

Universidad Internacional SEK

Facultad de Arquitectura e Ingenierías

Evaluación del sistema R134a, utilizando un compresor de A/C automotriz tipo 1234yf.

Nota de autor

José Luis Saltos Altamirano

Director PhD. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

jsaltos.mec@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, JOSE LUIS SALTOS ALTAMIRANO, con cédula de identidad 171883904-4 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. Adherido a la línea de investigación y programación de Eficiencia e Impacto ambiental e innovación en la industria. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

JOSE LUIS SALTOS ALTAMIRANO

C.I.: 171883904-4

Contenido

Contenido	3
Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Objetivo general	16
Objetivo específico	16
Marco teórico	17
El ciclo de compresión de vapor	17
El ciclo de absorción	18
Agente frigorífico	19
Propiedades medioambientales	19
Propiedades de los refrigerantes	23
Ciclos de Compresión de Vapor	30
Aire acondicionado automotriz	34
Componentes de la instalación de Compresión de Vapor	35
Intercambiadores de calor	36
El Evaporador	37
El Condensador	37
El Compresor	38
Tipos de compresores	40
El Válvula de expansión	44

El termostato.....	46
El presostato.	47
El filtro deshidratador.	48
Embrague electromagnético.	49
Válvulas de carga o de servicio.	50
Método	51
Resultados.....	79
Análisis Compresor Tahoe 2009 R134a.....	79
Análisis Diagrama de Mollier Compresor Tahoe 2009 R134a.	85
Análisis Compresor Tahoe 2019 R1234yf.	88
Análisis Diagrama de Mollier Compresor Tahoe 2019 R1234yf.	94
Discusión	98
Análisis de resultados Compresor Tahoe 2009 R134a.	98
Análisis de resultados Compresor Tahoe 2019 R1234yf.	99
Comparación de resultados entre los compresores R134a y R1234yf.....	101
Comparación de eficiencia entre los compresores R134a, R1234yf y artículos científicos.	105
Conclusiones y Recomendaciones	110
Referencias	112
ANEXO 1	117
ANEXO 2	118
ANEXO 3	120

ANEXO 4	123
ANEXO 5	124
ANEXO 6	128

Indice de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1. Comparación de propiedades entre el refrigerante 1234yf y el refrigerante 134a....	30
Tabla 2. Características Compresor Tahoe 2009	60
Tabla 3. Características Compresor Tahoe 2019	61
Tabla 4. Características Motor eléctrico 1 HP.....	62
Tabla 5. Características de la batería de 12 voltios.....	72
Tabla 6. Relación de Transmisión y Revoluciones del compresor Tahoe 2009 R134a.....	79
Tabla 7. Presiones y Temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2009 R134a.....	80
Tabla 8. Valores absolutos en el Compresor Tahoe 2009 R134a.....	84
Tabla 9. Entalpías de cada nivel de prueba del compresor Tahoe 2009 R134a	87
Tabla 10. Resultados de eficiencia y calores específicos del compresor Tahoe 2009 R134a.	88
Tabla 11. Relación de Transmisión y Revoluciones del compresor Tahoe 2019 R1234yf	88
Tabla 12. Presiones y Temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2019 R2134yf.....	89
Tabla 13. Valores absolutos en el Compresor Tahoe 2019 R1234yf.....	93
Tabla 14. Entalpías de cada nivel de prueba del compresor Tahoe 2019 R1234yf.....	96
Tabla 15. Resultados de eficiencia y calores específicos del compresor Tahoe 2019 R1234yf.	97
Tabla 16. Resultados de eficiencia entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.....	101
Tabla 17. Resultados de trabajo interno de compresión entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.....	102

Tabla 18. Resultados de calor cedido por el condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.....	102
Tabla 19. Resultados de COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf	103
Tabla 20. Resultados de calor absorbido por el evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.....	103
Tabla 21. Resultados del COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf	104
Tabla 22. Comparación de eficiencia entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos	105
Tabla 23. Comparación de COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos	106
Tabla 24. Comparación de COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos	108

Figuras

Figura 1. Elementos de Ciclo de compresión de vapor.....	18
Figura 2. Elementos de Ciclo de absorción	19
Figura 3. Representación Efecto Invernadero	22
Figura 4. Diferencia en la destrucción de la capa de ozono	23
Figura 5. Diagrama de estados del ciclo termodinámico de un fluido frigorífico	25
Figura 6. Formula del 1, 1, 1, 2 tetrafluoroetano CH_2FCF_3	28
Figura 7. Formula del 2, 3, 3, 3 tetrafluoropropeno $\text{CH}_2 = \text{CFCF}_3$	29
Figura 8. Elementos del Ciclo simple de compresión de vapor	31
Figura 9. Diagrama p-h del ciclo simple de compresión de vapor	32
Figura 10. Componentes y conexión de un sistema de refrigeración automotriz.....	35
Figura 11. Direcciones de un intercambiador de calor compacto.....	36
Figura 12. Evaporador de ciclo simple de compresión de vapor.....	37
Figura 13. Condensador de ciclo simple de compresión de vapor	38
Figura 14. Compresor de ciclo simple de compresión de vapor.....	39
Figura 15. Parte interna compresor rotativo de paletas.....	40
Figura 16. Fases de funcionamiento del compresor en espiral.....	41
Figura 17. Parte interna compresor de émbolos axiales.....	42
Figura 18. Compresor de cilindrada variable	43
Figura 19. Compresor de cilindrada fija.....	44
Figura 20. Accionamiento compresor biela manivela.....	44

Figura 21. Válvula de Expansión de presión constante	45
Figura 22. Válvula de Expansión bulbo capilar	46
Figura 23. Termostato de instalación alterna.....	47
Figura 24. Presostato binario de instalación alterna	48
Figura 25. Filtro deshidratador instalación alterna	49
Figura 26. Despiece del embrague del compresor	50
Figura 27. Válvulas de carga LOW y HIGH	50
Figura 28. Diagrama de Mollier R134a	52
Figura 29. Diagrama de Mollier R1234yf	52
Figura 30. Evaporador con ventilador incluido	53
Figura 31. Evaporador con ventilador incluido parte interior	54
Figura 32. Válvula de expansión de tubo capilar	54
Figura 33. Termostato de instalación alterna de A/C.....	55
Figura 34. Condensador de Aire Acondicionado.....	56
Figura 35. Tomas del Condensador de Aire Acondicionado	56
Figura 36. Filtro Deshidratador de Aire Acondicionado.....	57
Figura 37. Electro ventilador de Aire Acondicionado	58
Figura 38. Mecanismo interno de la válvula de carga	58
Figura 39. Presostato binario de 12V	59
Figura 40. Compresor Tahoe 2009 R134a	59
Figura 41. Compresor Tahoe 2019 R1234yf.....	60

Figura 42. Motor eléctrico 1 HP	61
Figura 43. Construcción estructura metálica	62
Figura 44. Instalación de soportes	63
Figura 45. Instalación de plancha de tol a la estructura metálica	63
Figura 46. Instalación de condensador	64
Figura 47. Instalación electro-ventiladores en el condensador.....	64
Figura 48. Instalación del compresor R134a.....	65
Figura 49. Instalación del compresor R1234yf.....	65
Figura 50. Instalación banda de accesorios Compresor R134a	65
Figura 51. Instalación banda de accesorios Compresor R1234yf.....	66
Figura 52. Válvulas LOW y HIGH de aluminio.....	66
Figura 53. Instalación de las Válvulas LOW y HIGH, compresor R134a	67
Figura 54. Instalación de las Válvulas LOW y HIGH, compresor R1234yf.....	67
Figura 55. Construcción de acoples y mangueras.....	67
Figura 56. Remachado de acoples y mangueras	68
Figura 57. Unión de manguera y acoples por medio del remache.....	68
Figura 58. Instalación del presostato en el condensador	69
Figura 59. Conexión de cañerías hacia el evaporador	69
Figura 60. Conexión de cañerías en el compresor	70
Figura 61. Presión 150 PSI para detectar fugas	70
Figura 62. Adaptación de válvula de medición, circuito HIGH.....	71

Figura 63. Batería de 12V	71
Figura 64. Banco de Pruebas con el Compresor R134a.....	72
Figura 65. Banco de Pruebas con el Compresor R1234yf	73
Figura 66. Manómetros Digitales	73
Figura 67. Comparación entre los Manómetros Digitales y aplicación móvil	74
Figura 68. Medición de temperatura a través del Multímetro	74
Figura 69. Aceite PAG 46 para el Refrigerante 134a	75
Figura 70. Limpieza de humedad en el sistema.....	75
Figura 71. Unidades de Presión de Vacío	76
Figura 72. Recarga de Agente Frigorífico 134a	76
Figura 73. Esquema de relación entre el compresor R134a y motor.....	79
Figura 74. Unidades de Presión y Temperatura APGADO.....	81
Figura 75. Unidades de Presión y Temperatura BAJO	81
Figura 76. Unidades de Presión y Temperatura BAJO/MEDIO	82
Figura 77. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO.....	82
Figura 78. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO/ALTO.....	83
Figura 79. Unidades de Presión y Temperatura ALTO	83
Figura 80. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO.....	85
Figura 81. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO/MEDIO.....	85
Figura 82. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO.....	86
Figura 83. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO/ALTO	86

Figura 84. Ciclo Frigorífico, Prueba ALTO	87
Figura 85. Esquema de relación entre el compresor R1234yf y motor.....	89
Figura 86. Unidades de Presión y Temperatura APAGADO	90
Figura 87. Unidades de Presión y Temperatura BAJO	90
Figura 88. Unidades de Presión y Temperatura BAJO/MEDIO	91
Figura 89. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO	91
Figura 90. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO/ALTO	92
Figura 91. Unidades de Presión y Temperatura ALTO	92
Figura 92. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO.....	94
Figura 93. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO/MEDIO	94
Figura 94. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO.....	95
Figura 95. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO/ALTO	95
Figura 96. Ciclo Frigorífico, Prueba ALTO	96
Figura 97. Temperatura tomada por medio de un multímetro con termocupla, 1er análisis... 99	
Figura 98. Temperatura tomada por medio de un multímetro con termocupla, 2do análisis 100	
Figura 99. Comparación de eficiencia o rendimiento entre cada nivel.....	102
Figura 100. Comparación de eficiencia o rendimiento R134a, R1234yf y Artículo científico	106
Figura 101. Comparación COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador Tahoe R134a, Tahoe R1234yf y Artículos científicos	107
Figura 102. Comparación COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador Tahoe R134a, Tahoe R1234yf y Artículos científicos.....	108

Resumen

En el campo automotriz un sistema de aire acondicionado es indispensable en actividades de la vida diaria, conforme al paso del tiempo el fluido más utilizado hasta días actuales es el HFC 134a. Pero poco a poco se ha ido implementando el fluido frigorífico HFO 1234yf por su potencial de calentamiento global menor a 4. Este fluido frigorífico es complicado importar al país, siendo un problema para una nueva recarga en sistemas con este fluido frigorífico. A continuación, se presenta el siguiente proyecto de investigación, donde es el estudio y evaluación el desempeño del sistema R134a instalando un compresor de R1234yf, mediante cálculos de entalpía y comportamiento térmico del sistema de refrigeración, para la sustitución del compresor R134a por el R1234yf, para así poder determinar la eficiencia del compresor R1234yf instalado en un sistema propio R134a, con su respectivo refrigerante y lubricante. Para poder determinar las entalpías de cada etapa del ciclo de refrigeración, se construye un banco de pruebas con todos los componentes de un sistema de Aire Acondicionado automotriz, donde los resultados de entalpías del compresor R1234yf, serán comparados con un compresor propio del refrigerante HFC 134a. Teniendo como resultado de este proyecto el análisis del compresor R1234yf, donde su eficiencia o rendimiento del compresor es del 75%, siendo el valor más sobresaliente en las diferentes pruebas, al ser comparado con el rendimiento del compresor R134a que es del 84%. Significa que el compresor R1234yf es óptimo al momento de trabajar con el lubricante PAG 46 y el refrigerante HFC 134a, sin presentar alteraciones en su ciclo de refrigeración.

Keywords: Fluido frigorífico, agente refrigerante, lubricante, ciclo de refrigeración, diagrama de Mollier, entalpía, tetrafluoroetano, tetrafluoropropeno.

Abstract

In the automotive field, an air conditioning system is indispensable in activities of daily living, according to the passage of time the fluid most used until today is HFC 134a. But little by little the HFO 1234yf refrigerant fluid has been implemented due to its global warming potential of less than 1. This refrigerant fluid is difficult to import into the country, being a problem for a new recharge in systems with this refrigerant fluid. Next, the following research project is presented, where is the study and evaluation of the performance of the R134a system by installing a R1234yf compressor, through enthalpy calculations and thermal behavior of the cooling system, for the replacement of the R134a compressor with the R1234yf, in order to determine the efficiency of the R1234yf compressor installed in its own R134a system, with respective refrigerant and lubricant. To determinate the enthalpies of each stage of the refrigeration cycle, a test bench we will be built with all components of an automotive Air Conditioning system, where the enthalpy results of the R1234yf compressor will be compared with a compressor of the HFC 134a refrigerant itself. Having because of this project the analysis of the R1234yf compressor, where its efficiency or performance of the compressor is 75%, being a value most outstanding in the different test, when compared to the performance of the R134a compressor which is 84%. It means that the R1234yf compressor is optimal when working with the PAG 46 lubricant and HFC 134a refrigerant, without alterations in its refrigeration cycle.

Keywords: Refrigerating fluid, cooling agent, lubricant, refrigeration cycle, Mollier diagram, enthalpy, tetrafluoroethane, tetrafluoropropeno.

Introducción

A continuación, se presenta el siguiente proyecto “Evaluación del sistema R134a, utilizando un compresor de A/C automotriz tipo 1234yf.”, en el cual consiste en construir un prototipo de un sistema de refrigeración que trabaje con el refrigerante R134a y lubricante PAG 46. El prototipo debe constar de sensores y actuadores tales como, termostato, presostato binario, válvula de expansión, evaporador, condensador, filtro deshidratador, electro ventilador, válvula LOW y HIGH, conjunto de mangueras, cañerías y el compresor, donde la fuente de activación se la realizara por medio de un motor eléctrico. Los compresores que serán utilizados en este prototipo son dos, el R134a que actualmente se encuentra trabajando en la mayoría de marcas automotrices y el R1234yf que está comenzando a entrar en el campo automotriz.

El fin de este proyecto es poder determinar si el compresor R1234yf puede reemplazar y es capaz de trabajar en un sistema R134a, con el refrigerante HFC 134a y el PAG 46 como lubricante, sin que esté presente problema alguno en su ciclo de refrigeración. Al mismo tiempo se trabajará con el mismo lubricante y refrigerante R134a en ambos compresores así determinado su rendimiento. Para comprobar y analizar los distintos resultados de ambos compresores se debe realizar las pruebas respectivas, donde se debe tomar unidades de presiones y temperaturas presentes en el ciclo, así poder determinar la diferencia entre eficiencias, trabajo específico interno, calor absorbido y cedido, y el COP de rendimiento, a partir de las entalpías, entre otras propiedades.

La respectiva comparación se la realizara entre el compresor Tahoe 2009 R134a y el compresor Tahoe 2019 R1234yf. Esta prueba consiste en analizar y comprender, si al momento de realizar una reparación externa a un sistema que trabaje con el compresor R1234yf, el refrigerante y lubricante del mismo pueda ser reemplazado fácilmente por el agente frigorífico R134a y su lubricante respectivo, sin que esté presente deficiencia y un

menor confort dentro del habitáculo del vehículo al momento de que el compresor comience a trabajar. Ya que en el mercado nacional para poder importar el fluido frigorífico R1234yf y su lubricante, se necesita una licencia especial y existe un porcentaje mínimo de vehículos que trabajen con este sistema.

Objetivo general

Evaluar el desempeño del sistema R134a instalando un compresor de R1234yf, mediante cálculos de entalpía y comportamiento térmico del sistema de refrigeración, para la sustitución del compresor R134a por el R1234yf.

Objetivo específico

Probar un prototipo del sistema R134a que forme un ciclo frigorífico, con la ayuda de todos sus componentes (condensador, filtro deshidratador, electro ventilador, evaporador, válvula de expansión, válvulas LOW/HIGH y el compresor R134a), cuya fuente de activación es un motor eléctrico. Para el análisis de sus parámetros respectivos.

Reemplazar el compresor R134a por el compresor R1234yf, para la realización de las pruebas experimentales y la comparación de su eficiencia.

Analizar el desempeño del compresor R1234yf con el lubricante PAG 46 y fluido frigorífico HFC 134a para un sistema R134a, estudiando cada estado de su ciclo frigorífico con sus presiones de trabajo y sus entalpías, para la evaluación de su desempeño.

Comparar la eficiencia del ciclo frigorífico entre ambos compresores R134a y R1234yf, bajo las mismas condiciones del refrigerante R134a y lubricante PAG 46, para la fundamentación de la propuesta.

Marco teórico

En el campo de la refrigeración suele dividirse en dos segmentos, industrial y de confort. Un aire acondicionado es una agrupación de técnicas adecuadas para mantener una temperatura constante en un espacio o área determinada, esta acción normalmente se la lleva a cabo en la estación del verano, ya que es aquí donde se aplica lo que se refiere a la refrigeración (BEHR Hella Service, 2012).

En la refrigeración un número de componentes, conectados entre sí, tienen la función principal de formar un ciclo frigorífico (Acedo Zambrana, 2012).

La refrigeración se basa en la extracción de calor un elemento que se desea mantener a una temperatura menor a la del medio ambiente, por ello es necesario poner en contacto al elemento sea directa o indirectamente con otro elemento que presente una temperatura menor o inferior (Goribar, 2009).

Los métodos frigoríficos más importantes son:

El ciclo de compresión de vapor.

Este ciclo implica una transferencia de calor que va desde una temperatura inferior a otra superior, donde se utiliza un ciclo termodinámico anti horario (Figura 1). Este ciclo se encarga de evaporar un líquido a una presión baja, así absorbiendo calor para que este se condense a una eleva presión, cediendo el calor extraído. Al comprimir el gas, el calor cedido estará incluido en la energía mecánica de la compresión (Colmenares, 2012).

Los siguientes puntos son importantes que están presentes en el ciclo de compresión de vapor (Muñoz Gallegos, 2006):

- En el proceso de compresión, el fluido de trabajo solo debe estar en la fase de vapor.
- Para expandir el refrigerante es recomendable utilizar un dispositivo más económico y con cero mantenimientos (válvula de expansión).
- La temperatura de condensación no debe limitarse a la zona de saturación.

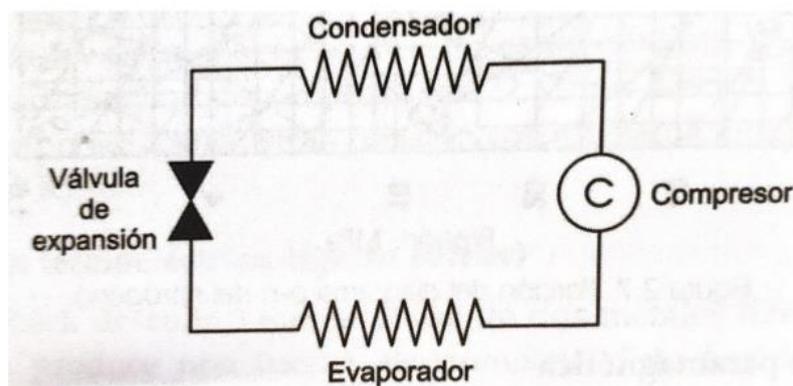


Figura 1. Elementos de Ciclo de compresión de vapor (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 22).

El ciclo de absorción.

Las máquinas correspondientes a este ciclo no han tenido gran demanda en el mercado, ya que máquinas con el ciclo de vapor dominan el mercado en su mayoría. El ciclo de absorción tiene como prioridad aprovechar el calor para la obtención de frío mediante máquinas de absorción, que ayuda a la conservación del medio ambiente, donde se puede utilizar energías de origen entálpico como la energía térmica, que tiene costos inferiores a la mecánica o eléctrica (ABSORSISTEM S.L., 2011).

El ciclo de absorción se caracteriza por la sustitución de la compresión de vapor por la compresión de una disolución acuosa, donde absorbe un vapor que es el resultado del evaporador, el cual se lo realiza en tanques o depósitos (absorbedor), este es diluido y comprimido. La disolución es calentada en un generador, así liberando vapor para ser condensada, la ubicación de los depósitos son situados uno encima del otro (Figura 2) (Colmenares J. , 2013).

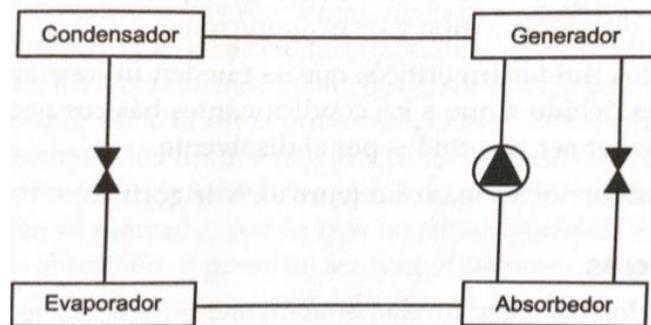


Figura 2. Elementos del Ciclo de absorción (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 23).

Agente frigorífico.

El agente frigorífico es aquella sustancia encargada de enfriar a un elemento externo, el agente frigorífico también se lo conoce con el nombre de fluido frigorífico o a la vez refrigerante (Refrigerantes, 2006).

Un sistema de refrigeración trabaja por medio de un fluido frigorífico el cual cumple ciclos termodinámicos, donde el principal ciclo que se va a estudiar es el ciclo de compresión, ya que en el campo automotriz son los más comunes encontrarlos (Buqué, 2007).

Un fluido frigorífico es una sustancia química, que tiene como objetivo evaporarse a una baja presión y condensarse a una presión alta, con el fin que la diferencia de presiones no sea excesiva para evitar que el compresor tenga una potencia elevada (Cengel & Boles, 2012, pág. 630).

Propiedades medioambientales.

Las propiedades ambientales se dividen en tres factores:

La capa de ozono.

El ozono es una forma alotrópica (estructura atómica) del mismo oxígeno, donde el oxígeno O_2 , representa el 21% que está presente en la atmósfera. El ozono O_3 es venenoso

que se encuentra disperso por la atmosfera entre unos 10 a 50 kilómetros sobre la superficie terrestre en pequeñas proporciones, el ozono es una reacción de oxígeno molecular que son reacciones catalizadas por los rayos UV, que actúa sobre la molécula volviéndola a descomponer. Es una acción activa y destructiva de la radiación solar (Jutglar & Miranda, 2008).

El ozono tiene como característica su inestabilidad periódica. La capa de ozono es el escudo de la de protección del planeta tierra, destruida por el sol, permitiendo el paso de más rayos UV, ocasionando un numero de enfermedades a la humanidad (Concepto.de, 2012).

La eliminación de los fluidos frigoríficos CFC, fue unas de las decisiones más importantes, para poder erradicar la producción de SAO “Sustancia que Agotan el Ozono” (ONUUDI, 2012).

La radiación ultravioleta.

La exposición a la radiación ultravioleta UV es un factor de riesgo principal para la mayoría de los cánceres de piel. La luz solar es la fuente principal de la radiación ultravioleta. Las lámparas y camas bronceadoras también son fuentes de radiación ultravioleta. Las personas que se exponen mucho a los rayos UV procedentes de estas fuentes tienen un mayor riesgo de cáncer de piel (ONUUDI, 2012).

La radiación UV abarca un rango de 100 a 400 nanómetros, se clasifica en tres sub zonas de la franja de espectro; alta UV-C correspondiente a la radiación de una onda corta de 100 a 280 nm, que es la más dañina que absorbe con facilidad el ozono en la atmosfera, media UV-B es una onda media de 280 a 315 nm, que es absorbida por el ozono en la estratosfera y baja UV-A tiene longitudes de 315 a 400 nm, que prácticamente no causa daño físico (Jutglar & Miranda, 2008).

Si la capa de ozono se daña la radiación más alta llegaría a la superficie terrestre causando cáncer de piel, cataratas, menor producción agrícola, alteraciones al ADN, entre otros (Sendra Portero).

El Efecto invernadero.

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono, el metano y de distintos fluidos refrigerantes, debido a la actividad humana (Andalucía, 2010).

Un porcentaje de gases presentes en la atmósfera permiten el paso de la radiación solar UV-A y retiene la onda larga o radiación térmica. El efecto es un progresivo calentamiento de la atmósfera terrestre que va aumentando su energía a causa de la energía solar, al igual que en un invernadero común donde las paredes de vidrio actúan como trampa para la radiación de onda larga (Jutglar & Miranda, 2008).

No todos los gases tienen esta propiedad, donde los importantes son el vapor de agua y el CO_2 (Figura 3). Existen distintos gases de acción de la radiación tales como los CFC, HCFC y HFC (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007).



Figura 3. Representación Efecto Invernadero (Benavides Ballesteros & León Aristizabal , 2007).

Potencial de calentamiento global GWP.

El GWP significa Global Warning Potencial, es una medida de la cantidad de calor que un gas de efecto invernadero se queda atrapada en la atmósfera en un tiempo específico. El tiempo específico en el cual se calcula es de 20, 100 o 500 años, dependiendo de la reacción químicas (Andalucía, 2010).

La capa de ozono se encuentra ubicada en la estratosfera, el cual absorbe la radiación ultravioleta generada por el sol y evita que este pase hacia la superficie terrestre, permitiendo que exista vida sobre la tierra (Red Ambiental de Asturias, 2012).

En la destrucción de la capa de ozono intervienen algunas sustancias, que es el cloro, bromo, determinadas reacciones químicas que descomponen las moléculas de ozono, tales como; las reacciones CFC y en un menor porcentaje HCFH. (Mota Babiloni, Mendoza Miranda, & Navarro Esbri, 2012)

La presencia de los refrigerantes que contiene moléculas de cloro y bromo, destruyen principalmente la capa de ozono, donde ha estado expuesto a un cambio radical (Figura 4), existe una diferencia con respecto al glacial donde se ve al transcurso de los años el glacial se

ha ido derritiendo a causa del efecto invernadero en consecuencia de los fluidos frigoríficos existentes (Belman, Gallegos, Riesco, & Mendoza, 2014).



Figura 4. Diferencia en la destrucción de la capa de ozono (Talley, 2010).

El ODP significa Ozone Depletion Potential o potencial de agotamiento del ozono, que es el efecto donde un numero hace referencia a la cantidad de destrucción a la capa de ozono, causada por sustancias o reacciones químicas. En la actualidad tanto el fluido frigorífico 134a y el 1234yf, presentan un ODP nulo (ONUUDI, 2012).

Propiedades de los refrigerantes.

Las propiedades de los refrigerantes se refieren al comportamiento de los fluidos o agentes frigoríficos, donde este estudio es importante para entender el comportamiento de un ciclo frigorífico y así elegir el refrigerante correcto, según se lo requiera (Red Ambiental de Asturias, 2012).

Masa molecular. Es la masa de una molécula de una sustancia pura, donde es la suma de átomos que componen un solo cuerpo.

Densidad. Es una magnitud escalar que se refiere a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia u objeto sólido. Es la propiedad que permite medir la pesadez y ligereza de una sustancia.

Viscosidad. Es una característica de un fluido en movimiento, donde muestra tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuando más resistencia oponen los líquidos a fluir, poseen más viscosidad, por el contrario, mientras más viscosos sea el fluido más resistencia se opondrá a su deformación (Buqué, 2007).

Conductividad química. Es la capacidad que presenta un cuerpo para la conducción de calor, o es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otra adyacentes o sustancias que estén haciendo contacto.

Calor específico. Es la cantidad de calor que hay que suministrara a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad.

Calor latente de vaporización. Es la cantidad de energía que debe agregarse a una sustancia en fase líquida para que esta realice una transición a la fase gaseosa, donde es una función de la presión a la cual ocurre dicha transformación y es dependiente de la temperatura.

Tensión superficial. Depende de la naturaleza del líquido, del medio que lo rodea y de la de temperatura. La tensión superficial disminuye con la temperatura, ya que las fuerzas de cohesión disminuyen al aumentar la agitación térmica (Cengel & Boles , 2012).

Inflamabilidad. Es el conjunto de presión, temperatura y mezcla de gases que se presenta una sustancia en estado líquido combustible o inflamable. Esta se inflamará al aplicar una fuente de calor (fuente de ignición) a una temperatura elevada.

Entalpia. Representa la cantidad de energía térmica o de calor, para la mayoría de fluidos frigoríficos tiene una entalpia 0 a una temperatura de saturación por debajo de los 40°C, el trabajo de una transferencia de calor es controlada por los cambios de entalpias durante un ciclo de refrigeración (Refrigerantes, 2006).

Propiedades termodinámicas.

Estas propiedades son necesarias para evaluar y estudiar los puntos de los ciclos termodinámicos, donde se utilizan únicamente las propiedades, tales como presión y temperatura para determinar el estado del fluido, entalpia, entropía y volumen específico para el análisis de los ciclos termodinámicos (Figura 5). Existe diferentes estados que representa un fluido frigorífico, donde se utiliza un diagrama T – s (Buqué, 2007).

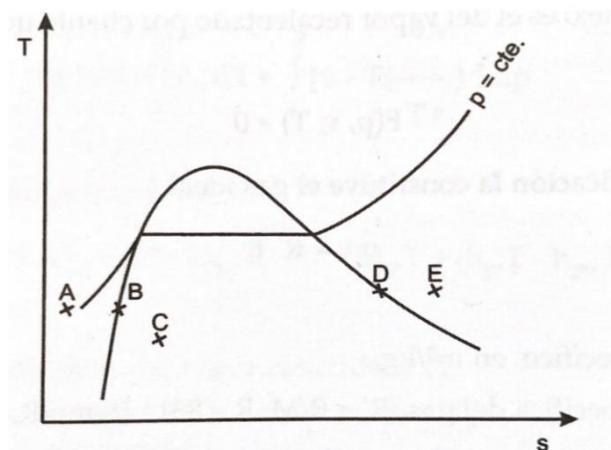


Figura 5. Diagrama de estados del ciclo termodinámico de un fluido frigorífico (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 39).

Estado de líquido subenfriado, estado A. El refrigerante líquido sale del condensador después de haber pasado por un subenfriamiento.

Estado de líquido saturado, estado B. Es un estado que se encuentra en equilibrio situado en la curva de un líquido saturado, donde el líquido es condensado inmediatamente después de condensar sin que esté presente subenfriamiento.

Estado de mezcla líquido vapor, estado C. Dentro de la campana forman una curva de líquido y vapor saturado, donde es la mezcla líquido – vapor a la salida de una válvula de expansión.

Estado de vapor saturado, estado D. Situada sobre la curva de equilibrio del vapor saturado, donde el vapor saturado sale del evaporador, sin que esté presente recalentamiento.

Estado de vapor recalentado, estado E. Se encuentra en la zona del vapor recalentado, donde el vapor está en la salida del evaporador o al mismo tiempo en la aspiración del compresor, conjuntamente de la salida del compresor. (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 39)

En la historia de los refrigerantes está relacionada conjunto de un sistema de refrigeración.

“Donde la primera máquina de refrigeración se genera en el año 1834 por Jacob Perkins, el cual se trataba de una máquina de ciclo de absorción que funcionaba con éter, siendo el primer refrigerante industrial. En el año 1850 Edmond Carré crea la primera máquina con ciclo de absorción que trabaja con agua como refrigerante y ácido sulfúrico como absorbente. Ferdinand en el año 1859 invento una máquina de ciclo de absorción que trabaja con amoníaco como refrigerante y agua como agente absorbente. Sin embargo, en 1873 aparece la primera máquina de ciclo de vapor, donde el CO_2 se lo utiliza como un refrigerante. Más tarde se utilizarían otros compuestos químicos como refrigerantes, el NH_3 (amoníaco) en el año 1873, el SO_2 (dióxido de azufre) y el $CH_3 - O - CH_3$ (éter dimetílico) en 1875, el $ClCH_3$ (cloruro

metilo) en 1878. En el año 1928 Carrier utiliza como refrigerante $C_2H_4Cl_2$ (dicloroetano)” (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 28).

Todos los refrigerantes mencionados con anterioridad a partir del ciclo de vapor, tenían la característica de ser inflamables y tóxicos a excepción del CO_2 , donde sus propiedades con respecto a la seguridad eran buenas pero relacionado con propiedades térmicas no eran del todo buenas. En 1928 el amoníaco era un compuesto que se utilizaba comúnmente en la máquina de ciclo de vapor, de igual forma se utilizaba compuestos tales como; el CO_2 , el SO_2 y $ClCH_3$, pero en un menor porcentaje. Dos investigadores Charles Kettering (General Motors) y Thomas Midgley (Freon Products Division, Du Pont), se encargaron del estudio de compuestos que sean menos tóxicos para el medio ambiente, así llegando el R12 en el campo automotriz (Refrigerantes, 2006).

El Refrigerante R12 hace su aparición en el año 1931, se enfocó principalmente en el campo automotriz y en la refrigeración doméstica. El R12 tiene como nomenclatura CCl_2F_2 (Diclorodifluorometano), por su alta demanda en aquellos tiempos este refrigerante estaba destruyendo y deteriorando la capa de ozono, lo cual fue necesario parar la producción del mismo. Este refrigerante no se usa en el país hace quince años (Manzano, 2012).

El refrigerante R12 pertenece a la familia CFC, el cual tiene en su molécula Cl, F y C, se denominan clorofluorocarbonados.

El refrigerante R134a es el reemplazo del R12 y es perteneciente a la familia HCFH, su molécula contiene H, F, y C, se denominan hidrofluorocarbonados, que por el momento dominan el mercado de refrigeración automotriz.

Por último, el refrigerante R1234yf es el reemplazo del actual R134a y este es perteneciente a la familia HFO, su molécula contiene H, F, y O, se denominan

hidrofluorolefina, ya que es un compuesto que no perjudica a la capa de ozono o tiene un ODP nulo (Villanueva Manresa, 2004).

Refrigerante R134a.

El refrigerante 134a ha sido el reemplazo directo del refrigerante R12 desde el año 1995 en la industria automotriz, el refrigerante 134a o también en su nombre 1, 1, 1, 2 tetrafluoroetano, es un hidrofluorocarbono HFC y haloalcano, es un refrigerante con un ODP insignificante o nulo y con un GWP menor de 1430 a 100 años. La fórmula del refrigerante 134a, está compuesta por CH_2FCF_3 (Figura 6) (Vaghela, 2016).

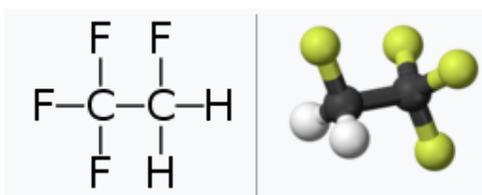


Figura 6. Formula del 1, 1, 1, 2 tetrafluoroetano CH_2FCF_3 (Vaghela, 2016).

El refrigerante 134a es un gas no inflamable a presión atmosférica y temperaturas hasta 100° C que se utiliza en aires acondicionados móviles, este refrigerante es detectable cuando existe fugas en el sistema de aire acondicionado (Acedo Zambrana, 2012).

El refrigerante HCF 134a, no daña a la capa de ozono ya que tiene una alta estabilidad térmica y química, una baja toxicidad y no es inflamable. Este refrigerante es muy utilizado en aires acondicionados en los vehículos y en la refrigeración doméstica (Gasservei, 2014).

Refrigerante R1234yf.

El refrigerante 1234yf es el reemplazo directo del refrigerante 134a, esto se da porque su ODP es nulo y su GWP es inferior a 4 a 100 años. Este fluido frigorífico es desarrollado por instalaciones europeas y americanas, donde su composición es HFO hidrofluorolefinas.

Una de las más grandes desventajas de este fluido refrigerante es que es ligeramente inflamable, pero una descarga eléctrica estática no es suficiente para que se produzca una ignición en el vehículo (Vaghela, 2016).

Este fluido es conocido como 2, 3, 3, 3 tetrafluoropropeno, la fórmula del refrigerante está compuesta $CH_2 = CFCF_3$ (Figura 7). Este fluido es el primero refrigerante de la nueva generación y es un fluido frigorífico incoloro (Acedo Zambrana, 2012).

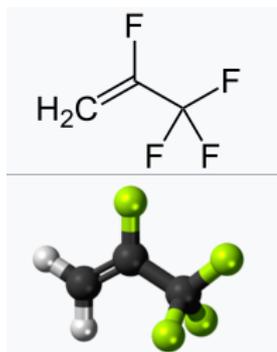


Figura 7. Formula del 2, 3, 3, 3 tetrafluoropropeno $CH_2 = CFCF_3$ (Vaghela, 2016).

El interés por el nuevo agente frigorífico R1234yf es por su bajo GWP (Global Warming Potencial) que es la medida relativa del calor que es atrapado en un gas de efecto invernadero, se caracteriza de igual forma por no contener cloro en su molécula. Su tiempo de permanencia en la atmosfera es de 11 días a comparación del agente frigorífico R134a que es de 14 años, entre otras características importantes (Mota Babiloni, Mendoza Miranda, & Navarro Esbri, 2012).

En la tabla 1, se observa las propiedades de evaluación de los refrigerantes, donde las características más importantes son; la formula, el peso molecular, el ODP que es el Potencial de destrucción de la capa de ozono, el GWP que es el Potencial de calentamiento global a 100 años y su punto de ebullición (Leck, 2009).

Tabla 1

Comparación de propiedades entre el refrigerante 1234yf y el refrigerante 134a.

Propiedades	R1234yf	R134a
Formula	$\text{CF}_3\text{CF} = \text{CH}_2$	CH_2FCF_3
Peso Molecular	114	102
ODP	0	0
GWP (100 años)	4	1430
Punto de ebullición K	244.15	247.15
Punto crítico K	368.15	375.15
Presión de evaporación 298.15K (MPa)	0.677	0.665
Presión de condensación 353.15K (MPa)	2.44	2.63
Densidad del líquido 298.15K (kg/m^3)	1094	1207
Densidad del vapor 298.15K (kg/m^3)	37.6	32.4
Viscosidad del líquido 298.15K ($\mu\text{Pa}/\text{s}$)	155.45	194.89
Viscosidad del vapor 298.15K ($\mu\text{Pa}/\text{s}$)	12.291	11.693
Conductividad térmica del líquido 298.15K (mW/mK)	63.585	81.134
Conductividad térmica del vapor 298.15K (mW/mK)	13.966	13.825
Calor específico del líquido 298.15K ($\text{kJ}/\text{kg K}$)	1.3921	1.4246
Calor específico del vapor 298.15K ($\text{kJ}/\text{kg K}$)	1.0533	1.0316

La comparación de las propiedades de los agentes frigoríficos se observa en la tabla 1, son las propiedades termodinámicas entre en R1234yf y el R134a, ambos refrigerantes presentan parámetros similares con un porcentaje de variación. Entre las propiedades que presentan mayor porcentaje de variación son la densidad del líquido con una variación de 113 kg/m^3 , viscosidad del líquido con una variación de 39.44 $\mu\text{Pa}/\text{s}$ y la conductividad térmica del líquido con una variación de 17.629 mW/mK , donde todos estos valores se encuentran a una temperatura de 298.15 K (Mota Babiloni, Mendoza Miranda, & Navarro Esbri, 2012).

Ciclo de Compresión de Vapor.

El ciclo de compresión de vapor simple es el más utilizado en el campo de aire acondicionado automotriz, donde los componentes importantes son; el compresor, que es aquel que aspira y comprime el vapor que proviene desde el evaporador, el condensador, el cual realiza el enfriamiento del fluido refrigerante y la condensación del vapor comprimido

por el compresor, la válvula de expansión, donde expande el vapor proveniente del condensador y genera la mezcla líquido – vapor a una presión baja y por último el evaporador que es aquel que se encarga de vaporizar el vapor (Figura 8) (Cengel & Ghajar, 2011).

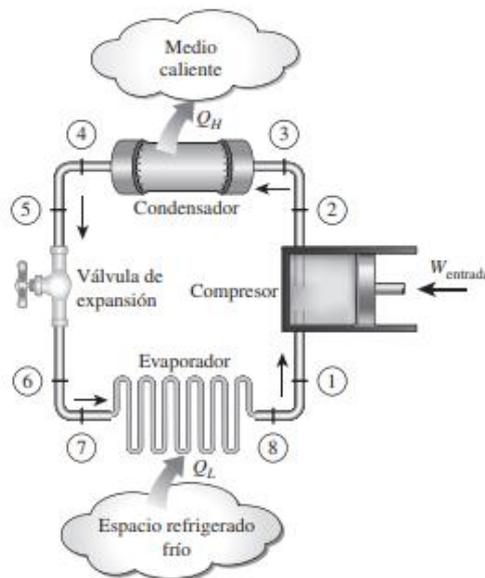


Figura 8. Elementos del Ciclo simple de compresión de vapor (Cengel & Boles , 2012).

Una de las características más importantes del condensador, es que cede calor al fluido frigorífico, donde este generalmente son refrigerados por aire del medio ambiente. El evaporador es el que absorbe calor el medio de refrigeración que se debe mantener a una temperatura baja. El ciclo simple de compresión de vapor se representa por el diagrama p-h (Figura 9) (Buqué, 2007).

En el intervalo 4 – 1 es el recalentamiento de calor que se produce a la salida del evaporador o en el mismo evaporador, este punto es importante donde el recalentamiento es necesario para así evitar que el refrigerante tenga un estado parcialmente líquido al compresor. La compresión tiene un intervalo de 1 – 2, en el estado 2s se observa el final del

estado del ciclo de compresión isentrópica, donde existe un salto entálpico real que es el rendimiento del compresor η_c (Jutglar & Miranda, 2008).

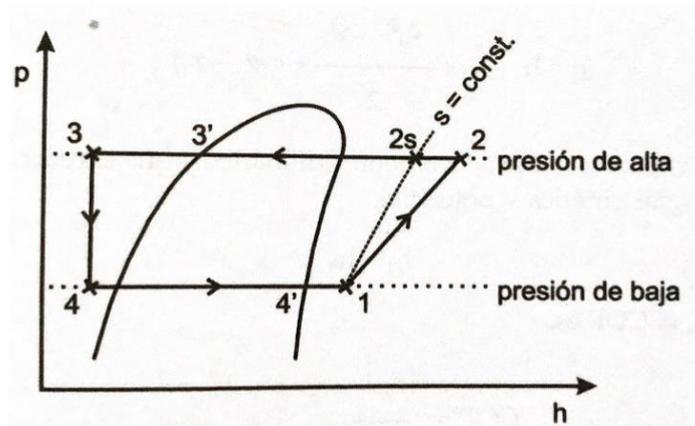


Figura 9. Diagrama p-h del ciclo simple de compresión de vapor (Jutglar & Miranda, 2008).

La eficiencia o rendimiento se representa por la ecuación 1 (Jutglar & Miranda, 2008):

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

En el intervalo 2 -3 se encuentra el estado de enfriamiento o de condensación del vapor ya comprimido, en este tramo se presenta un subenfriamiento del líquido refrigerante, que se produce en el mismo condensador o a la salida del mismo. El subenfriamiento del condensado no es muy esencial al efecto del recalentamiento del vapor, pero existe un pequeño subenfriamiento del líquido generando un mejor efecto frigorífico en el evaporador, para así desplazarse al punto del estado 4, el intervalo 3 – 4 representa el ciclo de expansión. Referente a esto se puede sacar las siguientes ecuaciones correspondientes (Jutglar & Miranda, 2008, págs. 48-49).

El trabajo específico interno de compresión es w_c , donde el valor es absoluto:

$$w_c = h_2 - h_1 \quad (2)$$

El calor cedido por el condensador es:

$$Q_H/q_c = h_2 - h_3 \quad (3)$$

El calor absorbido por el evaporador es:

$$Q_L/q_e = h_1 - h_4 \quad (4)$$

En las dos anteriores ecuaciones los valores son absolutos, cabe recalcar que los valores h_3/h_4 , son valores que carecen de importancia alguna al compararlos ya que representan un mismo resultado de entalpia en el diagrama p-h. es decir que:

$$h_3 = h_4 \quad (5)$$

La refrigeración del COP que se da por medio del evaporador:

$$COP = \frac{q_e}{w_c} \quad (6)$$

Y el bombeo de calor que se da por medio del condensador:

$$COP = \frac{q_c}{w_c} \quad (7)$$

Aire acondicionado automotriz.

En el siguiente proyecto estará centrado en el segmento de confort, donde se describirá el aire acondicionado automotriz con todas sus características correspondientes al tema. Un aire acondicionado se caracteriza principalmente por una producción de frío por varios componentes que cumplen una función en cada punto frigorífico del sistema, así manteniendo una temperatura adecuada en un espacio confinado.

El sistema de aire acondicionado consta de cuatro componentes principales, el compresor, el condensador, el evaporador y su válvula de expansión. Cada uno de estos componentes cumplen una función en el ciclo frigorífico evaporación, compresión, condensación y expansión. En el sistema de aire acondicionado están compuesto de dos intercambiadores de calor (evaporador y condensador), estos dos componentes trabajan con una geometría tipo aletas (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

El ciclo frigorífico comienza en el estado termodinámico 4 que es la evaporación, donde el refrigerante en estado de vapor se ingresa al compresor y realiza el trabajo de comprimirlo así elevando las condiciones de presión y temperatura (HIGH). El refrigerante ingresa al condensador donde se da el estado de condensación, alcanzando las condiciones y propiedades de un líquido subenfriado a una presión alta, esto es gracias a la potencia térmica del mismo refrigerante a un flujo másico de aire que circula por el condensador a una temperatura ambiente, así ocasionando que la temperatura del aire se incremente (Grimm & Rosaler, 1996).

El refrigerante sigue su recorrido por el circuito hacia la válvula de expansión donde ocurre el estado de la expansión, en este ocurre el proceso conocido como isoentálpico ya que existe una disminución de presión hasta que alcance las condiciones de evaporación. El refrigerante ingresa al evaporador como una mezcla líquido – vapor, donde el refrigerante

absorbe la potencia térmica otorgada por el flujo de aire que sale hacia el habitáculo del vehículo a través del evaporador. Los componentes y su conexión en el sistema de refrigeración, están conectados entre sí, formando un ciclo cerrado (Figura 10) (Crouse & Anglin, 1988).

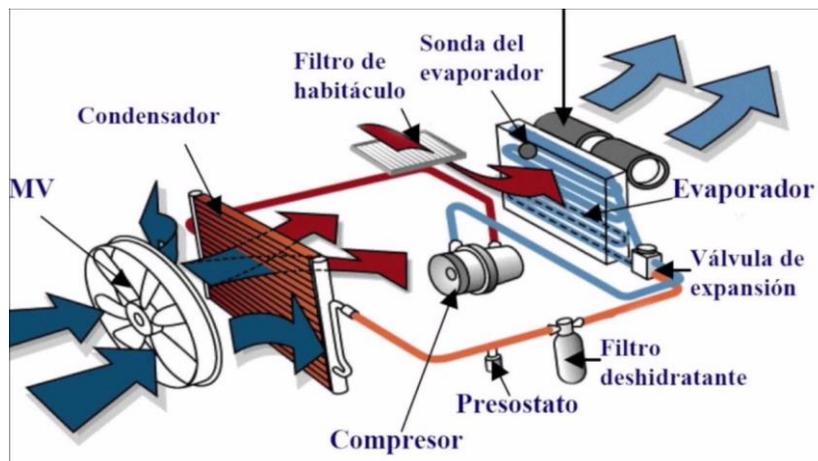


Figura 10. Componentes y conexión de un sistema de refrigeración automotriz (Acedo Zambrana, 2012).

Componentes de la instalación de Compresión de Vapor.

Es esta parte se hablará de los elementos más importantes del ciclo de compresión de vapor tales como; el evaporador, compresor, condensador y la válvula de expansión encargados de realizar un ciclo frigorífico. Estos componentes anteriormente están acoplados entre sí por medio de cañerías o mangueras, el punto de funcionamiento o equilibrio funcionan sus curvas correspondientes, por otro lado, si se presenta un desnivel en el punto de equilibrio se presentarán modificaciones en las temperaturas de evaporación y condensación.

Intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor son componentes con la facilidad de realizar la función de intercambiar calor entre dos fluidos que están a temperaturas diferentes, sin que estos se mezclen. Los intercambiadores de calor se aplica en el campo de calefacción y en el área de aire acondicionado. Los intercambiadores de calor que se utiliza en un aire acondicionado son de tipo compactos, donde su área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen es mayor a $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y aproximadamente igual a $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Jaramillo, 2007).

Los pasajes a través que pasa el flujo en estos intercambiadores de calor compactos, son pequeños por lo que el flujo es considerado laminar. Estos intercambiadores compactos permiten lograr elevadas razones de transferencia de calor entre dos fluidos en un volumen pequeño, donde su uso es limitado con respecto al peso y el volumen (Barrera, 2018).

El área superficial de los intercambiadores de calor de aire acondicionado, están compuestas de placas delgadas o aletas corrugadas con poco espacio entre sí, los intercambiadores de calor compactos son de un uso común de transferencia de calor, de gas a líquido (condensador) y de líquido a gas (evaporador). En un intercambiador compacto los dos fluidos se mueven de manera perpendicular entre sí, flujo cruzado, es decir el aire pasa a través de las aletas por la parte exterior y un fluido específico pasa por los tubos por la parte interior del intercambiador compacto (Cengel & Ghajar, 2011).

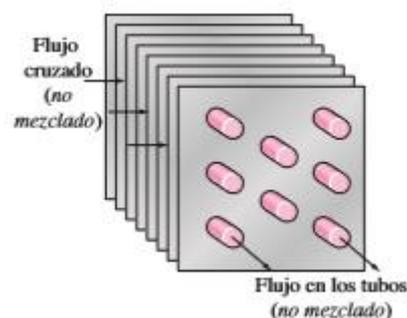


Figura 11. Direcciones de un intercambiador de calor compacto (Cengel & Ghajar, 2011)

El Evaporador.

El evaporador es un intercambiador de calor, que se utiliza por lo general en los sistemas de compresión de vapor. Este extrae el calor del medio que se va a refrigerar, la extracción del calor se da por medio de un fluido que pasa de estado líquido a gaseoso, donde el calor latente se lo extrae del medio que se va a enfriar (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

El componente para enfriar dicho fluido es el aire. Así siguiendo su ciclo frigorífico correspondiente, en el evaporador se produce el estado de evaporación (Acedo Zambrana, 2012).

En el esquema de un evaporador (Figura 12), el agente frigorífico ingresa en estado líquido en una dirección y este sale del mismo en dirección opuesta en estado gaseoso hacia el compresor (BEHR Hella Service, 2012).

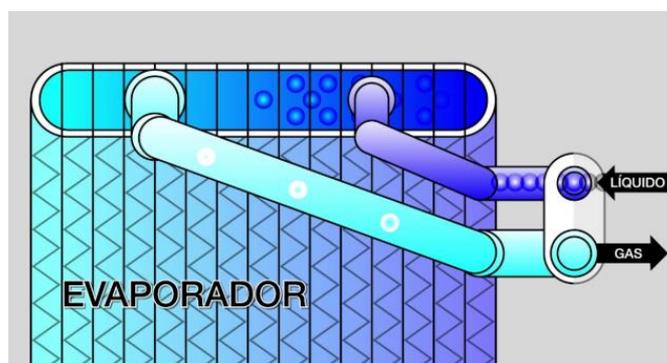


Figura 12. Evaporador de ciclo simple de compresión de vapor (Manzano, 2012).

El Condensador.

El condensador se utiliza para ceder el calor absorbido por el sistema hacia el medio ambiente, este calor es igual al calor absorbido por el evaporador más el calor del trabajo que realiza el compresor. El calor es a partir del fluido o agente frigorífico que pasa de un estado gaseoso a líquido, este estado se le conoce como condensación, donde el fluido que llega a enfriar es por medio de aire otorgado por el medio ambiente (Crouse & Anglin, 1988).

La presión que se encuentra en el condensador por lo general permanece constante, pero existe un porcentaje de pérdida de presión ya que existe rozamiento dentro del estado, por lo tanto, en el proceso de condensación la temperatura presenta modificaciones insignificantes (BEHR Hella Service, 2012).

El fluido frigorífico ingresa al condensador como un vapor sobrecalentado (Figura 13), es decir a una determinada temperatura de entrada T_{in} , superior a una temperatura de saturación T_s . El fluido frigorífico se enfriará hasta llegar a la temperatura de saturación T_s que es mayor que la temperatura de salida T_{out} del condensador, el fluido se condensará siguiendo el siguiente paso del ciclo (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

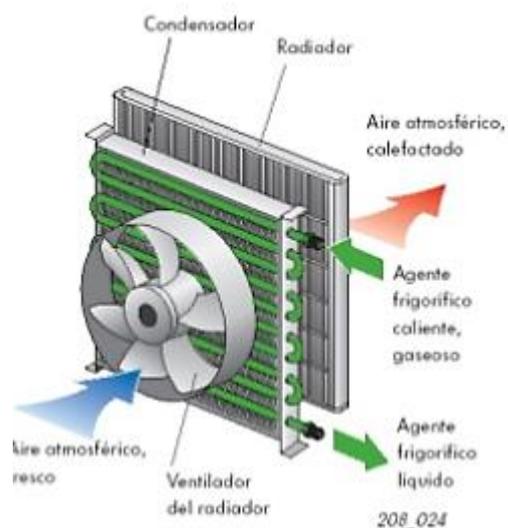


Figura 13. Condensador de ciclo simple de compresión de vapor (Acedo Zambrana, 2012).

El Compresor.

El compresor es el componente principal de un sistema de aire acondicionado del ciclo de compresión de vapor, el compresor es aquel componente que se encarga de comprimir el fluido o agente frigorífico, el estado en este componente es de la compresión. Unas de sus funciones son las de elevar la presión del fluido frigorífico, enviándolo hacia el

condensador, donde la presión de entrada es de aspiración y la de salida es la presión de expulsión (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

La entrada del fluido refrigerante (Figura 14), proveniente del evaporador a una baja presión y la salida del fluido refrigerante, que se dirige hacia el condensador a una elevada presión (BEHR Hella Service, 2012).

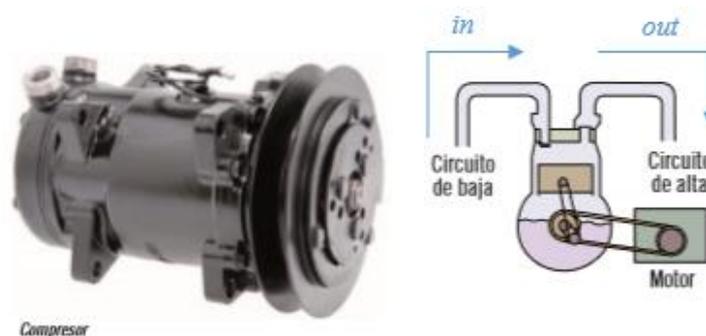


Figura 14. Compresor de ciclo simple de compresión de vapor (Acedo Zambrana, 2012).

Lubricantes. Los lubricantes son necesarios para poder lubricar partes móviles en el interior del compresor, el aceite sale del compresor recorriendo el sistema de refrigeración y devolviéndola al mismo. Al poseer cantidad de aceite excesiva tanto el condensador como el evaporador presentaría alteraciones en su estado, ya que existía una separación en la fase líquida del fluido refrigerante y el lubricante mismo (Gasservei, 2014).

El lubricante más utilizado es el Polyalkylene Glycol Compressor Oil, donde este tipo de lubricante se usa en sistemas de enfriamiento automotriz, ya que es un fluido para trabajar en metales. Este aceite ayuda a una alta lubricidad, baja propiedades de tracción, alto índice de viscosidad y velocidades de enfriamiento controladas. El término Polialquilenglicol son moléculas compuestas por reacciones de hidrogeno activo, como alcoholes, aminas, agua y oxido de alquileo (Buqué, 2007).

Existe varios tipos de compresores entre los más comunes utilizados en el campo automotriz son:

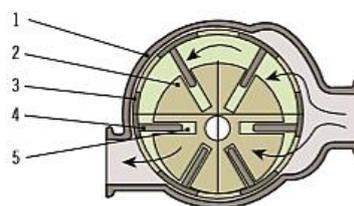
Tipos de compresores.

Compresor rotativo de paletas.

En este tipo de compresor el eje del compresor es tipo excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor. El rotor gira deslizando sobre el estator, con una cinemática plana, en una forma excéntrica respecto a la superficie cilíndrica interior del estator. Esta establece un contacto que en el estator tiene lugar sobre una única generatriz. minetas en que el rotor tiene lugar a lo largo de todas sus generatrices (Aire Acondicionado, 2010).

El rotor es un cilindro tipo hueco con estrías radiales en las que las paletas están sometidas a un movimiento de vaivén. Al producirse una fuerza centrífuga, las paletas comprimen y ajustan sus extremos libres deslizantes a la superficie interior del estator, al tiempo que los extremos interiores de dichas palas se desplazan respecto al eje de giro (Renedo, 2010).

Este tipo de compresor genera un incremento de presión por medio de un rotor con paletas montadas excéntricamente en el cilindro donde este tiene un cierre hermético al fluido refrigerante, este se desplazará y lo comprimirá enviándolo al condensador (Checa Muñoz & Caiza Alarcón, 2012).



1	CAJA ENVOLVENTE
2	ROTOR
3	TAMBOR GIRATORIO
4	PALETAS
5	ALOJAMIENTO DE LA PALETAS

Figura 15. Parte interna compresor rotativo de paletas (Acedo Zambrana, 2012).

Compresor rotativo de espiral.

El compresor rotativo de espiral o de tipo Scroll, es la última generación de compresores rotativos de un tipo de paletas. Los últimos modelos de mercado han llevado un rotor en forma de espiral, excéntrico respecto al árbol del compresor, este rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene una forma de espiral concéntrica con el eje del compresor (Fernández, 2012).

La superficie de contacto entre los espirales se establece en el estator o en el rotor en todas sus generatrices. Este tipo de compresores se basa por los espirales que presenta ya que su geometría es variable y tiene una forma de hoz, están generadas en forma de dos caracoles o espirales idénticos. El espiral superior es fija (estator), donde en su centro está ubicada la lumbrera de escape y el otro espiral es móvil (rotor), están montadas frente a frente, teniendo un contacto directo entre sí (Guerra, 2010).

Su funcionamiento es por medio de dos espirales, una fija y otra móvil, así generando un movimiento orbital. Este movimiento se produce por el compresor mediante un eje excéntrico equilibrado por una masa, donde el ciclo de funcionamiento va desde los 0° que está en reposos hasta los 990° (Arroyo Rosa, 2013).

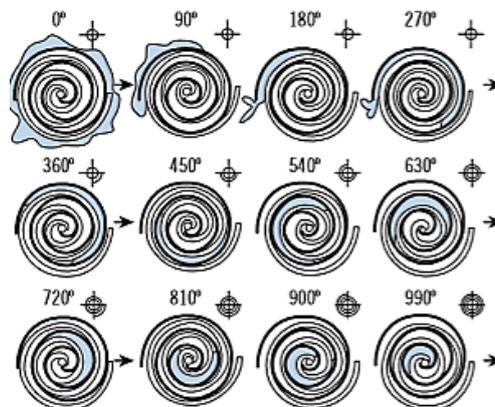


Figura 16. Fases de funcionamiento del compresor en espiral (BEHR Hella Service, 2012).

Compresor de émbolos axiales o cilindrada variable.

Este tipo de compresor está formado por varios cilindros montados de forma horizontal, el movimiento giratorio es por medio de un eje interno que es transmitido por un cubo de accionamiento. El disco oscilante es aquel que transforma a un movimiento alternativo de los émbolos, llevando dos válvulas por cada embolo que son de aspiración y expulsión (Renedo, 2010).

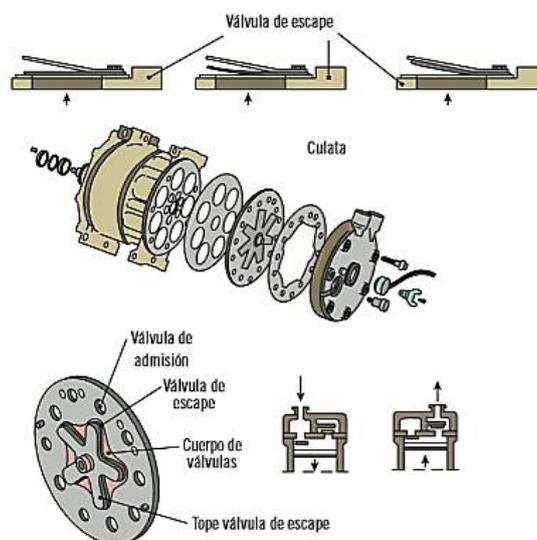


Figura 17. Parte interna compresor de émbolos axiales (Acedo Zambrana, 2012).

Los pistones de este tipo de compresor se mueven hacia abajo en la carrera de succión se reduce la presión en el cilindro, y cuando la presión del cilindro es menor que la de línea de succión del compresor, donde la diferencia de presión motiva a la apertura de las válvulas de succión y fuerza del fluido refrigerante. Cuando el pistón alcanza el fin de su carrera de succión e inicia la carrera de compresión, se crea una presión en el cilindro forzado el cierre de las válvulas de succión. La presión del cilindro continúa elevándose a medida que el pistón se desplaza hacia arriba comprimiendo el fluido refrigerante atrapado en el cilindro. Una vez que la presión en el cilindro es mayor a la presión existente en la línea de descarga del compresor, las válvulas de descarga se abren y el fluido refrigerante fluye hacia el condensador (BEHR Hella Service, 2012).

Este compresor es uno de los más usados por fabricantes de distintas marcas de vehículos, ya que presenta varias ventajas, tales como; la capacidad de ajuste según sean las exigencias del sistema de aire acondicionado o por pérdidas de potencia creadas por el arrastre. La regulación del caudal se genera mediante la variación de la carrera de los émbolos (MIAC, 2009).

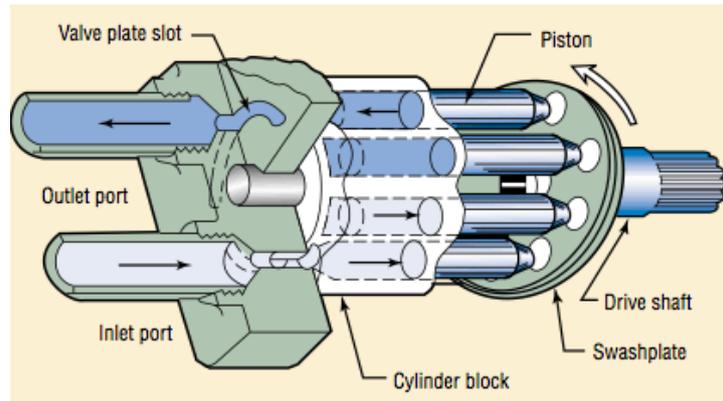


Figura 18. Compresor de cilindrada variable (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

Compresor cilindro fijo y accionamiento de biela manivela.

También conocido como compresor de una etapa, este se compone normalmente de un cigüeñal, pistón y un cilindro. El caudal es limitado y presenta condiciones de un servicio intermitente, ya que estos compresores son de una baja potencia (Fernández, 2012).

El pistón de este tipo de compresor trabaja sobre una sola cara, es decir de un simple efecto, donde el refrigerante es dirigido hacia la cabeza del cilindro o de la carcasa del compresor misma, donde el refrigerante es desplazado (Arroyo Rosa, 2013).

Es el descenso de un embolo que provoca una depresión dentro de una cámara en el interior del compresor, donde se abre la válvula de aspiración permitiendo la entrada de fluido frigorífico y la válvula de expulsión se encuentra cerrada. Al subir el embolo, este comprime el fluido frigorífico, así abriendo la válvula de expulsión para que el fluido frigorífico salga a una alta presión y temperatura hacia el condensador (Termotrónica, 2008).

En este tipo de compresor el desplazamiento en su interior es el mismo volumen, en este sistema presenta un inconveniente, ya que al disminuir la presión en el circuito de baja o Low, el fluido frigorífico podría llegar a congelarse. En este se incorpora un sistema adicional para poder medir la presión y temperatura (Aire Acondicionado, 2010).

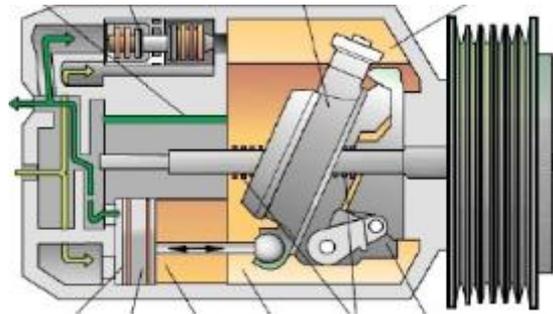


Figura 19. Compresor de cilindrada fija (Checa Muñoz & Caiza Alarcón, 2012).

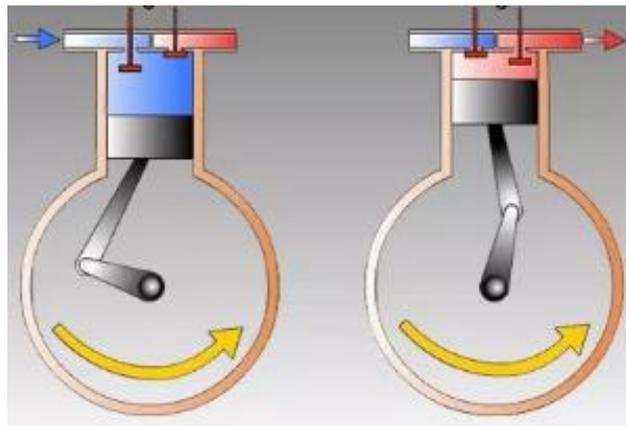


Figura 20. Accionamiento compresor biela manivela (Renedo, 2010).

El Válvula de expansión.

En esta fase existe una caída presión para que así el fluido frigorífico pueda entrar en un punto de ebullición a baja temperatura en el evaporador, existiendo un sistema de regulación para controlar el fluido frigorífico cuando este se encuentre en la entrada del evaporador. En el campo automotriz existen dos válvulas de expansión (BEHR Hella Service, 2012).

La primera válvula más utilizada en el campo automotriz es la Válvula de Expansión a presión constante, es aquella que permite que el fluido en estado líquido ingrese al evaporador a una presión constante. Cuando en el evaporador disminuye la presión el muelle actúa sobre el diafragma, donde abre la válvula permitiendo el paso de más refrigerante (Figura 21), consiguiendo así una presión constante. Este control se utiliza en sistema de refrigeración de una potencia menor (Jutglar & Miranda, 2008).

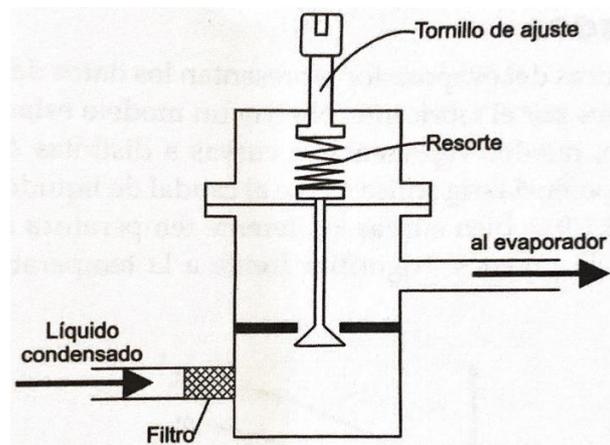


Figura 21. Válvula de Expansión de presión constante (Jutglar & Miranda, 2008, pág. 145).

La segunda válvula comúnmente utilizada es la Válvula de bulbo capilar, esta válvula es muy simple, ya que realiza una variación de presión entre el condensador y el evaporador. Tiene un diámetro de 0.5 a 2.5 mm y una longitud de 0.5 a 5 m, la caída de presión se produce por fricción y desaceleración del fluido frigorífico que va a ingresar hacia el evaporador (Crouse & Anglin, 1988).

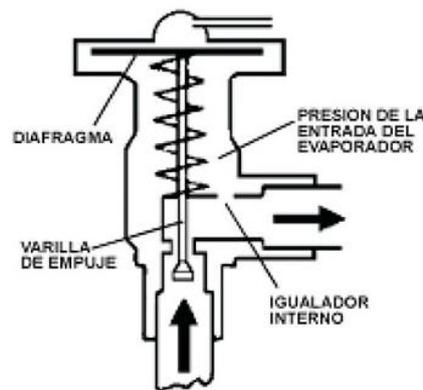


Figura 22. Válvula de Expansión de bulbo capilar (Grimm & Rosaler, 1996).

De igual forma en el ciclo de compresión simple, existen otros componentes encargados de regular y controlar el ciclo frigorífico, que se encuentran instalados en el mismo circuito de refrigeración tanto el circuito LOW como en el circuito HIGH (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

El termostato.

El termostato es aquel que controla la temperatura generada en el evaporador que se encuentra instalado en un punto determinado, el termostato es un dispositivo que abre y cierra un circuito en función de la temperatura, activando o desactivando el compresor del Aire acondicionado (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

Estos termostatos son utilizados comúnmente en la refrigeración de confort, donde asegura una temperatura optima dentro del habitáculo a enfriar, así evitando que se forme una capa de hielo en el evaporador, ya que podría disminuir su ciclo de funcionamiento (Termotrónica, 2008).

Si en el evaporador se llegara a formar una capa de hielo este puede ser un aislante entre en el evaporador y el medio a enfriar. El termostato más utilizado en instalaciones alternas de aire acondicionado automotriz (Figura 23), se compone de dos pines y un regulador manual (Buqué, 2007).



Figura 23. Termostato de instalación alterna (BEHR Hella Service, 2012).

El presostato.

El Presostato es el encargado de regular la presión en el ciclo de compresión de vapor, este trabaja con el fin de proteger el sistema de refrigeración. El presostato es un sensor de presión electrónico, estos detectan la alta presión del fluido frigorífico y la transforma de una magnitud física a una señal eléctrica (BEHR Hella Service, 2012).

El presostato se caracteriza por ser el componente de seguridad del sistema, que actúa directamente a la activación y desactivación del embrague del compresor (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

La función de seguridad del presostato es la de cortar la corriente eléctrica del compresor cuando existe una sobrepresión en el circuito HIGH, donde puede llegar mayor a 25 bares (360 psi), e igual corta la corriente cuando existe una baja presión en el circuito LOW siendo inferior a 1 bar (15 psi). Un presostato binario (Figura 24), es el más utilizado en el campo automotriz en una instalación alterna u original (Acedo Zambrana, 2012).



Figura 24. Presostato binario de instalación alterna (Grimm & Rosaler, 1996).

El filtro deshidratador.

El filtro deshidratador (Figura 25) tiene la misión de impedir el paso de las partículas externas (suciedad) que se transportan por medio del fluido frigorífico a todo el circuito de refrigeración, absorbiendo humedad que pueda existir y reteniendo partículas desprendidas por el compresor (Goribar, 2009).

En el interior del filtro existe un tipo de malla para retener partículas de suciedad, la presencia de humedad en el sistema de refrigeración es perjudicial para el ciclo de refrigeración, ya que puede obstruir el sistema ocasionando taponamientos en el sistema (Grimm & Rosaler, 1996).

Una de las sustancias que se usa más en la actualidad son los secantes de gel de sílice, óxido o trióxido de aluminio, tamices moleculares, alúmina activa, entre otros. Estos filtros deshidratadores son recomendables su cambio al momento de que el circuito haya estado en contacto con el medio ambiente. El filtro se localiza en la salida del condensador, en el circuito de alta presión (BEHR Hella Service, 2012).

El filtro deshidratador se encuentra en el circuito de aire acondicionado de forma individual o instalado en el mismo condensador.

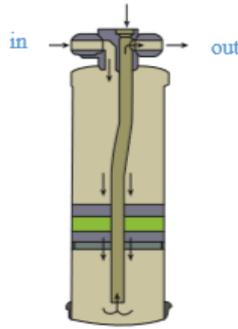


Figura 25. Filtro deshidratador instalación alterna (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

Embrague electromagnético.

El embrague electromagnético es un dispositivo especial, que permite mantener solidario el compresor con el motor. Este es el elemento que posibilita la interrupción de la conexión entre el motor del vehículo y del compresor, esta interrupción se la realiza de forma automática o manual (Checa Muñoz & Caiza Alarcón, 2012).

El embrague electromagnético (Figura 26) es el más utilizado en la industria automotriz, donde está formado por un embrague electromagnético, instalado entre la polea y el árbol de accionamiento al compresor (Renedo, 2010).

Cuando la bobina recibe una corriente, esta genera un campo magnético que atrae al embrague, así conectando la parte interna del compresor para que realice la función de comprimir el fluido frigorífico. El embrague del compresor funciona con una fuente de alimentación de 12 voltios (Acedo Zambrana, 2012).

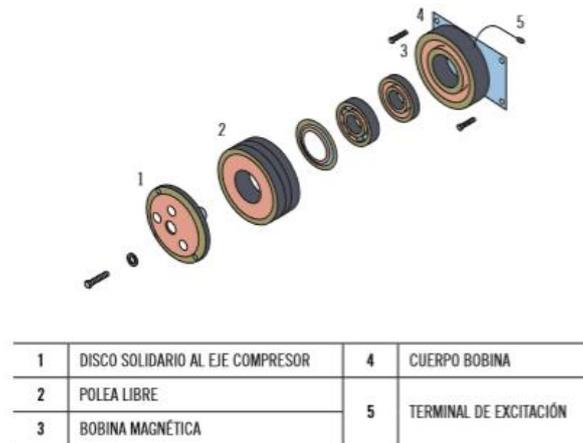


Figura 26. Despiece del embrague del compresor (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

Válvulas de carga o de servicio.

En el sistema de aire acondicionado existen dos válvulas, que realiza la función de medir la presión tanto en el circuito LOW como en el circuito HIGH y la de recargar el refrigerante (Mecánica Automotriz. org, s.f.).

Estas válvulas tienen en su interior un tipo de agujas que al momento de poner el instrumento de medición (manómetros), este realiza la función de abrir la aguja, así permitiendo realizar los trabajos en el sistema del aire acondicionado (Goribar, 2009).

Las válvulas de carga o de servicio son aquellas que permiten el paso o el ingreso del refrigerante en él un sistema de aire acondicionado, también como medio de control y de seguridad de las presiones presentes en el sistema de aire acondicionado (BEHR Hella Service, 2012).



Figura 27. Válvulas de carga LOW y HIGH.

Método

El análisis de resultados se la realizará por medio de un banco de pruebas de un sistema de aire acondicionado, donde será impulsado por medio de un motor eléctrico conectado al compresor por una banda de accesorios automotriz. El sistema de aire acondicionado a construir estará compuesto de todos los elementos o componentes descritos en el Marco Teórico, donde cada uno cumplirá una función importante para así completar un ciclo frigorífico.

Para poder realizar la comparación respectiva entre el compresor R134a y el compresor R1234yf, se debe tomar datos de presiones y temperaturas. Los datos de presiones se las debe tomar por medio de los manómetros en las válvulas LOW y HIGH, de esta manera se sabrá las presiones que entra y sale del compresor. Las temperaturas que se debe tomar en el sistema o circuito del aire acondicionado son dos, como en el caso anterior se debe tomar temperaturas tanto en el circuito de LOW y HIGH. Estas temperaturas se deben tomar a la salida del evaporador y a la salida del condensador, por medio de instrumentos de medición de temperatura.

Con estos datos de presiones y temperaturas se identificará las entalpías de cada estado del Diagrama de Mollier o Diagrama $p - h$ (Figura 9), tanto en refrigerante 134a (Figura 28) como el refrigerante 1234yf (Figura 29) tienen su respectivo Diagrama de Mollier. Estos diagramas se presenta en presión versus entalpía, la presión está en bar mientras que la entalpía se encuentra en kJ/kg . En ambos refrigerantes.

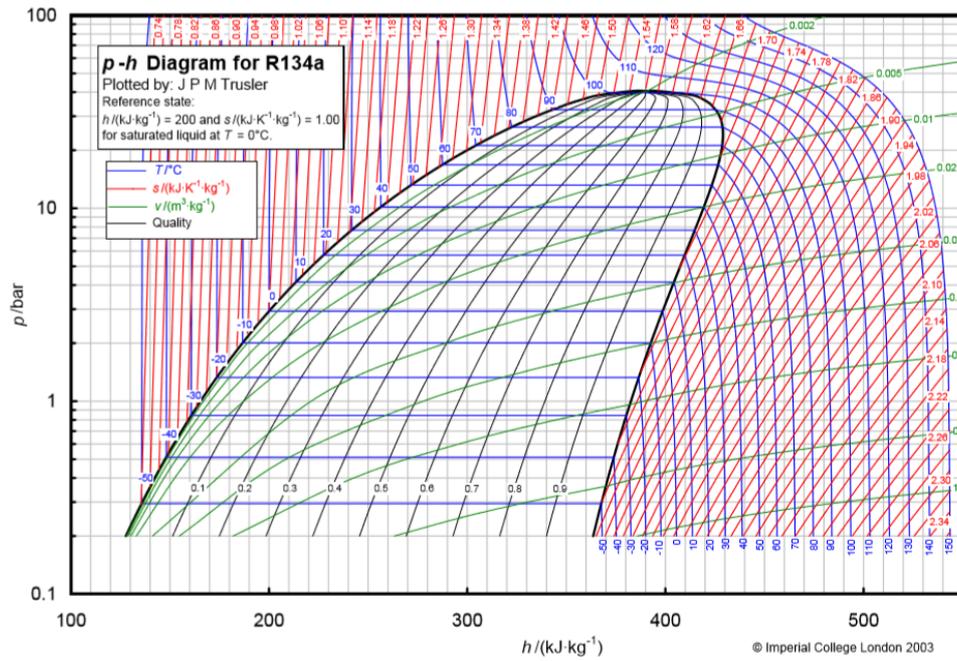


Figura 28. Diagrama de Mollier R134a (Trusler, 2003).

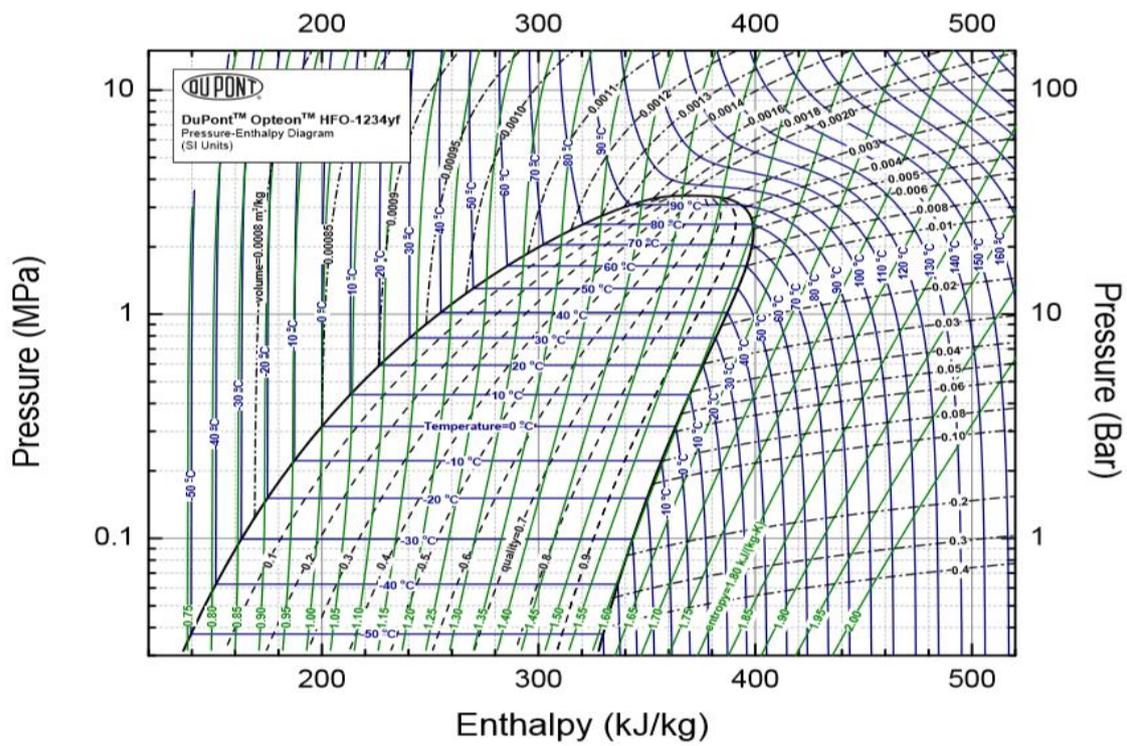


Figura 29. Diagrama de Mollier R1234yf (DuPont & Opteon, 2009).

Con los datos de presiones y temperaturas de ambos refrigerantes se procede a ordenar o ubicar en los puntos respectivos de los estados frigoríficos. Con los datos de presiones y temperaturas en el Diagrama de Mollier, se puede obtener las entalpías de cada uno de los estados frigoríficos, para así poder reemplazar en las ecuaciones descritas en el Marco teórico.

El resultado de entalpías obtenidas se reemplaza en la ecuación 1, donde se puede obtener la eficiencia o rendimiento del compresor, que está instalado en el sistema de aire acondicionado. De igual forma se puede obtener el trabajo específico interno de compresión en la ecuación 2, el calor cedido por el condensador como el calor absorbido por el evaporador de la ecuación 3 y 4 respectivamente.

Para la construcción de la maqueta experimental se utilizará un evaporador con un ventilador instalado en el mismo componente.



Figura 30. Evaporador con ventilador incluido.

El ventilador funciona con una alimentación 12 voltios, con una potencia de 50 watts y tiene tres tipos de velocidades (flujo de aire), en el interior de la carcasa se compone de; del evaporador, del ventilador, del sensor de temperatura y de la válvula de expansión que va instalada en la parte exterior.

Las dimensiones del evaporador son 130 mm x 370 mm x 120 mm (alto x largo x alto), el diámetro de entrada del evaporador es de 13 mm y el diámetro de salida del mismo es de 20 mm. El evaporador está compuesto por cuatro tubos de entrada y cuatro tubos de salida del evaporador de aluminio.

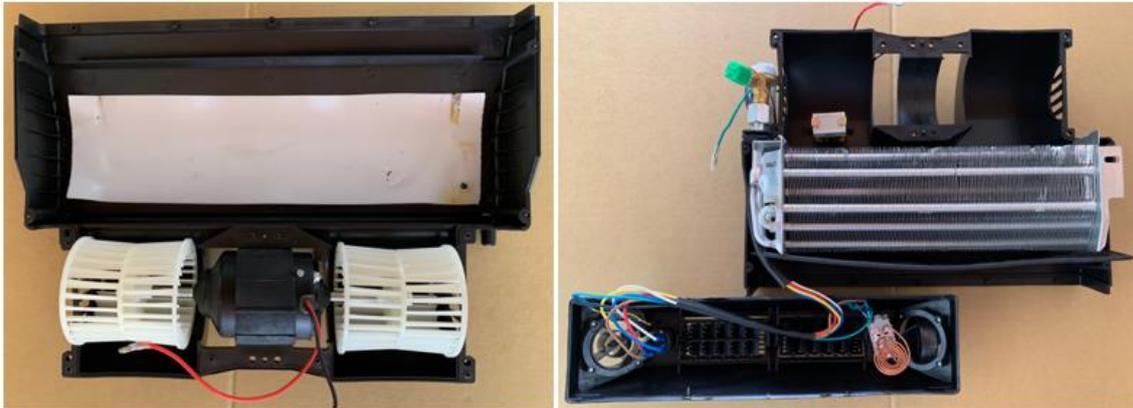


Figura 31. Evaporador con ventilador incluido parte interior.

La válvula de expansión que se utilizara en el sistema se vio en el capítulo anterior, denominada válvula de tubo capilar, tiene una capacidad nominal de 0.5 a 15.5 kW, con una longitud de tubo capilar de 1.5 metros. El diámetro de ingreso de la válvula es de 10 milímetros, esta va instalada en la toma de evaporador en el circuito HIGH, cuyo diámetro de salida es de 13 milímetros, va instalada en el evaporador por medio de una rosca, evitando que exista fuga de refrigerante en el sistema.



Figura 32. Válvula de expansión de tubo capilar.

Esta válvula se caracteriza ya que el ingresa al evaporador por medio del circuito HIGH, pero el tubo capilar está en contacto con la cañería del circuito LOW, al salir del evaporador, ayudando a un control externo de la válvula.

El termostato va instalado en la parte interna del evaporador, teniendo una longitud de 90 milímetros de tubo capilar que está en contacto entre las aletas del evaporador, aproximadamente 15 centímetros, donde actúa como un sensor de temperatura. El termostato puede regularse manualmente para la activación y desactivación del compresor.

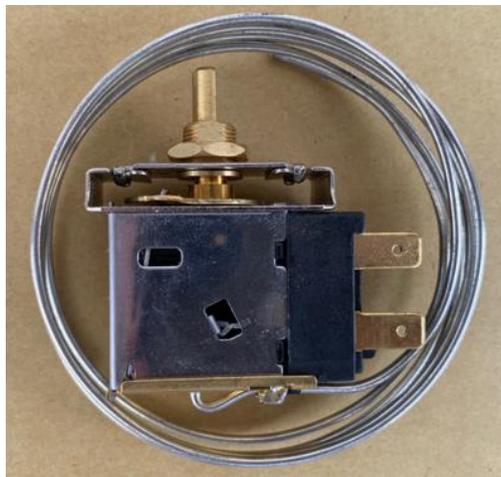


Figura 33. Termostato de instalación alterna de A/C.

El condensador es un intercambiador de calor, su función la de pasar el fluido frigorífico de estado gaseoso a un estado líquido. El condensador por lo general se ubica en la parte delantera de un vehículo y tiene medidas semejantes a un radiador de refrigeración. Las dimensiones del condensador son 400 mm x 580 mm x 15 mm (alto x largo x ancho), el condensador está compuesto por 42 tubos.

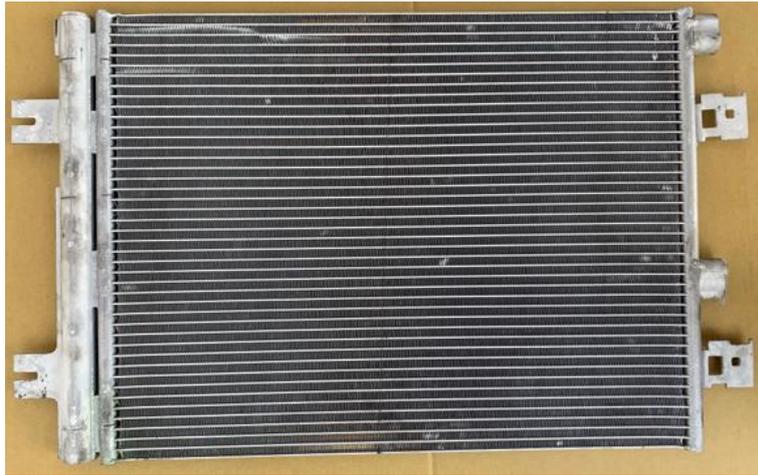


Figura 34. Condensador de Aire Acondicionado.

El condensador tiene en sus extremos las tomas o uniones de mangueras/cañerías, donde por un lado entra el fluido frigorífico, cuyo diámetro es de 20 milímetros y por el otro lado sale el fluido, con un diámetro de 10 milímetros. El fluido frigorífico viene desde el compresor, donde el gas es comprimido, cuando el fluido sale del condensador este se dirige hacia la válvula de expansión.



Figura 35. Tomas del Condensador de Aire Acondicionado.

Cuando el fluido frigorífico pasa por el condensador, este también pasa por el filtro deshidratador, los filtros deshidratadores en la actualidad vienen instalados directamente en el condensador. El filtro deshidratador por lo general está compuesto de gel de sílice, con una

longitud de 250 milímetros y un diámetro de 28 milímetros. Tiene un pH mayor a 10.5 ya que no reacciona a otra sustancia, por su composición química y física. En el sistema de filtración de igual forma consta de un filtro tipo maya, el cual ayuda a retener residuos metálicos del sistema.



Figura 36. Filtro deshidratador de Aire Acondicionado.

El condensador tiene instalado dos electro ventiladores, con un diámetro de 305 milímetros y de 254 milímetros, ambos cuentan con una potencia de 80 watts. Los electro ventiladores permiten que exista flujo de aire entre las aletas del condensador, así bajando la temperatura del condensador, cuando este se encuentre en el estado de condensación. El electro ventilador ayuda en que el sistema no exista una elevada temperatura en el circuito HIGH.



Figura 37. Electro ventilador de Aire Acondicionado.

En las válvulas de carga, tiene la característica de abrir y cerrar para el paso del fluido frigorífico, cuando se realiza la recarga de fluido frigorífico. Este se compone de un muelle que, con la ayuda de los manómetros este puede abrir la válvula en su interior. El diámetro de la válvula Low es de 4 milímetros y el diámetro de la válvula High es de 6 milímetros.



Figura 38. Mecanismo interno de la válvula de carga.

El presostato que se va a utilizar en este sistema, es un presostato binario que se utiliza comúnmente para detectar si existe presión en el sistema de aire acondicionado, así ayudando a la activación del compresor. El presostato tiene una alimentación de 12 voltios y

tiene un punto de corte a los 320 PSI/22 BAR, si llegara existir una sobre presión en el sistema de aire acondicionado.



Figura 39. Presostato binario de 12V.

Los compresores a utilizar en el proyecto son de la Chevrolet Tahoe, el primer compresor es del modelo 2010, donde trabaja solo con refrigerante 134a. El segundo compresor es del modelo 2019, este trabaja con el nuevo refrigerante 1234yf, este refrigerante es comercial solo en Estados Unidos y países de Europa.

Ambos compresores estarán instalados en el mismo sistema de aire acondicionado que se ha mencionado anteriormente y trabajaran con el refrigerante y aceite R134a. El fin de este proyecto es analizar si el refrigerante y el sistema R134a es compatible y es eficaz en el compresor 1234yf.



Figura 40. Compresor Tahoe 2009 R134a.

En la tabla 2, se observa las especificaciones más importantes del compresor del Tahoe 2009.

Tabla 2

Características Compresor Tahoe 2009

Características	Unidades/Especificaciones
Ranuras (Grooves)	6
Refrigerante	R134a
Voltaje	12 V
Tipo de Montaje	Directo
Tipo de Puerto	Vertical
Diámetro de Polea	108 mm
Diámetro de Embrague	110 mm
Caudal	150 cm ³
Potencia	3 HP



Figura 41. Compresor Tahoe 2019 R1234yf.

En la tabla 3, se observa las especificaciones más importantes del compresor del Tahoe 2019.

Tabla 3

Características Compresor Tahoe 2019

Características	Unidades/Especificaciones
Ranuras (Grooves)	4
Refrigerante	R1234yf
Voltaje	12 V
Puerto de Succión	17.7 mm
Puerto de Descarga	11.6 mm
Diámetro de Polea	110 mm
Diámetro de Embrague	115 mm
Caudal	170 cm ³
Potencia	4 HP

Ambos compresores serán impulsados por un motor eléctrico que trabaja con una fuente de 110V, con una potencia de 1 HP. Este motor eléctrico se le instalo una polea estriada cuyo diámetro es de 140 mm, de cinco surcos (Grooves).

*Figura 42. Motor eléctrico 1 HP.*

En la tabla 4, se puede observar las características del motor eléctrico. donde se tomará como prioridad a las características de Voltaje Bajo, ya que es el voltaje en la que el motor eléctrico trabaja en este proyecto.

Tabla 4

Características Motor eléctrico 1 HP

Características	Voltaje Bajo	Voltaje Alto
Voltaje	110 V	220 V
Potencia	1 HP	1 HP
Corriente	15 - 40 A	7 - 70 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Revoluciones	1730 rpm	1730 rpm

Para instalar todos los elementos anteriormente mencionados, en el banco de pruebas, se construirá una estructura metálica. El acero que se utilizara es el acero A36, ya que es una aleación de acero al carbono, este acero es el más utilizado en la industria por su resistencia y por ser más económico dentro del mercado. Para la construcción de la estructura metálica se utilizará una suelda eléctrica de 220V y con electrodos 6011.

*Figura 43. Construcción estructura metálica.*

La estructura metálica se caracteriza por tener dos parantes en la mitad de la estructura, estos sirven como refuerzos y base para la instalación del compresor y del motor eléctrico. En unos de los parantes de la estructura metálica se va a soldar una placa de acero A36, que sirve como base para instalar ambos compresores.



Figura 44. Instalación de soportes.

En la parte superior, se coloca una plancha de tol de 9 milímetros de espesor. Sus dimensiones son 30 mm x 1010 mm x 710 mm (alto x largo x ancho), esta servirá como mesa para poder instalar los componentes del aire acondicionado. La plancha de tol está doblada en las partes laterales de 30 milímetros, esta será instalada por medio de tornillos hacia la estructura metálica.



Figura 45. Instalación de plancha de tol a la estructura metálica.

El condensador será instalado en uno de los laterales de la estructura, donde estará sujeta por medio de dos ángulos de acero A36 soldados directamente a los parantes verticales de la estructura metálica, en cada extremo.



Figura 46. Instalación de condensador.

En el condensador se instalará dos electros ventiladores de 254 milímetros y 305 milímetros, de 80 watts cada uno. Estos realizarán la función de disipar calor del condensador, para que no exista una alta temperatura en el sistema de aire acondicionado.



Figura 47. Instalación de electro-ventiladores en el condensador.

El compresor Tahoe 2009 R134a estará sujetado por medio de dos pernos y tuercas, a la placa de acero A36 que esta soldada a la estructura. Y el compresor Tahoe 2019 R1234f, está sujeto por un perno y una tuerca.



Figura 48. Instalación del compresor R134a.



Figura 49. Instalación del compresor R1234yf.

Al igual que compresor, el motor eléctrico es instalado directamente a la plancha de tol y a la estructura metálica por cuatro pernos, arandelas y tuercas. Ambos compresores serán impulsados por el motor eléctrico, por medio de una banda de accesorios automotriz de cuatro surcos o ranuras.



Figura 50. Instalación de banda de accesorios Compresor R134a.



Figura 51. Instalación de banda de accesorios Compresor R1234yf.

Las válvulas para poder medir presiones en el sistema de aire acondicionado van instaladas en el circuito LOW y HIGH. Las válvulas y las tomas de conexión en el sistema por lo general son fabricadas de aluminio.



Figura 52. Válvulas LOW y HIGH de aluminio.

Las válvulas de medición de presión, estarán instaladas tanto en la entrada como en la salida del compresor.



Figura 53. Instalación de las Válvulas LOW y HIGH, compresor R134a.



Figura 54. Instalación de las Válvulas LOW y HIGH, compresor R1234yf.

Para que el refrigerante realice el recorrido por todo el sistema de aire acondicionado, se instala entre las tomas del compresor, condensador y evaporador, mangueras que específicamente trabajen con el refrigerante 134a y 12434yf. Estas se sujetan por medio de copillas de bronce.



Figura 55. Construcción de copillas y mangueras.

Para que no exista fugas de fluido frigorífico entre la unión de la manguera y la copilla, esta es remachada en la zona de la copilla del bronce. Asegurando que no exista fugas al momento de realizar las respectivas pruebas.



Figura 56. Remachado de acoples y mangueras.

La acción de remachar se la hace en ambos extremos entre la unión de las copillas y mangueras.



Figura 57. Unión de manguera y acoples por medio del remache.

La instalación del presostato, conocido como trompo en el campo automotriz, es un sistema de seguridad si en algún caso llegara a faltar fluido frigorífico en el sistema o exista una sobrepresión, así desactivando la corriente hacia el compresor. El presostato comúnmente va instalado en el circuito HIGH, en este caso será instalado en el condensador, por medio de solda autógena donde le material de aportación es de aluminio.



Figura 58. Instalación del presostato en el condensador.

La conexión del circuito del sistema de aire acondicionado se la hace por medio de cañerías de 1/2 de pulgada, 13/32 de pulgada y 5/16 de pulgada. En la entrada del evaporador va instalada una cañería de 13/32 de pulgada que va conectada a la válvula de expansión de bulbo y sale del evaporador por la cañería de 1/2 de pulgada.



Figura 59. Conexión de cañerías hacia al evaporador.

Para poder medir las presiones que entra al compresor y sale del condensador, están instaladas unas válvulas de medición respectivamente, donde se las puede diferenciar fácilmente por los colores de las tapas. La tapa celeste/negra pertenece al circuito LOW y la tapa roja pertenece al circuito HIGH, como se observa en la figura 54.



Figura 60. Conexión de cañerías en el compresor.

Para revisar que no existan fugas en el sistema, se lo hace por medio de nitrógeno que ingresa al sistema con el fin de evitar un porcentaje alto de humedad en los componentes que conforman el aire acondicionado. La presión ingresada al sistema es de 150 PSI y se lo revisa con instrumentos para detectar fugas.



Figura 61. Presión 150 psi para detectar fugas.

Adicionalmente se instaló una válvula de medición de presión a la salida del condensador que se dirige a la válvula de expansión de bulbo capilar, con el fin de tomar datos de entalpía por medio de las presiones y temperaturas y así poner en los puntos correspondientes en el Diagrama de Mollier, para conocer la eficiencia y el rendimiento del compresor instalado en el sistema sea de R134a o R1234yf.



Figura 62. Adaptación de válvula de medición, circuito HIGH.

Para alimentar los electro ventiladores, ventilador del evaporador, el compresor y el accionamiento de los sensores mencionados, será a través de una batería de 12 voltios. En la tabla 5 se observa sus características de la batería.



Figura 63. Batería de 12V.

Tabla 5

Características de la batería de 12 voltios

Características	Unidades
Voltaje	12 V
C20	42 Ah
CA (27°C)	520 A
CCA (-18°)	370 A
Cap. De reserva	71 min

En las figuras 58 y 59, se observa el banco de pruebas terminada tanto con el compresor R134a como con el compresor R1234yf. Donde todos los componentes son del refrigerante 134a, a excepción del compresor Tahoe 2019 como se mencionó con anterioridad.

*Figura 64. Banco de Pruebas con el Compresor R134a.*



Figura 65. Banco de Pruebas con el Compresor R1234yf.

Para poder cargar el sistema del fluido frigorífico y conocer medidas de presiones en el sistema se utilizará unos Manómetros digitales (Figura 66). Una característica importante de los manómetros, es que da valores de temperatura en puntos específicos, tanto a la salida del condensador como a la entrada del compresor. Ya que para poder encontrar valores de entalpia se necesita presiones como temperaturas.



Figura 66. Manómetros Digitales.

Para poder comprobar que los datos otorgados por los manómetros son reales, existe una aplicación móvil “Regla de Refrigeración”, la cual ayuda al usuario conocer las temperaturas del fluido frigorífico por medio de las presiones o viceversa. En la figura 67 se puede observar la comparación entre los Manómetros digitales y la aplicación móvil.



Figura 67. Comparación entre los Manómetros Digitales y aplicación móvil.

Para poder medir la temperatura del fluido de aire que pasa a través del evaporador, se utilizara un multímetro con su respectiva termocupla, como se observa en la figura 68.

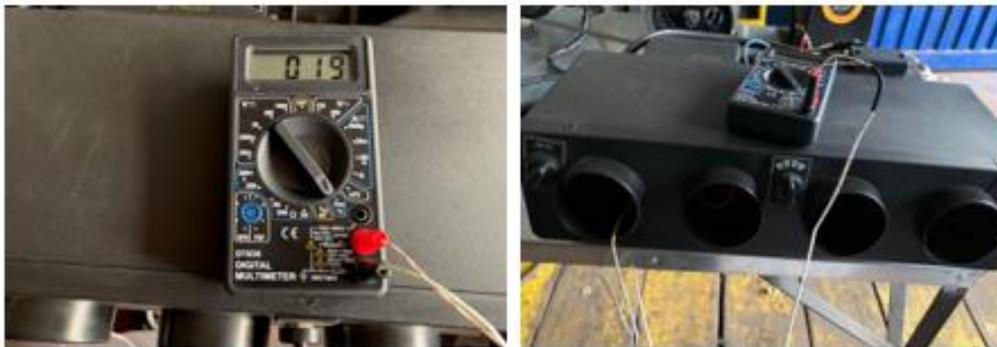


Figura 68. Medición de temperatura a través del Multímetro.

El aceite utilizado en ambos compresores es el aceite PAG 46 “Polyalkylene Glycol Compressor Oil”, tanto en el compresor del Tahoe 2009 R134a y en el Tahoe 2019 R1234yf.



Figura 69. Aceite PAG 46 para el Refrigerante 134a.

En el compresor del Tahoe 2019 R1234yf se debe limpiar o drenar residuos de aceite que estén dentro del compresor, ya que este compresor en su interior viene por fabrica con aceite que trabaje con el refrigerante 1234yf.

Cuando el aceite está dentro de ambos compresores, al ser un sistema circuito cerrado se debe limpiar residuos de humedad existente en el mismo. Existe una bomba de vacío que ayuda a limpiar la humedad en el sistema, donde existe una presión de vacío (Figura 70).

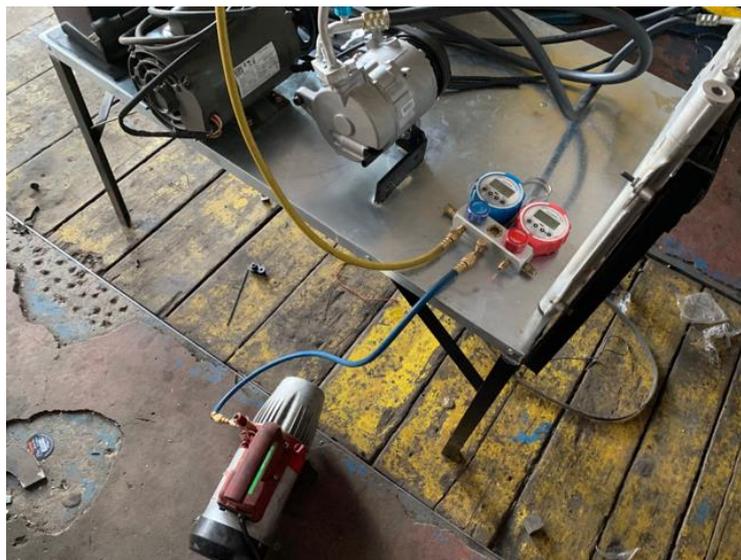


Figura 70. Limpieza de humedad en el sistema.

La presión de vacío se acerca a los 13 PSI. Donde esta se debe mantener, si se llegara a alterar este valor, existe fuga en el sistema, la cual permite el ingreso de humedad en pequeños porcentajes.



Figura 71. Unidades de Presión de Vacío.

Una vez realizada la limpieza de humedad en el sistema, se procede a cargar el sistema con Refrigerante 134a, en ambos compresores. Donde en el sistema ingresa aproximadamente 300 gramos de fluido frigorífico.



Figura 72. Recarga de Agente Frigorífico 134a.

Para realizar las pruebas de verificación y comparación, se tiene que probar ambos compresores en el mismo sistema anteriormente expuesto. El un compresor que es del Tahoe 2009 R134a y el otro compresor es del Tahoe 2019 R1234yf.

Se realiza cinco tipos de prueba, ya que con la ayuda del termostato (sensor de temperatura), ya que es posible que el sistema trabaje en distintas presiones tanto en el circuito de baja como en el circuito de alta. El termostato nos proporciona cinco niveles BAJO, BAJO/MEDIO, MEDIO, MEDIO/ALTO y ALTO, estos cinco niveles causan que el compresor se desactive en un tiempo corto o en un tiempo más largo, según sea su nivel.

El nivel Bajo, se caracteriza porque el compresor trabaja en variaciones de tiempo cortas, donde las presiones tanto del circuito LOW como del circuito HIGH están en valores mínimos, ya que el termostato es modificado y está en su punto bajo de desactivación del compresor por medio de la temperatura existente alrededor del evaporador.

El nivel Bajo/Medio, son valores de presiones semejantes a la del nivel Bajo, el compresor trabaja en variaciones de tiempo en un porcentaje mayor al nivel anterior.

El nivel Medio, es el nivel donde las presiones de ambos circuitos se diferencian fácilmente de los anteriores niveles, ya que el compresor trabaja en variaciones de tiempo más largas.

El nivel Medio/Alto, se acerca al último nivel, el compresor trabaja en variaciones de tiempo más largas, y de igual forma las presiones son más altas a los anteriores niveles.

El nivel Alto, es el último nivel de prueba, el compresor trabaja por variaciones de tiempo superiores a los anteriores niveles mencionados, en este nivel las presiones tanto del circuito Low como el circuito Alto son valores altos. Donde el termostato está en su punto más alto de desactivación al compresor. Para la desactivación del compresor la temperatura del evaporador debe estar en los parámetros respectivos.

A demás, existe un nivel Apagado, este nivel se caracteriza principalmente porque el sistema no está trabajando o el compresor no realiza la función del comprimir el fluido frigorífico. En este nivel las presiones del circuito Low y High, son valores iguales.

Resultados

Para determinar la eficiencia del compresor y del sistema en sí, se utiliza las ecuaciones descritas en el capítulo del Marco teórico.

Con las ecuaciones se podrá determinar si el compresor R1234yf del Tahoe 2019, puede trabajar en un sistema R134a, tanto en componentes como en el fluido frigorífico y aceite PAG 46. Comparando con la eficiencia del compresor R134a del Tahoe 2009.

Análisis Compresor Tahoe 2009 R134a.

A continuación, se presenta datos y resultados durante distintas pruebas en el compresor Tahoe 2009 R134a.

Tabla 6

Relación de Transmisión y Revoluciones del compresor Tahoe 2009 R134a

Componentes	Diámetro	RPM	Relación de Transmisión
Motor	140 mm	1730	1 vuelta
Compresor	108 mm	2242	1.3 vuelta

En la tabla 6 se puede observar los resultados de revoluciones entre la polea motriz, que es el motor y la polea conductora que es el compresor. También se observa la relación de transmisión que existe entre ambos componentes (Figura 73).

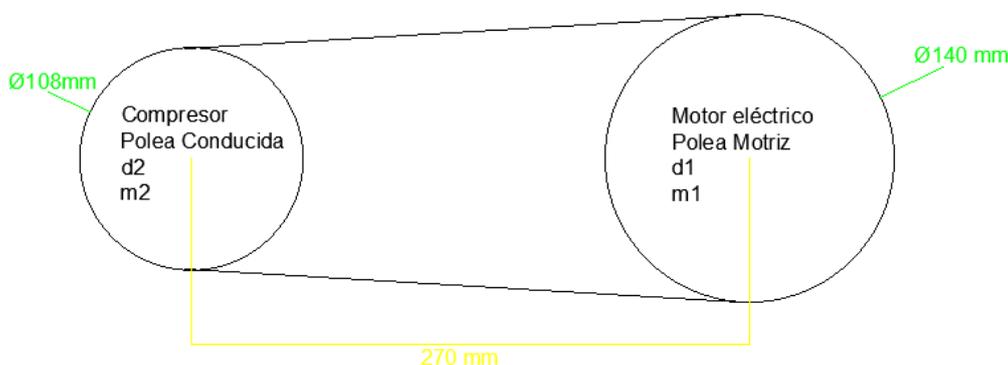


Figura 73. Esquema de relación entre el compresor R134a y motor.

Tabla 7

Presiones y Temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2009 R134a

Estado	Presión LOW Psi	Temperatura LOW Celsius	Presión HIGH Psi	Temperatura HIGH Celsius
APAGADO	51	12.6	55.1	14.5
BAJO	17.5	-7.5	150.5	44.3
BAJO/MEDIO	18.1	-6.3	143.7	42.7
MEDIO	19.5	-5.8	142.5	42.5
MEDIO/ALTO	21.4	-4.5	138	41.3
ALTO	24.3	-2.4	132.7	40

En tabla 7 se puede observar los valores de presiones y temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2009 R134a, donde los resultados de presión están en unidades de PSI (lbf/in^2) y los resultados de temperatura en grados Celsius, estos valores son otorgados por los manómetros digitales, donde se ubicará los puntos específicos en el Diagrama de Mollier y así formar el ciclo frigorífico correspondiente. En las siguientes figuras 74, 75, 76, 77, 78 y 79, se observará las comparaciones respectivas con los manómetros digitales y la aplicación móvil.

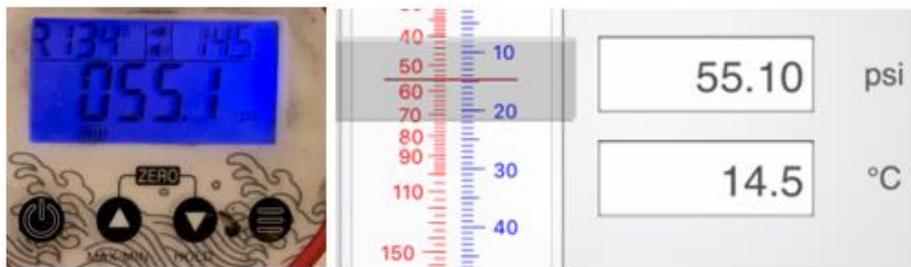
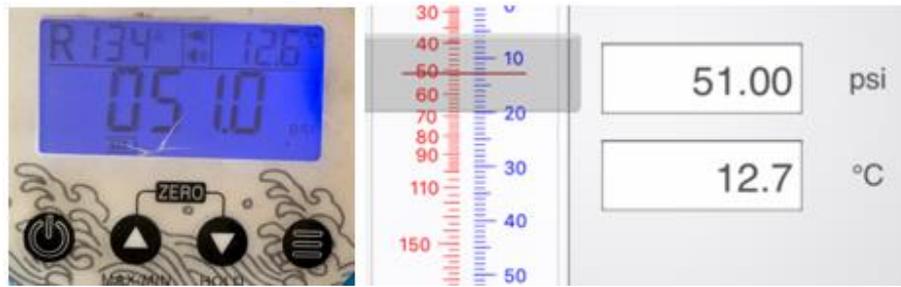


Figura 74. Unidades de Presión y Temperatura APAGADO.

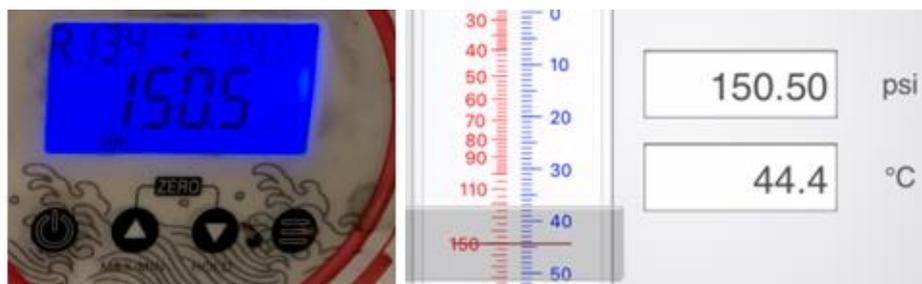


Figura 75. Unidades de Presión y Temperatura BAJO.



Figura 76. Unidades de Presión y Temperatura BAJO/MEDIO.

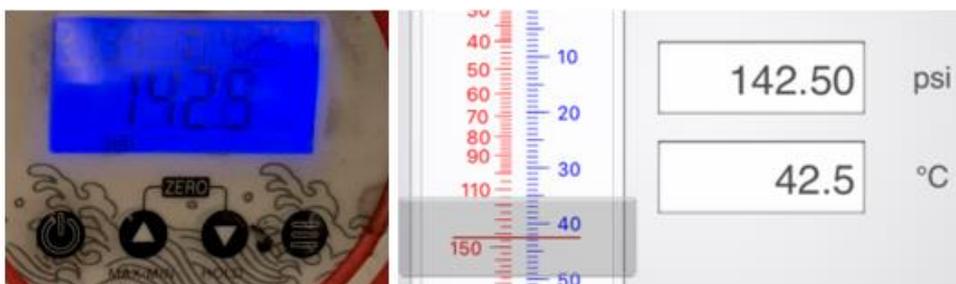


Figura 77. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO.



Figura 78. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO/ALTO.

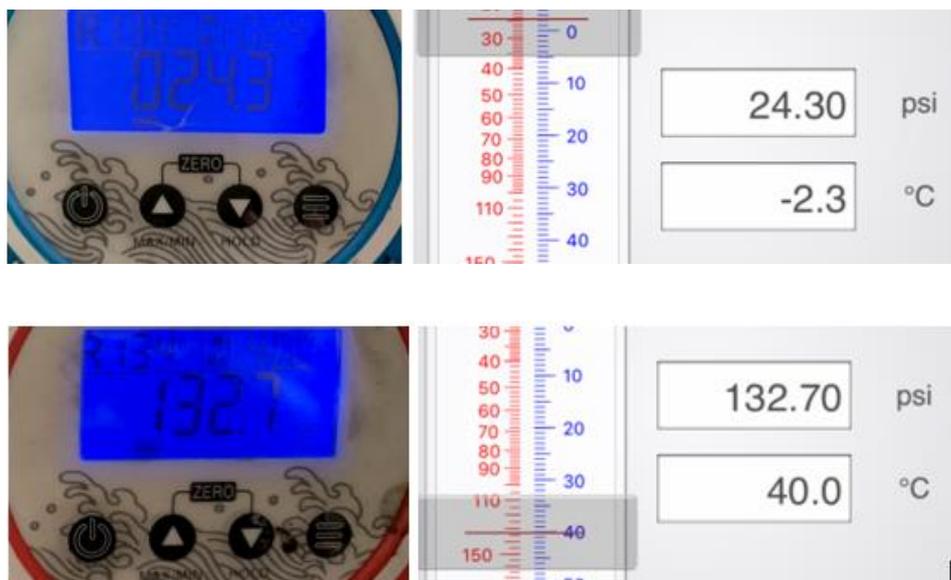


Figura 79. Unidades de Presión y Temperatura ALTO.

En las figuras anteriores, se observa los distintos datos tomados por los manómetros digitales y comparados con la aplicación móvil. En el Diagrama de Mollier del Refrigerante 134a, tanto los valores de presión y de temperatura se deben encontrar en unidades del sistema internacional, es decir que un BAR equivale a 14.5 PSI y la temperatura debe encontrarse en grados Celsius. A demás las presiones y temperaturas se deben encontrar en

un valor absoluto o atmosférico, ya que los manómetros digitales toma medidas de valores relativos, donde para poder transformar los valores relativos a absolutos se debe agregar un valor de 1 a las presiones (BAR) ya obtenidas. En la tabla 8 se muestra valores de presiones y temperaturas en valores absolutos o atmosféricos, para poder obtener el ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier y así realizar el análisis respectivo.

Tabla 8

Valores absolutos en el Compresor Tahoe 2009 R134a.

Estado	Presión LOW Bar	Presión HIGH Bar	Temperatura LOW Celsius	Temperatura HIGH Celsius
APAGADO	4.51	4.8	12.5	14.5
BAJO	2.2	11.37	-7.6	44.3
BAJO/MEDIO	2.25	10.9	-7.1	42.7
MEDIO	2.34	10.8	-6	42.3
MEDIO/ALTO	2.48	10.5	-4.5	41.3
ALTO	2.68	10.14	-2.4	40

Los valores de temperatura varían en un porcentaje mínimo entre valores relativos y absolutos. En las siguientes figuras se observarán distintas pruebas de trabajo, y así formando los ciclos frigoríficos correspondientes.

Análisis Diagrama de Mollier Compressor Tahoe 2009 R134a.

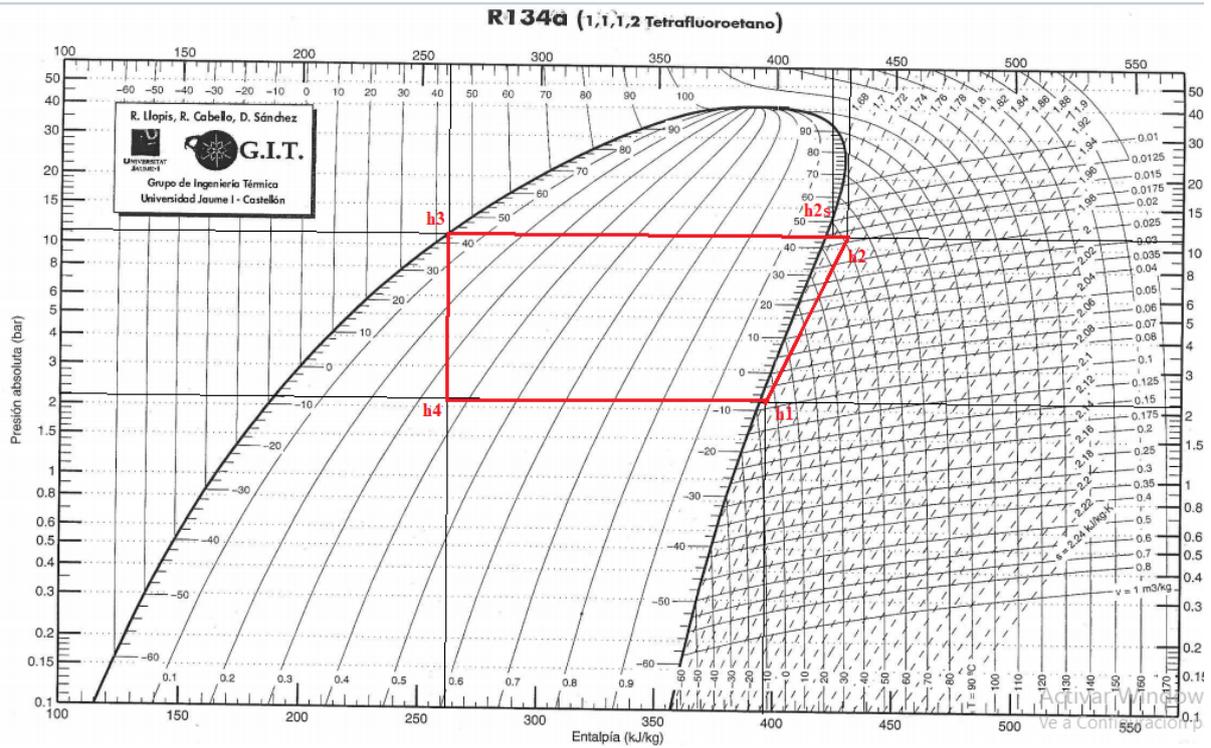


Figura 80. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO.

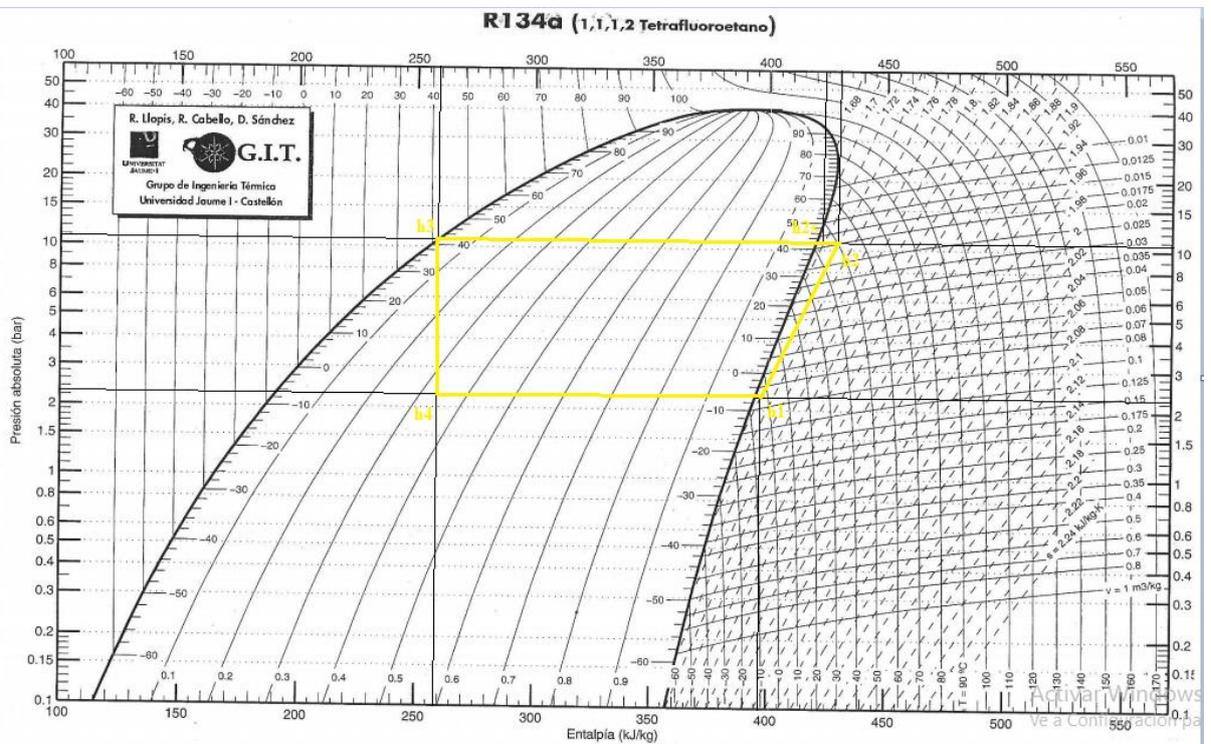


Figura 81. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO/MEDIO.

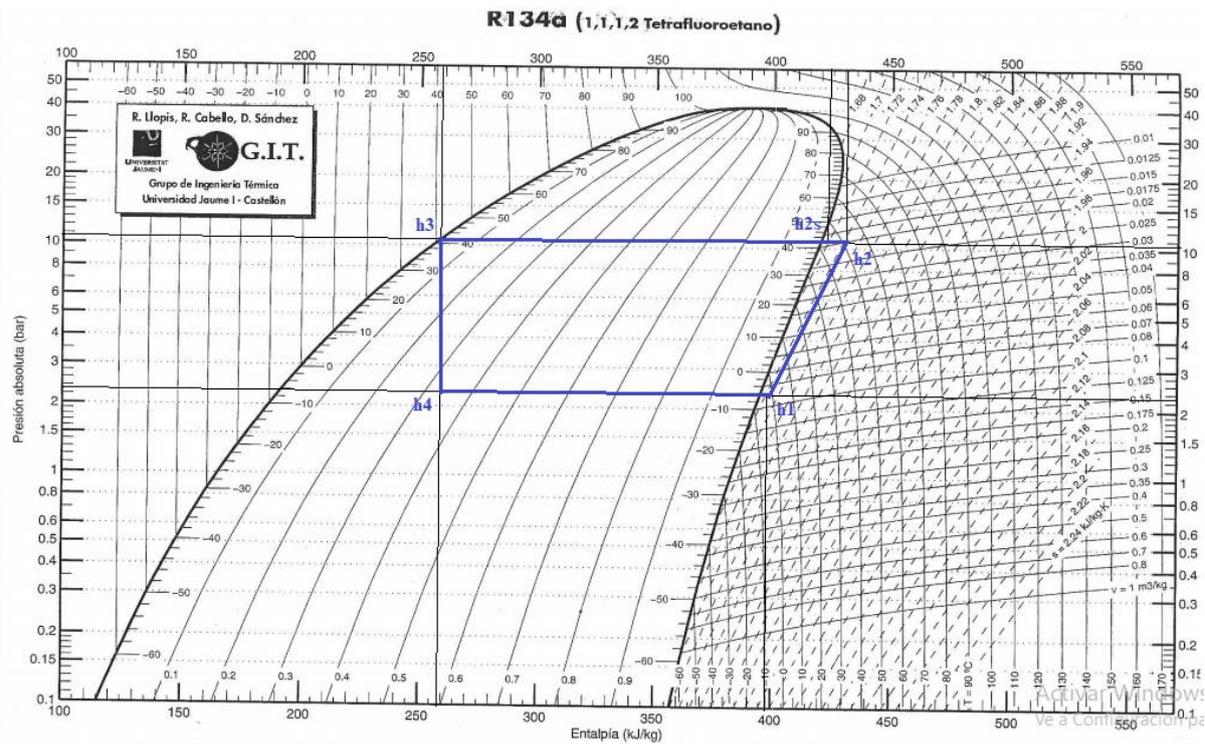


Figura 82. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO.

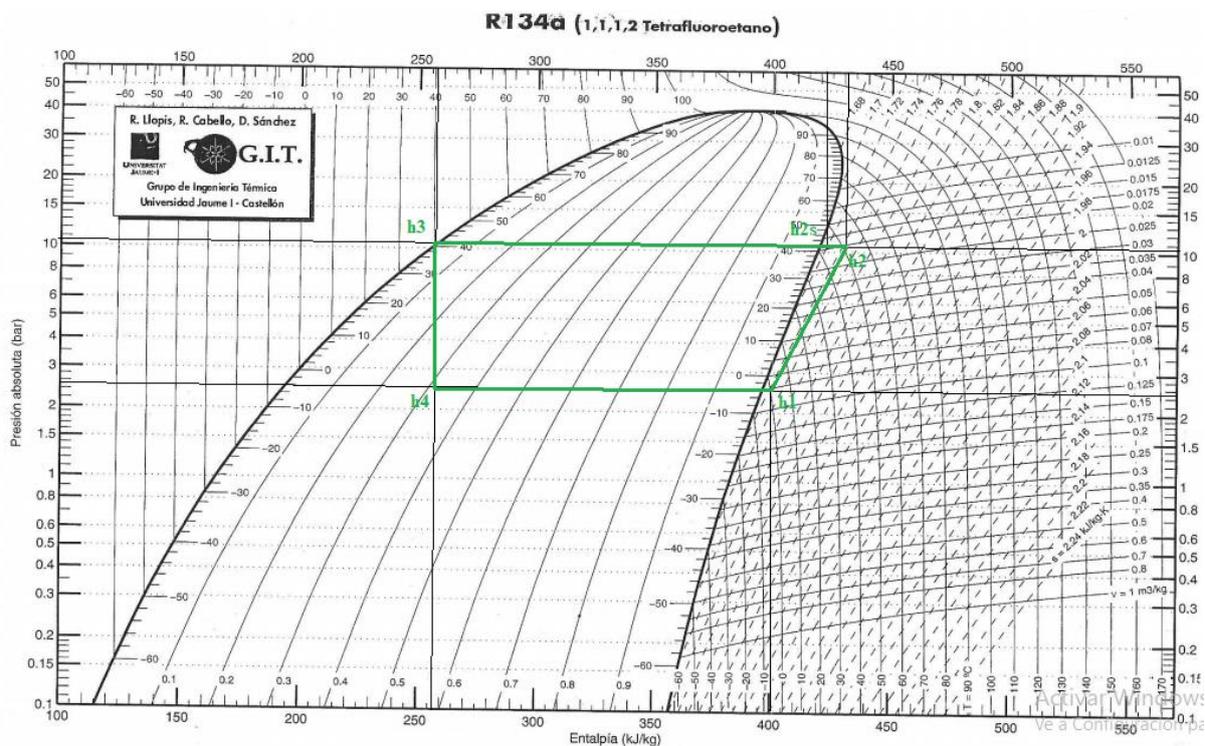


Figura 83. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO/ALTO.

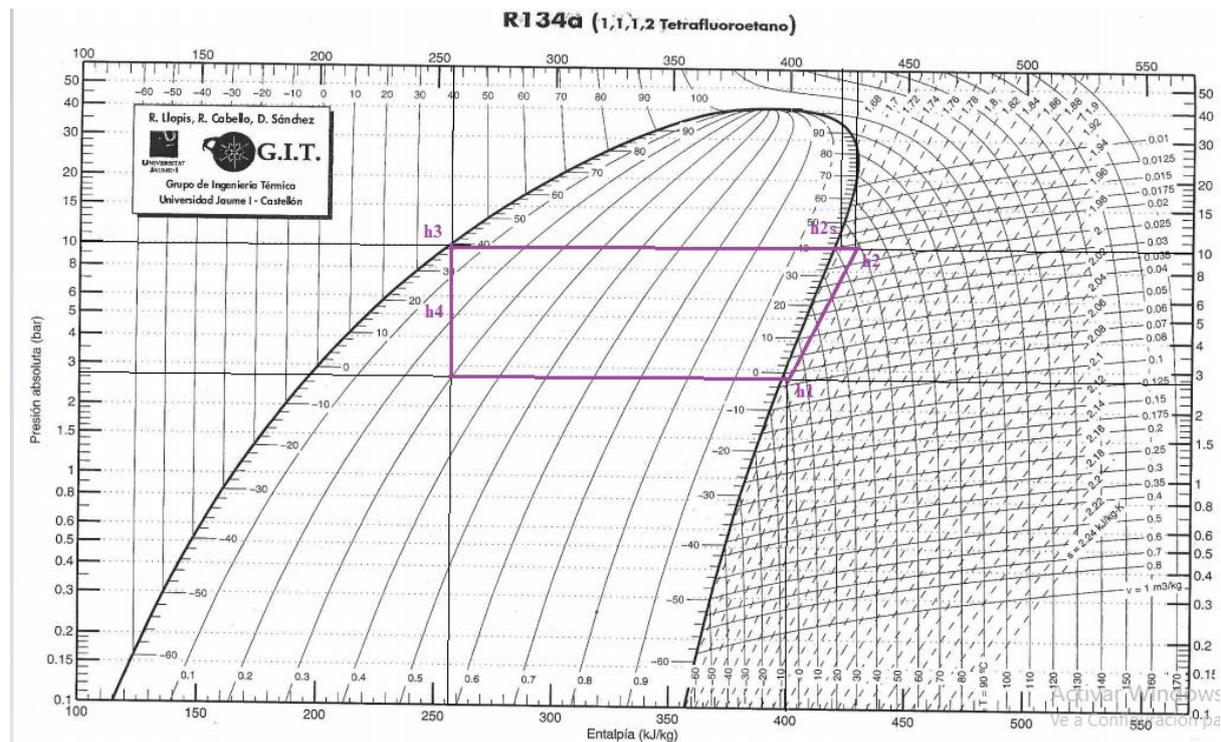


Figura 84. Ciclo Frigorífico, Prueba ALTO.

Tabla 9

Entalpias de cada nivel de prueba del compresor Tahoe 2009 R134a.

Nivel	h1 kJ/kg	h2 kJ/kg	h2s kJ/kg	h3 kJ/kg	h4 kJ/kg
BAJO	396	431	424	261	261
BAJO/MEDIO	397	430	424	259	259
MEDIO	398	431	424	259	259
MEDIO/ALTO	401	431	423	256	256
ALTO	402	429	422	256	256

En la tabla 9 se observa las entalpias de cada punto del ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier, estas entalpias se reemplazan en las ecuaciones descritas en el Marco teórico. Las entalpias están ubicadas entre el inicio y el final de cada estado, donde la energía específica esta expresada en kilo Julio por kilogramo, en el sistema internacional. Las entalpias varían de acuerdo a cada estado de prueba.

Tabla 10

Resultados de eficiencia y calores específicos del compresor Tahoe 2009 R134a.

Nivel	nc %	wc kJ/kg	QH kJ/kg	QL kJ/kg	COP/qc	COP/qe
BAJO	80	35	170	135	4.85	3.85
BAJO/MEDIO	81.81	33	171	137	5.18	4.18
MEDIO	78.78	33	172	139	5.21	4.21
MEDIO/ALTO	73.33	30	175	145	5.83	4.83
ALTO	74.07	27	173	146	6.4	5.4

En la tabla 10 se presenta los resultados obtenidos en las pruebas experimentales de los cinco diferentes niveles. Entre los resultados se obtuvo, la eficiencia o rendimiento del compresor, el trabajo específico interno del compresor, el calor cedido por el condensador, el calor absorbido por el evaporador, el COP de bombeo de calor por medio del condensador y el COP de refrigeración por medio del evaporador. Con los resultados presentados anteriormente se realizará el análisis entre ambos compresores en este proyecto, de igual forma se comparará los resultados principales como eficiencia del compresor y del COP con artículos o investigaciones científicas.

Análisis Compresor Tahoe 2019 R1234yf.

A continuación, se presenta datos y resultados durante distintas pruebas en el compresor Tahoe 2019 R1234yf. Para poder realizar la respectiva comparación.

Tabla 11

Relación de Transmisión y Revoluciones del compresor Tahoe 2019 R1234yf

Componentes	Diámetro	RPM	Relación de Transmisión
Motor	140 mm	1730	1 vuelta
Compresor	110 mm	2201	1.27 vuelta

En la tabla 11 se puede observar los resultados de revoluciones entre la polea motriz, que es el motor y la polea conductora que es el compresor. También se observa la relación de transmisión que existe entre ambos componentes (Figura 85).

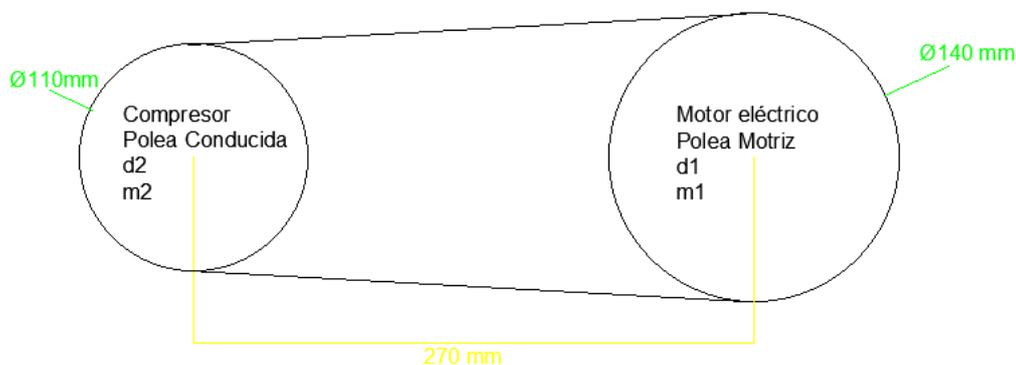


Figura 85. Esquema de relación entre el compresor R1234yf y motor.

Tabla 12

Presiones y Temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2019 R1234yf

Estado	Presión LOW Psi	Temperatura LOW Celsius	Presión HIGH Psi	Temperatura HIGH Celsius
APAGADO	52	13	56.9	15.4
BAJO	10.5	-13.7	90.4	27.9
BAJO/MEDIO	14.6	-10	92.6	28.6
MEDIO	15.8	-9	93.2	28.8
MEDIO/ALTO	26.5	-0.9	103.3	32
ALTO	29	0.7	122.9	37.5

En tabla 12 se puede observar los valores de presiones y temperaturas de trabajo del compresor Tahoe 2019 R1234yf, donde los resultados de presión están en unidades de PSI (lbf/in^2) y los resultados de temperatura en grados Celsius, estos valores son otorgados por los manómetros digitales, donde se ubicará los puntos específicos en el Diagrama de Mollier y así formar el ciclo frigorífico correspondiente. En las siguientes figuras 86, 87, 88, 89, 90 y

91, se observará las comparaciones respectivas con los manómetros digitales y la aplicación móvil.

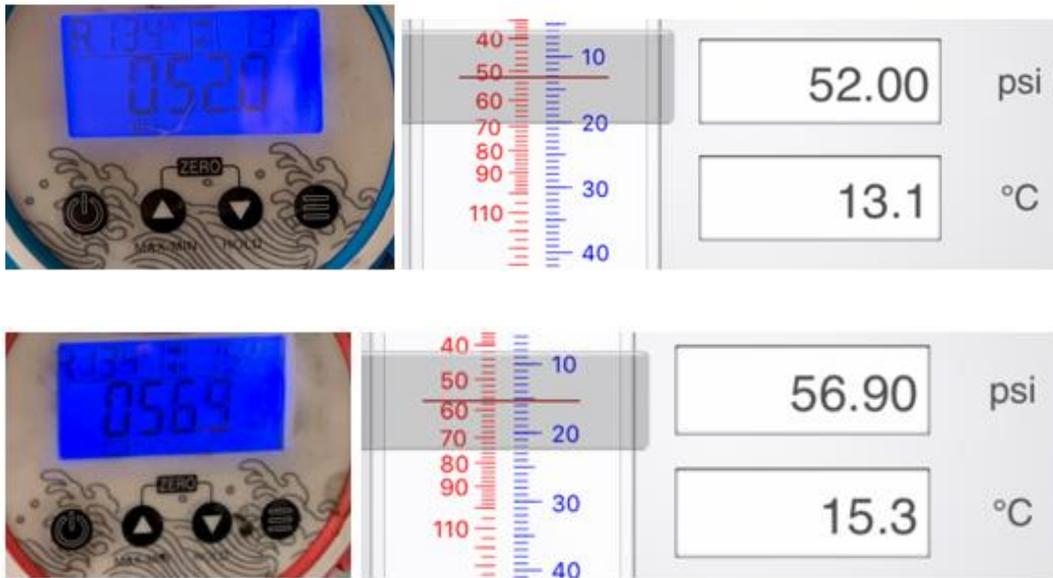


Figura 86. Unidades de Presión y Temperatura APAGADO.

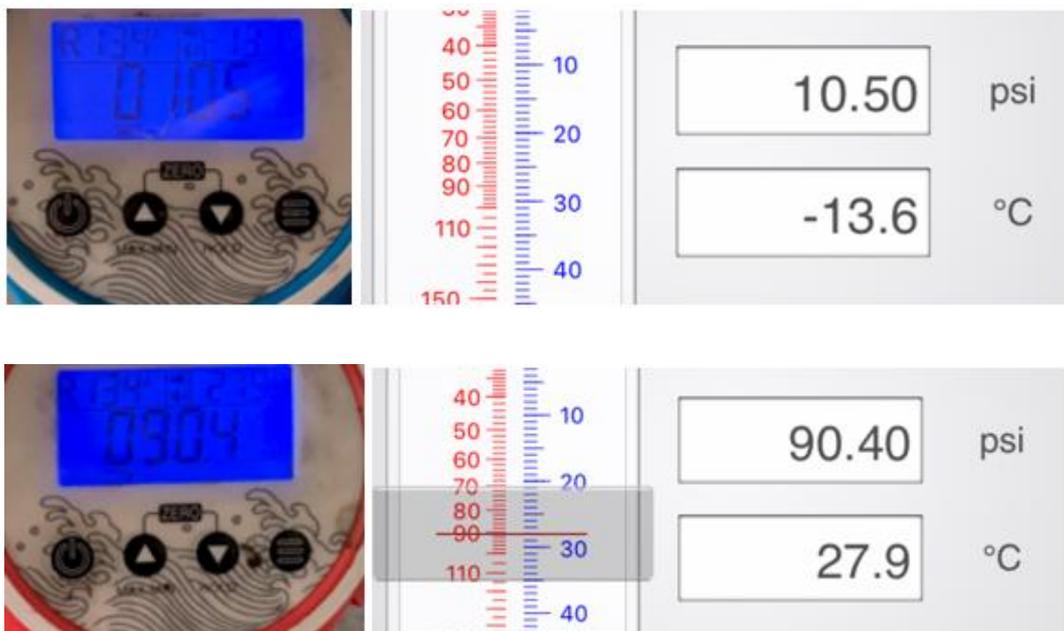


Figura 87. Unidades de Presión y Temperatura BAJO.

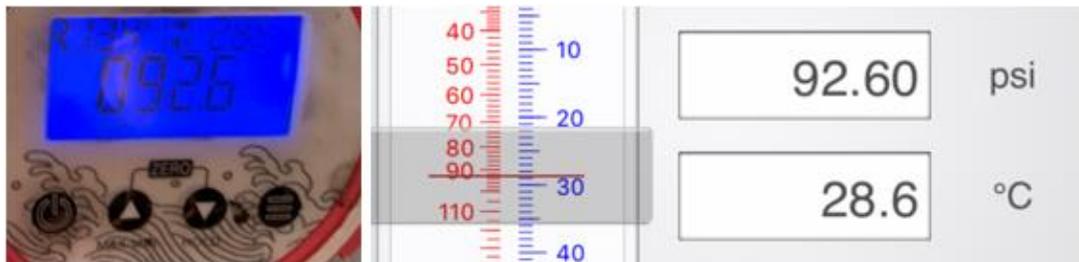


Figura 88. Unidades de Presión y Temperatura BAJO/MEDIO.

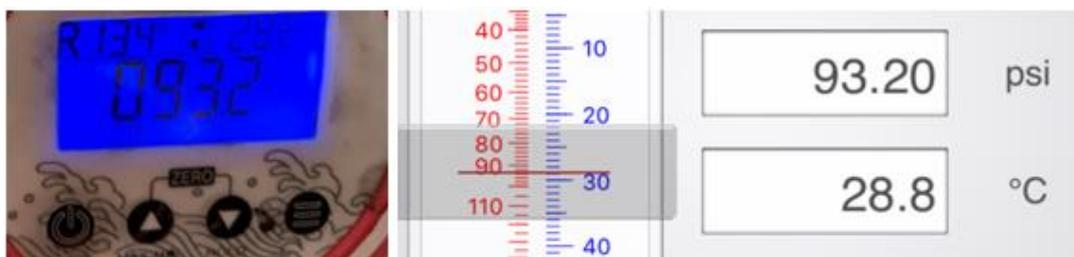
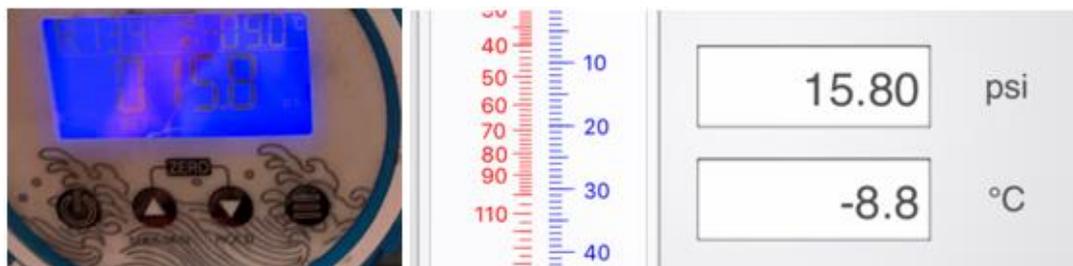


Figura 89. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO.

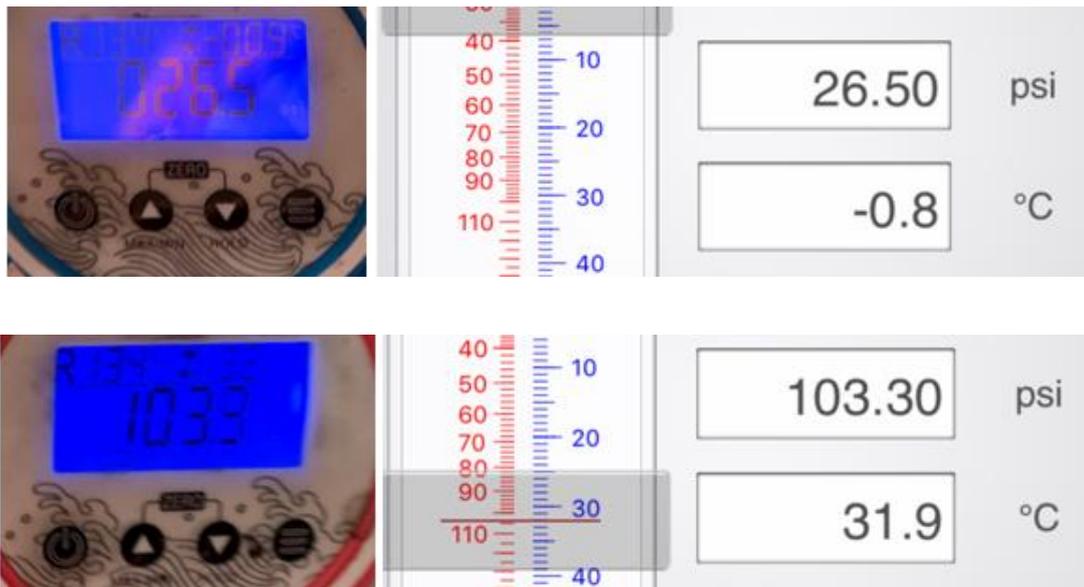


Figura 90. Unidades de Presión y Temperatura MEDIO/ALTO.

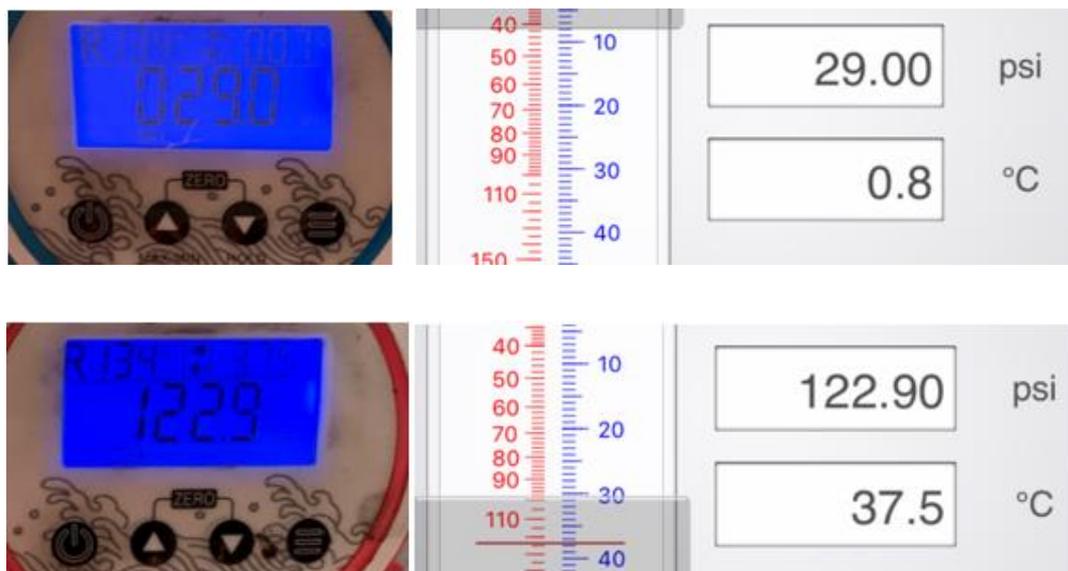


Figura 91. Unidades de Presión y Temperatura ALTO.

En las figuras anteriores, se observa los distintos datos tomados por los manómetros digitales y comparados con la aplicación móvil. En el Diagrama de Mollier del Refrigerante 134a, tanto los valores de presión y de temperatura se deben encontrar en unidades del sistema internacional, es decir que un BAR equivale a 14.5 PSI y la temperatura debe encontrarse en grados Celsius. A demás las presiones y temperaturas se deben encontrar en

un valor absoluto o atmosférico, ya que los manómetros digitales toma medidas de valores relativos, donde para poder transformar los valores relativos a absolutos se debe agregar un valor de 1 a las presiones (BAR) ya obtenidas. En la tabla 13 se muestra valores de presiones y temperaturas en valores absolutos o atmosféricos, para poder obtener el ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier y así realizar el análisis respectivo.

Tabla 13

Valores absolutos en el Compresor Tahoe 2019 R1234yf.

Estado	Presión LOW Bar	Presión HIGH Bar	Temperatura LOW Celsius	Temperatura HIGH Celsius
APAGADO	4.6	4.92	13.2	15.2
BAJO	1.72	7.23	-13.8	27.8
BAJO/MEDIO	2	7.38	-10.1	28.5
MEDIO	2.08	7.43	-9.1	28.8
MEDIO/ALTO	2.82	8.12	-1	31.9
ALTO	2.99	9.47	0.6	37.4

A continuación, se presenta los ciclos frigoríficos en las pruebas respectivas con el compresor R1234yf, trabajando con el refrigerante R134a.

Análisis Diagrama de Mollier Compressor Tahoe 2019 R1234yf.

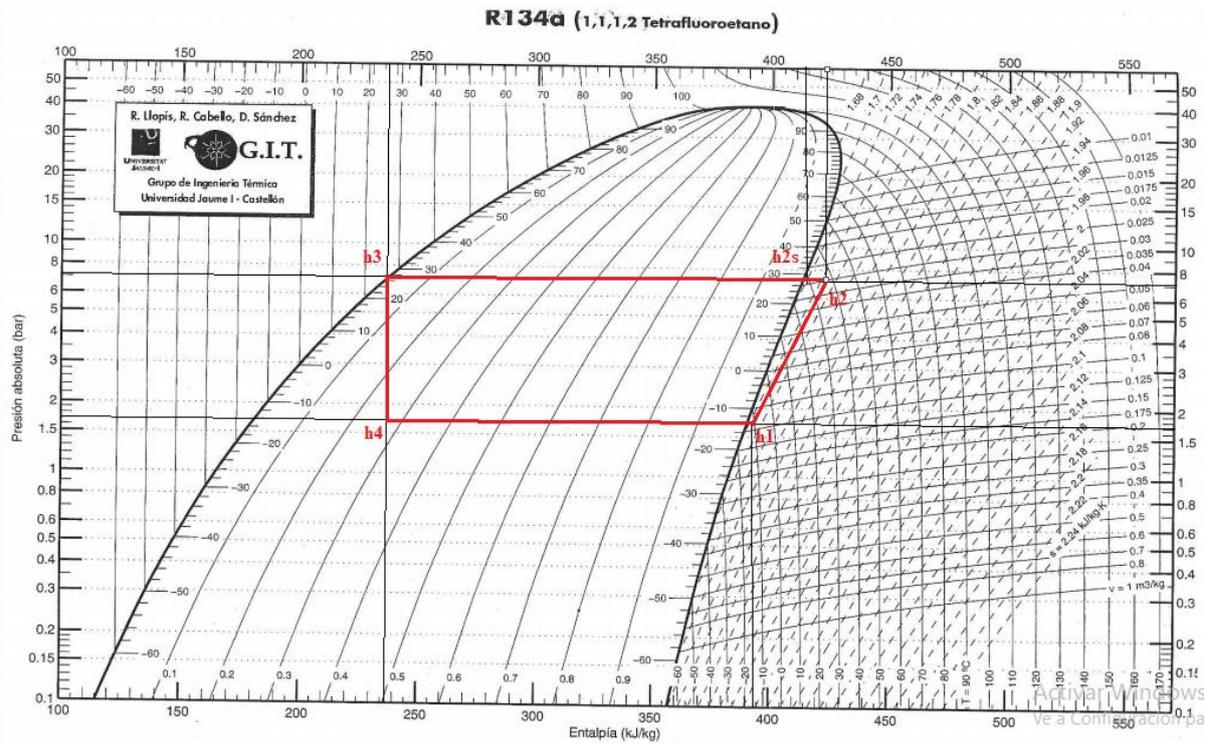


Figura 92. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO.

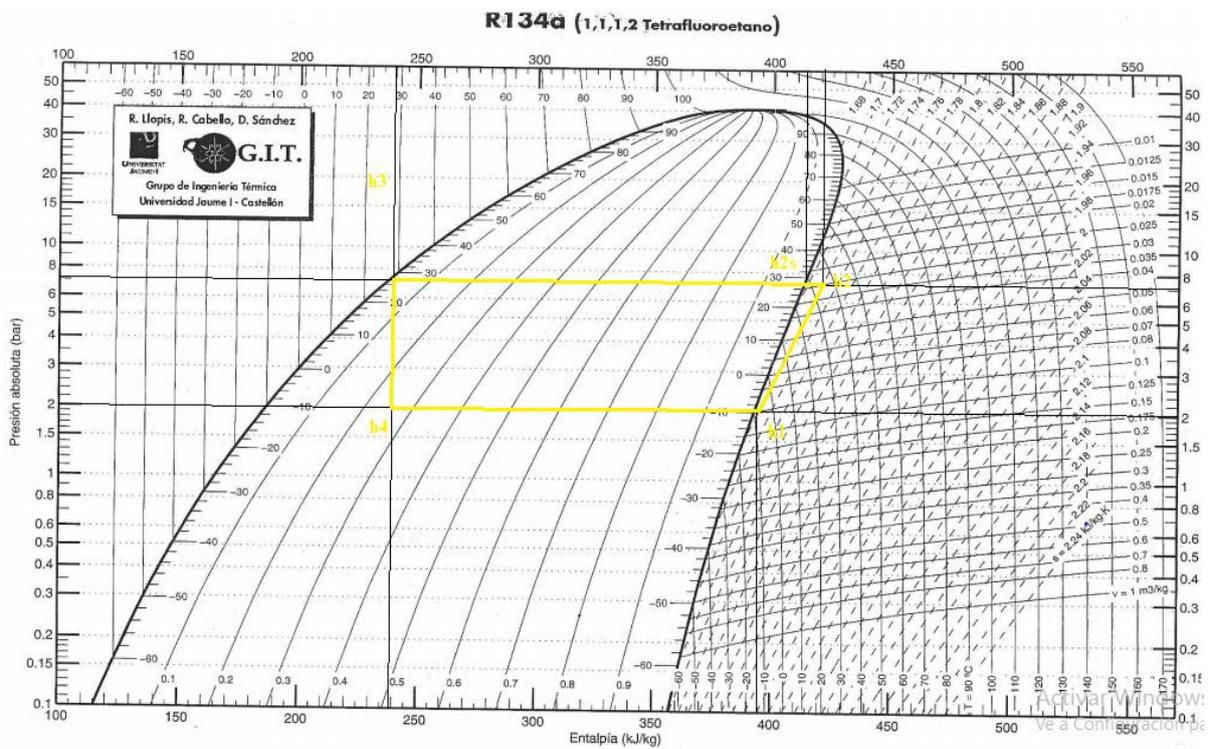


Figura 93. Ciclo Frigorífico, Prueba BAJO/MEDIO.

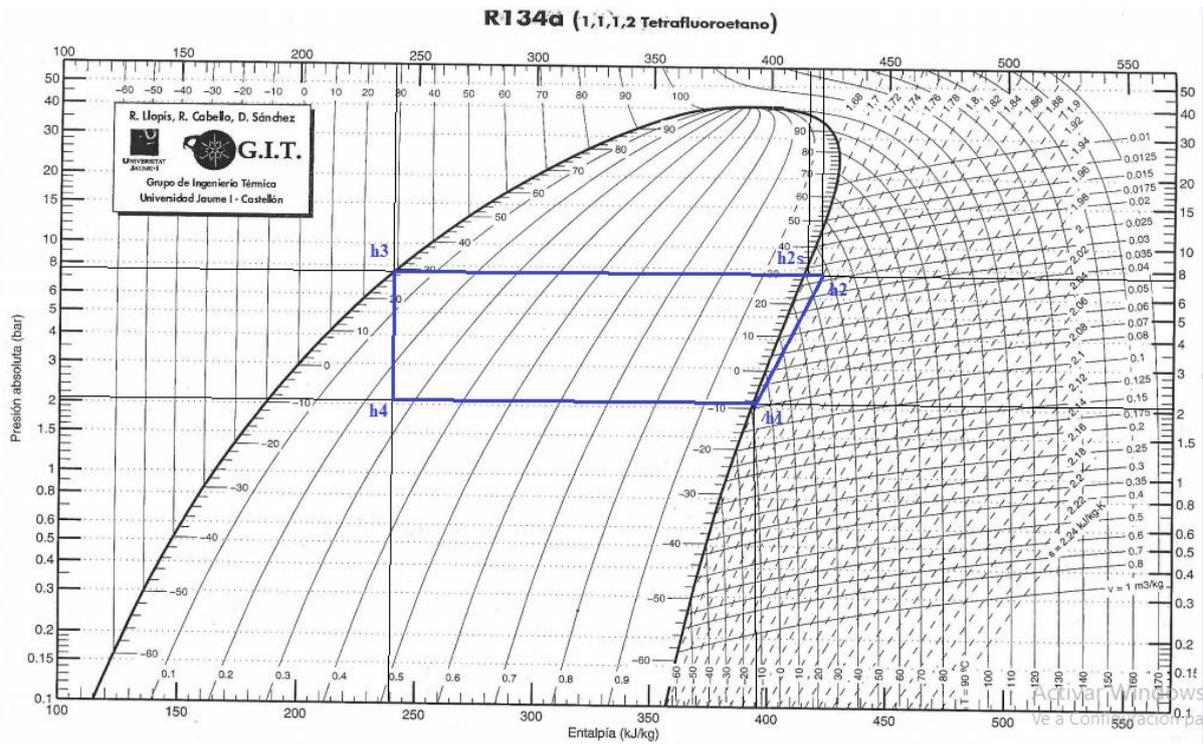


Figura 94. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO.

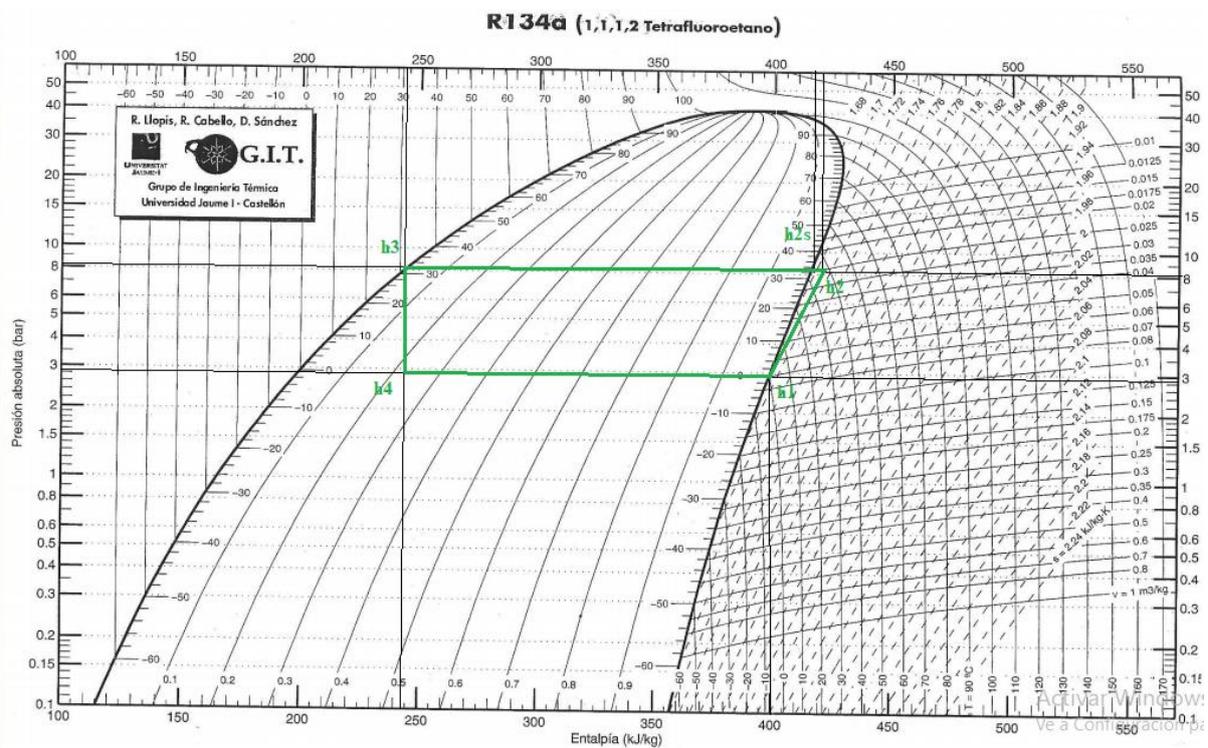


Figura 95. Ciclo Frigorífico, Prueba MEDIO/ALTO.

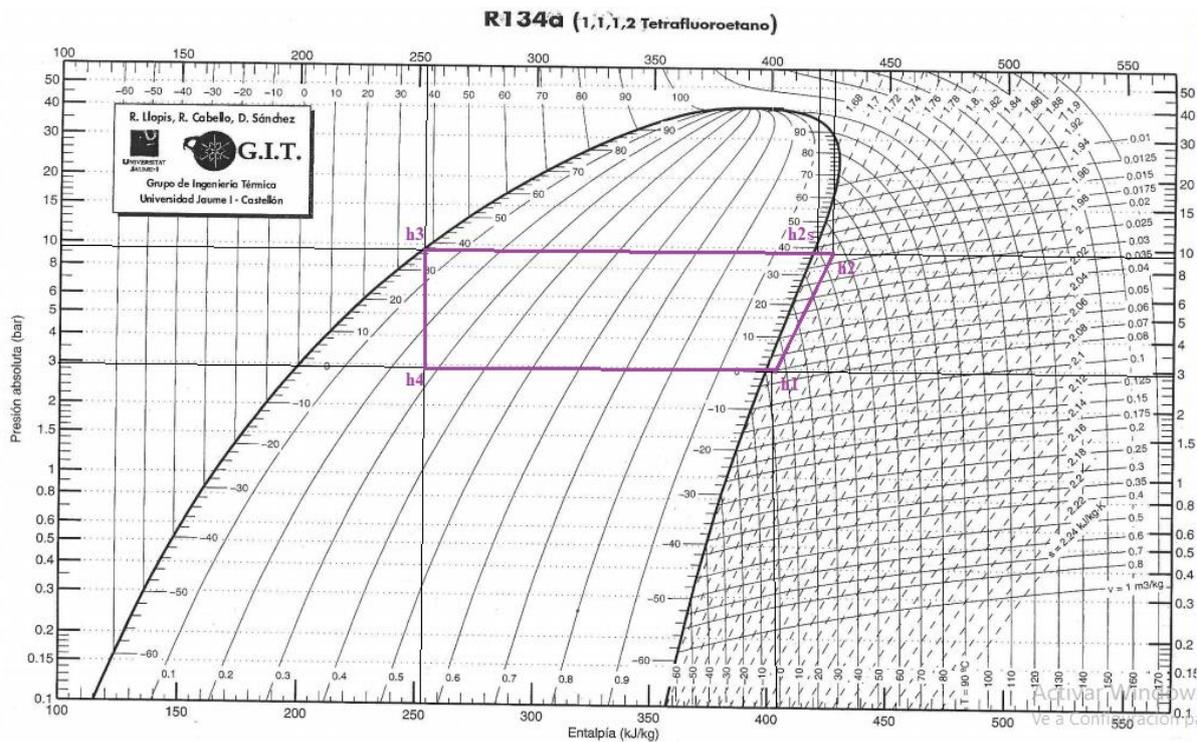


Figura 96. Ciclo Frigorífico, Prueba ALTO.

Tabla 14

Entalpías de cada nivel de prueba del compresor Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	h1 kJ/kg	h2 kJ/kg	h2s kJ/kg	h3 kJ/kg	h4 kJ/kg
BAJO	394	423	414	236	236
BAJO/MEDIO	395	421	414	239	239
MEDIO	395	422	415	240	240
MEDIO/ALTO	400	420	415	244	244
ALTO	405	426	420	254	254

En la tabla 14 se observa las entalpías de cada punto del ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier, estas entalpías se reemplazan en las ecuaciones descritas en el Marco teórico. Las entalpías están ubicadas entre el inicio y el final de cada estado, donde la energía específica esta expresada en kilo Julio por kilogramo, en el sistema internacional. Las entalpías varían de acuerdo a cada estado de prueba.

Tabla 15

Resultados de eficiencia y calores específicos del compresor Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	nc %	wc kJ/kg	QH kJ/kg	QL kJ/kg	COP/qc	COP/qe
BAJO	68.96	29	187	158	6.4	5.4
BAJO/MEDIO	73.07	26	182	156	7	6
MEDIO	74.07	27	182	155	6.74	5.74
MEDIO/ALTO	75	20	176	156	8.8	7.8
ALTO	71.42	21	172	151	8.19	7.19

En la tabla 15 se presenta los resultados obtenidos en las pruebas experimentales de los cinco diferentes niveles. Entre los resultados se obtuvo, la eficiencia o rendimiento del compresor, el trabajo específico interno del compresor, el calor cedido por el condensador, el calor absorbido por el evaporador, el COP de bombeo de calor por medio del condensador y el COP de refrigeración por medio del evaporador. Con los resultados presentados anteriormente se realizará el análisis entre ambos compresores en este proyecto en este proyecto y saber si el compresor R1234yf, puede trabajar con refrigerante R134a y lubricante PAG 46 en un sistema de refrigeración, sin que esté presente dificultad alguna. De igual forma se comparará los resultados principales como eficiencia del compresor y del COP con artículos o investigaciones científicas.

Discusión

Con los resultados presentados en el capítulo anterior se realizará el análisis y las comparaciones de eficiencia o rendimiento entre los compresores R134a y R1234yf, con la característica principal de que ambos compresores serán instalados en un mismo sistema de refrigeración y trabajarán con el refrigerante 134a y con el aceite PAG 46. Adicionalmente los valores de eficiencia más altos serán comparados con resultados otro artículo científico.

En ambos compresores se realizaron cinco pruebas experimentales, donde las presiones y temperaturas varían según sea su nivel de enfriamiento. En cada prueba se obtiene diferentes resultados de eficiencia y COP de rendimiento, esta diferencia puede variar según sea la temperatura del medio ambiente y también por el tiempo de trabajo del compresor.

Análisis de resultados Compresor Tahoe 2009 R134a.

La primera parte del análisis es del Tahoe 2009 R134a, el compresor de esta versión únicamente trabaja con el refrigerante R134a y el lubricante o aceite PAG 46. A poner a prueba o en funcionamiento el sistema de refrigeración, gracias a las presiones y temperaturas absolutas tomadas en las pruebas se encontraron las entalpías, cada nivel de prueba se graficó su respectivo ciclo frigorífico como se observa en las figuras 80, 81, 82, 83 y 84.

Los valores de entalpia se observa en la tabla 9 y los resultados para la comparación respectiva se encuentra en la tabla 10, en las cinco pruebas realizadas presentan variaciones mínimas de eficiencia. Estas variaciones se da por métodos climáticos o por el tiempo de trabajo del compresor, es decir si el compresor tiene un mayor tiempo de trabajo las presiones y temperaturas varían afectando así la eficiencia del mismo.

La mayor eficiencia del compresor Tahoe 2009 R134a, está en el nivel Low/Medium con un 81.81% y la menor eficiencia está en el nivel Medium/High con un 73.33%. De igual

forma los valores representativos como el trabajo específico interno del compresor, el calor cedido por el condensador, calor absorbido por el evaporador, COP de bombeo de calor del condensador y el COP de refrigeración por medio del evaporador. Son valores que no presentan un mayor porcentaje de variación. La temperatura del fluido de aire a través del evaporador es de 2°C, como se observa en la figura 97.



Figura 97. Temperatura tomada por medio de un multímetro con termocupla, 1er análisis.

Estos dos valores mencionados son los más sobresalientes en las pruebas realizadas con el compresor Tahoe 2009 R134a.

El primer análisis nos ayudara a conocer cuáles son los parámetros y propiedades que trabaja un sistema propio R134a, para así poder compararlo con los resultados del compresor R1234yf instalado en el mismo sistema.

Análisis de resultados Compresor Tahoe 2019 R1234yf.

En el caso del compresor Tahoe 2019 R1234yf, que es el segundo análisis el compresor trabaja desde fabrica con el refrigerante 1234yf, pero para la prueba respectiva este compresor trabajara con el refrigerante 134a y con el aceite PAG 46, con el fin de conocer su comportamiento en el sistema y si este puede trabajar con el refrigerante 134a, sin que esté presente inconvenientes en su ciclo frigorífico. En las figuras 92. 93. 94. 95 y 96, se representa los ciclos frigoríficos de cada nivel de prueba en el segundo análisis.

Los resultados más característicos en este análisis del compresor Tahoe 2019 R1234yf es el nivel Medium/High, con una eficiencia de 75% y el nivel Low, con una eficiencia de 68.96%. De igual forma los valores representativos como el trabajo específico interno del compresor, el calor cedido por el condensador, calor absorbido por el evaporador, COP de bombeo de calor del condensador y el COP de refrigeración por medio del evaporador. Son valores que no presentan un mayor porcentaje de variación. La temperatura del fluido de aire a través del evaporador es de 4°C, como se observa en la figura 98.



Figura 98. Temperatura tomada por medio de un multímetro con termocupla, 2do análisis.

Cada resultado de nivel de prueba será comparado entre ambos compresores, es decir entre la eficiencia, trabajo interno del compresor, calor cedido por el condensador, calor absorbido por el evaporador y el COP correspondiente por medio del condensador y del evaporador.

Comparación de resultados entre los compresores R134a y R1234yf.

A continuación, en las siguientes tablas se presentará los resultados a comparar. De los compresores R134a y R1234yf.

Tabla 16

Resultados de eficiencia entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	80%	68.96%
BAJO/MEDIO	81.81%	73.03%
MEDIO	78.78%	74.07%
MEDIO/ALTO	73.33%	75%
ALTO	74.07%	71.42%

En la tabla 16, se observa la comparación de la eficiencia o rendimiento de cada nivel entre los compresores R134a y R1234yf. Donde los resultados de R1234yf son valores cercanos al compararlos con los resultados del R134a, es decir que el compresor Tahoe 2019 R1234yf, tiene la capacidad de trabajar con refrigerante R134a y con lubricante PAG 46, sin afectar directamente su ciclo frigorífico. En la figura 99, se observa los resultados expuestos de la eficiencia en función del porcentaje en un gráfico de barras, para una mejor visualización.

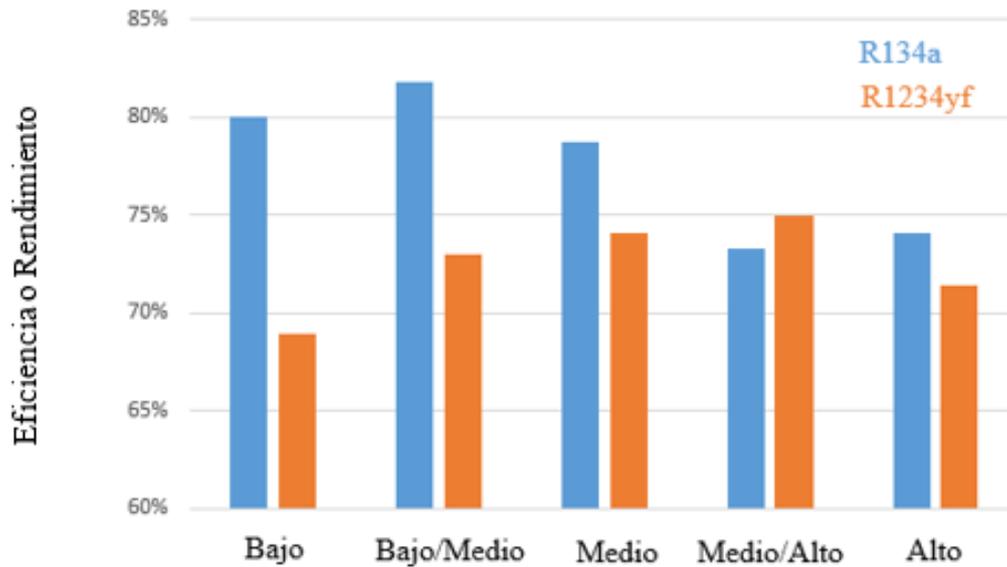


Figura 99. Comparación de eficiencia o rendimiento entre cada nivel.

Tabla 17

Resultados de trabajo interno de compresión entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	35 KJ/kg	29 KJ/kg
BAJO/MEDIO	33 KJ/kg	26 KJ/kg
MEDIO	33 KJ/kg	27 KJ/kg
MEDIO/ALTO	30 KJ/kg	20 KJ/kg
ALTO	27 KJ/kg	21 KJ/kg

En la tabla 17, se muestra los resultados del trabajo específico interno de compresión, donde los valores más característicos se encuentran en el nivel Bajo de ambos compresores. El trabajo específico interno de compresión se obtiene a partir del inicio del ciclo de compresión hasta el final del mismo, donde el refrigerante es comprimido.

Tabla 18

Resultados de calor cedido por el condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	170 KJ/kg	187 KJ/kg
BAJO/MEDIO	171 KJ/kg	182 KJ/kg
MEDIO	172 KJ/kg	182 KJ/kg
MEDIO/ALTO	175 KJ/kg	176 KJ/kg
ALTO	173 KJ/kg	172 KJ/kg

En la tabla 18, son resultados del calor cedido por el condensador, en ambos análisis de prueba se utilizó el mismo condensador. Los resultados más representativos son en el nivel Medio/Alto con un valor de 175 KJ/kg en el caso del R134a, por otro lado, en el análisis R1234yf el resultado más sobresaliente es en el nivel Bajo con un valor de 187 KJ/kg. El calor cedido por el condensador se obtiene a partir del inicio del ciclo de condensación hasta el final del mismo, donde el refrigerante es condensado, dirigiéndose hacia la válvula de expansión.

Tabla 19

Resultados del COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	4.85	6.4
BAJO/MEDIO	5.18	7
MEDIO	5.21	6.74
MEDIO/ALTO	5.83	8.8
ALTO	6.4	8.19

En la tabla 19, se observa los resultados del COP del rendimiento a partir del bombeo de calor por medio del condensador, en el análisis del compresor R1234yf, son superiores a comparación del compresor R134a.

Tabla 20

Resultados de calor absorbido por el evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	135 KJ/kg	158 KJ/kg
BAJO/MEDIO	138 KJ/kg	156 KJ/kg
MEDIO	139 KJ/kg	155 KJ/kg
MEDIO/ALTO	145 KJ/kg	156 KJ/kg
ALTO	146 KJ/kg	151 KJ/kg

En la tabla 20, son los resultados del calor absorbido por el evaporador, en ambos análisis de prueba se utilizó el mismo evaporador. Los resultados más representativos están en el nivel Alto con un valor de 176 KJ/kg en el caso del R134a, por otro lado, en el análisis R1234yf el resultado más sobresaliente es en el nivel Bajo con un valor de 158 KJ/kg. El calor absorbido por el evaporador se obtiene a partir del inicio del ciclo de evaporación hasta el final del mismo, donde el refrigerante es evaporado, dirigiéndose hacia el compresor.

Tabla 21

Resultados del COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf.

Nivel	R134a	R1234yf
BAJO	3.85	5.4
BAJO/MEDIO	4.18	6
MEDIO	4.21	5.74
MEDIO/ALTO	4.83	7.8
ALTO	5.4	7.19

En la tabla 21, se observa los resultados del COP del rendimiento a partir de la refrigeración por medio del evaporador, en ambos análisis son valores o resultados cercanos en las diferentes pruebas. Pero de igual forma los resultados del compresor R1234yf, son resultados superiores a comparación del compresor R134a.

Para poder analizar los valores de eficiencia y del COP de rendimiento de ambos compresores, se va a comparar con resultados de diferentes artículos científicos. Donde se tomará los valores más altos de eficiencia obtenidos en los análisis de resultados.

Comparación de eficiencia entre los compresores R134a, R1234yf y artículos científicos.

En la tabla 22 se puede observar los valores de eficiencia entre los compresores y de los artículos científicos.

Tabla 22

Comparación de eficiencia entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos.

Comparación	Resultados Eficiencia
Compresor Tahoe 2009 R134a	82%
Compresor Tahoe 2019 R1234yf	75.00%
Compresor TM 13 (Cuaical Angulo & Torres Tamayo , 2018)	99.13%
Compresor SD7H15HD (García, Flores, Muñoz, Avila, & Muñoz, 2017)	93.15%
Compresor TM 16 (Belman, Gallegos, Riesco, & Mendoza, 2014)	68.85%
Compresor SD505 (Móles Ribera , 2014)	60.15%

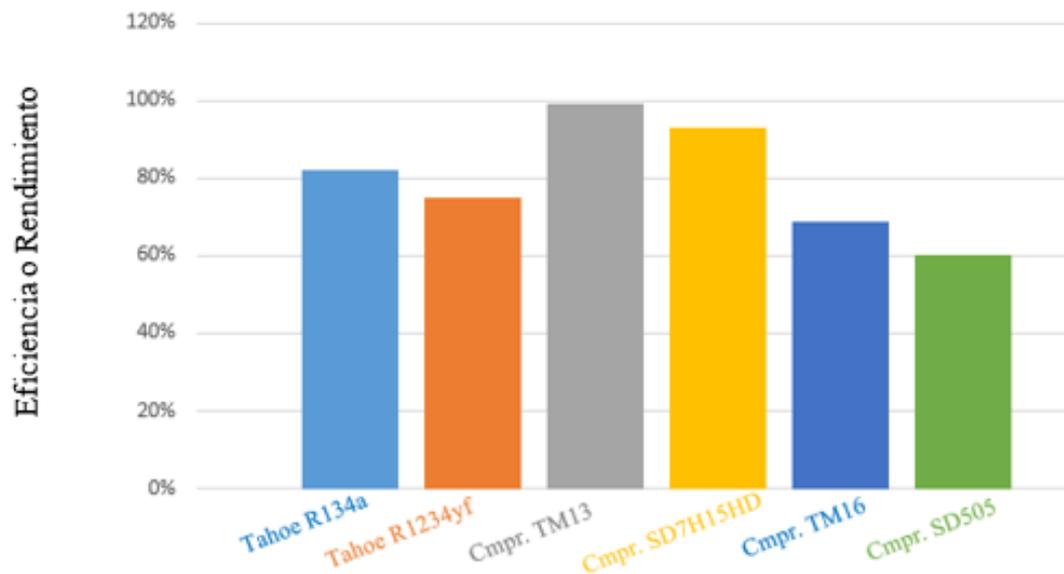


Figura 100. Comparación de eficiencia o rendimiento Tahoe R134a, Tahoe R1234yf y Artículos científicos.

En la tabla 22 y en la figura 100, se observa los resultados de comparación entre los compresores utilizados en el proyecto de investigación y de los artículos científicos. La eficiencia del compresor se encuentra en el estado de compresión isentrópica en todos los casos, el compresor Tahoe 2009 R134a y el compresor Tahoe 2019 R1234yf, son eficiencias que se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento al compararlos con resultados de los cuatro artículos científicos. El compresor TM 13 tiene una eficiencia de 99.13% y el compresor SD505 tiene una eficiencia de 60.15%, siendo la mayor y menor eficiencia correspondientemente en el análisis. Las variaciones de eficiencia se da por el diseño del compresor o por el tipo de sistema en la que el compresor está instalado.

Tabla 23

Comparación de COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos.

Comparación	Resultados COP
Compresor Tahoe 2009 R134a	6.4
Compresor Tahoe 2019 R1234yf	8.8
Compresor TM 13 (Cuaical Angulo & Torres Tamayo , 2018)	5.1
Compresor SD7H15HD (García, Flores, Muñoz, Avila, & Muñoz, 2017)	4.8
Compresor TM 16 (Belman, Gallegos, Riesco, & Mendoza, 2014)	4.7
Compresor SD505 (Móles Ribera , 2014)	3.5

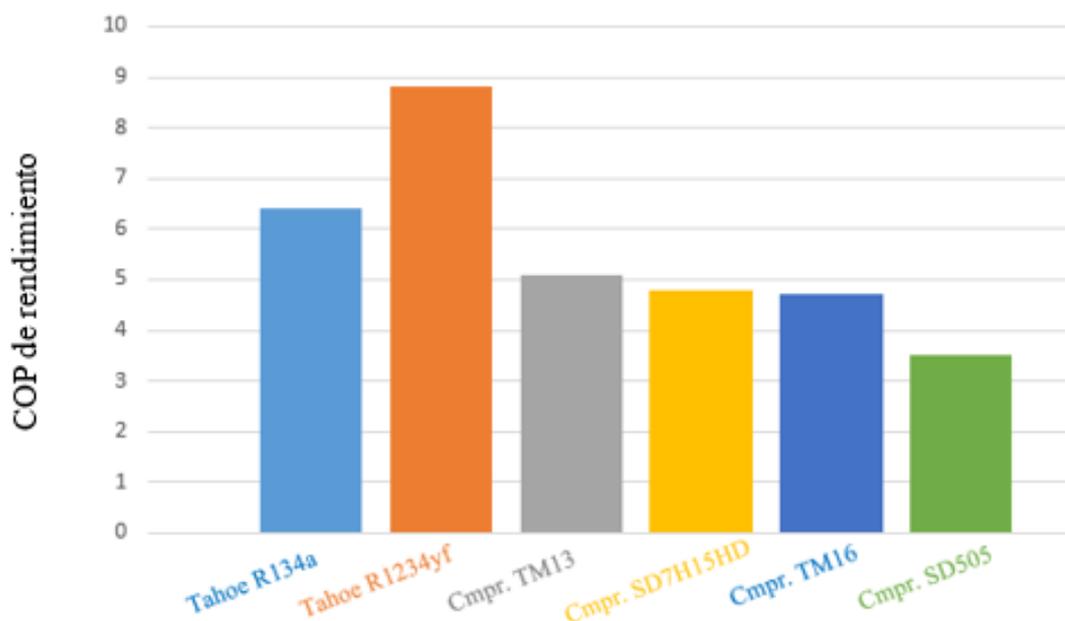


Figura 101. Comparación COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador Tahoe R134a, Tahoe R1234yf y Artículos científicos.

En la tabla 23 y en la figura 101, se observa la comparación del COP de rendimiento de bombeo de calor por medio del condensador, los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf, son resultados que están por encima de los resultados de los cuatro artículos científicos. El número de aletas, número de tubos y las dimensiones del condensador son factores importantes que se debe tomar en cuenta al instalar en un sistema de aire

acondicionado, de igual forma el electro ventilador instalado en el mismo condensador influye en el ciclo frigorífico.

Tabla 24

Comparación de COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador entre los compresores Tahoe 2009 R134a, Tahoe 2019 R1234yf y artículos científicos.

Comparación	Resultados COP
Compresor Tahoe 2009 R134a	5.4
Compresor Tahoe 2019 R1234yf	7.8
Compresor TM 13 (Cuaical Angulo & Torres Tamayo , 2018)	3.8
Compresor SD7H15HD (García, Flores, Muñoz, Avila, & Muñoz, 2017)	4.1
Compresor TM 16 (Belman, Gallegos, Riesco, & Mendoza, 2014)	3.8
Compresor SD505 (Móles Ribera , 2014)	2.5

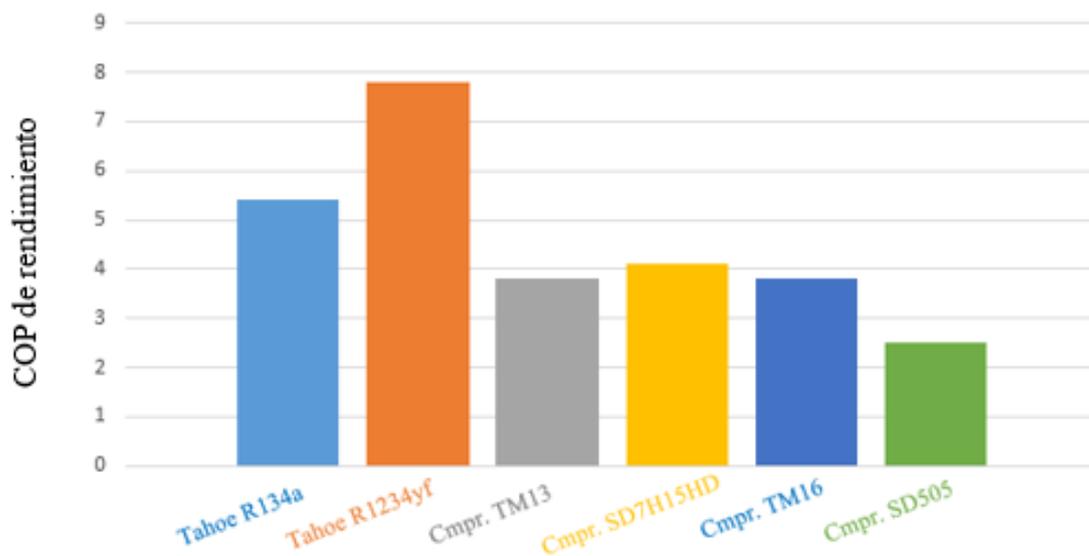


Figura 102. Comparación COP de rendimiento de refrigeración por medio del evaporador Tahoe R134a, Tahoe R1234yf y Artículos científicos.

En la tabla 24 y en la figura 102, se observa la comparación del COP de rendimiento *de* refrigeración por medio del evaporador, los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf, son resultados que están por encima de los cuatro artículos científicos. El número de aletas, número de tubos y las dimensiones del evaporador son factores importantes que se debe tomar en cuenta al instalar en un sistema de aire acondicionado, de igual forma el espacio donde esta instalo el mismo, sea un espacio cerrado o abierto influye en el ciclo frigorífico.

Conclusiones y Recomendaciones

Al realizar las pruebas del ciclo frigorífico del compresor Tahoe 2009 R134a, se obtuvo tres tipos de resultados tales como; la eficiencia o rendimiento del compresor que varía del 73% al 81% entre los diferentes niveles de prueba. El COP de bombeo de calor por medio del condensador cuyos valores varían entre 4 a 6 (sin unidades), y el COP de refrigeración por medio del evaporador con valores de 3 a 5 (sin unidades). Este compresor trabajó con su propio agente frigorífico y lubricante.

Al reemplazar el compresor Tahoe 2009 R134a por el compresor Tahoe 2019 R1234yf, se realizó cinco diferentes pruebas bajo las mismas condiciones, donde el compresor Tahoe 2019 R1234yf, tiene una eficiencia superior al 65% y por debajo del 75%. El COP de bombeo de calor por medio del condensador varían entre 6 a 8 (sin unidades) y el COP de refrigeración por medio del evaporador varían de 5 a 7 (sin unidades).

Al comparar resultados más altos entre los compresores Tahoe 2009 R134a y Tahoe 2019 R1234yf, tiene una diferencia de 7.74%, siendo un valor aceptable con respecto a la eficiencia o rendimiento del compresor.

Al analizar de igual forma el resultado del compresor Tahoe 2019 R1234yf con compresores de diferentes artículos científicos, es un valor muy aceptable dentro de un ciclo frigorífico. Tomando en cuenta que el resultado más sobresaliente es el Compresor TM13 con un 99% de eficiencia y el resultado por debajo del análisis comparativo es el Compresor SD505 con un 60% de eficiencia.

El agente frigorífico R1234yf comienza hacer más aceptable en el campo automotriz, ya que tiene una magnitud cero como potencial en la destrucción de la capa de ozono comparado con el agente frigorífico R134a. Este tipo de agente frigorífico R1234yf se encuentra presentes en la mayoría de países europeos, por tal motivo el estudio o evaluación de este proyecto fue centrado en el reemplazo del refrigerante R1234yf por el refrigerante R134a, donde esta evaluación ha sido analizada por medio de la eficiencia de ambos compresores, con un solo agente frigorífico.

Referencias

- ABSORSISTEM S.L. (2011). *Funcionamiento del ciclo de absorción de simple efecto* .
Obtenido de ABSORSISTEM:
<https://www.absorsistem.com/tecnologia/absorcion/funcionamiento-del-ciclo-de-absorcion-de-simple-efecto-con-bromuro-de-litio-y-agua>
- Acedo Zambrana, M. Á. (2012). Mantenimiento de sistemas de climatización. En M. Á. Acedo Zambrana, *Mantenimiento de sistemas de climatización*. IC editorial.
- Aire Acondicionado. (2010). *Tipos de Compresores de Aire Acondicionado*. Obtenido de Aire Acondicionado : http://www.aire-acondicionado.com.es/tipos-de-compresores_de_aire_acondicionado/
- Andalucía, F. d. (2010). *El Efecto Invernadero*. Obtenido de El Efecto Invernadero.
- Arroyo Rosa. (2013). *Compresores en Climatización*.
- Barrera, C. (2018). *Intercambiador de Calor* .
- BEHR Hella Service. (2012). Climatización del vehículo, Conocimientos básicos para el taller. *BEHR Hella Service*, 74.
- Belman, Gallegos, Riesco, & Mendoza. (2014). EXERGETIC ANALYSIS OF A REFRIGERATION SYSTEM. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Benavides Ballesteros , H. O., & León Aristizabal , G. E. (2007). *Información Técnica sobre Gases de efecto invernadero y el cambio climático* .
- Buqué, F. (2007). *Manual Práctico de Refrigeración y Aire Acondicionado*. j.
- Cengel , Y., & Boles , M. (2012). *Termodinámica*. México DF: The McGraw-Hill.

- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. Ciudad de México: McGraw Hill .
- Checa Muñoz, M., & Caiza Alarcón, P. (2012). *Construcción de un sistema didáctico de aire acondicionado vehicular, para el laboratorio de la escuela de ingeniería automotriz*. Riobamba - Ecuador .
- Colmenares, J. (2012). *Ciclo de refrigeración por Compresión de Vapor*. Cabudare.
- Colmenares, J. (2013). *Ciclo de Refrigeración por Absorción*. Cabudare.
- Concepto.de. (2012). *Concepto de Capa de ozono*. Obtenido de Concepto.de:
<https://concepto.de/capa-de-ozono/>
- Crouse, W., & Anglin, D. (1988). *Aire Acondicionado en el Automovil*. Barcelona: Marcombo.
- Cuaical Angulo , B. A., & Torres Tamayo , E. (2018). *Caracterización de la eficiencia energética en los sistemas de refrigeración aplicados en el área automotriz*. Universidad Técnica Cotopaxi.
- Cuaucall, B., & Mántufar , P. (2017). Caracterización del INX en un sistema de refrigeración automotriz y el COP con refrigerante R134a. *Revista Riemat*.
- DuPont, & Opteon. (2009). *Pressure - Enthalpy Diagram*.
- Fernández, P. (2012). *Compresores*.
- García, P., Flores, B., Muñoz, G., Avila, R., & Muñoz, R. (2017). *Evaluación energética de un ciclo de refrigeración por eyecto-compresión utilizando alternativas de sustitución al R134a*.
- Gasservei. (2014). Ficha técnica R134a .

- Goribar, H. (2009). *Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración* . Ciudad de México : Noriega.
- Grimm, N., & Rosaler, R. (1996). *Manual de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado*. Interamericana de España.
- Guananga Totoy, M. d. (2013). *Diseño y construcción de un simulador de climatización automotriz*. Guayaquil.
- Guerra, J. (2010). *Compresor Scroll*. Obtenido de Compresor Scroll: <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-scroll.html>
- Jaramillo. (2007). *Intercambiadores de Calor* . México.
- Jutglar, L., & Miranda, Á. L. (2008). *Técnicas de Refrigeración*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Leck, T. J. (2009). Evaluation of HFO-1234yf as a Potential Replacement for R-134a in Refrigeration Applications. *DUPONT The Miracles of Science*, 2.
- Manzano, F. (2012). *Quimobásicos S.A*. Obtenido de La línea más completa de gases refrigerantes.
- Mecánica Automotriz. org. (s.f.). *Componentes mas importantes del sistema de A/C Aire Acondicionado* . Obtenido de Mecánica Automotriz. org: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1659-material-componentes-mas-importantes-sistema-ac-aire-acondicionado>
- Mendoza , J., Navarro, J., Mota , A., Belman , J., Rubio, J., Peris , B., & Moles , F. (2013). Evaluación energética de los refrigerantes R1234yf y R512a como alternativa al r134a en sistemas de refrigeración. *Iberoamericana de ingeniería mecánica* .

MIAC. (2009). *Compresor de Disco Oscilante y cilindrada Variable*. Obtenido de MIAC:

<http://www.dacarsa.net/basic/divulgacion/sistemaVisual.php?id=58&parrafo=2175>

Móles Ribera , F. (2014). *Análisis experimental de la influencia del intercambiador intermedio en el desempeño de un sistema de compresión de vapor trabajando con R1234yf como sustituto directo al R134a*. Castellón.

Mota Babiloni, A., Mendoza Miranda, J. M., & Navarro Esbri, J. (2012). *Revisión del refrigerante R1234yf como alternativa de bajo GWP en refrigeración y climatización*. Memorias del XXVII Congreso Nacional de Termodinámica. Obtenido de file:///C:/Users/JOSE/Desktop/TESIS/CONGRESO_TERMODINAMICA_2012.pdf

Muñoz Gallegos, E. (2006). *Ciclos de Refrigeración por Compresión de Vapor*.

ONU. (2012). Protocolo de Montreal, Ficha de información. *Capa de Ozono*.

Red Ambiental de Asturias. (2012). *Las causas del cambio climático* . Asturias .

Refrigerantes. (2006). Obtenido de <http://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf>

Renedo, C. (2010). *Aire Acondicionado, Elementos*. Santander - España.

Sendra Portero. (s.f.). *Radiación Ultravioleta*.

Talley, E. (2010). *R1234yf Refrigerant*. Obtenido de Southern Illinois University Carbondale:

<file:///C:/Users/JOSE/Desktop/TESIS/R1234yf%20Refrigerant.pdf>

Termotécnica. (2008). *Manual de Refrigeración*. Elettrínica Veneta.

Trusler, J. (2003). *p - h Diagram for R134a*. Imperial College London.

Vaghela, J. K. (2016). *Comparative evaluation of an automobile air conditioning system using R134a and its alternative refrigerants*. Vadodara: ELSEVIER.

Villanueva Manresa, R. (2004). *Refrigerantes para Aire Acondicionado y Refrigeración*. San Vicente : Club Universitario .

ANEXO 1

Glosarios de términos

Circuito LOW: Circuito de Baja Presión

Circuito HIGH: Circuito de Alta Presión

HFC: Hidrofluorocarbono

HFC 134a: 1,1,1,2 – tetrafluoroetano

HFO: Hidrofluoroolefina

HFO 1234yf: 2,3,3,3 – tetrafluoropropeno

PAG 46: Polialquilenglicol 46

η_c : Eficiencia o rendimiento del Compresor

COP: Coeficiente de Rendimiento

w_c : Trabajo Especifico interno de compresión

Q_H/q_c : Calor cedido por el condensador

Q_L/q_e : Calor absorbido por el evaporador

O_2 : Oxigeno

O_3 : Ozono

UV: Rayos Ultra violeta

CO₂: Dióxido de Carbono

ODP: Agotamiento Capa de Ozono

GWP: Potencial de Calentamiento Global

ANEXO 2

Guía de Práctica

Identificación de los componentes de un sistema de aire acondicionado automotriz

Objetivo:

Identificar los diferentes componentes de un aire acondicionado automotriz en el banco de pruebas. Con el fin de conocer la función de cada componente presente en el ciclo frigorífico.

Objetivo específico:

- Conocer los componentes del aire acondicionado y sus presiones de trabajo en el sistema.
- Aprender las fallas comunes que presenta un sistema de aire acondicionado automotriz.
- Conocer los parámetros de mantenimiento en el sistema de aire acondicionado.

Revisión Teórica:

- Todos los componentes del circuito de refrigeración están conectados entre sí por medio de mangueras flexibles y/o conductos de aluminio, formando así un sistema cerrado.
- En el sistema circula Refrigerante HFC 134a, con su lubricante respectivo PAG 46.
- Una batería de 12 V, acciona el compresor, ventilador del evaporador y los electro ventiladores.
- La zona entre el compresor y la válvula de expansión se denomina zona de alta presión.
- Entre la válvula de expansión y el compresor se encuentra la zona de baja presión.

- El compresor comprime el refrigerante en estado gaseoso y lo presiona mediante alta presión a través del condensador.
- El refrigerante se condensa y su estado se transforma de estado gaseoso a estado líquido.
- Los electro ventiladores del condensador contribuyen a alcanzar un estado líquido óptimo del refrigerante en cualquier situación de funcionamiento.
- El presostato tiene la función de proteger el aire acondicionado de daños provocados por altas o bajas presiones.
- El filtro deshidratante, elimina las impurezas, partículas de humedad en el sistema e incluso partículas sólidas o residuos metálicos.
- La válvula de expansión separa las zonas de alta y baja presión en el circuito de refrigeración, el flujo del refrigerante se regula a través de la válvula de expansión en función de la temperatura. Así se garantiza una evaporación completa del refrigerante líquido.
- El refrigerante ingresa al compresor nuevamente en estado gaseoso, a una baja presión y temperatura, repitiendo así el ciclo frigorífico.

Equipo y herramientas

- Juego de llaves milimétricas/pulgadas
- Juego de medio de copas con su mando
- Multímetro
- Manómetros Análogos o Digitales
- Bomba de Vacío
- Lubricante PAG 46
- Refrigerante HFC 134a

ANEXO 3

Principales fallos del sistema

- En el **compresor** una lubricación insuficiente, provocada por la falta de estanqueidad, pérdida de refrigerante y de aceite, pueden originar un fallo en el compresor, tales como:

- Falta de estanqueidad en el sello o el anillo del eje.
- Falta de estanqueidad en las juntas de la carcasa.
- Daños en los rodamientos o mecanismo interno.

- El **condensador** debido a su especial zona de montaje puede haber fallos provocados por la suciedad medioambiental o por su compacto espacio de instalación.

Presentando los siguientes síntomas:

- Baja potencia de refrigeración.
- Fallo del aire acondicionado.
- Ventilador del condensador en continuo funcionamiento.
- Donde las causas de una avería en el **condensador** pueden ser:
 - Fugas o daños en las conexiones hacia el condensador.
 - Intercambio de calor insuficiente debido a la suciedad.
- Una avería en el **filtro deshidratante** puede presentar los siguientes síntomas:
 - Baja potencia de refrigeración.
 - Fallo del aire acondicionado.
 - Taponamiento en el sistema.
- Las causas de una avería en el **filtro deshidratante** pueden ser:
 - Deterioro del filtro.
 - Almohadilla filtrante defectuosa en el interior.

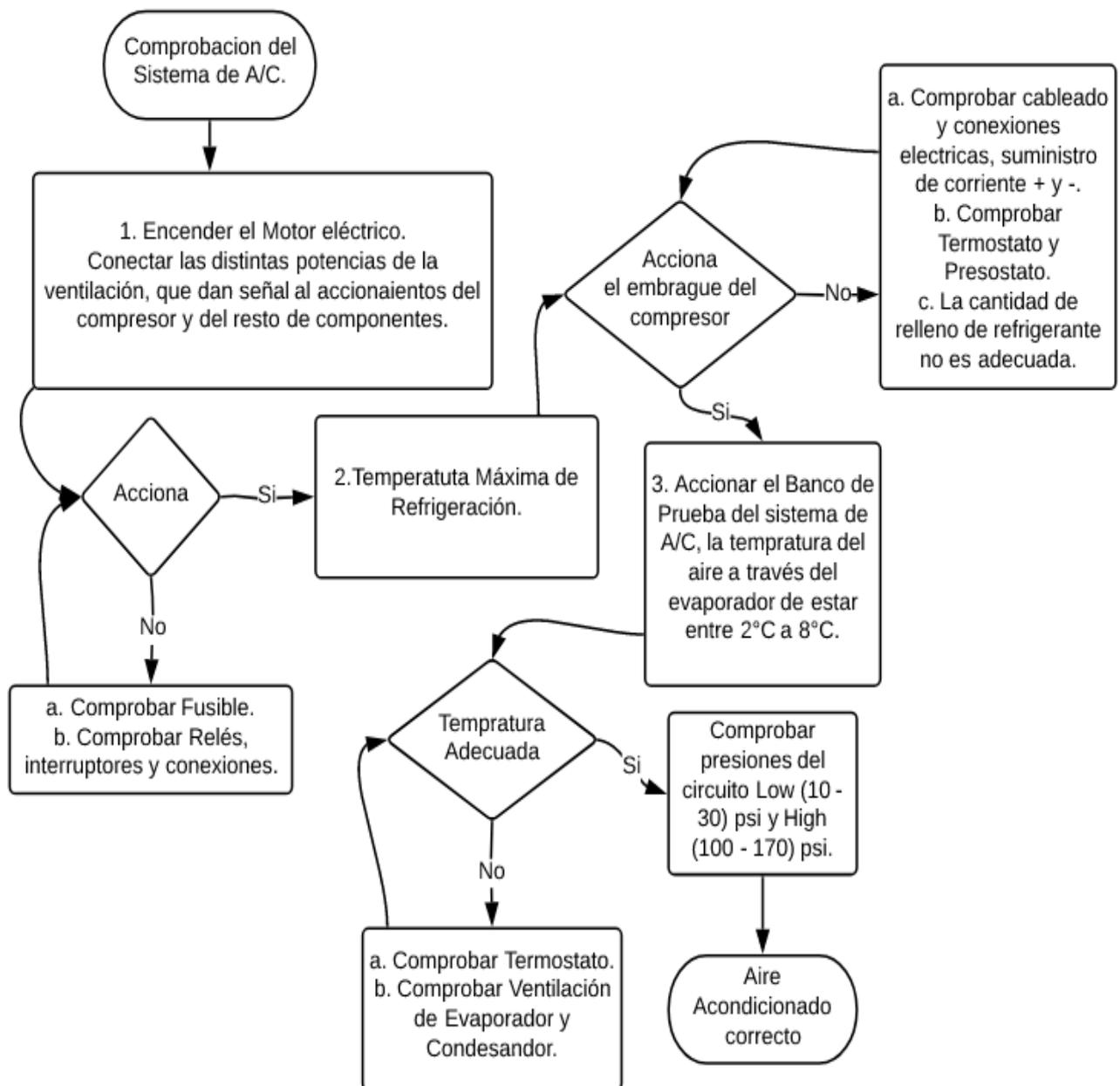
- En una **válvula de expansión**, la humedad y las impurezas en el sistema de climatización pueden afectar seriamente a su funcionamiento, donde presenta las siguientes causas:
 - o Baja potencia de refrigeración.
 - o Problemas de temperatura debido al sobrecalentamiento o a la congelación.
 - o Suciedad en el sistema.
 - o Fugas en el componente de conexión.
 - o Taponamiento en el sistema.
 - o Pérdida de presión hacia el compresor.

- En **el evaporador**, debido a problemas con la temperatura, la suciedad, la humedad y un mantenimiento incorrecto pueden producirse varios fallos, tales como:
 - o Potencia insuficiente de refrigeración.
 - o Fallo del aire acondicionado.
 - o Potencia del ventilador deficiente.
 - o Fuga en el componente.

- La causa de una avería en **el evaporador** puede ser:
 - o Tuberías en el evaporador obstruidas.
 - o Falta de estanqueidad entre los empalmes, debido a algún daño externo.
 - o Evaporador sucio, flujo de aire a través del mismo obstruido.

- Un **presostato** de presión puede fallar debido a problemas en los contactos o debido a la suciedad, las causas se puede detectar de la siguiente manera:
 - o Rendimiento de refrigeración deficiente.
 - o El aire acondicionado no funciona.
 - o El compresor no se acciona.
 - o Frecuente encendido/apagado del embrague del compresor.

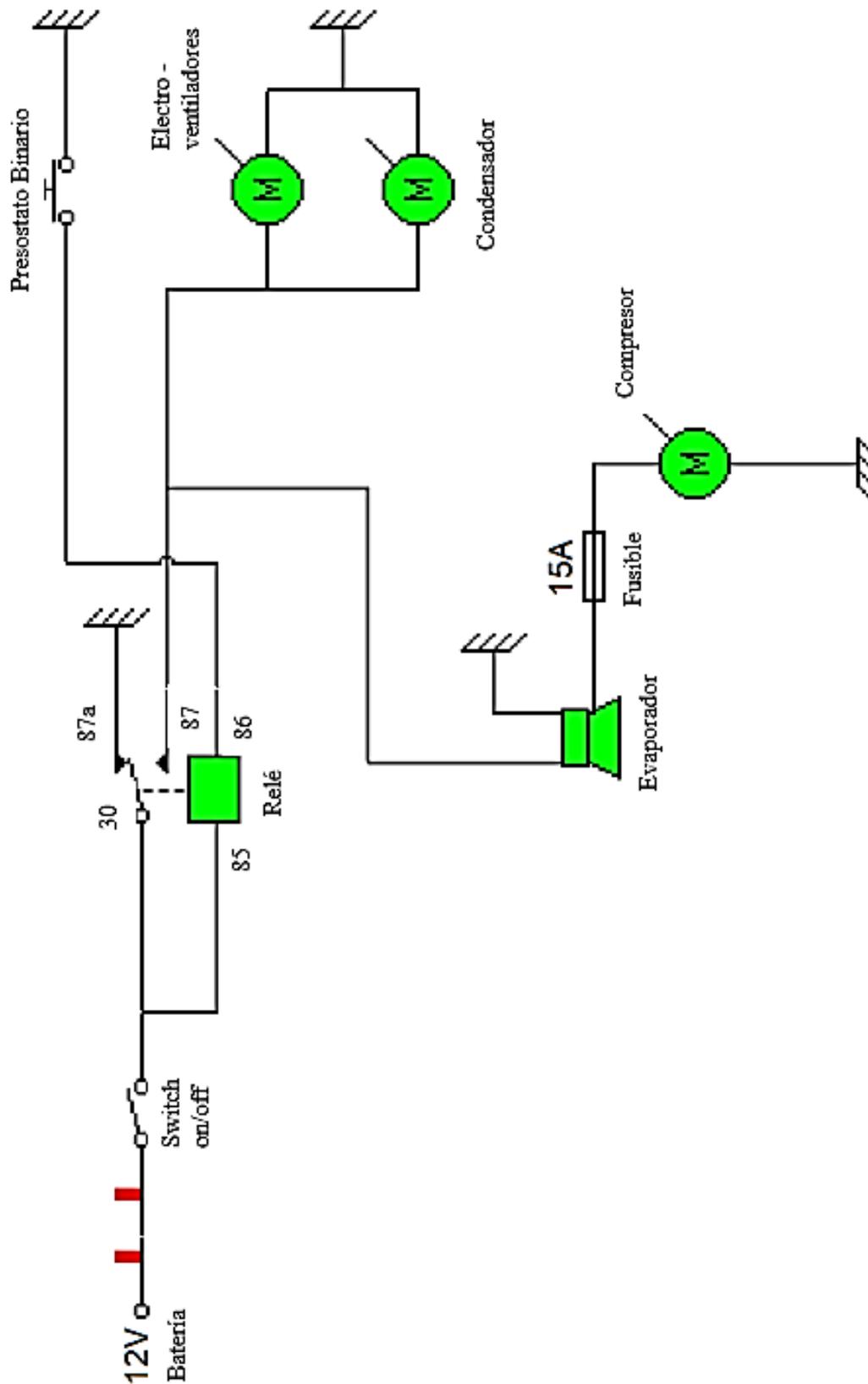
- Las causas de la avería pueden ser muy diversas:
 - o Fallos en los contactos de las conexiones eléctricas.
 - o Daños en la carcasa debido a vibraciones.



NOTA: A continuación, se presenta las normas de mantenimiento del sistema de aire acondicionado. El mantenimiento se lo debe realizar mínimo una vez al año o dependiendo su uso.

ANEXO 4

Circuito implementado en el sistema de banco de pruebas del aire acondicionado



ANEXO 5

Mantenimiento del banco de pruebas del aire acondicionado

1. Comprobar el funcionamiento del sistema.

Encender el motor eléctrico y el sistema de refrigeración, comprobando si el compresor y el resto de componentes eléctricos accionan, sin ningún problema. Comprobar las presiones y su temperatura de enfriamiento.

2. Revisión de los Componentes.

Antes de desmontar y volver a montar el sistema para un mantenimiento, hay que comprobar que las conexiones, las fijaciones y demás características que puedan influir para que en el montaje sean idénticas.

3. Revisar si existen fugas.

Revisar de forma visual en cada conexión de los acoplos o uniones del sistema que no exista rastros de aceite o de refrigerante

4. Utilizar juntas de O-ring nuevas.

Al sustituir un recambio deberán utilizarse siempre juntas de O-ring nuevas, adecuadas para el refrigerante y de dimensiones correspondientes.

5. Mantener el sistema cerrado.

El aceite del compresor tiene un gran efecto higroscópico (absorber humedad), por lo que es recomendable mantener cerrada la instalación y deberá rellenarse de aceite antes de cerrar el circuito de refrigeración.

6. Lubricar O-ring y juntas de conexión.

Antes del montaje, se deberá acoplar los O-ring y las juntas de conexión con aceite de refrigerante o con lubricantes especiales para facilitar el montaje. No deben utilizarse otras grasas o rociadores de silicona, ya que el nuevo refrigerante podría ensuciarse enseguida y perder sus propiedades afectando al sistema.

7. Sustituir el filtro deshidratante.

Cada vez que se abra el circuito de refrigeración se deberá renovar el filtro deshidratante debido a su fuerte efecto higroscópico. Si el filtro deshidratante no se renueva periódicamente, la almohadilla filtrante podría descomponerse y podrían desprenderse partículas de silicato por toda la instalación, provocando daños serios a todos los componentes del sistema.

8. Cerrar y ajustar bien las conexiones.

Las conexiones de la instalación no deberían permanecer nunca abiertas durante demasiado tiempo; deben cerrarse inmediatamente con tapas o tapones. De otro modo, junto con el aire entraría humedad en el sistema.

9. Trabajar con dos llaves.

Para que no se dañen las mangueras ni los componentes deberá trabajarse siempre con dos llaves a la hora de aflojar o de fijar las conexiones.

10. Respetar la cantidad de aceite correcta.

Al sustituir un componente del sistema de aire acondicionado, se debe tener en cuenta la cantidad de aceite adecuada para el mismo, lo de adecuado es de 3 a 5 onzas.

11. Antes de recargar el refrigerante, comprobar la estanqueidad.

Antes de recargar de refrigerante nuevo al sistema se debe comprobar la estanqueidad del sistema. A continuación, hay que vaciar el sistema convenientemente (aprox. 30 minutos) para asegurarse de que se ha eliminado toda la humedad del sistema, con una bomba de vacío.

12. Recarga de Refrigerante.

La recarga de refrigerante se la hace por medio de la válvula de servicio LOW (tapa negra), aproximadamente 300 ± 50 gramos con una báscula, colocando el tanque refrigerante boca abajo.

13. Una vez recargado el sistema, comprobar la estanqueidad y observar los valores de la presión.

Una vez recargado de refrigerante en el sistema, con la cantidad adecuada, se debe comprobar que el sistema funcione perfectamente y que no exista fugas de fluido frigorífico de manera visual o por búsqueda electrónica de fugas con equipo respectivo. Al mismo tiempo, los valores de alta y baja presión deberán observarse con un manómetro de presión y deberán compararse con los valores prescritos.

14. Revisar Banda de accesorios.

Verificar la tensión de la banda de accesorios y comprobar que no exista desgaste o fisuras en sus surcos o ranuras.

15. Colocar la pegatina de servicio.

Después de haber colocado las tapas protectoras en las válvulas de carga o de servicio, se debe colocar una pegatina en un lugar visible al usuario con la fecha del mantenimiento, informando mediante una etiqueta el servicio realizado.

DESCRIPCIÓN		ESTADO		
		OK	MAL	Observaciones
1	Comprobar el funcionamiento del sistema.			
2	Revisión de los Componentes.			
3	Revisar si existen fugas.			
4	Utilizar juntas de O-ring nuevas.			
5	Mantener el sistema cerrado.			
6	Lubricar O-ring y juntas de conexión.			
7	Sustituir el filtro deshidratante.			
8	Cerrar y ajustar bien las conexiones.			
9	Trabajar con dos llaves.			
10	Respetar la cantidad de aceite correcta.			
11	Antes de recargar el refrigerante, comprobar la estanqueidad.			
12	Recarga de Refrigerante.			
13	Una vez recargado el sistema, comprobar la estanqueidad y observar los valores de la presión.			
14	Revisar Banda de accesorios.			
15	Colocar la pegatina de servicio.			

ANEXO 6

En este anexo se presentará un ejemplo de la resolución de las ecuaciones presentadas en el marco teórico de este proyecto, para determinar la eficiencia del compresor. Los datos son tomados de la tabla 10 y la figura 80.

Nivel	h1 kJ/kg	h2 kJ/kg	h2s kJ/kg	h3 kJ/kg	h4 kJ/kg
BAJO	396	431	424	261	261

Ecuación 1: Eficiencia Isentrópica de compresión

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{424 - 396}{431 - 396} = \frac{28}{35} = 0.8$$

$$\eta_c = 0.8 \times 100\% = 80\%$$

Ecuación 2: Trabajo específico interno de compresión

$$w_c = h_2 - h_1 = 431 - 396$$

$$w_c = 35 \text{ kJ/kg}$$

Ecuación 3: Calor cedido por el condensador

$$\frac{Q_H}{q_c} = h_2 - h_3 = 431 - 261$$

$$\frac{Q_H}{q_c} = 170 \text{ kJ/kg}$$

Ecuación 4: Calor absorbido por el evaporador

$$\frac{Q_L}{q_e} = h_1 - h_4 = 396 - 261$$

$$\frac{Q_L}{q_e} = 135 \text{ kJ/kg}$$

Ecuación 6: Refrigeración del COP por medio del evaporador

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w_c} = \frac{135 \text{ kJ/kg}}{35 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 3.85$$

Ecuación 7: Bombeo de calor del COP por medio del condensador

$$\text{COP} = \frac{q_c}{w_c} = \frac{170 \text{ kJ/kg}}{35 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 4.85$$

NOTA: Los textos resaltados con negrilla, son las ecuaciones que se analizó como prioridad en el proyecto.