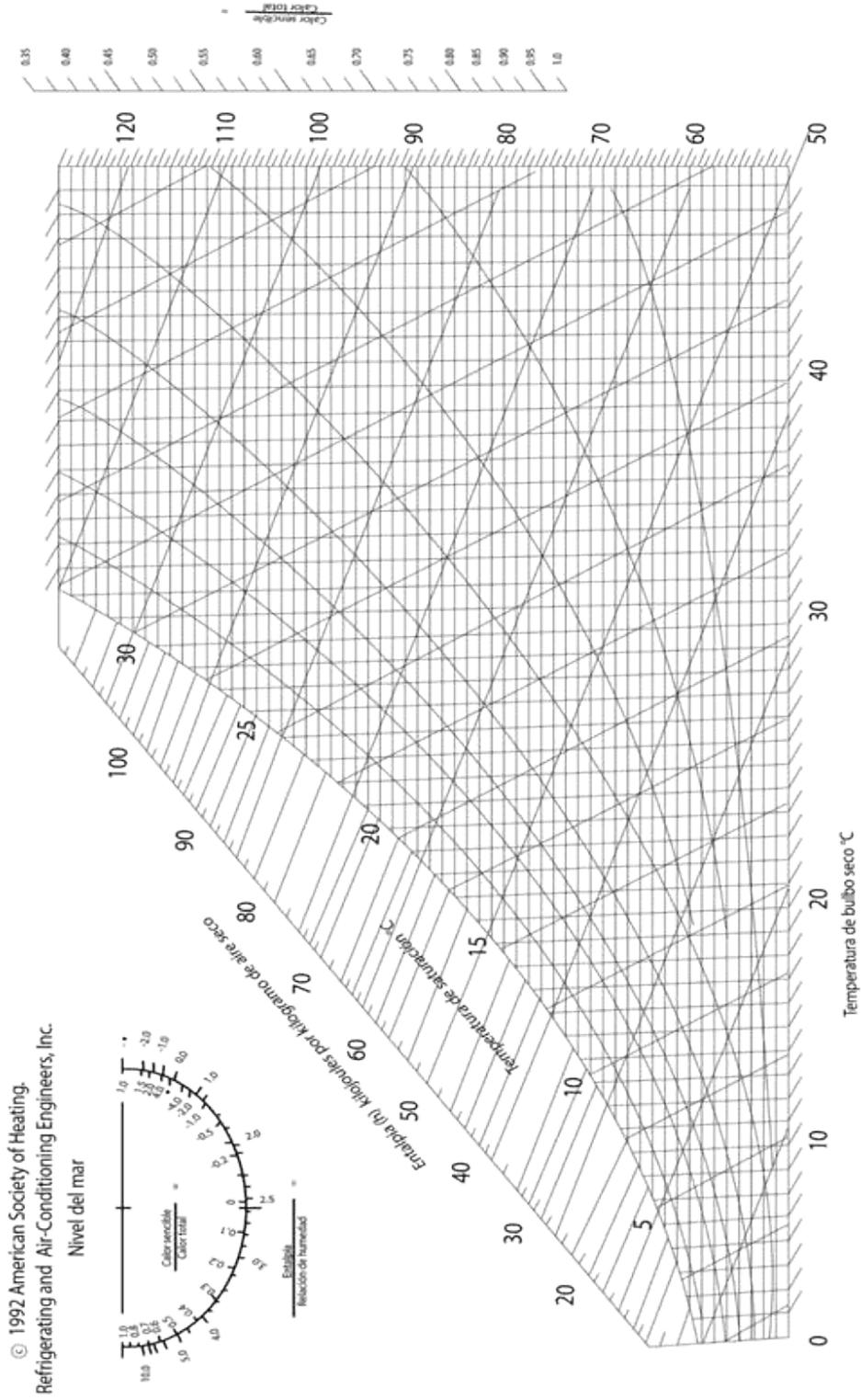
Punto de Rocío (PR)

El punto de rocío determina una temperatura T, a la cual el aire llega al punto de saturación; es decir, el aire se convierte en aire saturado. No se producirán condensaciones si la temperatura del aire se mantiene por encima del punto de rocío, y a la inversa, temperaturas por debajo del punto de rocío ocasionarán condensaciones. Puntos de rocío muy bajos indican aire seco, puntos de rocío elevados suponen aire con altas humedades relativas (Royo & Carnicer, 1997). Por lo tanto, se deduce que, para aire con humedad relativa inferior al 100 % (aire seco), el PR será siempre inferior a la temperatura real del ambiente considerado; para aire con humedad relativa igual al 100 % (aire saturado), el PR coincidirá con el de la temperatura real del ambiente.

Psicrometría

La Psicrometría trata la sustancia aire como una mezcla de dos gases que no reaccionan entre sí y se comportan casi como dos gases ideales: aire seco y vapor de agua (González, 2012). Se puede realizar las distintas mediciones en gráficos típicos como el de la Figura 10.

Figura 10
Diagrama psicrométrico



Nota. Tomado de (Incropera et al., 1996).

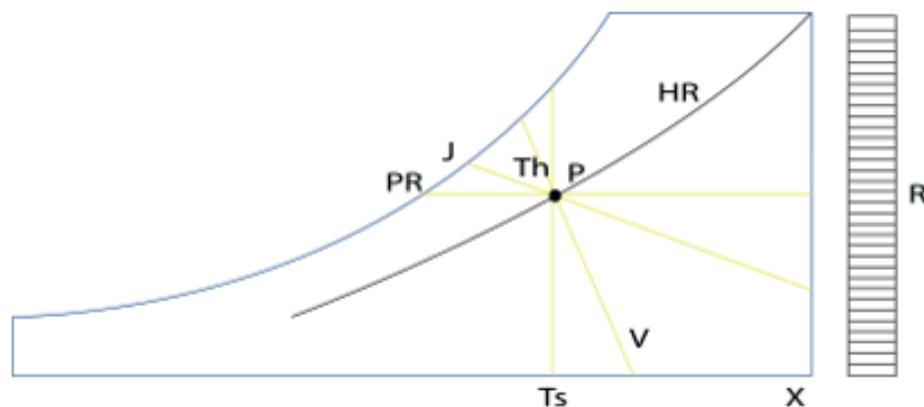
El punto de rocío puede calcularse a partir de datos psicrométricos tales como: humedad relativa y temperatura ambiente, humedad relativa y humedad de saturación; y humedad absoluta. Es así que en base a la Figura 10, se tiene un procedimiento de uso de los diagramas psicrométricos, como se indica en la Figura 11.

El confort humano

Al hablar de confort se refiere a la combinación de diferentes parámetros ambientales, fisiológicos, psicológicos y culturales que generan una sensación de bienestar en el ser humano. Sin embargo, debido a diferencias psicológicas e inclusive culturales impiden emitir un concepto generalizado de lo que es el confort humano, pero lo que se puede hacer es estimar temperaturas adecuadas que mejoren o incrementen el confort de una persona que se encuentra en un edificio, domicilio o bien en su vehículo (Ochoa, 2009). En la Figura 12 se muestra la zona de confort adecuada en función a la temperatura y humedad.

Figura 11

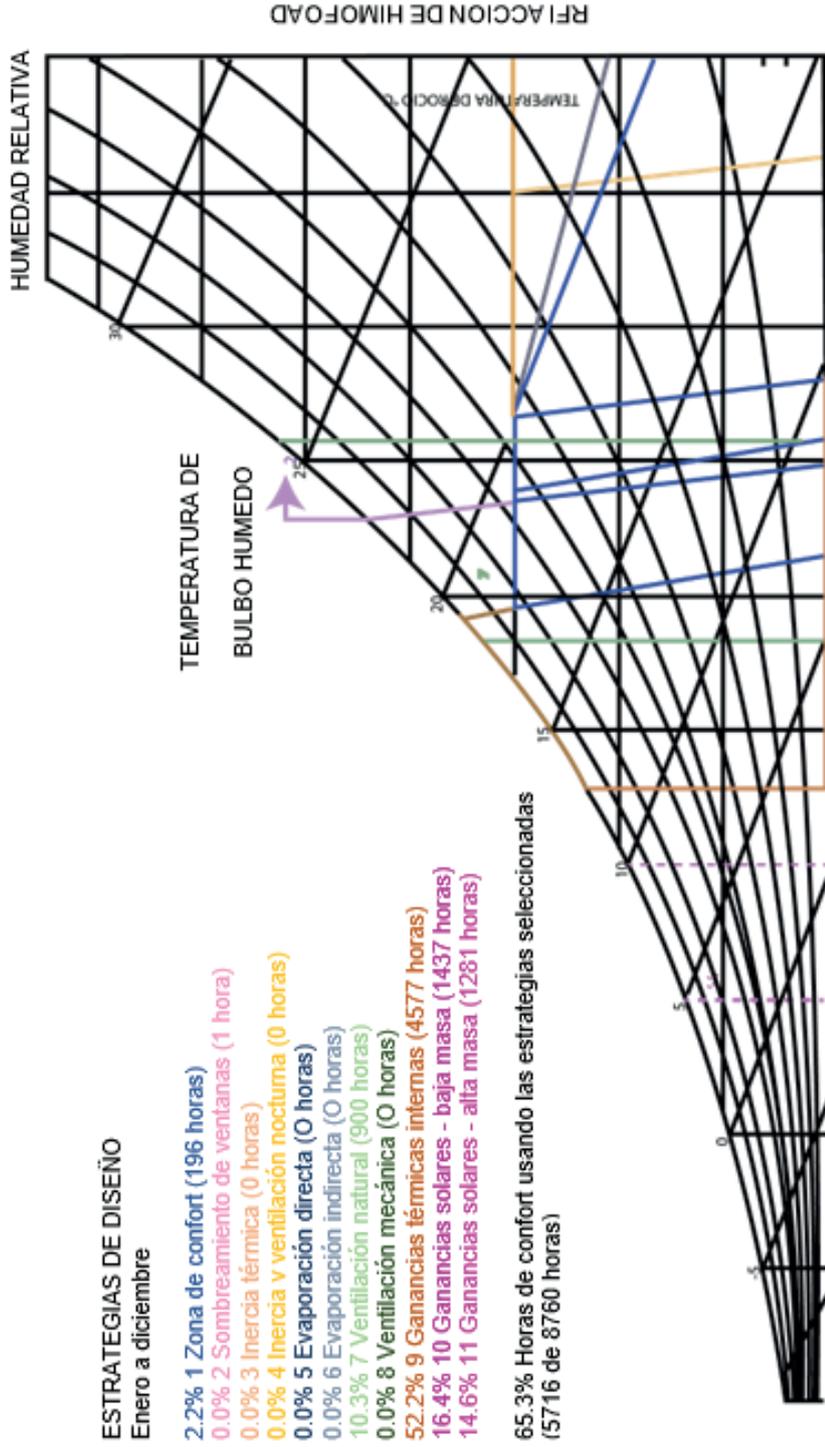
Uso de los diagramas psicrométricos



- T_s = Temperatura de bulbo seco en °C.
 T_h = Temperatura de bulbo húmedo en °C.
 HR = Humedad relativa.
 PR = Temperatura de punto de rocío.
 J = Entalpía de saturación en Kcal/Kg de aire seco.
 X = Gramos de vapor por kg de aire seco.
 V = Volumen específico en m^3 por Kg de aire seco.
 R = Factór térmico: calor sensible/calor total.

Nota. Adaptado de Amazon

Figura 12
Extensión de la zona de confort y estrategias aplicables



Nota. Tomado de (Incropera et al., 1996).



<https://acortar.link/Cx00Hk>

CAPÍTULO II

Componentes básicos

Ciclo de refrigeración

Todos los dispositivos que producen refrigeración son llamados refrigeradores y los ciclos en los que operan son llamados ciclos de refrigeración, los fluidos que son utilizados como medio de intercambio son conocidos como refrigerantes. Existen dos ciclos de refrigeración comunes, el “ciclo invertido de Carnot” y el “ciclo de compresión de vapor”, el enfoque que se ha aplicado en el presente documento es el ciclo de compresión de vapor (ver Figura 13), debido a que este se utiliza en los vehículos como medio de acondicionamiento de aire y también en vehículos de transporte de carga refrigerada.

Figura 13

Ciclo de compresión de vapor



Nota. El esquema indica el camino que recorre el calor desde el habitáculo del vehículo hasta que se expulsa al ambiente.

En los sistemas de refrigeración o bombas de calor no se mide la eficiencia térmica, a diferencia de las máquinas térmicas, en estos sistemas se toma en cuenta el coeficiente de desempeño (COP), el mismo que está definido según se detalla en la ecuación (16).

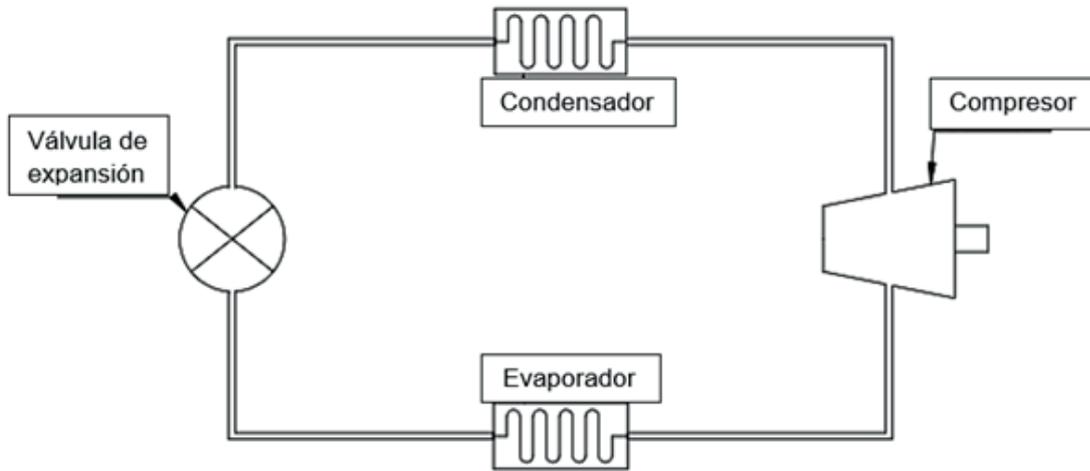
$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{neto,salida}} \quad (16)$$

Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor basa su funcionamiento en la elevación de presión de un fluido (estado gaseoso) gracias a la ayuda de compresor y del estrangulamiento del mismo por medio de una válvula de expansión o capilar (ver Figura 14).

Figura 14

Ciclo de refrigeración por compresión de vapor



Nota. Tomado de (Bonilla et al., 2018).

Como se observa en la Figura 14, el ciclo inicia en el momento que el compresor eleva la presión del fluido refrigerante incrementando también la temperatura del mismo, para luego ser disipada en el medio ambiente o sumidero a través del condensador; una vez disipado el calor producido en el fluido refrigerante, se dirige hacia la válvula de expansión, la cual disminuye bruscamente la presión y la temperatura para luego dirigirse hacia el evaporador, donde intercambia calor con el espacio refrigerado, una vez que el calor ya fue absorbido el fluido regresa por la línea de succión hacia el compresor para reiniciar el ciclo.

Fluidos refrigerantes

Existen diferentes tipos de fluidos refrigerantes que se aplican en los sistemas de acondicionamiento de aire, climatización y refrigeración. En la industria automotriz siempre ha sido objeto de análisis el uso de los mismos debido a la problemática presente en ámbito medio ambiental, a diferencia de un sistema de refrigeración industrial o doméstico, el automotriz es un sistema que siempre está en movimiento y siempre presenta el riesgo de accidentes que provoquen la fuga de estos fluidos hacia el ambiente (Melián et al., 2020).

A través de los años los fluidos refrigerantes han ido evolucionando de manera que su impacto ambiental se reduzca y sean amigables con el ecosistema,

los primeros producidos fueron los del tipo CFC (clorofluorocarbonos) y en la actualidad de utilizan los del tipo HFC (hidrofluorocarburos).

Fluido refrigerante R12

Se conoce que la puesta en marcha de sistemas de refrigeración viene de la época de las cavernas, con el uso de hielo o nieve. A partir de los años se han desarrollado varios compuestos que respondan a la tarea de enfriamiento. A inicios del siglo XX, por el requerimiento principalmente de la industria automotriz, la cual requería un refrigerante seguro, estable y con las propiedades adecuadas para poder aplicarse en sistemas compactos, los químicos de la época desarrollaron una formulación basada en carbono, flúor y cloro. Su inventor fue Thomas Midgley, Jr., un ingeniero mecánico de Estados Unidos que se dedicó y especializó en la química; desarrolló el plomo tetraetílico, que durante décadas fue un aditivo para la gasolina, y más tarde los clorofluorocarbonos (CFC).

Figura 15

Fluido refrigerante R12



Nota. Tomado de (Manresa, 2011).

Al R12 como se lo conoce, se le ha empleado desde su producción en 1936 en una amplia diversidad de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, siendo pionero en el campo automotriz. A pesar de la mínima corrosión que se

producía en el interior, su baja reactividad con los materiales de los sistemas de refrigeración y su baja toxicidad (a menos que la exposición sobre sistema de respiración sea prolongada), su producción y uso ha sido prohibida a partir del Protocolo de Montreal¹, debido al impacto sobre la capa de ozono (Barreras & Miranda, 2011).

Características del R12: El R12 es un compuesto orgánico clorohalogenado (CFC), cuya fórmula química es diclorodifluorometano CCl₂F₂, clasificado por su grado de peligrosidad hacia las personas como parte del grupo de alta seguridad, ya que es un refrigerante no combustible ni tóxico (Manresa, 2011). Además, como se estableció que este refrigerante no es tóxico, pero en condiciones donde la presencia de O₂ es deficiente (<19.5%), puede causar náuseas, mareo pérdida de conocimiento e incluso la muerte debido a asfixia por desplazar el aire. En contacto con la piel puede causar congelación y al mismo tiempo una tonalidad pálida o rojiza. En la manipulación del R12 se debe proteger la zona óptica, ya que puede congelar los tejidos de los ojos. Cabe mencionar que es un gas inerte sobre los materiales con los que toma contacto en el interior del sistema de refrigeración, como tuberías, sellos o juntas, esto implica además que no reacciona desfavorablemente con el aceite del sistema de lubricación, donde su solubilidad es alta. Se destaca entre sus propiedades un elevado coeficiente de transferencia de calor por conducción. En la Tabla 1 se detallan los valores del Freón 12, con diferentes propiedades características acorde a sus parámetros de funcionamiento (Barreras & Miranda, 2011).

Tabla 1

Propiedades de Freón 12

Propiedad	Valor R12
Temperatura máxima estable	120 °C
Presión en el evaporador a -15 °C	183 kPa
Presión en el condensador a 30 °C	754 kPa
Temperatura de ebullición	-29.8 °C
Temperatura crítica	112 °C
Temperatura de congelación	-158 °C
Volumen específico (líquido)	0,6925 l/kg
Volumen específico (vapor)	91.1 l/kg
Entalpía en la fase líquida (h_l) a -15 °C	5.33 kcal/kg
Entalpía de calor latente (h_{lg}) a -15 °C	37.89 kcal/kg
Entalpía de la fase de vapor (h_g) a -15 °C	43.22 kcal/kg
Densidad a 30 °C (líquido)	1.2922 kg/l
Densidad a 30 °C (vapor)	42.539 gr/l

¹ El Protocolo de Montreal estableció los mecanismos para los procesos de eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), con obligaciones diferenciadas y con la creación del Fondo Multilateral, que ha facilitado la reconversión industrial en los países en vías de desarrollo a través de las diferentes agencias implementadoras (Stavro, 2007).

Valores de trabajo del R12: Si se recuerda el diagrama del sistema de refrigeración, se pueden identificar varios puntos de medición. Se obtienen valores de presión manométrica y se determina la temperatura en el diagrama P-T (presión - temperatura) del R12, para describir el comportamiento del refrigerante.

Entrada al evaporador. Por medio de un medidor de presión se establecen los parámetros medidos al ingreso del evaporador, la presión 22 psi y temperatura - 6 °C.

Salida del evaporador. En este punto se encuentra el refrigerante en fase gaseosa y recalentado. Presión 18 psi y la temperatura de - 9 °C. (El valor teórico de temperatura puede variar en las condiciones de funcionamiento a un valor estimado de - 3 °C).

Entrada al compresor. Es lógico establecer el valor de presión igual que a la salida del evaporador, es decir, 18 psi y la temperatura medida es de 8 °C. Por lo tanto, el recalentamiento del vapor de - 9 °C a 8 °C es de 17 °C.

Salida del compresor. Para 146 psi de medición, el diagrama P-T en la descarga del compresor, establece 46 °C.

Condensador. Presión de 146 psi y 46 °C de temperatura.

Tanque de líquido. Presión de 135 psi y temperatura de 43 °C. Se denota una caída de presión desde el condensador hasta este punto. El refrigerante está en equilibrio líquido - vapor; en el camino hacia la válvula de expansión se produce un subenfriamiento de 3 °C.

Entrada a la válvula de expansión. La presión es de 131 psi y temperatura de 42 °C.

Fluido refrigerante R134a

La evolución de los refrigerantes tuvo que dar un paso sustancial después de las investigaciones de la NASA, en las que se demostró el adelgazamiento de la capa de ozono debido a la emisión de compuestos halogenados. El refrigerante R12 debía ser sustituido por otro de similares características compatibles, pero que no vulnera el ozono. Ante esto, se desarrolló el R134a y otros refrigerantes más, los cuales para su aplicación solo se requería hacer ciertas modificaciones en el aceite del compresor.

Este refrigerante no contiene cloro, posee baja toxicidad y en la actualidad es el más utilizado en el sistema del aire acondicionado del automóvil. Gracias

a este cambio y a los acuerdos realizados en el año 2000 en Montreal, se reportan datos de mediciones satelitales y sondas aerostáticas, las cuales demuestran que existe un pequeño aumento de la cantidad de ozono en la atmósfera (Valenzuela & Loreto, 2016).

Figura 16

Fluido refrigerante R134a



Nota. Tomado de (Manresa, 2011).

Características del R134a: El tetrafluoretano (R134a), es el gas (fluido), que más se utiliza en el campo automotriz actualmente. Su fórmula química es $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$, no es explosivo, ni combustible y se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente, es incoloro e inodoro por esta razón se le agregan algunos tintes para poder visualizar fugas (Barreras & Miranda, 2011). En cuanto a su utilización, se debe recordar que es higroscópico, es decir que absorbe la humedad, por ello al filtro deshidratante del sistema se lo debe montar al final, además se debe tener en cuenta que sólo es compatible con aceites sintéticos y que las juntas o empaques que se utilicen en el sistema deben ser compatibles. En la Tabla 2 se muestran las propiedades de este gas. Por seguridad, es indispensable y obligatorio el uso de equipo de protección personal en la manipulación del R134a. No se lo debe evacuar en lugares que no posean la suficiente ventilación ya que en pequeñas concentraciones podría causar dolor de cabeza e incluso asfixia. Se debe evitar el contacto con la piel u ojos, en caso de presentarse esta situación, se debe lavar con abundante agua, por lo menos 15 minutos y asistir a una revisión médica. El R134a es más pesado que el aire, su densidad es de 5.28 kg/m^3 y su peso molecular es de 102 gr/mol .

² Índice potencial de calentamiento global GWP, es una magnitud que relaciona cuánto calor puede ser retenido un gas de efecto invernadero, en proporción al dióxido de carbono u otro con un gas de referencia.

Tabla 2

Propiedades del R134a

Propiedad	Valor R134a
Temperatura máxima estable	120 °C
Presión en el evaporador a -15 °C	164 kPa
Presión en el condensador a 30 °C	767 kPa
Temperatura de ebullición	-26.5 °C
Temperatura crítica	101.1 °C
Temperatura de congelación	-103 °C
Volumen específico (líquido)	0.7376 l/kg
Volumen específico (vapor)	120 l/kg
Entalpía en la fase líquida (h_l) a -15 °C	7.55 kcal/kg
Entalpía de calor latente (h_{lg}) a -15 °C	49.06 kcal/kg
Entalpía de la fase de vapor (h_g) a -15 °C	56.61 kcal/kg
Densidad a 30 °C (líquido)	1.1854 kg/l
Densidad a 30 °C (vapor)	37.769 gr/l

Valores de trabajo del R134a: Se han realizado comparaciones de parámetros de funcionamiento entre R12 y R134a, mismas que se detallan en la Tabla 3. Se ha visto que solamente con cambiar el gas el calor de condensación aumenta, se incrementa en menor grado el trabajo de compresión y el coeficiente de rendimiento es mejor. Sin embargo, al elevarse las presiones de succión y descarga el compresor estaría expuesto a un mayor esfuerzo. Al realizar modificaciones al sistema se han apreciado una mejor adaptación del R134a a las condiciones ideales de funcionamiento. Estas adaptaciones incluyen el reemplazo, adaptación y calibración de la válvula de expansión termostática y sustitución del aceite mineral por aceite sintético compatible. Dichos estudios demuestran la viabilidad de la adaptación, además de cumplir con la normativa y el considerable impacto ambiental (Gómez & Posso, 2009).

Tabla 3

Comparación de parámetros de funcionamiento entre R12 y R134a

	R12	R134a	R134a y modificaciones
Efecto refrigerante (KJ/kg)	140.201	181.201	180.663
Calor de condensación (KJ/kg)	169.359	214.286	214.645
Coeficiente de rendimiento	4.81	5.48	5.32
Trabajo de compresión (KJ/kg)	29.158	33.085	33.982

Presión de succión (psi)	16	24	15
Presión de descarga (psi)	110	115	105
Sobrecalentamiento en el evaporador (°C)	6.6	14.1	8.3
Temperatura de evaporación del refrigerante (°C)	-9.6	-3	-5.2

Nota. Tomado de (Gómez & Posso, 2009).

Fluido refrigerante R1234yf

Si bien es cierto el R134a, a su determinado momento fue una revolución, se debe tomar en cuenta que, debido a la creciente presión por abordar el problema del calentamiento global, la Directiva Europea de gases fluorados se ha enfocado en disminuir en un mínimo de 10 veces el GWP² para los nuevos refrigerantes (Papasavva & Andersen, 2011).

También se debe tomar en cuenta que bajo la regulación (EC) No. 842/2006 directiva 2006/40/EC, el R134a (con un GWP=1430) debió ser remplazado por nuevas alternativas en los nuevos modelos de automóvil que entraron al mercado en los países de la unión europea (UE) a partir de enero de 2011 (Koban & Herrmann, 2011). Se debe incluso recalcar que los principales aspirantes a remplazar al R134a fueron los refrigerantes naturales como el amoniaco, el CO₂ o mezclas de hidrocarburos (HC); así como los HFC no saturados (conocidos como hidrofourolefinas HFO) desarrollados por Honeywell y Dupont, en especial el R1234yf.

Figura 17

Fluido refrigerante R1234yf



Nota. Tomado de (Manresa, 2011).

Características del R1234yf: El refrigerante Tetrafluoropropeno $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$ (R1234yf) posee un mínimo potencial de calentamiento atmosférico ($\text{GWP}=4$), además su impacto en la capa de ozono es de cero. Es el principal sustituto del R134a en los sistemas de aire acondicionado automotriz y en varias aplicaciones cuya una inflamabilidad sea baja, ya que se puede necesitar medidas de seguridad adicionales mientras se lo use. Se debe evaluar previamente los riesgos. En comparación al R134a, su capacidad frigorífica es equivalente, las presiones de trabajo son muy similares, la eficiencia energética es superior o por lo menos igual, Entre sus principales propiedades se destaca también su estabilidad térmica en condiciones extremas, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Propiedades del R1234yf

Propiedad	R1234yf
Masa molar	114 gr/mol
Densidad vapor saturado a $-29.55\text{ }^\circ\text{C}$	5.98 kg/m ³
Punto ebullición a 1.013 bar	$-29.55\text{ }^\circ\text{C}$
Punto crítico	95 $^\circ\text{C}$
Límite de inflamabilidad	6.2 % -12.3 %
Temperatura de auto-ignición	405 $^\circ\text{C}$
ODP (Potencial Destrucción del Ozono)	0
GWP (Potencial Calentamiento Global)	4
Presión crítica	34 bar

Valores de trabajo R1234yf: En varias investigaciones se ha comparado la eficiencia del R134a y el R1234yf, en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, tanto de manera teórica como empírica. Se obtuvieron mayores eficiencias del R134a, estos estudios fueron desarrollados en bancos de ensayos, donde se simulan condiciones de funcionamiento del sistema de aire acondicionado del automóvil, por ejemplo, se obtuvieron COP y potencias frigoríficas considerablemente menores, aunque posteriormente se realizaron estudios teóricos con modificaciones del sistema y se llegó a la conclusión de que dichos valores se podrían igualar a los del R134a; también se pudieron observar menores diferencias en la capacidad frigorífica de una 4 % y en el COP de 5 % menores. En otro tipo de investigaciones se muestra un COP y una capacidad frigorífica menor de 2.7 % y 4.0 % respectivamente, también se

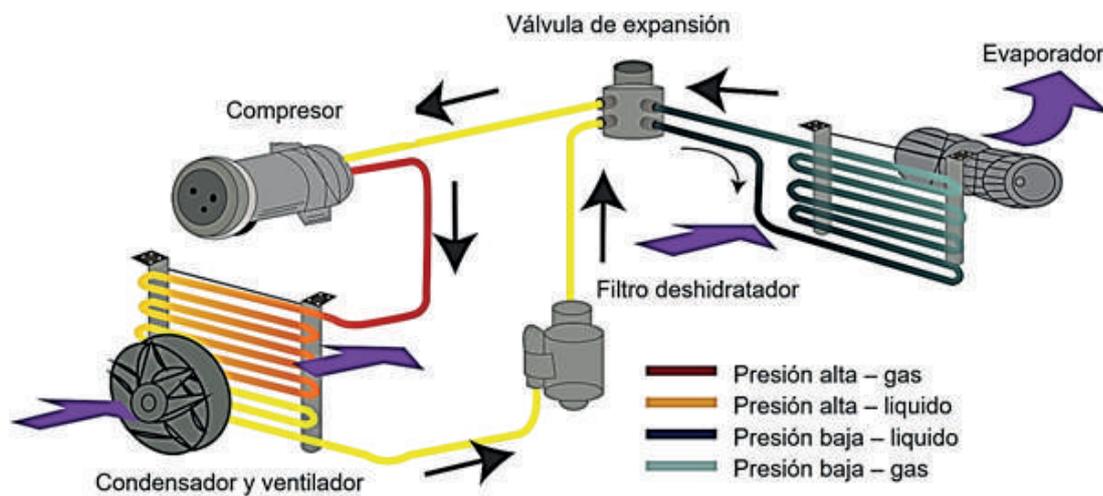
especifica que la temperatura de descarga y la cantidad de refrigerante es 6.5 °C y 10 % menor. Además, también se obtuvo una capacidad frigorífica, COP y eficiencia del compresor entre 3.4 - 13.7 %, 0.35 - 11.88 %, y 0 - 6.3%, respectivamente, y en el evaporador un coeficiente de transferencia global y una temperatura de descarga menor de entre 3 - 27 % y 6 - 15 °C, respectivamente (Mota et al., 2012).

Componentes de los sistemas de refrigeración automotriz

Como ya se mencionó anteriormente, el ciclo de refrigeración por compresión de vapor consta de componentes indispensables para su funcionamiento, como es el compresor, condensador, válvula o elemento expensor y el evaporador; sin embargo, el sistema de acondicionamiento de aire también cuenta con otros elementos importantes que influyen en el funcionamiento del mismo y otros componentes que mejoran su eficiencia. El sistema consta de componentes mecánicos y componentes eléctricos, como se especifica a continuación.

Figura 18

Componentes de los sistemas de refrigeración automotriz



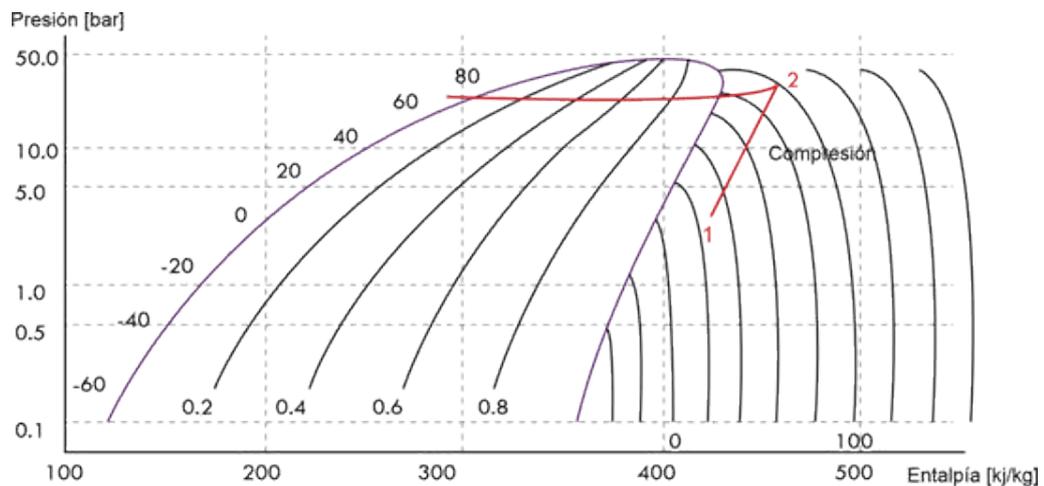
Nota. Tomado de (Manresa, 2011).

Compresor

El compresor es el elemento encargado de incrementar la presión, por ende, la temperatura y desplazar el fluido refrigerante por todo el sistema consta de dos líneas: una de alta presión y otra de succión. La etapa de compresión en un diagrama (presión - entalpía) se puede observar en la Figura 19.

Figura 19

Etapa de compresión



Nota. Tomado de (Ramírez, 2012).

Existen diversos tipos de compresores que se utilizan en sistemas de aire acondicionado automotriz, esto de acuerdo a la manera en la que generan el incremento de presión. A pesar de esto, sus componentes externos siempre serán similares, como se observa en la Figura 20 y 21, cabe mencionar que los compresores de A/C utilizados en el área automotriz son de tipo abierto, mismos que son de gran aporte para el sistema.

Figura 20

Compresor A/C para vehículos con MCI



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Figura 21

Compresor A/C para vehículos eléctricos

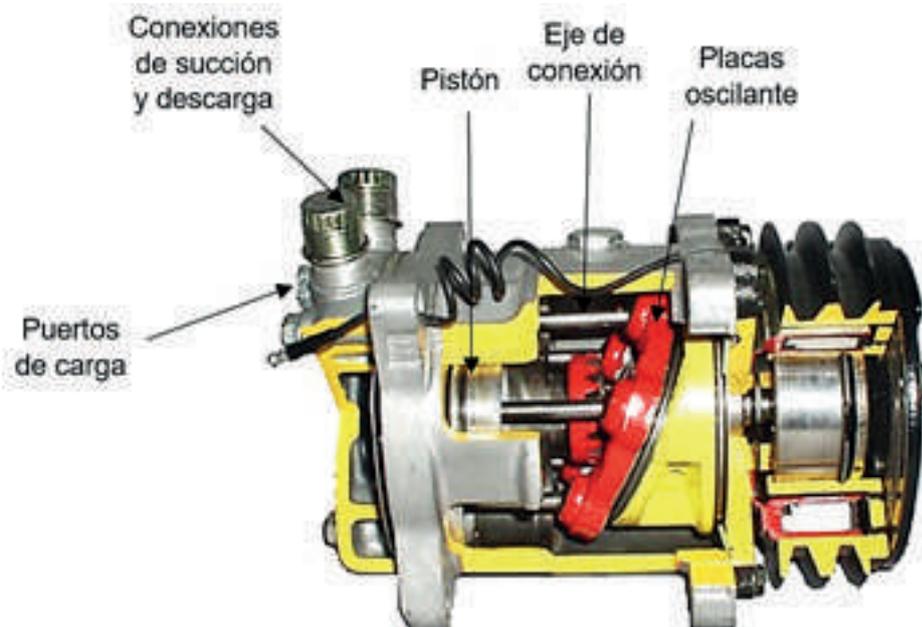


Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Tipos de compresores: Dentro de los compresores se puede encontrar de diferentes tipos: alternativos, de paletas y tipo scroll. Los compresores alternativos, como el de la Figura 22, transforman el movimiento rotativo en alternativo, están formados por cámaras de compresión cilíndricas y pistones que son impulsados por un plato giratorio, el movimiento rotatorio puede ser dado por el motor de combustión interna o bien por un motor eléctrico, en el caso de los vehículos que utilizan este tipo de impulsión.

Figura 22

Compresores alternativos



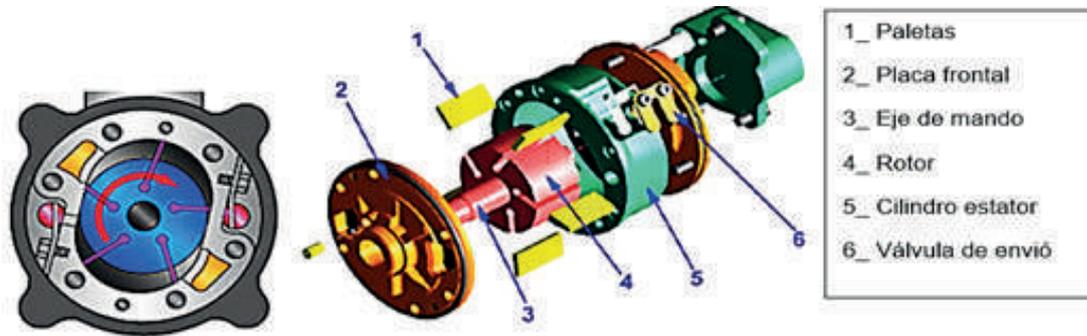
Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Cada pistón cumple doble función, la primera es absorber el fluido refrigerante mientras las lumbreras de succión están abiertas, conforme el pistón desciende hacia el punto muerto inferior la lumbrera de admisión se cierra, la etapa de compresión inicia y esta lumbrera se cierra completamente, a la vez, el pistón asciende hasta el punto muerto superior, en el instante en el cual el pistón corona el punto muerto superior, la lumbrera de salida se abre para permitir que el refrigerante se dirija hacia la línea de alta presión y de esa forma se cumpla el ciclo.

Los compresores de paletas como el de la Figura 23, el eje motor es excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor. El rotor gira gracias a la energía del motor desde la línea de baja presión, conforme el rotor gira las paletas arrastran el refrigerante hasta la cámara de trabajo, el rotor continúa el giro y este permite que el fluido se comprima hasta ser expulsado por la línea de alta presión.

Figura 23

Compresores de paletas



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Los compresores tipo scroll tienen una mayor capacidad de desplazamiento volumétrico, y un eficiente consumo de energía, lo que representa bajos costos de operación. El diseño de los compresores scroll, ofrece mejores aspectos técnicos sobre los compresores convencionales, ya que les permite operar con niveles muy bajos de ruido y vibración, esto se debe a que se conforman de un menor número de partes móviles, lo que los hace más compactos y ligeros en su peso.

Figura 24

Compresores tipo scroll



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Selección: La elección adecuada de un compresor de A/C de un vehículo se da mediante el dimensionamiento del área a refrigerar, el número de personas que puede transportar el automóvil y el espacio con el cual cuenta el comparti-

miento del motor para la implementación del compresor y accesorios. La conducción es el tipo de transferencia de calor por el cual se verifica el intercambio de energía, debido al impacto directo entre las moléculas. Si el calor fluye por conducción térmica se expresa con la ecuación (17).

$$Q = U A \Delta T \quad (17)$$

Donde:

Q = Corriente calorífica, velocidad a la que pasa el calor, en W .

U = Conductividad térmica del componente estructural, en $W/m^2 K$.

A = Área del componente estructural expuesto a la temperatura, en m^2 .

ΔT = Diferencia de temperatura ambiente entre el interior y exterior, en K .

También se debe tomar en cuenta el calor que ingresa al vehículo por efecto de la radiación solar a través de los vidrios del mismo, y esta denotado por la ecuación (18).

$$Q = R A \quad (18)$$

Donde:

R = Aportación del vidrio a latitud 0° (Ecuador) al medio día, $800 W/m^2 K$

A = Área del vidrio expuesta a la luz solar, en m^2

Mediante las ecuaciones de la Ley de Fourier se obtiene la carga térmica total que puede poseer el vehículo y la que debe ser desalojada, una vez obtenido el valor es recomendable incrementar el 10 % al valor calculado para evitar un sobre esfuerzo del compresor. En el caso de los compresores para vehículos con motor de combustión interna, es importante determinar el número de revoluciones por minuto (RPM) que se van a generar para poder seleccionar el equipo de una manera adecuada, esto según la ecuación (19).

$$d_1 N_1 = d_2 N_2 \quad (19)$$

Donde:

d_1 = Diámetro de la polea del cigüeñal

d_2 = Diámetro de la polea del compresor

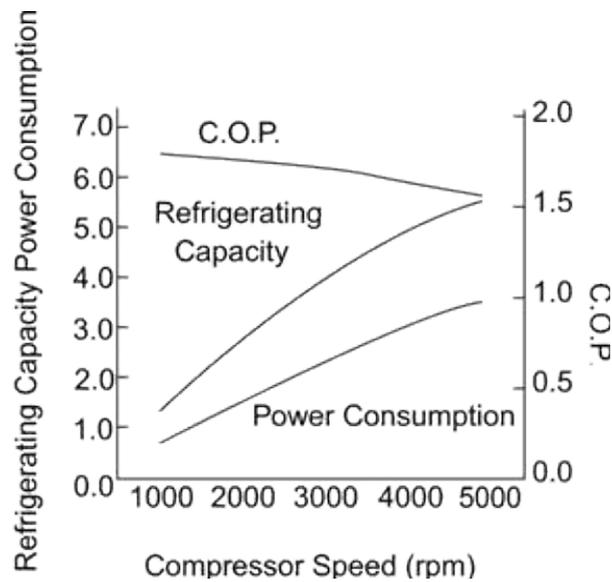
N_1 = RPM polea del motor (rango de trabajo normal de 2000 a 2500)

N_2 = RPM del compresor

Finalmente, se deben analizar los datos de rendimiento del compresor (ver Figura 25) que provee cada fabricante, y de esta forma elegir la opción idónea para la implementación según la capacidad frigorífica y la potencia consumida.

Figura 25

Rendimiento del compresor



Nota. Tomado de (Ramírez, 2012).

Lubricantes para compresores: El aceite lubricante para los compresores de aire acondicionado presenta características específicas que permiten que el aceite y el refrigerante se mezclen sin presentar reacciones nocivas para el sistema de A/C. Los fabricantes de compresores siempre especifican el tipo de aceite que se usa en cada modelo y deben elegirse siempre las opciones dadas por los mismos, un error común al momento de realizar un servicio es no usar el aceite estipulado por el fabricante, lo que puede provocar incompatibilidad con el refrigerante y componentes del sistema. En el caso de los compresores de vehículos eléctricos e híbridos (herméticos o semiherméticos) el aceite puede encontrarse en contacto con los devanados del motor eléctrico, por lo que debe tener buena compatibilidad, alta resistencia dieléctrica y propiedades térmicas estables.

Figura 26*Lubricantes para compresores*

Nota. Adaptado de (Yovera, 2020).

El lubricante debe permanecer en el compresor, sin embargo, es inevitable que pocas cantidades sean arrastradas por el refrigerante a la salida del compresor y así circulen a través de todo el circuito, es por eso que el aceite debe resistir altas, bajas temperaturas y ser lo suficientemente soluble en el refrigerante para que pueda retornar al compresor y que este no se quede sin la carga adecuada de aceite lo que generaría una falla mecánica (Yovera, 2020).

Para ser un lubricante adecuado debe presentar características como: bajo punto de precipitación, buena estabilidad térmica, buena estabilidad química, bajo punto de fluencia, buena solubilidad, bajo punto de congelación, bajo índice de viscosidad, alto punto de inflamación, alto punto de combustión y alta resistencia eléctrica. La Tabla 5 presenta una guía del uso del aceite según el tipo de refrigerante, recalcando que se debe seguir de preferencia lo dictado por el fabricante del compresor. En el caso de sustituir componentes se debe completar aceite según el elemento reemplazado como recomendación según lo mostrado en la Tabla 6.

Tabla 5

Guía del uso del aceite según el tipo de refrigerante

Refrigerante	LUBRICANTE APROPIADO				
	Mineral (MO)	Alquilbenceno (AB)	Polioléster (POE)	Polialfaolefínico (PAO)	Polialquilenglicol (PAG)
CFC-11	OK	X	L	L	X
CFC-12	OK	OK	L	L	X
R-502	OK	OK	L	L	X
HCFC-22	OK	OK	L	L	X
HFO-1234yf	X	X	OK	X	OK
HFC-134 a	X	X	OK	X	L
HFC- 404 A	X	X	OK	X	L
HFC-407 C	X	X	OK	X	L
HFC-410 A	X	X	OK	X	L
HFC-507 A	X	X	OK	X	L
HC-600 a	OK	L	OK	OK	L
HC-290	OK	L	OK	OK	L
R-717(NH3)	OK	L	X	OK	L
R-744 (CO2)	L	L	OK	L	OK

Nota. Las leyendas indicadas se refieren a: OK (buen rendimiento), X (no aconsejable) y L (funcionamiento con limitaciones).

Tabla 6

Cantidades de aceite en función del componente sustituido

Elementos	Mínimo	Máximo
Condensador	20 gr	30 gr
Evaporador	40 gr	60 gr
Filtro	10 gr	20 gr

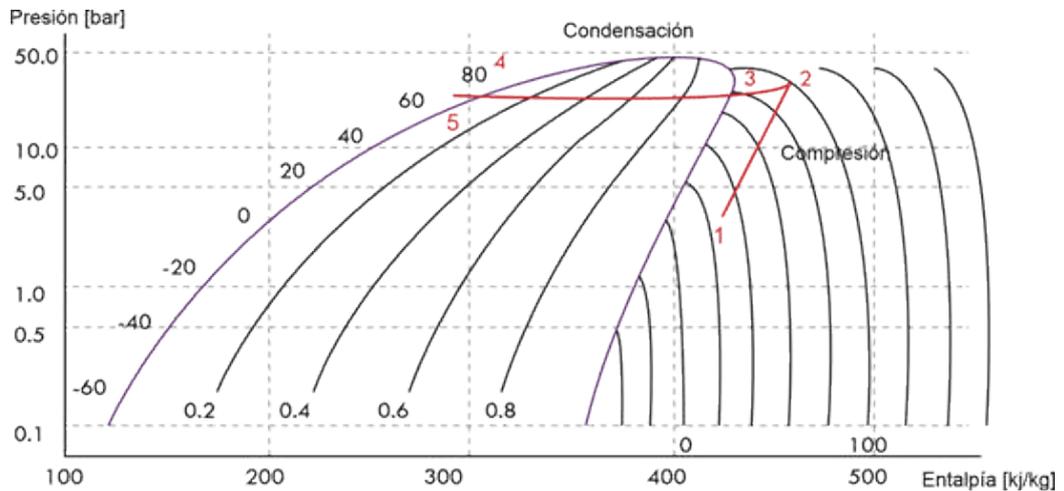
Condensador

Es un componente esencial para el funcionamiento adecuado de un sistema de A/C, el condensador técnicamente es un intercambiador de calor, tiene la capacidad de enfriar el gas a través de aletas capaces de transformar su temperatura neutra a fría, esto permite que el fluido (gas o líquido) que se utiliza para el trabajo sea capaz de transformarse (condensación). La etapa de con-

densación en un diagrama (presión - entalpía) se puede observar en la Figura 27.

Figura 27

Etapa de condensación

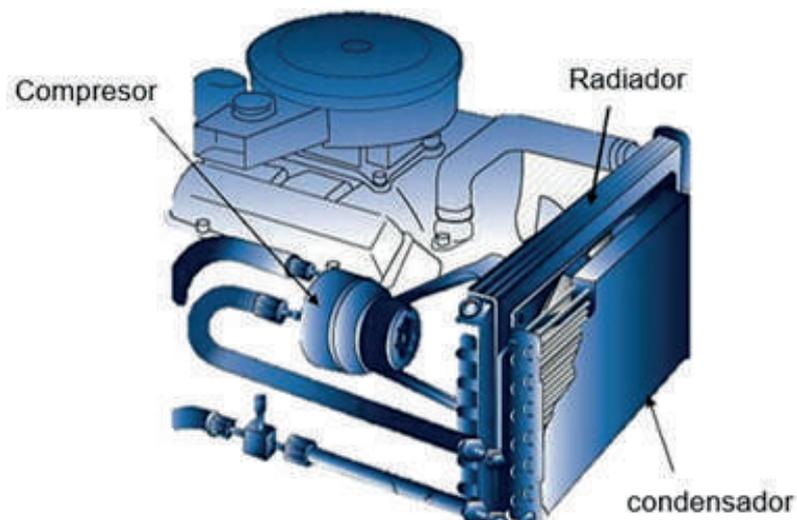


Nota. Tomado de (Ramírez, 2012).

La operación del condensador es recibir el refrigerante (gas) que viene del compresor, el mismo que posee aletas que están sometidas a un flujo de aire frío, el cual permite la condensación que transforma el gas a líquido, optimizando la refrigeración del sistema (Salinas, 2011).

Figura 28

Condensador



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

El condensador se encuentra ubicado en la parte delantera del vehículo, delante del radiador del motor como se observa en la Figura 28. Tiene por función evacuar el calor absorbido por el fluido refrigerante durante las fases de evaporación y compresión. En el exterior del condensador se tiene el aire que será el elemento que enfríe y en el interior el refrigerante o elemento a enfriar. El calor cedido en el condensador es igual a la suma del calor absorbido en el evaporador y la energía (calor) absorbida por el refrigerante durante la compresión. El aire que atraviesa el condensador se calienta al entrar en contacto con el intercambiador, por intercambio térmico con el fluido (Salinas, 2011).

Tipos de condensadores: Actualmente se pueden encontrar diferentes tipos de tecnologías aplicadas a los condensadores, entre las cuales se puede destacar condensadores de serpentín, de tubos o aletas y de flujo paralelo. El condensador de serpentín consta de un tubo plano cuya estructura está dividida en tres o cuatro partes, con el objetivo de generar un mismo número de canales paralelos; este tubo es conocido como serpentín por su forma la cual consiste en intercalar las aletas en acordeón. Se puede tener el serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio, los mismos que a través del proceso de soldadura conforman el condensador.

Figura 29

Condensador de serpentín

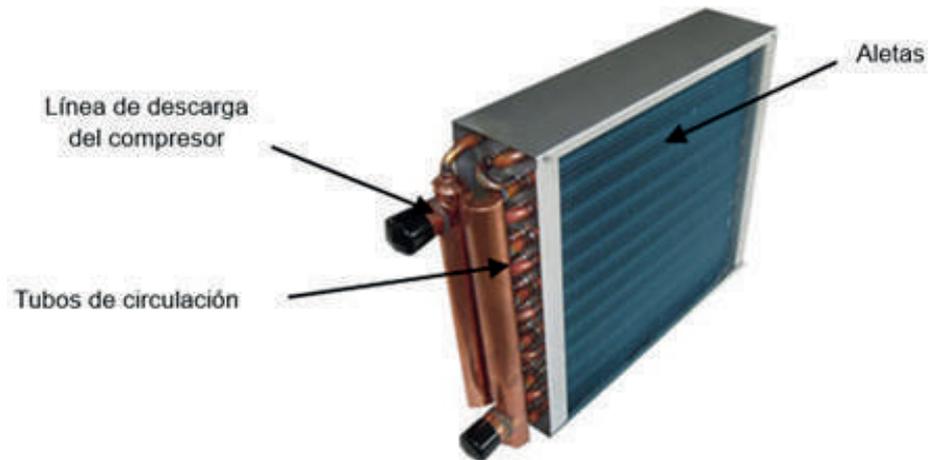


Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

El condensador de tubo o aletas, consta de tubos cilíndricos que están distribuidos paralelamente en conjuntos de aletas, estos son expandidos para asegurar un contacto eficaz, este condensador forma uno o varios tubos de serpentín en los cuales circula el fluido.

Figura 30

Condensador de tubo o aletas

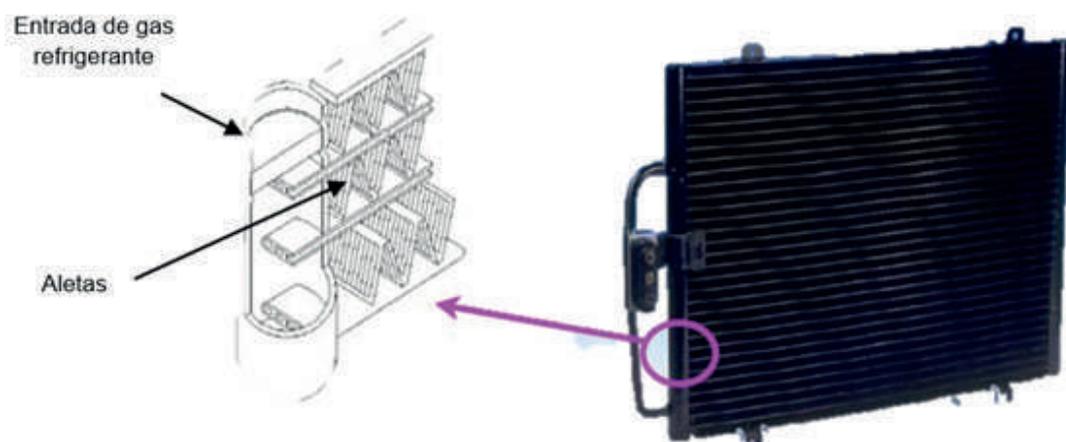


Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Existe una diversidad en formas y diseños que dependen de los requerimientos del automóvil, siempre que se tome en consideración el tipo de fluido a ser utilizado. Por otro lado, el condensador de flujo paralelo está constituido por tubos planos que desembocan en las dos extremidades denominadas tubos colectores, los cuales están divididos en varios tramos por medio de separadores que permiten que el fluido pase por el intercambiador.

Figura 31

Condensador de flujo paralelo



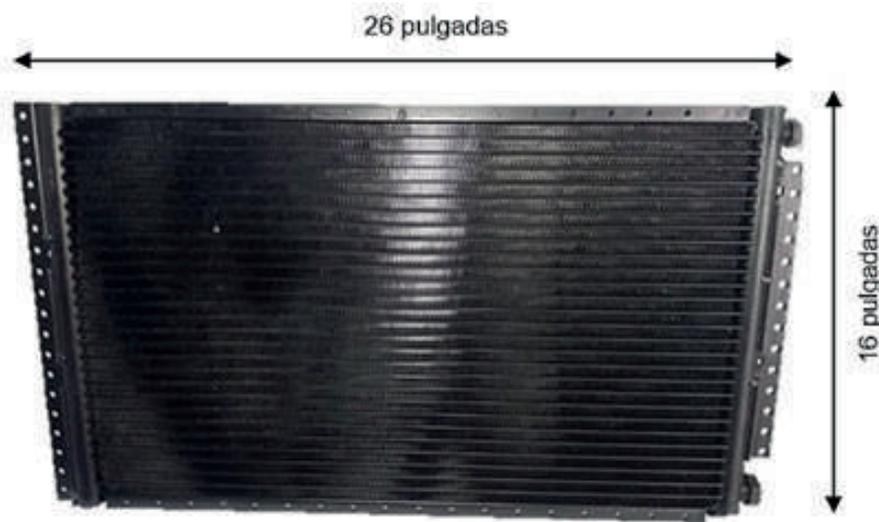
Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Dimensionamiento: El condensador ha venido evolucionando con lo largo de los años, hasta adaptarse a las diversas modificaciones de los automóviles

actuales, siendo necesario un sistema de aire de impacto producido por el movimiento del vehículo, es importante recalcar que este está compuesto por materiales de aluminio. Las dimensiones actualmente son estandarizadas por los fabricantes llegando a esta ser de un tamaño uniforme y compacto, sin añadir demasiado peso extra al vehículo (Llorente, 2021).

Figura 32

Dimensiones de un condensador universal



Nota. Tomado de (Llorente, 2021).

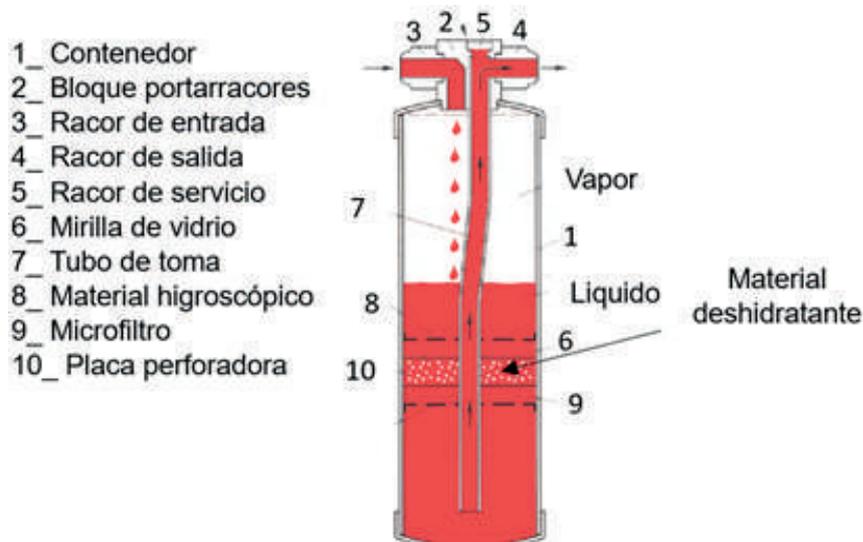
Una forma estándar de las dimensiones de un condensador es la rectangular, variando el modelo del automóvil en su tamaño, por lo general estas mediciones varían por 10 pulgadas, por ejemplo: las dimensiones de un condensador universal son de 16 pulgadas de alto y 26 pulgadas de ancho, con un espesor de 0.79 pulgadas, es así que la altura puede variar entre la proporción del compresor y del modelo del vehículo. En la industria automotriz es necesario proporcionar un equipo en óptimas condiciones que pueda cubrir las necesidades de las cuales cumple su sistema, ahora bien, existen diversos tamaños y proporciones de condensadores, cada fabricante utiliza el tamaño que pueda favorecer al vehículo, por este motivo existen diferentes tamaños y diseños, los cuales cubren la necesidad de cada sistema (Ocampo, 2021).

Filtro deshidratador

Es un componente que protege el circuito de aire acondicionado, se localiza entre la salida del condensador y la válvula de expansión. Cumple diferentes funciones como son: retener la humedad y los contaminantes del sistema (durante la vida útil del filtro deshidratante), finalizar y asegurar la condensación del líquido, compensar las variaciones de volumen del líquido, y asegurar el retorno de aceite al compresor.

Figura 33

Filtro deshidratador



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

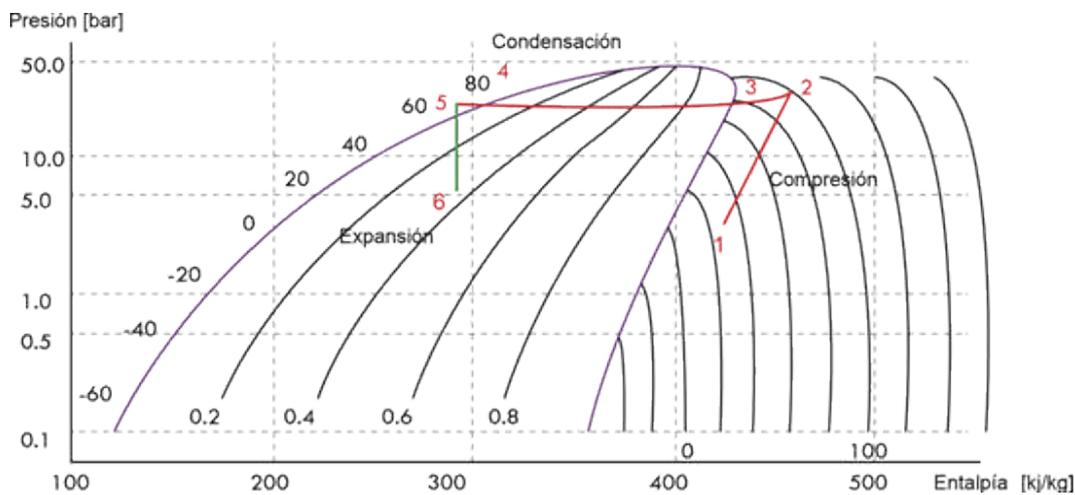
El filtro deshidratante es un depósito de fluido frigorífico en estado líquido, contiene un desecante que sirve para retener el agua que pudiera circular en el circuito de climatización, presenta también filtros para retener posibles impurezas. La sustitución periódica del filtro previene fallos graves del sistema y por tanto la sustitución costosa de otros componentes en el sistema de aire acondicionado; debe sustituirse el filtro siempre que se abra el circuito (Ramírez, 2012).

Elemento expensor

La válvula de expansión es un elemento expensor que se encarga de controlar el paso de refrigerante a través de la compresión o la expansión en función de la presión requerida por el sistema de aire acondicionado. Esta presión es la que enfría el refrigerante al circular a través de las bobinas del evaporador. La etapa de expansión en un diagrama (presión - entalpia) se puede observar en la Figura 34.

Figura 34

Etapa de expansión



Nota. Tomado de (Ramírez, 2012).

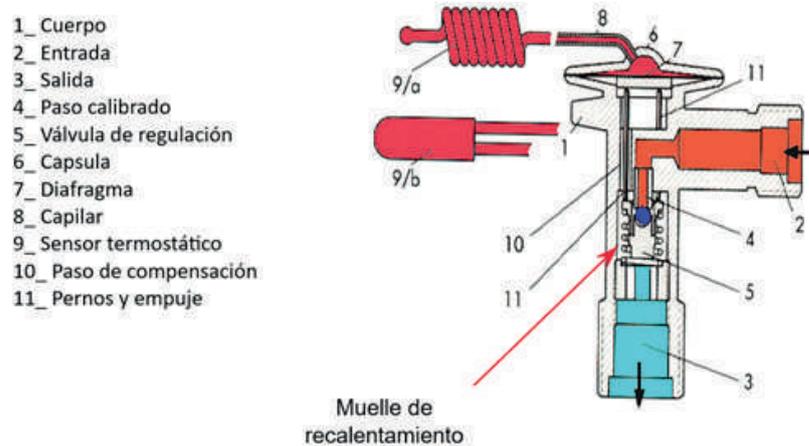
Este elemento es el encargado de controlar el flujo de refrigerante mediante procesos de compresión y expansión, según la presión que necesite el sistema de A/C para favorecer la vaporización del refrigerante. La válvula de expansión es el punto en el cual se divide el circuito de alta y baja presión, su misión es precisamente provocar una variación brusca de presión del fluido que llega en estado líquido y de esta manera iniciar el proceso de cambio de estado (Formauto, 2004). Si los vehículos no contaran con esta válvula de expansión en su sistema de aire acondicionado, este tan solo podría introducir aire, pero no tendría ningún efecto en la temperatura que proporciona.

Tipos de elementos expansores: Se puede encontrar de diferentes tipos de válvulas de expansión: válvula en L o 90°, válvula en bloque o en H y válvula tipo OT. La válvula en L o 90°, realiza la función de expansión propiamente dicha, es decir la reducción de la presión mediante el estrangulamiento forma-

do por el orificio calibrado. La función de regulación del flujo del refrigerante se efectúa mediante la válvula dosificadora como se observa en la Figura 35.

Figura 35

Válvula en L o 90°

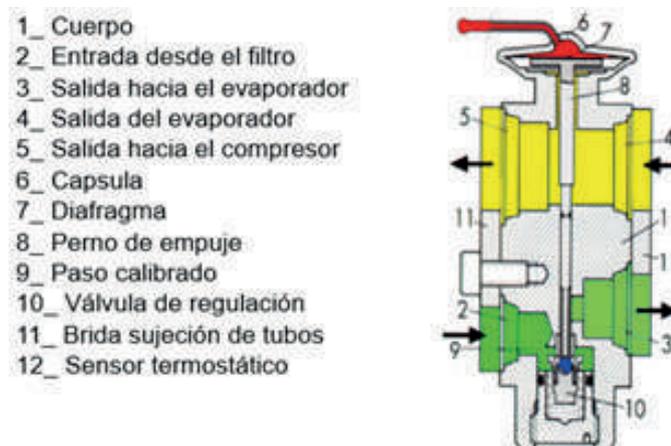


Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

La válvula en bloque o en H como la de la Figura 36, ha sido concebida de manera que permita dos pasos del refrigerante. El primer paso lo realiza el refrigerante procedente del condensador (a través del filtro) y entra en el evaporador, tras haber superado el estrangulamiento y la válvula de regulación de flujo. El segundo paso es el del refrigerante que sale del evaporador y se dirige al compresor; a lo largo del trayecto incide directamente con el sensor termostático y actúa en la base del diafragma (Formauto, 2004).

Figura 36

Válvula en bloque o en H

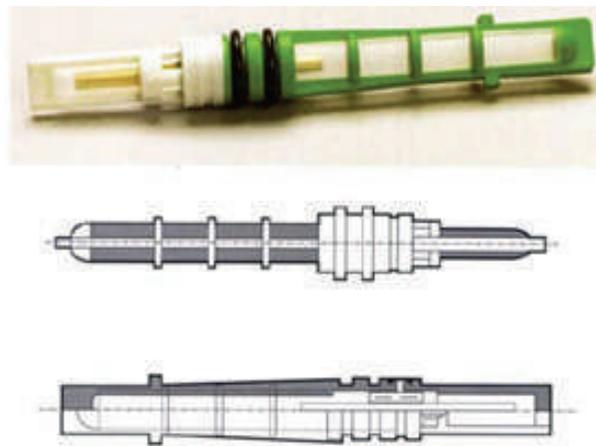


Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

En ciertos circuitos de aire acondicionado, la fase de expansión se lleva a cabo mediante el denominado Orificio Calibrado o Válvula OT. La válvula realiza la misma función que la válvula de expansión termostática, con la salvedad que con la válvula OT no habrá regulación del caudal de fluido refrigerante. Además, existen modificaciones en el circuito debido a que se tiene que colocar una botella o acumulador en la salida del evaporador para evitar la entrada de líquido en el compresor (Formauto, 2004).

Figura 37

Válvula tipo OT



Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

Selección: Una válvula de expansión debe ser seleccionada con base en importantes criterios de selección del circuito de aire acondicionado del vehículo, como son: caída de presión a través de la válvula, igualación de presión interna o externa, refrigerante, capacidad del evaporador, presión de evaporación y presión de condensación (Valeo, 2017). Además, se deberá tener en consideración el fluido refrigerante a utilizar, mediante un código estampado en la válvula: N = R134a, X = R22, etc.

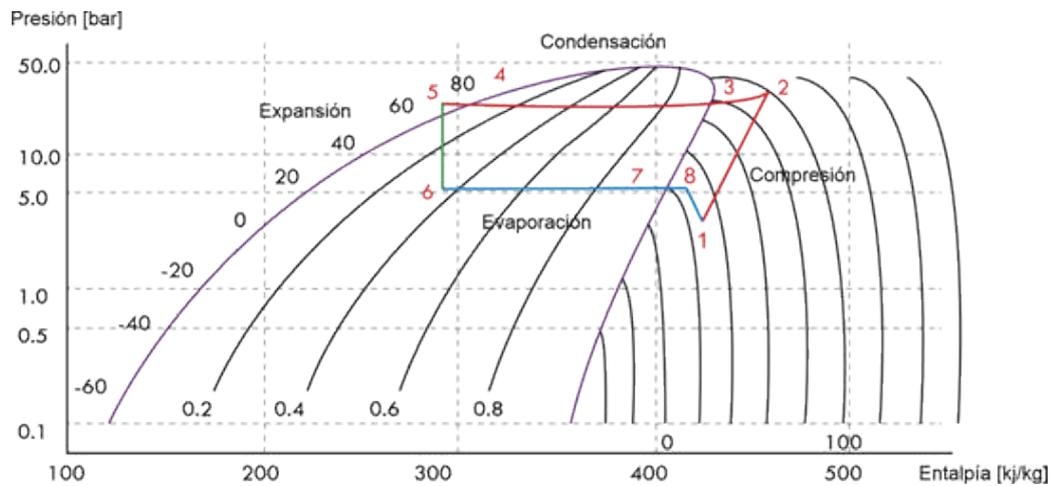
Evaporador

Es uno de los componentes más importantes del sistema de aire acondicionado, ya que es el encargado de lograr el confort que requieren los pasajeros en un vehículo; su función principal es la de absorber el calor que aparece en los días calurosos en el interior del vehículo. Básicamente es un intercambiador

de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante, su nombre proviene del cambio de estado sufrido por el refrigerante al recibir esta energía, luego de una brusca expansión que reduce su temperatura. Durante el proceso de evaporación, el fluido pasa del estado líquido al gaseoso, esta etapa se la puede observar en la Figura 38.

Figura 38

Etapa de evaporación



Nota. Tomado de (Ramírez, 2012).

Figura 39

Evaporador



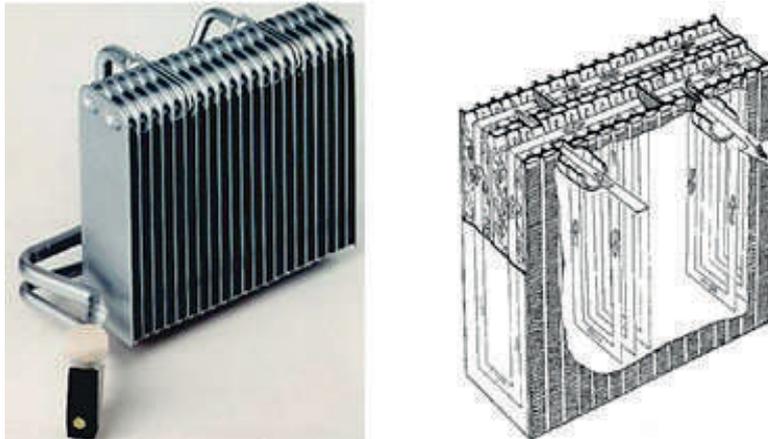
Nota. Tomado de (Meneses, 2018).

En el evaporador del aire acondicionado suelen acumularse muchos elementos no deseados que llegan al interior del vehículo a través del sistema de ventilación. Estos son bacterias, hongos y microorganismos que se multiplican rápidamente en un ambiente tan húmedo y oscuro que a la larga provocan molestias, para evitar esto, es necesario realizar una limpieza y desinfección periódica del sistema de A/C.

Tipos de evaporadores: En general existen varios tipos de evaporadores, como son: según como estén contruidos, según como se comporte y circule el refrigerante, y según el método de circulación del aire. De acuerdo a su construcción puede observarse evaporadores en los que suelen utilizarse tubos lisos provistos de aletas que permiten aumentar la superficie de transmisión. Según como se comporte y circule el refrigerante, todo dependerá del líquido refrigerante que penetra en el evaporador y este se convertirá completamente en vapor. Y según el método de circulación del aire, donde hay que procurar que el aire que circula en el interior de la cámara o recinto que se desea refrigerar, lo haga de forma adecuada, ya que su velocidad es esencial en los intercambios de calor entre el ambiente, los productos y el evaporador (Valeo, 2017).

Figura 40

Tipos de evaporadores



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

Cañerías y ductos

Las cañerías y los ductos de aire acondicionado son componentes del sistema que se encargan de repartir el aire tratado hacia los espacios acondicionados del vehículo, además de servir como interconexión entre los componentes del circuito. Los materiales más comunes para la fabricación son materiales aislantes, como el polietileno expandido, compuestos de materiales metálicos, acero galvanizado y compuestos de materiales termoplásticos. La presión del aire necesaria para vencer la fricción en un conducto es la que determina el gasto de energía del ventilador (Ramírez, 2012).

Tipos de cañerías y ductos: Los ductos se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo del sistema, estos pueden ser ductos de: baja presión (hasta 70 Pa), media presión (desde 70 a 3000 Pa) y alta presión (más de 3000 Pa). En relación a su función, los conductos reciben el mismo nombre que el aire que transportan, pueden ser rígidos o flexibles.

Figura 41

Cañerías y ductos



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

Presostato

Dicho elemento tiene como principal finalidad la de proteger al equipo de posibles roturas mecánicas debido a falta de presión o exceso de la misma. Existe en el mercado varios tipos de presostatos: presostato de baja, presostato de alta y presostato de tres funciones. Se deberá elegir uno de los mencionados en función del requerimiento del sistema de aire acondicionado y sus componentes. Se encuentra en la línea de alta presión entre el condensador y la vál-

vula de expansión. En el vehículo, se sitúa en el 90% de los casos sobre el filtro deshidratante o en las canalizaciones de alta presión (HP).

Figura 42

Presostato



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

El presostato controla el nivel de presión de alta del circuito de A/C, activa o desactiva el compresor de acuerdo con dos límites de presión. Un circuito adicional controla el ventilador de refrigeración, asegura el proceso de condensación mediante el paso del flujo de aire a través del condensador.

Termostato

La principal finalidad del termostato es la de evitar que se produzca hielo en el evaporador puesto que si se diera dicha circunstancia obstruirá el evaporador y por tanto el paso de líquido refrigerante, para ello abre y cierra el circuito eléctrico del compresor.

Figura 43

Termostato



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

Tipos de termostatos: Por un lado, se tiene un termostato mecánico, que funciona igual que un interruptor de paso de corriente, pero en este caso es gobernado por la temperatura del evaporador; esto quiere decir que permite el paso de corriente hacia el compresor antes de que la temperatura del evaporador llegue a su nivel mínimo, esta circunstancia provocaría la formación de hielo y en consecuencia una obstrucción del circuito. Al bajar la temperatura en exceso, el termocontacto se abre y deja de alimentar al presostato y por tanto al relé del compresor (Formauto, 2004).

Figura 44

Termostato mecánico



Nota. Tomado de (Formauto, 2004).

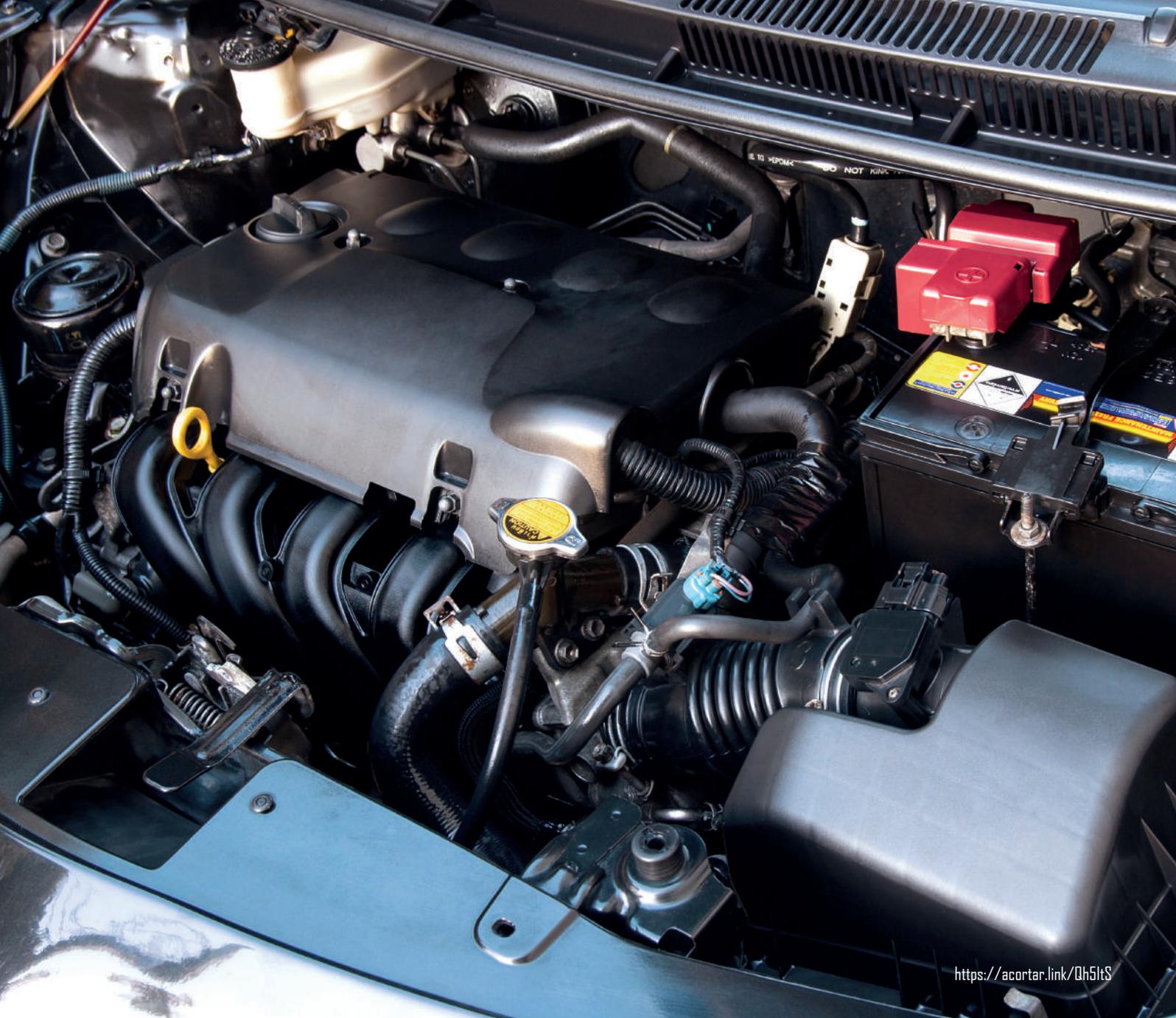
También se puede encontrar en un sistema de A/C con un termostato eléctrico, que funciona igual que una sonda de temperatura y su finalidad es la de informar a la unidad central de aire acondicionado, en todo momento, de la temperatura existente en el evaporador.

Figura 45

Termostato eléctrico



Nota. Tomado de (Formauto, 2004).



<https://acortar.link/Dh5ltS>

CAPÍTULO III

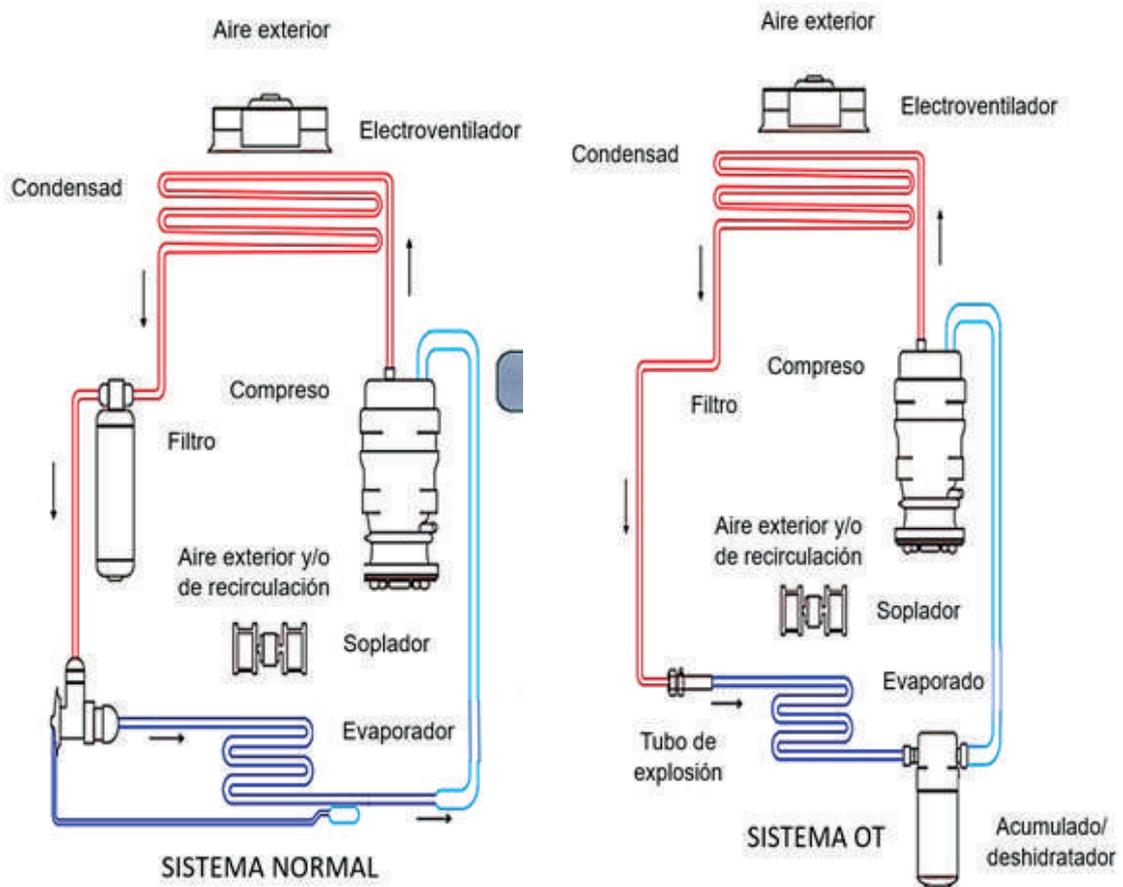
Diagnóstico y
mantenimiento del sistema
de aire acondicionado

Inspección preliminar del sistema

Realizar el diagnóstico de problemas en el sistema de aire acondicionado conlleva seguir una serie de pasos importantes que permitirán identificar las fallas y aplicar las soluciones adecuadas y pertinentes en diferentes componentes del sistema. Como ya se explicó en el capítulo anterior, el sistema de aire acondicionado funciona mediante el ciclo de refrigeración por compresión de vapor; por ende, es importante en un inicio identificar el tipo de ensamblaje que se puede tener del sistema de aire acondicionado (ver Figura 46), ya que esto servirá para poder realizar un análisis adecuado.

Figura 46

Tipos de ensamblaje A/C



El ciclo de refrigeración posee 4 componentes principales como son: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador; los cuales estarán ubicados siempre en el mismo orden, sin embargo, puede existir una ligera diferencia en la implementación del filtro deshidratador, ya que puede estar

ubicado tanto en la línea de alta presión como en la de baja presión. Si el filtro es colocado en la línea de alta presión (entre el condensador y el elemento expansor) cumple también la función de recibidor de líquido, de tal manera que garantiza el ingreso de líquido refrigerante hacia la válvula de expansión; mientras que si el filtro está colocado en la línea de baja presión (entre el evaporador y el compresor) cumple también la función de acumulador de succión al impedir que ingrese refrigerante en estado líquido al compresor. Es importante realizar una inspección exhaustiva que permita comprobar el estado de cada uno de los componentes mecánicos y eléctricos de forma que se eviten las fugas o liberación de gas por problemas de algún componente.

Inspección de juntas

Un sistema de aire acondicionado debe ser ensamblado con componentes nuevos o en perfecto estado. Las uniones entre cañerías y ductos no deben presentar fisuras o ensamblajes erróneos que permitan la salida del gas refrigerante hacia el ambiente. Entre las tuberías y los componentes que conforman el sistema de A/C existen diferentes tipos de uniones, las cuales pueden ser roscadas o de sujeción por vinchas, en todas existen juntas tóricas u o´rings que impiden las fugas del fluido refrigerante en cada una de estas uniones, las cuales no deben presentar roturas, fisuras, deformidades, resequedad o estar aplanadas, ya que esto permitiría la fuga del refrigerante. Los o´rings deben ser fabricados de goma de nitrilo hidrogenado, debido a que deben soportar temperaturas de entre -50 y 140 °C y una presión máxima de 500 psi (ver Figura 47), en las Figuras 47 a la 53, se observan las condiciones en las que se puede determinar un o´ring en mal estado.

Figura 47

Estado óptimo de un o'ring



Nota. Tomado de (Demir, 2021).

Figura 48

O'ring con daño por abrasión y por degradación química



Nota. La figura muestra un daño por abrasión (izquierda) y un daño por degradación química (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Figura 49

O'ring con daño por hinchazón química y por compresión



Nota. La figura muestra un daño de por hinchazón química (izquierda) y un daño por compresión (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Figura 50

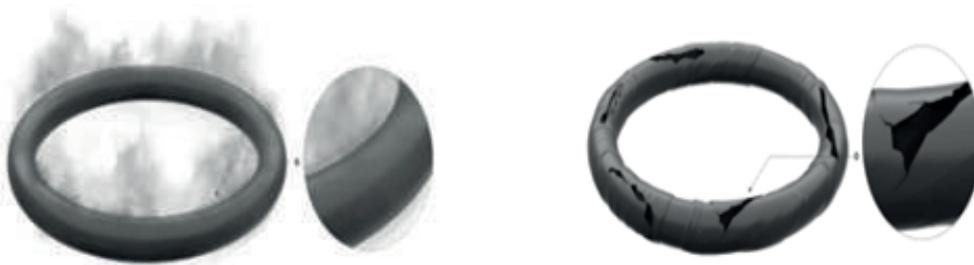
O' ring con daño por mala instalación y por extrusión - mordisqueado



Nota. La figura muestra un daño por mala instalación (izquierda) y un daño por extrusión - mordisqueado (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Figura 51

O' ring con daño por desgasificación y por descompresión rápida de gases



Nota. La figura muestra un daño por desgasificación (izquierda) y por descompresión rápida de gases (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Figura 52

O' ring con daño por fallo en espiral y por degradación térmica



Nota. La figura muestra un daño por fallo en espiral (izquierda) y por degradación térmica (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Figura 53

O'ring con daño por extrusión térmica y por degradación UV



Nota. La figura muestra un daño por extrusión térmica (izquierda) y por degradación UV (derecha). Tomado de (Zeng et al., 2021).

Vaciado del circuito

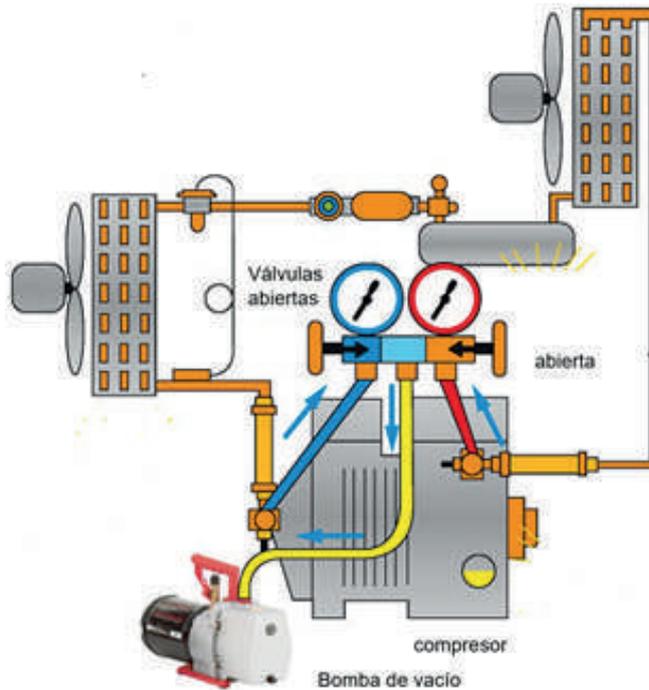
El vaciado del circuito de refrigeración se lo podrá realizar una vez que se haya verificado y confirmado que no existen fugas, y el sistema se encuentra totalmente hermético. Se realiza vacío para extraer el aire, partículas extrañas o suciedad que puedan existir en el sistema de aire acondicionado, se puede decir que es un proceso crítico y que nunca se puede pasar por alto, ya que la presencia de aire o suciedad en la tubería provoca obturaciones o taponamientos en la válvula de expansión, lo que generaría el exceso de presión de la línea de alta presión y un vacío en la línea de baja presión.

Proceso de vaciado

El proceso se realiza con los manómetros de refrigeración, los cuales deben estar conectados en las válvulas de servicio, se utiliza una bomba de vacío que debe estar conectada en la cañería de servicio de los manómetros como se observa en la Figura 54. Para encender la bomba de vacío se debe abrir en primer lugar las válvulas de los manómetros, lo que se va a observar es que el manómetro de alta presión dará una indicación por debajo de 0 mientras que el manómetro de baja presión va a marcar un valor en in Hg o cm Hg (ver Figura 55).

Figura 54

Conexión para proceso de vacío



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

Figura 55

Medición de vacío en los manómetros



Nota. La figura muestra la indicación en el manómetro de alta presión (izquierda) y manómetro de baja presión (derecha). Tomado de (Ramírez, 2012).

El proceso de vaciado del circuito de refrigeración debe durar al menos 30 minutos para garantizar que la humedad y la suciedad han sido retiradas del sistema; es importante reconocer que si al momento de encender la bomba de vacío al término de los primeros 5 minutos la presión no ha descendido por debajo de las 10 in Hg, es evidente que existe una fuga que impide que el sis-

tema de refrigeración se encuentre hermético, lo que se traduce en una fuga, la cual debe ser localizada y corregida. La presión de vacío debe estar en el rango de las 16 a 20 in Hg de acuerdo a la capacidad de la bomba y altura a la que se realice el procedimiento. Finalizado el proceso se debe cerrar las llaves de los manómetros antes de apagar la bomba de vacío para evitar el retorno del aire hacia el circuito. Antes de continuar con la carga del fluido refrigerante, hay que dejar el sistema cerrado por al menos 20 minutos y observar que la presión marcada en los sistemas no regrese a 0, si se da este caso se deben verificar posibles fugas corregirlas y repetir el proceso de vacío.

Carga del circuito

Precauciones y medidas de seguridad

El proceso de carga del fluido refrigerante se realiza después de haber comprobado que no existan fugas en el sistema y vaciado el circuito adecuadamente. Pero antes de iniciar la carga es muy importante seguir algunas precauciones, como identificar el gas refrigerante para saber cuándo existe una fuga, y de esta forma evitar el contacto directo con el mismo, en especial el contacto a los ojos; el refrigerante tiene un olor a aroma dulce similar al éter y su apariencia es transparente similar al GLP. En caso de tener contacto con los ojos puede causar irritación, al exponer directamente la piel puede ocasionar quemaduras por congelamiento, la inhalación puede provocar mareos y dolor de cabeza, para evitar dichas situaciones se deben utilizar los equipos de protección personal (EPP), además se debe conocer las respectivas medidas de seguridad en el proceso como se indica en las Figuras 56 a la 59.

Figura 56

Gafas



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Figura 57

Uso de guantes aislantes



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Figura 58

Uso de ropa de seguridad



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Figura 59

No levantar un cilindro de refrigerante por la válvula



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Herramientas recomendadas

En la actualidad, se recomienda un equipo que no solo permita recargar el refrigerante sino también reciclarlo para evitar fugas, lo que provoca daño al medio ambiente (ver Figura 61), sin embargo, se puede contar con un equipamiento básico con un juego de manómetros de refrigeración (ver Figura 62), acoples para la conexión en las válvulas automotrices, tanque de refrigerante y bomba de vacío (ver Figura 60).

Figura 60

Bomba de vacío



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Figura 61

Máquina automática de carga de A/C



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Figura 62

Manómetros de refrigeración



Nota. Tomado de (Hinkin, 2008).

Procedimiento de carga

Carga por peso: El procedimiento de carga por peso es uno de los más típicos en el mundo automotriz y se basa en los parámetros establecidos por el fabricante, comprende los pasos indicados a continuación:

- a. Conectar los manómetros de refrigeración.
- b. Realizar la comprobación de fugas.
- c. Realizar un vacío de al menos 20 minutos.
- d. Introducir por la línea de alta entre 400 y 500 gr de refrigerante.
- e. Encender el motor y activar el sistema de aire acondicionado.
- f. Por la línea de baja completar el líquido refrigerante con la cantidad dada por lo fabricantes del vehículo.

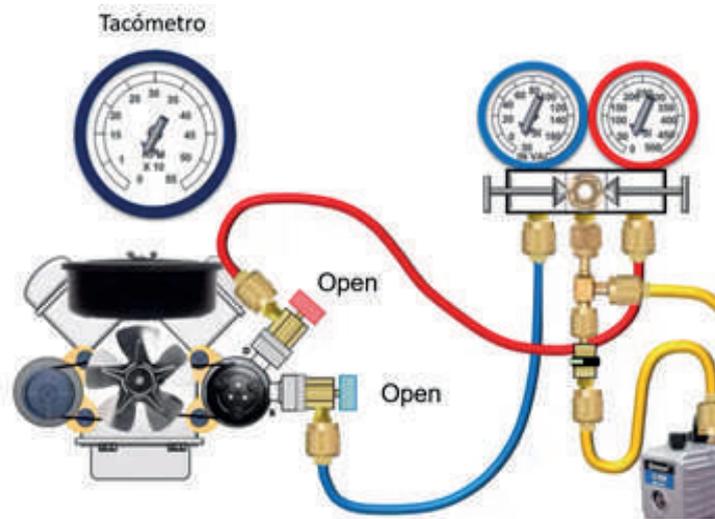
Nota: La carga de refrigerante por la línea de baja debe darse de forma progresiva y observando que no se congele la tubería de baja.

Carga por presión: El procedimiento de carga por presión deberá ser utilizado de acuerdo al diseño de un sistema de aire acondicionado personalizado o cuando no se tengan los datos exactos de la cantidad del refrigerante dada por el fabricante del vehículo, y comprende los pasos indicados a continuación:

- a. Conectar los manómetros de refrigeración en las válvulas de servicio de alta y baja presión (ver Figura 63).
- b. Realizar el proceso de comprobación de fugas, si el sistema es nuevo o se va a realizar la carga en un sistema que no ha sido utilizado y se encuentre sin refrigerante, es importante realizar el proceso de comprobación con un gas recomendado para crear atmósferas inertes protectoras o aislante como el nitrógeno, por ejemplo.
- c. Una vez comprobado que no existen fugas en el sistema es importante realizar vacío de por lo menos 20 minutos.

Figura 63

Conexión de los manómetros



Nota. Tomado de (Valeo, 2017).

- d. Purgar la línea de carga y administrar refrigerante por líquido, si la carga se realiza por la línea de alta hay que revisar el nivel de presión por el manómetro de baja, hasta que la presión este en el rango de 70 a 80 psi (4.9 a 5.5 bar) como se observa en la Figura 64.

Figura 64

Manómetro de baja presión - rango de 70 a 80 psi



- e. Al llegar a la presión indicada en la Figura 64, cerrar la válvula y esperar a que las presiones en los manómetros se igualen.

Figura 65

Manómetro de baja presión 70 psi, alta presión 70 psi



- f. Encender el vehículo, dejarlo en ralentí y activar el sistema de aire acondicionado.
- g. Observar las presiones que se obtienen en el sistema y completar refrigerante por la línea de baja hasta llegar en la línea de alta a los 200 psi y en la línea de baja a 35 psi (ver Figura 66).

Figura 66

Manómetro de baja presión 35 psi, alta presión 200 psi



Nota. Si el trabajo se realiza por encima de los 1000 msnm³ se recomienda se mantenga una presión no superior a los 170 psi en alta presión y 30 psi en baja presión.

Es ideal que la temperatura del condensador supere en 20 °C a la temperatura ambiente para el correcto funcionamiento del sistema de aire acondicionado, como regla general la presión de la línea de alta presión estará siempre en función de la temperatura ambiente como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7

Temperaturas para el correcto funcionamiento del sistema A/C

Temperatura ambiente	Temperatura del condensador	Presión de alta mínima en ralentí
20 °C	40 °C	140 - 145 psi
30 °C	50 °C	170 - 175 psi
40 °C	60 °C	220 - 230 psi

Comprobación de fugas

Prueba de fugas

Uno de los problemas más comunes en los sistemas de aire acondicionado es el bajo nivel de fluido refrigerante; una de las reglas de oro del sistema de aire acondicionado es que el refrigerante no desaparece de la nada, por ende,

³ msnm: metros sobre el nivel del mar.

debe existir alguna fuga. Las fugas de refrigerante deben detectarse y corregirse, ya que una carga baja de refrigerante provocará daños en el sistema, como los indicados en la Tabla 8.

Tabla 8

Posibles daños en el sistema por fugas

Dañó	Descripción
1	El aire y la humedad pueden entrar en un sistema en el punto de fuga y provocar la corrosión de los componentes internos
2	La lubricación del compresor depende de la circulación del refrigerante
3	El refrigerante ayuda a enfriar el compresor

Al buscar una fuga en el sistema se deberá tener en consideración situaciones que quizás sean (y probablemente serán obvias); para empezar, el sistema podría estar completamente vacío. Para realizar una correcta prueba de fugas, se necesita entre un 7 y un 15 % de la carga total del sistema, esto proporciona al sistema una presión saturada por encima de 50 psi. Una vez que tenga una carga adecuada, se deberá buscar la fuga; para ello se podrá escuchar un silbido o verla burbujear. Un poco de agua jabonosa ayudará a identificar fugas grandes, esta es una excelente manera de verificar si hay fugas en los diferentes componentes.

Las manchas de aceite o suciedad acumulada en un lugar específico son buenos indicadores de fugas de refrigerante, siempre se deberá revisar la parte inferior de la carcasa del evaporador para ver si hay presencia de aceite. Hay que tener mucho cuidado en sistemas con fluido refrigerante R134a, ya que es posible que no se encuentre ninguna evidencia de aceite, incluso con una fuga, ya que el lubricante es soluble en agua y podría lavarse. Las fugas en las cañerías no siempre van acompañadas de daños evidentes; si en la cañería aparece aceite, se deberá secarla y revisarla por unos segundos, esto para verificar su estado, en caso de que se encuentre alguna discrepancia se deberá reemplazarla.

Métodos de detección de fugas

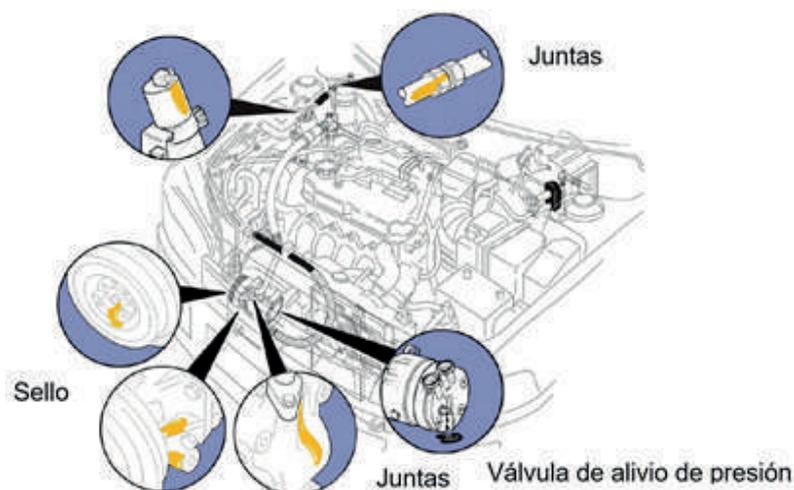
Antes de utilizar un método de detección de fugas, siempre se debe verificar el tipo de fluido refrigerante con el que cuenta el sistema, ya que algunos

detectores de fugas utilizan una tecnología que podría encender refrigerantes de hidrocarburos inflamables. No todas las fugas son fáciles de identificar, es así que existen diferentes métodos, como se especifica a continuación.

Detección visual de fugas: Si ocurre una fuga de refrigerante, en algunos casos es común que el aceite lubricante escape con el refrigerante. La presión del aceite y el polvo incrustado alrededor de los accesorios, juntas y componentes de la cañería indicarán un punto de fuga como se observa en la Figura 67.

Figura 67

Detección visual de fugas



Nota. Tomado de (Schnubel, 2012).

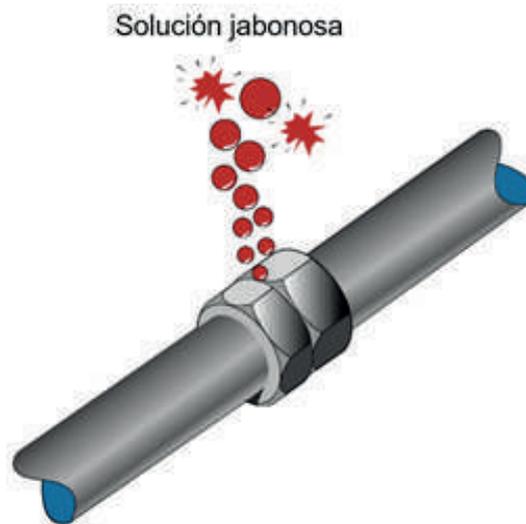
Solución jabonosa: Una mezcla de jabón líquido y agua aplicada alrededor de las cañerías y diferentes accesorios del sistema de aire acondicionado formarán burbujas en los puntos de fuga y será posible detectarlas (ver Figura 68). El procedimiento general para la detección de fugas por este método se detalla a continuación:

- Aplicar una solución jabonosa a la fuga sospechosa con un cepillo pequeño.
- Aplicar la solución a todos los accesorios y conexiones donde pueda estar la fuga.
- Arrancar el motor, encender el sistema de aire acondicionado y dejar que las presiones se estabilicen.
- La fuga de refrigerante hará que el detector o la solución jabonosa formen burbujas.

- e. Apretar el accesorio flojo o reparar los componentes con fugas.
- f. Limpiar la solución y repetir el procedimiento anterior para asegurarse de que la fuga desapareció.

Figura 68

Solución jabonosa



Nota. Tomado de (Schnubel, 2012).

Detector de fugas electrónico: Estos detectores de fugas funcionan de varias maneras; el más común es en el encendido de la unidad, se puede escuchar un “tic-tac” bajo y una vez que la sonda localiza una fuga, el “tic-tac” aumenta a un ruido agudo. Esto se puede lograr al mover la sonda lentamente alrededor de la parte inferior de los componentes y accesorios a una distancia de aproximadamente 5 milímetros (ver Figura 69). Se debe tener cuidado en que la punta de la sonda entre en contacto con componentes o accesorios, ya que se producirán lecturas falsas y daños en la punta. El procedimiento general para la detección de fugas por este método, se detalla a continuación:

- a. Arrancar el motor y encender el sistema de aire acondicionado.
- b. Encender el detector de fugas. La mayoría de los detectores electrónicos tienen un indicador de voltaje de la batería (diodo emisor de luz - LED) el mismo que debe estar iluminado.
- c. Buscar fugas mientras se mueve lentamente la punta de la sonda cerca de todos los componentes, controles, sellos y accesorios del sistema.
- d. El instrumento emitirá una alarma audible en el momento que la punta de la sonda detecte la presencia de gases refrigerantes, se puede ajustar la sensibilidad de la alarma en algunos casos.

Figura 69

Detector de fugas electrónico

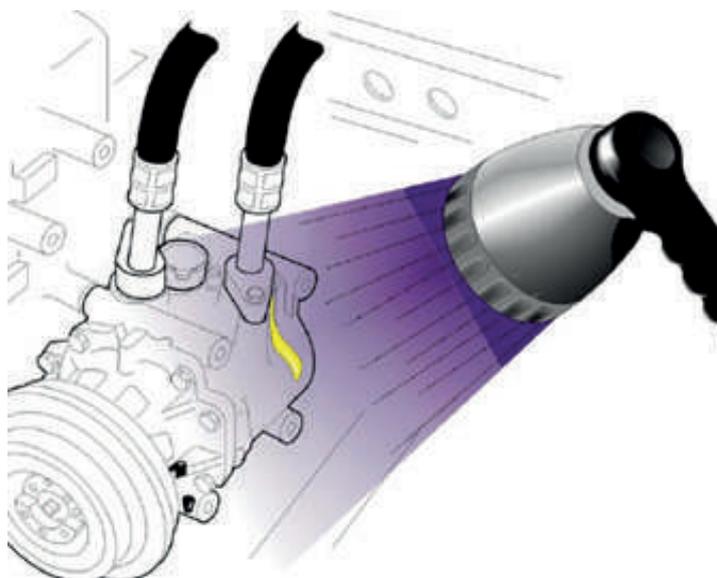


Nota. Tomado de (Schnubel, 2012).

Sistema fluorescente ultravioleta: Se inyecta un tinte de color fluorescente en el sistema de aire acondicionado y se deja circular, luego se pasa una lámpara ultravioleta especialmente diseñada sobre cada componente del sistema de aire acondicionado. Si se evidencia una fuga, el tinte de color brilla intensamente (ver Figura 70). Este método es excepcionalmente bueno para señalar con precisión una pequeña fuga, siempre se deberá verificar las recomendaciones de los fabricantes antes de usar este método.

Figura 70

Sistema fluorescente ultravioleta



Nota. Tomado de (Schnubel, 2012).

Diagnóstico de falla por presiones

Se pueden identificar problemas del sistema de aire acondicionado en relación a su eficiencia o simplemente deja de enviar aire frío hacia el habitáculo. Es importante para realizar un diagnóstico por presiones, en primer lugar, revisar si los componentes eléctricos y electrónicos están funcionando de forma adecuada, ya que el diagnóstico dependerá mucho si el compresor y los componentes eléctricos están funcionando correctamente. Para realizar un diagnóstico adecuado del estado del sistema de A/C se necesitará de un termómetro y principalmente de los manómetros de refrigeración. La Tabla 9 detalla el estado de la carga de un sistema de refrigeración con el sistema apagado para refrigerante R134a.

Tabla 9

Para gas refrigerante R134a con el sistema apagado

Baja presión	Temperatura manómetro	Temperatura ambiente	Temperatura condensador	Estado de carga
90 - 95 psi	25 °C	23 – 27 °C	23 - 27°C	Adecuado
90 - 95 psi	25 °C	30 °C o superior	30 °C o superior	Falta refrigerante
105 - 110 psi	30 °C	23 – 27 °C	23 – 27 °C	Mezcla de diferentes refrigerantes
105 - 110 psi	30 °C	23 – 27 °C	30 °C o superior	Exceso de carga

A pesar de que se puede dar un diagnóstico previo con el sistema sin ser activado, únicamente permite observar el nivel de carga y si ha existido mezcla de fluidos refrigerantes. Para poder dar un diagnóstico más específico, es necesario encender el vehículo y el sistema de aire acondicionado y dejar que este se establezca por un término de 5 minutos; transcurrido este tiempo se puede observar el comportamiento del sistema mediante la lectura de presión como se muestra a continuación.

Tabla 10

Presiones normales

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	14.5 a 35 psi	200 a 240 psi

Figura 71

Presiones normales



Tabla 11

Exceso de fluido refrigerante

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Mayor a 40 psi	Mayor a 250 psi

Figura 72

Exceso de fluido refrigerante



Tabla 12

Falta de fluido refrigerante

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Menor a 13 psi	Menor a 180 psi

Figura 73

Falta de fluido refrigerante



Tabla 13

Obstrucción de la válvula de expansión

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Menor a 5 psi	Mayor a 260 psi

Figura 74

Obstrucción de la válvula de expansión



Tabla 14

Válvula de expansión abierta

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Mayor a 40 psi	200 a 240 psi

Figura 75

Válvula de expansión abierta

Tabla 15

Ventilador parado

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	14.5 a 35 psi	Mayor a 250 psi

Figura 76

Ventilador parado

Tabla 16

Válvulas de escape defectuosas

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	14.5 a 35 psi	Oscilando

Figura 77

Válvulas de escape defectuosas



Tabla 17

Válvulas de admisión defectuosas

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Oscilando	200 a 240 psi

Figura 78

Válvulas de admisión defectuosas



Tabla 18

Falta de fluido refrigerante

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Menor a 14 psi	Menor a 190 psi

Figura 79

Falta de fluido refrigerante



Tabla 19

Exceso de fluido refrigerante

Condición	Baja presión	Alta presión
Motor en ralentí - sistema funcionando	Mayor a 45 psi	Mayor a 280 psi

Figura 80

Exceso de fluido refrigerante





<https://acortar.link/KYm7s2>

CAPÍTULO IV

Sistema de climatización

Climatización automotriz

El sistema de climatización automotriz es el encargado de suministrar aire limpio dentro del habitáculo del vehículo, ya sea proveniente de la calefacción o del aire acondicionado de forma que se puedan controlar las condiciones ambientales internas como calidad, temperatura y humedad del aire, de esta forma se puede alcanzar el mayor confort para los ocupantes del vehículo (Nielsen, 2016). En la actualidad, el climatizador ha pasado de ser un complemento de lujo a un componente indispensable en la gran mayoría de los vehículos (ver Figura 81), ya que aparte de ser el sistema más importante en términos de confort también ayuda a controlar el nivel de humedad dentro del vehículo al permitir que los vidrios se desempañen rápidamente incrementando la visibilidad y por ende, la seguridad.

Figura 81

Control de climatización



Nota. Tomado de (Daly, 2011).

Aire acondicionado vs Climatización automotriz

Es indispensable identificar las diferencias existentes entre un sistema de climatización y un sistema de aire acondicionado. El aire acondicionado como equipamiento permite únicamente disminuir la temperatura del habitáculo, este parámetro es controlado por un sensor de temperatura o termostato que es el encargado de desconectar o apagar el compresor el momento en el que la zona refrigerada haya llegado a la temperatura seleccionada, en el caso de la refrigeración automotriz el rango varía entre los 15 y 18 °C, dando una to-

lencia de 3 a 5 °C para que el compresor vuelva a activarse y de esta forma mantener una temperatura equilibrada en el automóvil.

El sistema de climatización permite enfriar o calentar el aire de acuerdo a la temperatura elegida por el conductor o los ocupantes, activando automáticamente la calefacción o el aire acondicionado, al relacionar los parámetros de temperatura que uno o varios sensores toman en la cabina se obtiene una media que es mostrada en el control y trata de mantenerse en la temperatura elegida con un margen de ± 1 °C. También se pueden encontrar componentes auxiliares que mejoran el confort, como el calentador de asientos (ver Figura 82) o el control de temperatura direccionado a cada uno de los ocupantes y en el caso de los vehículos con motores de combustión interna, incrementar la alimentación de combustible al motor mediante señales a la UCE⁴ para de esta forma evitar la pérdida de potencia ocasionada por la activación del compresor.

Figura 82

Calentador de asientos en automóviles



Nota. Tomado de (Daly, 2011).

Funcionamiento del sistema de climatización

El climatizador es básicamente un control de temperatura que cuenta con una unidad de control electrónico, que se encarga de recibir señales de los sensores que captan información como temperatura, humedad y velocidad del aire; luego las procesa y envía pulsos de trabajo a los actuadores que permiten

⁴ UCE: Unidad de Control Electrónico.

el paso del aire para que se abran las trampillas del evaporador y radiador de la calefacción (Nielsen, 2016).

Como se observa en la Figura 83, la unidad de control electrónico para alcanzar la temperatura deseada por los ocupantes en el habitáculo necesita de información base como la temperatura deseada, velocidad del ventilador, temperatura del aire exterior e interior, temperatura del motor (en caso de tener una temperatura inusual o fuera de los rangos normales de trabajo la unidad de control electrónico impide la activación del compresor de A/C), y la posición de las trampillas para la dirección del aire.

Componentes de control

A continuación, se detallan los principales componentes que posee un sistema de climatización utilizado en automóviles. En la Figura 84 se observa el esquema de control de todos los sensores actuando sobre la unidad de control electrónico.

Figura 83

Diagrama de funcionamiento del climatizador

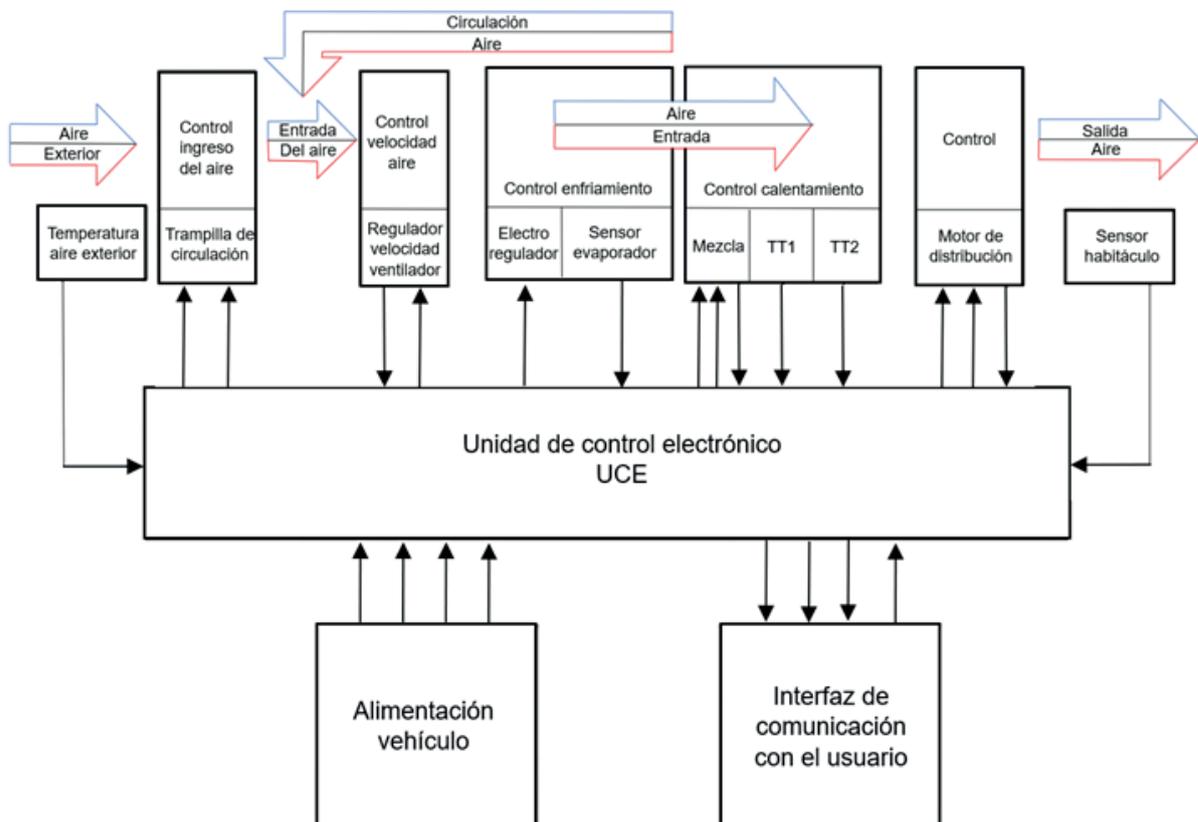
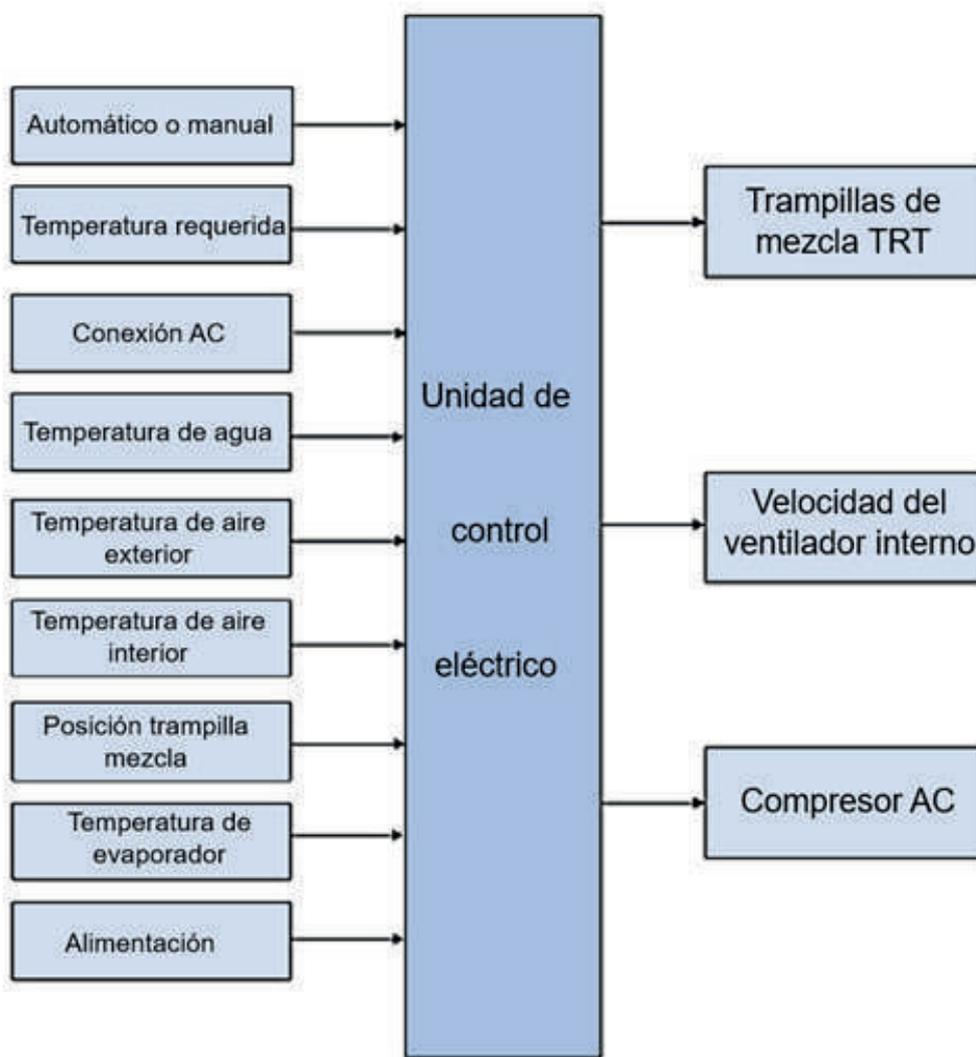


Figura 84

Esquema de control sensores – UCE – actuadores



Sensor de temperatura del refrigerante: Este sensor se encarga de informar a la UCE del climatizador la temperatura del refrigerante del motor, si la temperatura es muy elevada la UCE desactiva el uso del compresor del aire acondicionado para evitar un sobre esfuerzo del motor y así evitar que se presenten daños en el mismo.

Figura 85

Sensor de temperatura del refrigerante



Sensor de temperatura exterior: Está encargado de recoger el valor la temperatura del medio exterior, su ubicación se da en lugares donde su lectura no pueda ser influenciada por el calor generado por el motor. De manera que, si la temperatura exterior es demasiado baja, impide la activación del aire acondicionado.

Figura 86

Sensor de temperatura exterior



Sensor de temperatura del evaporador: La misión principal de este sensor es evitar que la temperatura del evaporador disminuya demasiado al punto de que se produzca hielo en este elemento, al permitir que únicamente en las paredes del evaporador se condense el aire generando agua, que luego es desechada por un conducto de desfogue.

Figura 87

Sensor de temperatura del evaporador



Sensor de temperatura de salida al habitáculo: Mediante este sensor la unidad de control electrónico, recibe la temperatura que está ingresando al habitáculo desde las rejillas de salida del aire.

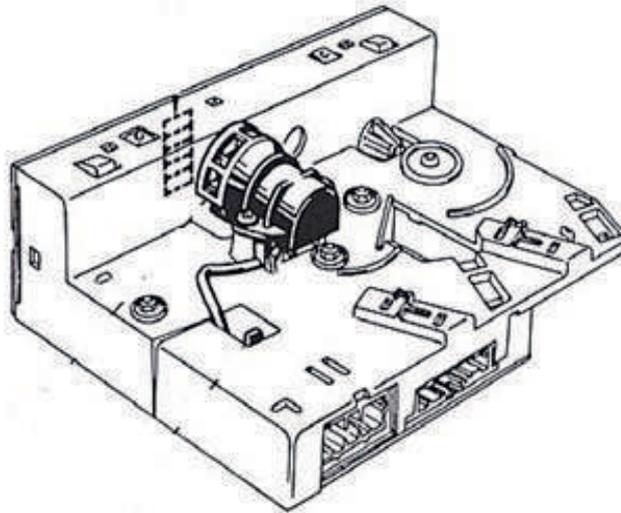
Figura 88

Sensor de temperatura de salida al habitáculo



Sensor de temperatura interior: El sensor se encuentra ubicado en la rejilla que comunica el habitáculo con el interior del conjunto climatizador, posee una turbina que recoge el aire del habitáculo y lo comunica con el sensor de temperatura, el mismo que es encargado de informar al control climatizador la temperatura interior del vehículo.

Figura 89

Sensor de temperatura interior

Paneles de control

El sistema de control consiste de diferentes componentes como se vio anteriormente, entre los cuales se tiene sensores, interruptores, amplificadores, salidas, etc. La relación de estos componentes puede ser regulada a través del panel de control dentro del vehículo, entre los cuales se tiene paneles de: regulación manual, regulación semi-automática y regulación automática (Daly, 2011).

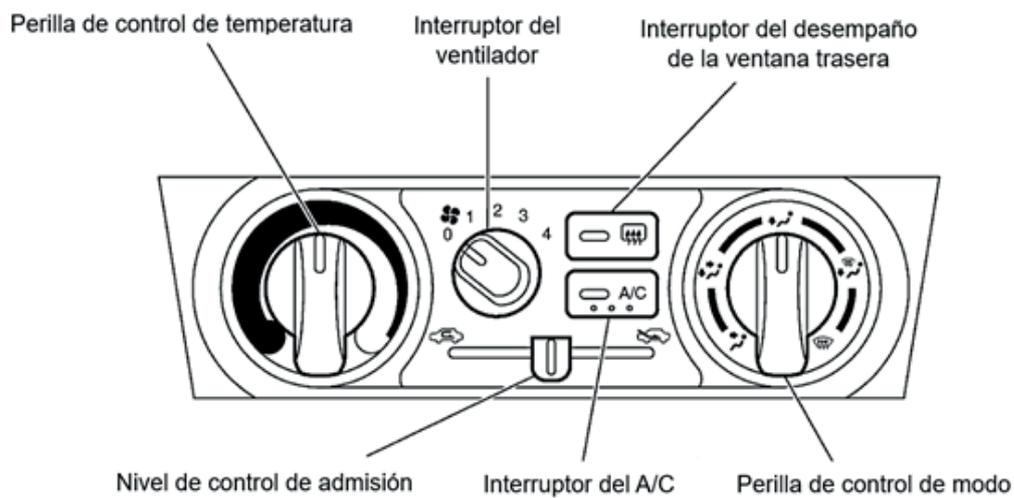
Regulación manual: El panel de control de regulación manual se trata de un sistema de aire acondicionado climatizador "normal", si el usuario desea conseguir una temperatura controlada, deberá mezclar manualmente el aire de salida de las rejillas, abriendo el paso de la calefacción. Como se observa en la Figura 90, se puede manipular los diferentes parámetros como se indica a continuación:

- a. Interruptor del ventilador - este interruptor enciende y apaga el ventilador, además controla su velocidad.
- b. Perilla de control de modo - este mando controla la salida de aire.
- c. Perilla de control de temperatura - permite ajustar la temperatura de la descarga de aire.
- d. Nivel de control de admisión - consta de dos posiciones, la primera (Posición Recirculación - REC) permite que el aire en el interior sea recirculado dentro del vehículo. La segunda posición (Posición Fresh - FRE) suministra aire del exterior del vehículo al compartimento de pasajeros.

- e. Interruptor del desempañador de la ventana posterior - al encenderse, el vidrio de la ventana posterior se desempañará.
- f. Interruptor del aire acondicionado (A/C) - el interruptor del aire acondicionado controla el sistema del A/A, si el interruptor está oprimido con el ventilador activado, se activará el compresor y el indicador también se encenderá; cabe recalcar que la función de enfriamiento del aire acondicionado funciona solamente operando el motor.

Figura 90

Regulación manual

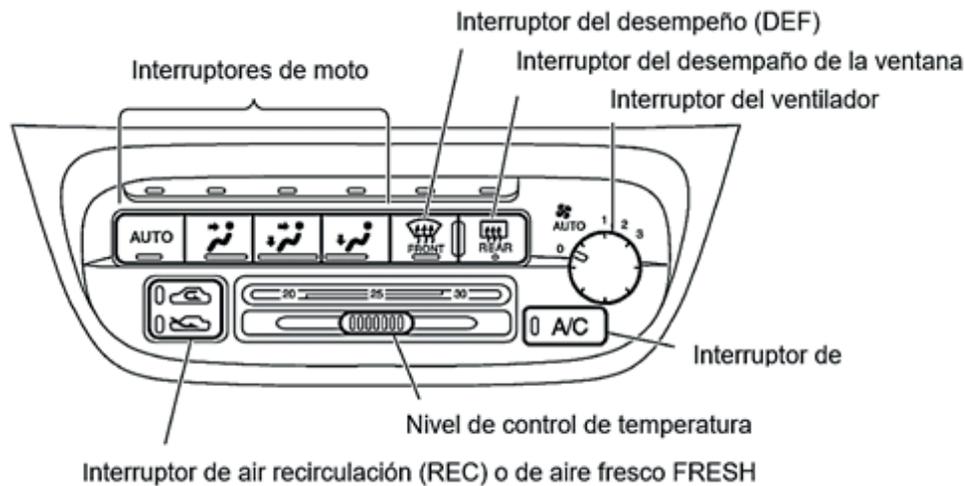


Nota. Tomado de (Nissan, 2020).

Regulación semi-automática: El panel de control de regulación semi-automática, se trata de un sistema de aire acondicionado climatizador “climatizado”, basta con informar a la unidad de control la temperatura deseada, y esta se encarga de controlar la mezcla de aire caliente y frío, el mando utilizado es analógico (ver Figura 91).

Figura 91

Regulación semi-automática



Nota. Tomado de (Nissan, 2020).

Como se observa, se puede manipular los diferentes parámetros como se indica a continuación:

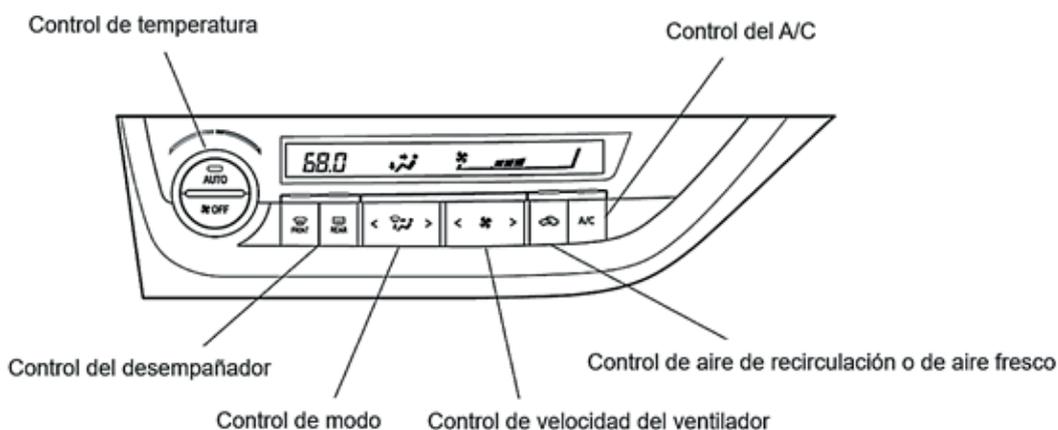
- Interruptor del A/C - el interruptor de A/C controla el sistema de aire acondicionado; siempre que el interruptor esté oprimido con el ventilador activado, se activará el compresor.
- Nivel de control de temperatura - básicamente es un potenciómetro, el mismo que permite aumentar o disminuir la temperatura.
- Interruptor del ventilador - este interruptor activa o desactiva el ventilador y controla automática (o manualmente) la velocidad del ventilador del A/C.
- Interruptor del desempañador (DEF) - coloca las compuertas de salida de aire en la posición de desempañado; también coloca las compuertas de admisión en la posición de aire exterior.
- Interruptores de modo - controla automática o manualmente la descarga de aire en las salidas.
- Interruptor de recirculación (REC)/FRESH (FRE) - en la posición recirculación - REC, permite que el aire en el interior del vehículo sea recirculado dentro del vehículo; mientras que la posición Fresh - FRE, suministra aire del exterior del vehículo al compartimento de pasajeros.
- Interruptor del desempañador de la ventana posterior - si la iluminación está activada, el vidrio de la ventana posterior del vehículo se desempañará.

Regulación automática: Por último, se observa un panel de control típico de regulación automática, se trata de un sistema de aire acondicionado climatizador “climatizado”, basta con informar a la unidad de control la temperatura deseada, y esta se encarga de controlar la mezcla de aire caliente y frío, el mando utilizado es digital (ver Figura 92). Como se observa, se pueden manipular los diferentes parámetros como se indica a continuación:

- a. Control de temperatura: ajusta la temperatura; al girar en sentido de las agujas del reloj se aumentará la temperatura, mientras que al girar en sentido contrario a las agujas del reloj disminuirá.
- b. Control de velocidad del ventilador: aumenta o disminuye la velocidad del ventilador de forma automática.
- c. Control de modo: controla automáticamente la descarga de aire en las salidas, cada vez que se presiona el botón.
- d. Control del desempañador: coloca las compuertas de salida de aire en la posición de desempañado.
- e. Control del A/C: controla el sistema de aire acondicionado.
- f. Control de aire de recirculación o de aire fresco: permite que el aire en el interior del vehículo sea recirculado dentro del vehículo, o a su vez permite suministrar aire del exterior del vehículo al compartimento de pasajeros.

Figura 92

Regulación automática



Nota. Tomado de (Chevrolet, 2011).

Referencias

- Amigo, M. L., & Vergel, O. A. (2012). *Frío industrial y aire acondicionado*. Universidad de Castilla La Mancha.
- Barreras, Á. L. M., & Miranda, Á. L. (2011). *Manual técnico de refrigerantes*. Marcombo.
- Bonilla, S., Castelo, J., Orozco, L., & Jácome, E. (2018). *Sistemas de refrigeración*. Observatorio de la Economía Latinoamericana, (marzo).
- Brown, T. L., LeMay Jr, H. E., Bursten, B. E., & Burdge, J. R. (2004). *Química: la ciencia central*. Pearson educación.
- Cengel, Y., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica, 6ª Edición*. Editorial Mc Graw Hill.
- Chevrolet. (2011). *Manual air conditioning system*. Corolla.
- Chicaiza Ávila, Y. M. (2017). Implementación del sistema de climatización al vehículo Chevrolet Esteem (Bachelor's thesis).
- Daly, S. (2011). *Automotive air conditioning and climate control systems*. Elsevier.
- Demir, B., Fieler, A. C., Xu, D., & Yang, K. K. (2021). *O-ring production networks (No. w28433)*. National Bureau of Economic Research.
- Formauto. (2004). *Sistema de confortabilidad aire acondicionado climatizador*. Centro de Formación.
- Gómez Constante, J. P., & Posso Mejía, D. F. (2009). Reconversión del Banco de refrigeración y aire acondicionado del laboratorio de termodinámica de la Escuela Politécnica del Ejército usando refrigerante R134A en reemplazo del refrigerante R12 (Bachelor's thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2009).
- González, A. F. R. (2012). *Fundamentos de procesos químicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Goodstein, D. L. (2014). *States of matter*. Courier Corporation.
- Hinkin, J., Gammon, J., & Cutter, J. (2008). Review of personal protection equipment used in practice. *British Journal of Community Nursing*, 13(1), 14-19.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer* (Vol. 6, p. 116). New York: Wiley.
- Koban, M. E., & Herrmann, D. D. (2011). Dispersion modeling of leaks of low global warming potential refrigerant HFO-1234yf in an automobile garage. *Process Safety Progress*, 30(1), 27-34.
- Llorente Areses, M. (2021). *Gestión Térmica de Vehículos Eléctricos y sus Implicaciones en el Confort*.
- Manresa, R. V. (2011). *Refrigerantes para aire acondicionado y refrigeración*. Editorial Club Universitario.

- Melián, A. L., Rodríguez, G. A. S., & Gómez, A. P. (2020). Principales problemáticas del medio ambiente en el municipio de Palmira desde una perspectiva CTS. *Revista Mapa*, 4(20).
- Meneses Pinto, C. A. (2018). Maqueta del sistema y funcionamiento de un inversor en vehículos híbridos (Bachelor's thesis, Quito).
- Mota Babiloni, A., Mendoza Miranda, J. M., & Navarro-Esbrí, J. (2012). Revisión del refrigerante R1234yf como alternativa de bajo GWP en refrigeración y climatización. In *Memorias del XXVII Congreso Nacional de Termodinámica*.
- Nielsen, F. (2016). *Automotive Climate Systems-Investigation of Current Energy Use and Future Energy Saving Measures*. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- Nissan. (2020). *Manual de refrigeración calefacción y aire acondicionado*. Autodidacta.
- Ocampo Flórez, E. (2021). *Diseño de sistema de refrigeración usando el refrigerante R744 (CO2)*.
- Ochoa, J. M. (2009). *Ciudad, vegetación e impacto climático: el confort en los espacios urbanos*. Erasmus ediciones.
- Papasavva, S., & Andersen, S. O. (2011). Green-MAC-LCCP©: Life-cycle climate performance metric for mobile air conditioning technology choice. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30(2), 234-247.
- Puebla, J. (2005). *Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración*. FONDOIN, Venezuela.
- Quadri, N. P. (2001). *Sistemas de aire acondicionado*. TECNIBOOK EDICIONES.
- Ramírez, M. Á. O. (2012). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos*. TMVG0409. IC Editorial.
- Royo, E. C., & Carnicer Royo, E. (1997). *Sistemas industriales accionados por aire comprimido*. Paraninfo.
- Salinas Jaramillo, A. F., & Parreño Bonilla, A. G. (2011). Montaje de un turbocompresor a un motor de combustión interna a carburador para aumentar su rendimiento e incorporarlo al Laboratorio de Vehículos de la Escuela de Ingeniería Automotriz (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Schnubel, M. (2012). *Today's Technician: Automotive Heating & Air Conditioning Classroom Manual and Shop Manual*. Cengage Learning.
- Serrano, J. (2013). *Manual de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial 1: Tomo 1 (Vol. 1)*. Arq. Jorge Serrano.

- Stavro Tirado, X. I. (2007). *Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia*.
- Valenzuela, M., & Loreto, C. (2016). *El agujero de ozono un problema de carácter mundial*.
- Valeo. (2017). *Climatización*. CLIM SERVICE.
- Yovera Paredes, K. K. (2020). *Características y especificaciones de un sistema de refrigeración para climatización de pozas de almacenamiento de una planta de harina de pescado*.
- Zeng, D., Zhong, Y., Cao, D., Zhao, P., Fu, T., & Qi, Y. (2021). Corrosion damage behaviors of rubber O-rings under simulated acid fracturing conditions. *Petroleum*.

Mantenimiento basado en confiabilidad

El libro “Fundamentos de Aire Acondicionado del Automóvil” está diseñado para ser una herramienta valiosa, tanto en el ámbito técnico como universitario. Ofrece una combinación equilibrada entre teoría y aplicación práctica, facilitando la comprensión de los complejos sistemas de aire acondicionado presentes en vehículos automotores.

Los autores han desarrollado un enfoque de aprendizaje que destaca por su practicidad, permitiendo a los lectores aplicar los conocimientos adquiridos en el reconocimiento y mantenimiento de estos sistemas en la industria automotriz.

Este libro se distingue por varios aspectos clave:

Presenta de manera detallada la teoría del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, fundamental en los sistemas de aire acondicionado.

Ofrece una explicación exhaustiva de los componentes que componen un sistema de climatización automotriz, destacando las funciones específicas de cada uno de ellos.

Aborda el diagnóstico de los equipos mediante el análisis de presiones, proporcionando soluciones prácticas para reparar y mantener los sistemas de aire acondicionado en óptimas condiciones de funcionamiento.

Los autores

ISBN: 978-9942-765-94-9



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA