

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

Tesis de grado previo a la obtención
Del título de Ingeniero Mecánico

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TERMODINAMICO DEL
REFRIGERANTE
R-134a MODIFICANDO SU COMPOSICION QUIMICA”

AUTORES:

PAÚL FERNANDO CARREÑO BARRERA

CARLOS MANUEL JADÁN LUCERO

DIRECTOR:

ING. NELSON JARA

CUENCA - ECUADOR

2013

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Paul Fernando Carreño Barrera y Carlos Manuel Jadán Lucero, declaramos que los conceptos desarrollados, análisis realizados, y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores, sustentados en las respectivas referencias bibliográficas citadas en este documento y autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.

Cuenca, mayo 20 del 2013



Paul Fernando Carreño Barrera



Carlos Manuel Jadán Lucero

CERTIFICACION

El Ing. Nelson Jara, certifica haber dirigido y supervisado el desarrollo del presente trabajo de grado, realizado por los señores Paul Fernando Carreño Barrera y Carlos Manuel Jadán Lucero



Ing. Nelson Jara
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

“Este logro obtenido en mi vida se lo quiero dedicar en primer lugar a Dios, por darme la existencia, sabiduría y paciencia necesaria para culminar esta meta, a toda mi familia por el apoyo y cariño brindado día a día. Con gran amor y ternura a mi madre porque fue cariñosa, y firme en mi formación de valores , además con especial amor a mi esposa Adriana que es mi compañera y confidente en este camino duro pero maravilloso como es el matrimonio, a mis hijos Paulito, y Darío, a quienes amo con todo mi ser, y por ultimo quiero hacer una dedicatoria con especial amor y respeto al más grande ser humano que me ha apoyado y cuidado en todo momento de mi vida, aunque no se encuentre cerca, “Manuel Carreño”. Porque sin su apoyo esto nunca hubiese sido posible. Gracias por ser el mejor Papa del mundo”.

Paul Fernando

“El esfuerzo de muchos años que finalmente ha rendido frutos va dedicado a todos mis seres amados miembros de mi familia, compañeros de aulas, amigos y profesores quienes han sido testigos del esfuerzo realizado e incluso han compartido y han sido un apoyo en momentos de flaqueza por los que se ha pasado, siempre creyendo en mis capacidades incluso mucho más que yo mismo, la culminación de una de las etapas de mis estudios va dedicado especialmente a mi madre María y Mis hermanos Diego y Verónica quienes pese a las adversidades siempre han estado presentes y han sido fuente de motivación.”.

Carlos Manuel

AGRADECIMIENTO

“Esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional del Ing. Nelson Jara, Director de tesis y Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica, quien con mucha paciencia supo guiarnos y apoyarnos constantemente en este proyecto de grado”

Paul Fernando

Carlos Manuel

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1

TIPOS DE REFRIGERANTES UTILIZADOS EN REFRIGERACIÓN DOMESTICA, CARACTERÍSTICAS TERMODINÁMICAS, Y NORMAS QUE REGULAN EL USO DE ESTOS PRODUCTOS.

CONTENIDO	PAG
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. Refrigerante.....	1
1.1.2. Historia de los Refrigerantes.....	1
1.1.3. Principio de Refrigeración.....	3
1.1.4. Leyes termodinámicas en la refrigeración.....	3
1.1.5. Refrigeración domestica.....	4
1.1.6. Refrigerantes utilizados para refrigeración domestica.....	4
1.1.7. Los refrigerantes y la capa de ozono.....	5
1.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA REFRIGERACIÓN.....	6
1.2.1. El compresor.....	6
1.2.2. El condensador.....	9
1.2.3. El Evaporador.....	10
1.2.4. Elementos de expansión.....	10
1.3 IDENTIFICACIÓN DE REFRIGERANTES.....	12
1.3.1 Nombre y formula química del refrigerante.....	13
1.3.2 Grupos de Refrigerantes.....	16
1.3.2.1 Refrigerantes Antiguos.....	16
1.3.2.2 Refrigerantes Modernos.....	16
1.3.2.3 Refrigerante Alternativos.....	16
1.3.3 Tipos de Refrigerantes.....	17
1.3.3.1 Componentes Simples.....	17
1.3.3.2 Mezclas.....	21
1.3.3.2.1 Azeótropos.....	21
1.3.3.2.1.1 Ventajas de las mezclas azeotrópicas.....	22
1.3.3.2.2 Zeótropos.....	22
1.3.4 Clases de refrigerantes.....	22
1.3.4.1 Refrigerantes CFC's (Clorofluorocarbono).....	22
1.3.4.2 Refrigerantes HCFC's (Hidroclorofluorocarburo).....	23
1.3.4.3 Refrigerantes HFC's (Hidrofluorocarburo).....	23
1.4 NORMAS QUE REGULAN EL USO DE LOS REFRIGERANTES.	26
1.4.1 Especificaciones de las normas que se aplican para refrigeración doméstica.....	28
1.4.1.1 ANSI/ASHRAE 34.....	28
1.4.1.2 DIN 7003 (provisional).....	29

1.4.1.3 IEC 60335-2-24.....	29
1.4.1.4 ARI Standard 700.....	30
1.4.1.5 ASHRAR 15.....	30
1.4.1.6 DIN 8975.....	30
1.5 CONCLUSIONES.....	32
1.6 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 1.....	33

CAPITULO 2

PRINCIPALES PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL REFRIGERANTE R134a.

2.1 INSTRUMENTACION.....	34
2.1.1. Espectómetro.....	34
2.1.2. Cromatógrafo.....	36
2.1.3. Aparato de Karl Fischer.....	38
2.2 PROCEDIMIENTOS.....	39
2.2.1 Determinación de la densidad.....	39
2.2.1.1 Determinación de la densidad por la ecuación general de los gases.....	39
2.2.1.2 Determinación experimental de la densidad y volumen específico.....	40
2.2.1.3 Procedimiento para la determinación de la densidad..	41
2.2.2 Determinación de la temperatura de ebullición.....	41
2.2.3 Determinación del pH.....	42
2.2.4 Determinación de la gravedad específica.....	43
2.2.5 Determinación de la tendencia a formar espuma.....	43
2.2.6 Determinación de la corrosividad.....	44
2.2.7 Ecuaciones de estado.....	46
2.2.7.1 Importancia de las ecuaciones de estado.....	46
2.2.7.2 Algunas ecuaciones de estado de importancia.....	46
2.2.8 Síntesis.....	53
2.2.8.1 Reactor químico.....	54
2.2.8.2 En el diseño de un reactor se debe tener en cuenta.....	55
2.2.8.3 Tipos de reactores.....	56
2.3 BANCOS DE PRUEBAS.....	58
2.3.1 Generalidades.....	58
2.3.2 Introducción a la refrigeración por compresión de vapor....	59
2.3.3 Ciclo de Carnot.....	60
2.3.4 Proceso de refrigeración.....	62
2.3.5 Selección de Equipos y componentes del Banco de Pruebas.	63
2.4 SOFTWARE.....	71
2.4.1 Steam Tab.....	72
2.4.2 CyclePad.....	72
2.4.3 TPX.....	72
2.4.4 Propagua y propagas.....	73
2.4.5 Ansys.....	73
2.4.6 Termograf.....	74

2.4.7 Refprof.....	75
2.4.8 EES.....	76
2.5 CONCLUSIONES.....	77
2.6 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 2.....	78

CAPITULO 3

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL REFRIGERANTE R-134a AL MODIFICAR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO.

3.1 ANTECEDENTES.....	79
3.1.1 Ciclo ideal de Refrigeración.....	79
3.1.2 Ciclo real de Refrigeración.....	80
3.2 ANÁLISIS DEL CICLO IDEAL-REAL DE LOS REFRIGERANTES EN ESTADO PURO.....	83
3.2.1 Análisis del refrigerante R-134a (tetrafluoroetano).....	83
3.2.1.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-134a.....	83
3.2.1.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-134a.....	84
3.2.2 Análisis del refrigerante R-600a (Isobutano).....	86
3.2.2.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-600a.....	86
3.2.2.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-600a.....	88
3.2.3 Análisis del refrigerante R-290 (propano).....	90
3.2.3.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-290.....	90
3.2.3.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-290.....	92
3.3 MEZCLAS DE REFRIGERANTES.....	94
3.3.1 Análisis del ciclo ideal-real de la mezcla de refrigerantes R-134a/R-600a.....	95
3.3.1.1 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%) respectivamente.....	95
3.3.1.1.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%).....	95
3.3.1.1.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%).....	97
3.3.1.2 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%) respectivamente.....	100
3.3.1.2.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%).....	100
3.3.1.2.2 Análisis del ciclo Real de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%).....	102
3.3.1.3 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%) respectivamente.....	104
3.3.1.3.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%).....	104
3.3.1.3.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%).....	106
3.3.1.4 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%) respectivamente.....	109

3.3.1.4.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%).....	109
3.3.1.4.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%).....	111
3.3.1.5 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%) respectivamente.....	113
3.3.1.5.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).....	113
3.3.1.5.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).....	115
3.3.2 Análisis del ciclo ideal-real de la mezcla de refrigerantes R-134a/R-290.....	118
3.3.2.1 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%) respectivamente.....	118
3.3.2.1.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%).....	118
3.3.2.1.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%).....	120
3.3.2.2 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%) respectivamente.....	122
3.3.2.2.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%).....	122
3.3.2.2.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%).....	125
3.3.2.3 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%) respectivamente.....	127
3.3.2.3.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%).....	127
3.3.2.3.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%).....	129
3.3.2.4 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%) respectivamente.....	132
3.3.2.4.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%).....	132
3.3.2.4.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%).....	134
3.3.2.5 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%) respectivamente.....	136
3.3.2.5.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%).....	136
3.3.2.5.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%).....	138
3.4 CONCLUSIONES.....	142
3.5 BIBLIOGRAFÍA.....	143

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1 REFRIGERANTES PUROS.....	144
4.1.1 Desde el punto de vista del COP.....	144
4.1.2 Desde el punto de vista de la presión.....	144
4.1.3 Desde el punto de vista de la temperatura	145
4.1.4 Desde el punto de vista del Calor latente	146
4.1.5 Selección del refrigerante óptimo de entre los refrigerantes puros.	146
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA R134a-R600a.....	147
4.2.1 Desde el punto de vista del COP.....	147
4.2.2 Desde el punto de vista de la Presión.....	148
4.2.3 Desde el punto de vista de la Temperatura.....	149
4.2.4 Desde el punto de vista del Calor latente.....	149
4.2.5 Selección del refrigerante óptimo de la mezcla R-134a/R-600a.....	150
4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA R134a/R-290.....	151
4.3.1 Desde el punto de vista del COP.....	151
4.3.2 Desde el punto de vista de la Presión.....	151
4.3.3 Desde el punto de vista de la Temperatura.....	152
4.3.4 Desde el punto de vista del Calor latente.....	153
4.3.5 Selección del refrigerante óptimo de la mezcla R-134a/R-290....	154
4.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS REFRIGERANTES IDEALES SELECCIONADOS.....	155
4.5 CONCLUSIONES.....	157
CONCLUSIONES GENERALES.....	158
4.6 BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	159

INDICE DE GRAFICOS

CAPITULO 1

Figura 1.1.	Sistema de refrigeración convencional.....	3
Figura 1.2.	Compresor Alternativo.....	7
Figura 1.3.	Compresor rotativo.....	7
Figura 1.4.	Compresor de tornillo.....	8
Figura 1.5.	Compresor centrifugo.....	8

Figura 1.6.	Compresor Scroll.....	9
Figura 1.7.	Compresor Hermético.....	9
Figura 1.8.	Condensador.....	10
Figura 1.9.	Evaporador.....	10
Figura 1.10.	Tubo capilar.....	11
Figura 1.11.	Válvula de expansión termostática.....	11
Figura 1.12.	Válvula de flotador en alta presión.....	11
Figura 1.13.	Válvula de flotador en baja presión.....	12
Figura 1.14.	Válvula electrónica.....	12
Figura 1.15.	Formula química del Clorodifluorometano.....	13
Figura 1.16.	Modelado del refrigerante R-11 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	18
Figura 1.17.	Modelado del refrigerante R-23 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	19
Figura 1.18.	Modelado del refrigerante R-123 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	20
Figura 1.19.	Modelado del refrigerante R-125 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	20
Figura 1.20.	Modelado del refrigerante R-12 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	23
Figura 1.21.	Modelado del refrigerante R-22 en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	24
Figura 1.22.	Modelado del refrigerante R-134a, en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	25
Figura 1.23.	Modelado del refrigerante R-600a, en función de la presión, entalpia, temperatura, densidad y entropía, en el programa REFPROP.....	26

CAPITULO 2

Figura 2.1	Análisis de espectrometría.....	34
Figura 2.2	Espectrómetro de masas.....	35
Figura 2.3	Estructura molecular R-134a Tetrafluoretano C ₂ H ₂ F ₄	36
Figura 2.4	Cromatógrafo de gases.....	37
Figura 2.5	Aparato de Karl Fischer.....	38

Figura 2.6	Grafica masa-volumen.....	40
Figura 2.7	Medidor del pH digital.....	42
Figura 2.8	Agua corrosiva.....	44
Figura 2.9	Cupones de corrosión.....	45
Figura 2.10	Muestra de los cupones de corrosión.....	45
Figura 2.11	Inicio de la prueba de corrosión.....	45
Figura 2.12	Reactores con transmisión de calor.....	56
Figura 2.13	Diseños de reactores tubulares.....	57
Figura 2.14	Reactor discontinuo.....	58
Figura 2.15	Reactor continuo.....	58
Figura 2.16	Banco de pruebas.....	59
Figura 2.17	Ciclo de refrigeración.....	60
Figura 2.18	Ciclo de Carnot (T-S).....	61
Figura 2.19	Diagrama (P-h) del ciclo teórico de refrigeración.....	61
Figura 2.20	Ciclo de refrigeración (diagrama P - h).....	62
Figura 2.21	Diagrama (P-h) del ciclo real de refrigeración.....	62
Figura 2.22	Banco de pruebas de refrigeración.....	64
Figura 2.23	Ventana principal software RA1.....	67
Figura 2.24	Grafica de presión.....	68
Figura 2.25	Grafica de temperatura.....	68
Figura 2.26	Grafica de torque de motor.....	70
Figura 2.27	Grafica de flujo de agua.....	71
Figura 2.28	Grafica presión temperatura del refrigerante R 134a.....	74
Figura 2.29	Grafica de propiedades del refrigerante R 134a.....	75
Figura 2.30	Tabla de saturación del refrigerante R 134a.....	76

CAPITULO 3

Figura 3.1.	Diagrama T-s ciclo ideal de compresión de vapor.....	80
Figura3. 2.	Diagrama T-s ciclo real de compresión de vapor.....	81
Figura 3.3	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-134a en ciclo ideal.....	83
Figura 3.4	Tabla de resultados para el refrigerante R-134a en ciclo ideal.....	83
Figura 3.5	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-134a en ciclo ideal.....	84
Figura 3.6	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-134a en ciclo real.....	85
Figura 3.7	Tabla de resultados para el refrigerante R-134a en ciclo real.....	85
Figura 3.8	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-134a en ciclo real.....	85
Figura 3.9	Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano.....	86

Figura 3.10	Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano	86
Figura 3.11	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-600a en ciclo ideal.....	87
Figura 3.12	Tabla de resultados para el refrigerante R-600a en ciclo ideal.....	87
Figura 3.13	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-600a en ciclo ideal.....	87
Figura 3.14	Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano.....	88
Figura 3.15	Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano	88
Figura 3.16	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-600a en ciclo real.....	89
Figura 3.17	Tabla de resultados para el refrigerante R-600a en ciclo real.....	89
Figura 3.18	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-600a en ciclo real.....	89
Figura 3.19	Valores termodinámicos obtenidos para el propano.....	90
Figura 3.20	Valores termodinámicos obtenidos para el propano.....	90
Figura 3.21	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-290 en ciclo ideal.....	91
Figura 3.22	Tabla de resultados para el refrigerante R-290 en ciclo ideal.....	91
Figura 3.23	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-290 en ciclo ideal.....	91
Figura 3.24	Valores termodinámicos obtenidos para el propano.....	92
Figura 3.25	Valores termodinámicos obtenidos para el propano.....	92
Figura 3.26	Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-290 en ciclo real.....	93
Figura 3.27	Tabla de resultados para el refrigerante R-290 en ciclo real.....	93
Figura 3.28	Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-290 en ciclo real.....	93
Figura 3.29	Diagrama del ciclo de refrigeración.....	95
Figura 3.30	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	95
Figura 3.31	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	96
Figura 3.32	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	96
Figura 3.33	Tabla de valores T,P,h,s. para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal.....	96
Figura 3.34	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo.....	96
Figura 3.35	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal.....	97
Figura 3.36	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	98
Figura 3.37	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	98
Figura 3.38	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	98
Figura 3.39	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	98
Figura 3.40	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo.....	99

Figura 3.41	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo.....	99
Figura 3.42	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal.....	99
Figura 3.43	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	100
Figura 3.44	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	100
Figura 3.45	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	100
Figura 3.46	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal.....	101
Figura 3.47	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal.....	101
Figura 3.48	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal.....	101
Figura 3.49	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	102
Figura 3.50	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	102
Figura 3.51	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	103
Figura 3.52	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	103
Figura 3.53	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real.....	103
Figura 3.54	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real.....	103
Figura 3.55	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real.....	104
Figura 3.56	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	104
Figura 3.57	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	105
Figura 3.58	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	105
Figura 3.59	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal.....	105
Figura 3.60	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal.....	105
Figura 3.61	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal.....	106
Figura 3.62	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	107
Figura 3.63	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	107
Figura 3.64	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	107
Figura 3.65	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	107
Figura 3.66	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real.....	108
Figura 3.67	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real.....	108
Figura 3.68	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real.....	108
Figura 3.69	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	109
Figura 3.70	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	109
Figura 3.71	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	109
Figura 3.72	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal.....	110

Figura 3.73	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal.....	110
Figura 3.74	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal.....	110
Figura 3.75	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	111
Figura 3.76	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	111
Figura 3.77	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	112
Figura 3.78	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	112
Figura 3.79	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real.....	112
Figura 3.80	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real.....	112
Figura 3.81	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real.....	113
Figura 3.82	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	114
Figura 3.83	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	114
Figura 3.84	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	114
Figura 3.85	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo.....	114
Figura 3.86	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo ideal.....	114
Figura 3.87	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo ideal.....	115
Figura 3.88	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	116
Figura 3.89	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	116
Figura 3.90	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	116
Figura 3.91	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	116
Figura 3.92	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real.....	117
Figura 3.93	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real.....	117
Figura 3.94	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real.....	117
Figura 3.95	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	118
Figura 3.96	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	118
Figura 3.97	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	119
Figura 3.98	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal.....	119
Figura 3.99	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal.....	119
Figura 3.100	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal.....	120
Figura 3.101	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	121
Figura 3.102	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	121
Figura 3.103	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	121
Figura 3.104	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	121
Figura 3.105	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real.....	121

Figura 3.106	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real.....	122
Figura 3.107	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real.....	122
Figura 3.108	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	123
Figura 3.109	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	123
Figura 3.110	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	123
Figura 3.111	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal.....	123
Figura 3.112	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal.....	124
Figura 3.113	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal.....	124
Figura 3.114	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	125
Figura 3.115	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	125
Figura 3.116	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	125
Figura 3.117	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	126
Figura 3.118	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real.....	126
Figura 3.119	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real.....	126
Figura 3.120	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real.....	127
Figura 3.121	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	127
Figura 3.122	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	127
Figura 3.123	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	128
Figura 3.124	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	128
Figura 3.125	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	128
Figura 3.126	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	129
Figura 3.127	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	130
Figura 3.128	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	130
Figura 3.129	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	130
Figura 3.130	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	130
Figura 3.131	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	130
Figura 3.132	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	131
Figura 3.133	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal.....	131
Figura 3.134	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	132
Figura 3.135	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	132
Figura 3.136	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	132
Figura 3.137	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal.....	133

Figura 3.138	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal.....	133
Figura 3.139	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal.....	133
Figura 3.140	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	134
Figura 3.141	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	134
Figura 3.141	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	135
Figura 3.142	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	135
Figura 3.143	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	135
Figura 3.144	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real.....	135
Figura 3.145	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real.....	135
Figura 3.146	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real.....	136
Figura 3.147	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	136
Figura 3.148	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	137
Figura 3.149	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	137
Figura 3.150	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal.....	137
Figura 3.151	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal.....	137
Figura 3.152	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal.....	138
Figura 3.153	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	139
Figura 3.154	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	139
Figura 3.155	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	139
Figura 3.156	Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla.....	139
Figura 3.157	Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real.....	140
Figura 3.158	Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real.....	140
Figura 3.159	Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real.....	140

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1.1	Cronología de la evolución de los refrigerantes.....	2
Tabla 1.2	Propiedades físicas y termodinámicas del refrigerante R-134a.....	5
Tabla 1.3	Principales Clorofluorocarbonos, e Hidrofluorocarbonos controlados por el Protocolo de Montreal.....	6
Tabla 1.4	Designación de numerica de los principales refrigerantes.....	14
Tabla 1.5	Refrigerantes de componente simple.....	17

Tabla 1.6	Ejemplos de mezclas azeotropicas.....	21
Tabla 1.7	Propiedades termodinámicas del refrigerante R.134a.....	25
Tabla 1.8	Algunas características de clasificación del standard R134a..	29
Tabla 1.9	Clases de refrigerantes según su inflamabilidad.....	29

CAPITULO 2

Tabla 2.1	Valores de temperaturas de los puntos indicados en la gráfica 2.25.....	69
------------------	---	----

CAPITULO 3

Tabla 3.1	Datos técnicos del refrigerador modelo RI-480.....	82
Tabla 3.2	Resultados correspondiente al ciclo ideal para el refrigerante R-134a.....	84
Tabla 3.3	Resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-134a.....	86
Tabla 3.4	Resultados correspondientes al ciclo ideal para el refrigerante R-600a.....	88
Tabla 3.5	Resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-600a.....	90
Tabla 3.6	Resultados correspondientes al ciclo ideal para el refrigerante R-290.....	92
Tabla 3.7	Resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-290.....	94
Tabla 3.8	Proporciones de mezclas para los refrigerantes R-134a, y R-600a.....	94
Tabla 3.9	Proporciones de mezclas para los refrigerantes R-134a, y R-290.....	94
Tabla 3.10	Resultados correspondientes al ciclo ideal para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%).....	97
Tabla 3.11	Resultados correspondientes al ciclo real para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%).....	100
Tabla 3.12	Resultados correspondientes al ciclo ideal para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%).....	102
Tabla 3.13	Resultados correspondientes al ciclo real para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%).....	104
Tabla 3.14	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezclas R-134a/R-600a (50%/50%).....	106
Tabla 3.15	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (50%/50%).....	109
Tabla 3.16	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R-600a (25%/75%).....	111
Tabla 3.17	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (25%/75%).....	113
Tabla 3.18	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).....	115

Tabla 3.19	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).....	118
Tabla 3.20	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (90%/10%)	120
Tabla 3.21	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (90%/10).....	122
Tabla 3.22	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (75%/25%).....	124
Tabla 3.23	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (75%/25%).....	126
Tabla 3.24	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (50%/50%).....	129
Tabla 3.25	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (50%/50%).....	131
Tabla 3.26	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (25%/75%).....	134
Tabla 3.27	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (25%/75%).....	136
Tabla 3.28	Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (10%/90%).....	138
Tabla 3.29	Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (10%/90%).....	141

CAPITULO 4

Tabla 4.1	Resultados de la simulación.....	144
Tabla 4.2	Presiones de operación.....	145
Tabla 4.3	Temperatura crítica.....	145
Tabla 4.4	Temperatura del condensador.....	146
Tabla 4.5	Refrigerante optimo.....	147
Tabla 4.6	Resultados de la simulación en la mezcla R-134a/R-600a.....	147
Tabla 4.7	Presiones de operación en la mezcla R-134a/R-600a.....	148
Tabla 4.8	Temperatura critica en la mezcla R-134a/R-600a.....	149
Tabla 4.9	Temperatura del condensador en la mezcla R-134a/R-600a....	150
Tabla 4.10	Refrigerante optimo en la mezcla R-134a/R-600a.....	150
Tabla 4.11	Resultados de la simulación en la mezcla R-134a/R-290.....	151
Tabla 4.12	Presiones de operación en la mezcla R-134a/R-290.....	152
Tabla 4.13	Temperatura critica en la mezcla R-134a/R-290.....	153
Tabla 4.14	Temperatura del condensador en la mezcla R-134a/R-290....	153
Tabla 4.15	Refrigerante optimo en la mezcla R-134a/R-290.....	154
Tabla 4.16	Comparación de presiones de la mezcla R-134a/R-290.....	154
Tabla 4.17	Refrigerante optimo general).....	155

Resumen

Un refrigerante puede ser definido como cualquier sustancia que cambia su estado de líquido a vapor o de vapor a líquido, sin embargo para ser utilizado en sistemas termodinámicos tiene que cumplir ciertas características, es por ello que en la actualidad se han comenzado a desarrollar muchos fluidos refrigerantes, siempre teniendo presente el cuidado al medio ambiente, ya que en el pasado se desarrollaron refrigerantes conocidos como CFC (Clorofluorocarbono) los cuales han presentado excelentes propiedades termodinámicas pero este tipo de refrigerantes han sido clasificados como los causantes del deterioro de la capa de ozono, por lo cual su fabricación ha sido prohibida a nivel mundial.

El refrigerante es conocido como una sustancia la cual básicamente cumple la función de intercambiar calor dentro de un sistema térmico, puede absorber y ceder calor sin cambiar sus propiedades, su circulación se da dentro de un sistema de compresión de vapor en donde al circular por distintos elementos cambia de fase de líquido a gaseoso para absorber calor y de gaseoso a líquido cuando pierde calor.

En el capítulo 1 se presenta los tipos de refrigerantes utilizados en refrigeración doméstica, características termodinámicas, y normas que regulan el uso de estos productos, se desarrolla la importancia que tienen los componentes principales de los sistemas de refrigeración como lo son el compresor, el condensador, el evaporador y los elementos de expansión, otro de los puntos importantes desarrollados en este capítulo es la identificación de los refrigerantes según las normativas internacionales las cuales son indicadas y explicadas en lo posible, también se trata los tipos de refrigerantes en componentes simples y en mezclas, indicando los refrigerantes que pertenecen a estas clasificaciones.

Existe una cantidad de normas internacionales que regulan los refrigerantes en distintos campos como lo son su uso, su aplicación, su cuidado, en este primer capítulo se explica muchas de estas normas internacionales.

En el capítulo 2 se trata las principales propiedades termodinámicas del refrigerante R-134a tomando en cuenta su instrumentación, es decir equipos que han sido desarrollados para este fin, también se trata los procedimientos que se utilizan para determinar las propiedades del fluido refrigerante, otro de los puntos a tratarse en el capítulo 2 es bancos

de pruebas en el cual se explica los componentes de un banco de pruebas y además se realiza una práctica en el laboratorio de la universidad politécnica salesiana para observar el comportamiento del refrigerante R134a y los distintos componentes del banco.

Se nombra algunos software utilizados en refrigeración tanto para la simulación en un sistema de refrigeración como para la obtención de propiedades termodinámicas.

En el capítulo 3 se desarrolla la simulación del refrigerante R134a en un sistema de refrigeración, realizando primero la simulación de los refrigerantes más utilizados en el campo doméstico como lo son el R134a, R600a y R290, y luego realizando una mezcla entre del refrigerante R134a con los refrigerantes señalados en distintas proporciones obteniendo resultados de trabajo consumido por el compresor, capacidad de refrigeración, calor transferido del condensador y el coeficiente de operación, para las mezclas se utiliza el software especializado en refrigerantes REFPROP

En el capítulo 4 finalmente se realiza el análisis de resultados obtenidos de las simulaciones tanto de los refrigerantes en estado puro como en mezclas, en donde el principal objetivo es la selección de un refrigerante óptimo para lo cual se parte de comparaciones desde el punto de vista del COP, desde el punto de vista de la presión, desde el punto de vista de la temperatura, desde el punto de vista del calor latente.

Nuestro proyecto de tesis pretende utilizar los recursos de software existentes para conocer de manera más extensa a los refrigerantes y de esta manera en estudios posteriores proponer o desarrollar un refrigerante con características termodinámicas superiores a las actuales.

CAPITULO 1

TIPOS DE REFRIGERANTES UTILIZADOS EN REFRIGERACIÓN DOMESTICA, CARACTERÍSTICAS TERMODINÁMICAS, Y NORMAS QUE REGULAN EL USO DE ESTOS PRODUCTOS.

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Refrigerante.

Un refrigerante es un elemento no corrosivo encargado de intercambiar calor entre dos fluidos en un sistema térmico bajo condiciones de presión y temperatura apropiadas, este producto puede encontrarse en estado líquido o gaseoso, y tiene que ser fácilmente licuable.

El agua y el aire son los fluidos más comunes y de fácil utilización que se han usado a través de los años como agentes de refrigeración, hasta llegar a elementos que se han desarrollado en laboratorio, como por ejemplo el amoníaco, el refrigerante R-134a, el R 600, etc.

1.1.2 Historia de los Refrigerantes.

Hablar de refrigeración es remontarnos al inicio mismo del ser humano, ya que los hielos de los nevados han sido usados de una manera empírica desde hace miles de años atrás por los seres vivos para enfriar sus bebidas, o para conservar alimentos que eran casados por ellos, y que se dieron cuenta que al estar cubiertos de hielo se conservaba mejor y por un mayor tiempo.

Antiguos pueblos muy representativos de la historia mundial como los Egipcios, Romanos, Mayas, Incas, entre otros, ya aprovechaban los beneficios del hielo llegando a conservarlo de diferentes maneras para la llegada de épocas como el verano, en donde este elemento era muy apetecido por los gobernantes y sus mayores allegados.

Durante toda la historia el agua se ha hecho presente como el mayor refrigerante y que no contamina el ambiente, en todos los campos de la ciencia, cabe recalcar que todo líquido que se puede evaporar y volver a condensar se puede utilizar como refrigerante, en la

actualidad el agua todavía se sigue utilizando como elemento de refrigeración en algunos sistemas como por ejemplo para la refrigeración de motores de vehículos.

En la tabla 1.1 se puede observar de manera cronológica la evolución que han tenido los refrigerantes, a través de la historia, hasta llegar a estos días.

Tabla 1.1 Cronología de la evolución de los refrigerantes.

Año	Desarrollo	Detalles
Hasta antes de 1600	Hielo	Refrigeración de bebidas
1600	Hielo con Sal	Refrigeración a temperaturas más bajas
1800	Desarrollo de máquinas para disminuir la presión del vapor de agua y acelerar su evaporación	Frio en momentos que se desee. producción de frío por aire comprimido
1900	Desarrollo de máquinas para compresión de vapor, Se probaron muchos fluidos como refrigerantes.	Amoníaco, Bióxido de carbono, bióxido de azufre, cloruro de metilo, hidrocarburos
Principios siglo XX	Desarrollo de unidades domésticas. Desarrollo de refrigerantes.	Poseen propiedades riesgosas.
1928	Desarrollo de diclorodifluorometano (R-12)	No era inflamable y tenía una toxicidad relativamente baja.
1929	Proceso para el desarrollo de nuevos refrigerantes CFC	Refrigerantes halógenos Freón 11 Freón 12 Freón 21 Freón 114 Freón 115 Entre otros
Después de 1987	Protocolo de Montreal Protocolo de Kioto	Eliminar gradualmente los CFC por destrucción en la capa de ozono.
Después de 1987	Proceso para el desarrollo de nuevos refrigerantes HCFCs	Causan menos daño a la capa de Ozono. R-22 R-123 R-124 R-125 Entre otros
Después de 1987	Proceso para el desarrollo de nuevos refrigerantes HFCs	Refrigerantes amistosos con el medio ambiente. R-23 R-134a
Después de 1995	Proceso para el desarrollo de azeotrópicas y zeotrópicas.	Refrigerantes amistosos con el medio ambiente. Son mezclas consistentes de varios refrigerantes.
2000	Prohibición de uso de los Freones	Es la última fecha para dejar de producir, recargar, y comercializar los Freones
2000-2015	Tiempo para que salgan del mercado los HCFCs	En este transcurso de tiempo tiene que ir desapareciendo progresivamente el uso de todos estos refrigerantes.

Fuente: Autores

1.1.3 Principio de Refrigeración.

El principio de refrigeración se basa en que; Al disminuir la temperatura de saturación en un sistema de refrigeración, se induce a que el refrigerante que se encuentra circulando en el interior hierva a una temperatura menor de lo establecido en función de la presión que se va a alcanzar, para esto se necesita que la presión exterior se haya reducido, ahora el líquido ya puede comenzar a absorber el calor del sistema que lo rodea, ya que un fluido que hierve recibe calor del medio que lo rodea.

Sabemos que de manera normal el calor fluye desde las temperaturas más altas a las bajas, pero cuando ocurre lo contrario, a este fenómeno se lo conoce como refrigeración, esto se lo hace ayudado de ciertos elementos que unidos se los conoce como refrigerador.

“Si un líquido refrigerante absorbe suficiente calor de un sistema, entrará en ebullición y se vaporizará. Si el gas refrigerante vaporizado está lo bastante comprimido, entregará el calor que absorbió del objeto caliente a un medio más frío y se condensará en el fondo del recipiente en forma de líquido”. [1]

En la figura 1.1 podemos observar el esquema de un sistema de refrigeración convencional en el que están expuestos sus 4 principales componentes; condensador, válvula de expansión, evaporador y compresor.



Figura. 1.1 Sistema de Refrigeración convencional.
Fuente: (Cengel & Boles, 2009)

1.1.4 Leyes termodinámicas en la refrigeración.

Las leyes básicas que se aplican a la refrigeración son la primera y segunda ley de la termodinámica, a continuación definiremos brevemente estas leyes para estar conscientes de su significado e importancia dentro de este campo.

Primera ley.

Ley de la conservación de la energía, Nada se crea, nada se destruye, solo se transforma, Entonces con este principio decimos que la energía que ingresa al sistema menos la energía que sale me da como resultado la energía total, El calor como es lógico sabemos que es una forma de energía.

Segunda ley.

La transferencia de calor se puede dar mediante conducción, convección y radiación, y en un solo sentido, de mayor a menor temperatura.

Por medio de esta ley nos podemos dar cuenta que siempre, en cualquier sistema, existe una cantidad de energía perdida, nunca se puede disponer de toda la energía que se posee.

1.1.5 Refrigeración domestica

Lo representativo de la refrigeración domestica son la cantidad de unidades que se producen todos los días, ya que no tienen un campo de aplicación tan grande como lo tiene la refrigeración industrial, es más hasta se la puede considerar de aplicación limitada pero de gran producción. “Las unidades domésticas son generalmente de tamaño pequeño, con potencias entre 40 W y 400 W”.[2]

La refrigeración domestica está orientada en su totalidad a resolver el inconveniente de mantener en buen estado los productos de consumo familiar, como son las verduras, carnes, y legumbres, lácteos, etc.

Para este tipo de refrigeración se han ido desarrollando varios tipos de productos refrigerantes como por ejemplo el refrigerante R-12, R-134a, y R600.

1.1.6 Refrigerantes utilizados para refrigeración domestica

El refrigerante R-12 en tiempos pasados fue el refrigerante más utilizado para refrigeración domestica pero por ser destructor de la capa de ozono, se tuvo que buscar nuevas alternativas en este campo. Los refrigerantes que con el transcurso de los años surgieron para esta aplicación fueron:

- (R401A, R401B, R409A, R406A), muy poco utilizados.

- R600, (Isobutano). (Utilizado en Europa).
- R134a (HFC). (Utilizado principalmente en Latinoamérica).

En Ecuador el refrigerante R-134a, es utilizado para refrigeración domestica por todas las cualidades que presenta dentro de lo que es contaminación y poder refrigerante.

El refrigerante R-134a al no contar con átomos de cloro en su estructura llega a ser un refrigerante perteneciente a los HFC que no atenta la integridad de la capa de ozono.

El R134a no contribuye a la destrucción de la capa de ozono es decir que tiene un PAO de “0”.

“Su factor de calentamiento de la tierra (GWP), es 0.26 mucho menos que el factor del R12 que es de 3.2, no es inflamable, posee niveles de toxicidad aceptables, aplicaciones de baja y media temperatura” [3].

En la tabla 1.2 presentamos algunas propiedades físicas y termodinámicas del refrigerante R.134a estos valores son muy importantes para entender el comportamiento del fluido.

Tabla 1.2 Propiedades físicas y termodinámicas del refrigerante R-134a.

Formula Química	CH ₂ F-FCF ₃
Denominación Química	Tetrafluoretano
Masa Molar (gr/mol)	102,3
Punto de Ebullición a 1.03 bar	-26,5
Temperatura Critica (°C)	101,15
Presión critica Abs. (bar)	40,64
Densidad Critica (kg/l)	0,508
Densidad del Liquido a:	
20°C (kg/l)	1,226
20°C (kg/l)	1,147
Densidad de Vapor Saturado a:	
20°C (kg/l)	27,91
20°C (kg/l)	50,27

Fuente: Poblete, 2004

1.1.7. Los refrigerantes y la capa de ozono

Los Clorofluorocarbonos (CFCs), Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), son sustancias que se encuentran en los refrigerantes, y que generan deterioro de la capa de ozono.

En la tabla 1.3 se presenta el Potencial de Agotamiento de la capa de ozono (PAO), ya que estos contienen elementos en su composición química tales como el cloro y el bromo, que

atacan y destruyen la capa de ozono son, esta medida está hecha en referencia al CFC-11 que tiene valor de 1.

Tabla 1.3 Principales Clorofluorocarbonos, e Hidrofluorocarbonos controlados por el Protocolo de Montreal

Anexo	Tipo de SAO	Nombre	PAO*
Anexo A grupo 1	Clorofluorocarbono CFC	CFC-11	1.0
		CFC-12	1.0
		CFC-113	0.8
		CFC-114	1.0
		CFC-115	0.6
Anexo B grupo 1	Clorofluorocarbono CFC	CFC-13	1.0
		CFC-111	1.0
		CFC-112	1.0
		CFC-211	1.0
		CFC-212	1.0
		CFC-213	1.0
		CFC-214	1.0
		CFC-215	1.0
		CFC-216	1.0
CFC-217	1.0		
Anexo C grupo 1	Grupo de Hidroclorofluorocarbono HCFC	HCFC-21	0.04
		HCFC-22	0.055
		HCFC-31	0.02
		HCFC-121	0.01-0.04
		HCFC-141b	0.11
		HCFC-142b	0.065

Fuente: (Valycontrol, 2012)

1.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA REFRIGERACIÓN.

Los sistemas de refrigeración cuentan con varios elementos en el circuito, y estos pueden variar según el sistema, y la aplicación que este vaya a tener, pero los elementos básicos son:

- Compresor
- Condensador
- Evaporador
- Válvula termostática de expansión.

1.2.1 El compresor

El compresor es el encargado de recibir el vapor refrigerante proveniente del Evaporador, y mantener la temperatura de evaporación para luego transportarlo al condensador. Aquí se eleva la presión del vapor refrigerante, y también se eleva la temperatura de saturación por encima de la temperatura ambiente, esto aumentará la presión del vapor del refrigerante.

Existen de diversos tipos de compresores como por ejemplo:

- **Alternativos**

En la figura 1.2 se presenta un compresor alternativo que funciona bajo el principio de biela manivela, el cuerpo del compresor es de hierro fundido, y homogéneo para evitar la fuga del refrigerante estos se construyen de simple y de doble etapa.



Figura 1.2 Compresor Alternativo

- **Rotativos**

Los compresores rotativos (Figura 1.3) pueden tener dos mecanismos de acción, con paletas o de excéntrica, también llamados de rodillo. En los compresores de paletas y de rodillo, la compresión se produce por la disminución del volumen resultante entre la carcasa y el elemento rotativo, cuyo eje no coincide con el eje de la carcasa (ejes excéntricos). En estos compresores rotativos no son obligatorias válvulas de admisión, ya que como el gas entra de forma incesante en el compresor la pulsación de gas es mínima.



Figura. 1.3 Compresor Rotativo

- **De Tornillo**

Los compresores de tornillo (Figura 1.4) pertenecen al campo de las máquinas de desplazamiento positivo rotativas, lo cual quiere decir que la transferencia de energía se

lleva a cabo por cambio de volumen. Estos compresores se dividen en monotornillo y doble tornillo, este último en compresores lubricados y no lubricados. Además los de doble tornillo también pueden ser clasificados según la simetría de los ejes de los rotores en simétricos o asimétricos.



Figura 1.4 Compresor de Tornillo

- **Centrífugos**

Los compresores centrífugos (Figura 1.5) son dispositivos dinámicos que intercambian de forma continua momento angular entre un elemento rotativo y el flujo de vapores de refrigerante. Cuando las moléculas del fluido son aceleradas por la fuerza centrífuga, avanzan y son sustituidas. El efecto global es el de una continua compresión de caudal de vapor.

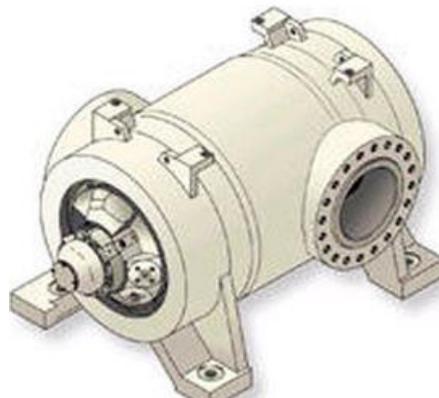


Figura 1.5 Compresor centrifugo

- **Scroll**

Los compresores scroll (Figura 1.6), también entran en la categoría de desplazamiento positivo y se consideran un tipo de compresor generalmente eficiente y el compresor más común en el mercado de la refrigeración. Es este compresor un motor eléctrico engrana

con un rollo estacionario formando bolsillos que atrapan, transportan y comprimen refrigerante de baja presión desde el exterior de los rollos hasta el pasaje de descarga. El compresor scroll es notable por su desempeño de compresión del fluido y continuo, que reduce la tasa de fugas y aumenta la eficiencia.



Figura 1.6 Compresor Scroll

Todos estos compresores se pueden utilizar en refrigeración ya que cuentan con las características necesarias de funcionamiento como presión, flujo continuo, caudal, etc. Con otra característica que los hace especiales como es su hermeticidad (Figura 1.7), y por esta característica este tipo de compresores no son sometidos a operaciones de mantenimiento.



Figura 1.7 Compresor Hermético

1.2.2 El condensador.

El condensador es el encargado de eliminar el calor con que llega el vapor recalentado desde el compresor, esto se lo hace al medio que lo rodea, pudiendo ser aire o agua, por eso un condensador es un ejemplo claro de intercambiador de calor, en la figura 1.8 se muestra un condensador para un sistema de refrigeración doméstico.



Figura 1.8 Condensador

1.2.3 El Evaporador

En el evaporador (Figura 1.9), se realiza el intercambio de calor con el medio a ser enfriado, aquí se podría decir que se lleva a cabo el efecto refrigerante.



Figura 1.9 Evaporador

1.2.4 Elementos de expansión

Nibal Poblete Jaramillo de la Universidad Austral de Chile dice que la misión de los elementos de expansión es la de controlar el paso de refrigerante y separar la parte de alta con la de baja, los diferentes tipos de elementos de expansión son:

- **Tubo capilar.**

Es un tubo capilar (Figura 1.10) de sección circular pequeña, que actúa reteniendo el flujo de líquido refrigerante la expansión se realiza a su salida al conectarlo al tubo que va hacia el evaporador.



Figura 1.10 Tubo capilar

- **Válvula de expansión termostática.**

La válvula de expansión (Figura 1.11), es un dispositivo de expansión que produce caída de presión en el sistema de refrigeración, entre el condensador y el evaporador.



Figura 1.11 Válvula de expansión termostática.

- **Válvula de flotador en alta presión**

La válvula de flotador en alta (Figura 1.12), Controla el flujo de llegada del refrigerante al evaporador, en función de la velocidad de vaporización del fluido



Figura 1.12 Válvula de flotador en alta presión

- **Válvula de flotador en baja presión**

La válvula de flotador en baja presión (Figura 1.13) ayuda a mantener la cantidad de líquido refrigerante necesario en el evaporador

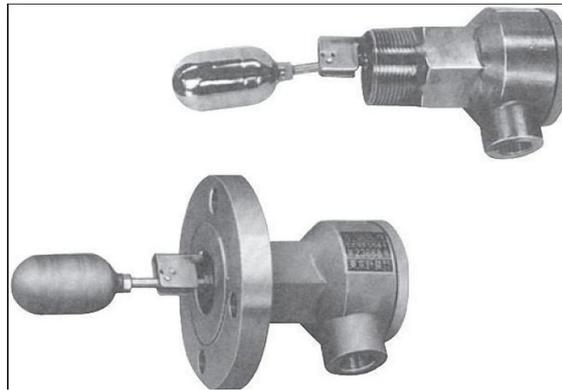


Figura: 1.13 Válvula de flotador en baja presión

- **Válvula electrónica.**

La válvula electrónica (Figura 1.14), Es un componente electrónico utilizado para amplificar, conmutar, o modificar una señal eléctrica mediante el control del movimiento de los electrones en un espacio "vacío" a muy baja presión, o en presencia de gases especialmente seleccionados.



Figura 1.14 Válvula electrónica

1.3 IDENTIFICACIÓN DE REFRIGERANTES

La empresa DUPONT inventó el sistema numérico para clasificar los gases la cual posteriormente fue aceptada para la utilización en el año de 1956 y con el tiempo se volvió una norma utilizada por la industria. Posteriormente, ANSI y ASHRAE lo convirtieron en el Standard 34.

Un refrigerante se representa con la letra R que hace referencia a refrigerante, seguido de ciertos números que tienen referencia a su composición química, es muy importante conocer esta designación, para poder identificar claramente cada uno de los refrigerantes y su aplicación. “El sistema de identificación ha sido estandarizado por la Norma ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). En la tabla 1,4 aparecen los refrigerantes más comunes” [2].

Las mezclas zeotropicas están destinados a reemplazar a los refrigerantes como el al R- 22 y al R-502, para mejorar el efecto destructivo que poseen con respecto a la capa de ozono capa de ozono.

1.3.1 Nombre y formula química del refrigerante.

“Tendemos a considerar que un refrigerante está constituido por una sustancia Química. En realidad los refrigerantes de uso común están constituidos en su mayoría por sustancias químicas únicas”.[4]

Ejemplo: CFC, HCFC y HFC

La denominación de los refrigerantes se lo hace por medio de una letra R, que significa refrigerante, seguidos de unos símbolos numéricos que nacen de su fórmula química.

Por ejemplo vamos a tomar de la tabla 1.4 el Clorodifluorometano cuya fórmula química es CHClF_2 .

También la podemos representar de la siguiente manera, como en la figura 1.15:

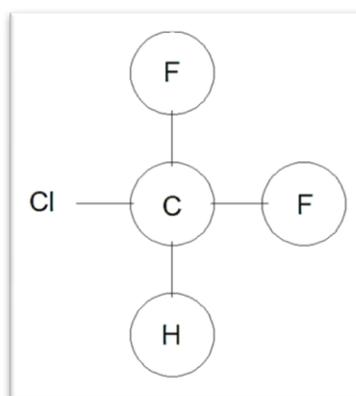


Figura 1.15 Formula química del Clorodifluorometano

Tabla 1.4 Designación de numerica de los principales refrigerantes. Los números entre paréntesis indican el porcentaje de cada componente.

No	Nombre Químico	Formula Química
Serie Metano		
10	Tetraclorometano (Tetracloruro de metano)	CCl4
11	Tricloromonofluorometano	CCl3F
12	Diclorodifluorometano	CCl2F2
13	Clorotrifluorometano	CClF3
20	Triclorometano (Cloroformo).	CHCl3
21	Diclorofluorometano	CHCl2F
22	Clordifluorometano	CHClF2
23	Trifluorometano	CHF3
30	Diclorometano (Cloruro de metileno).	CH2Cl2
40	Clorometano (Cloruro de metilo).	CH3Cl
50	Metano	CH4
Serie Etano		
110	Hexacloroetano	CCl3CCl3
113	1,1,2-triclorotrifluoroetano	CCl2FCClF2
115	Cloropentafluoroetano	CClF2CF3
123	2,2,-Dicloro – 1,1,1 – Trifluoroetano	CHCl2CF3
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CH2FCF3
141b	1,1-Dicloro-1-fluoroetano	CH3CCl2F
150a	1,1-Dicloroetano	CH3CHCl2
152a	1,1-Difluoroetano	CH3CHF2
160	Cloroetano (Cloruro de etilo)	CH3CH2Cl
170	Etano	CH3CH3
Hidrocarburos		
290	Propano	CH3CH2CH3
600	Butano	CH3CH2CH2CH3
600a	2-Metilpropano (isobutano)	CH(CH3)3
Compuestos Inorgánicos		
702	Hidrógeno	H2
704	Helio	He
717	Amoniaco	NH3
718	Agua	H2O
720	Neón	Ne
728	Nitrogeno	N2
732	Oxígeno	O2
744	Bióxido de carbono	CO2
764	Bióxido de Azufre	SO2
Mezclas Zeotrópicas		
400	R-12/114(60/40)	
401A	R-22/152a/124(53/13/34)	
401B	R-22/152a/124(61/11/28)	
402A	R-22/125/290(38/60/2)	
402B	R-22/125/290(60/38/2)	
404A	R-125/143a/134a(44/52/4)	
407A	R-32/125/134a(20/40/40)	
407B	R-32/125/134A(10/70/20)	
407C	R-32/125/134a(23/25/52)	
408A	R-125/143a/22(7/46/47)	
409A	R-22/124/142b(60/25/15)	
410A	R-32/125(50/50)	
Mezclas Azeotrópicas		
500	R-12/152a(73.8/26.2)	
502	R-22/115(48.8/51.2)	
503	R-223/13(40.1/59.9)	
507	R-125/143a(50/50)	

Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

Como se puede observar el Clorodifluorometano tiene un átomo de carbono, dos de flúor, uno de Hidrogeno, y uno de Cloro,

El nombre que se asigna a los refrigerantes se lo realiza de la siguiente manera:

Los refrigerantes pueden tener hasta tres símbolos numéricos el primero se lo obtiene al restarle una unidad al número de átomos de carbono “C” que contiene la molécula, y tendrá valor cero si el número de átomos de carbono es igual es de uno. El segundo valor numérico se obtiene al sumar una unidad al número de átomos de hidrogeno “H” que tiene la molécula. Y el tercer valor se obtiene respetando el número de átomos de flúor “F” que tiene la molécula.

Entonces para el ejemplo del Clorodifluorometano se tiene:

R ➡ Refrigerante
0 ➡ $C - 1 = 0$
2 ➡ $H + 1 = 2$
2 ➡ $F + F = 2$

De este modo se llega a obtener la designación simbólica numérica de los refrigerantes.

Ahora presentaremos para el refrigerante R134a. En la tabla 1.4 encontramos su nombre químico y la formula que lo representa.

En este caso Tetrafluoretano

Formula Química CH_2FCF_3

R ➡ Refrigerante
1 ➡ $2C - 1 = 1$
3 ➡ $2H + 1 = 3$
4 ➡ $F + F_3 = 4$
A ➡ isómero = A

Para casos como del R134a, la letra “a” representa a un isómero¹.

¹ Isómero: compuestos con la misma composición atómica pero diferente forma estructural

1.3.2 Grupos de Refrigerantes.

1.3.2.1 Refrigerantes Antiguos

Algunos de estos representantes se encuentran muy fácilmente en la naturaleza y otros de ellos su producción comenzó antes de los años 30, son los primeros refrigerantes utilizados por los seres humanos como por ejemplo:

- Amoníaco (NH_3) R-717.
- Agua (H_2O) R-718.
- Propano (C_3H_8) R-290.
- Isobutano (C_4H_{10}) R-600a.
- Dióxido de carbono (CO_2) R-744

1.3.2.2 Refrigerantes Modernos

“Son también llamados CFC y HCFC. Utilizados después de la década de los 30s, llamados halogenados fluorocarbonados. Estos refrigerantes se identifican mediante sistema uniforme de números que les son propios”. [5].

- Algunos CFC, son:
 - R-11
 - R-12
 - R-114
 - R-115.
- Los HCFC más comunes incluyen:
 - R-22
 - R-123
 - R-124.

1.3.2.3 Refrigerante Alternativos

Son refrigerantes especialmente creados con el fin de que no generen destrucción de la capa de ozono.

Los HFC o alternativos:

En este grupo se presentan refrigerantes como el:

- R-134a
- R-125
- R-32

1.3.3 Tipos de Refrigerantes.

1.3.3.1 Componentes Simples

Denominamos refrigerantes de componente simple a los que tienen un solo componente en su estructura como por ejemplo el R-134a que es el Tetrafluoroetano, o por ejemplo el hidrogeno, helio, agua, etc. En esta clasificación tenemos una larga lista de refrigerantes, aquí la temperatura permanece constante para el cambio de estado, a una presión determinada, en la tabla 1.5 presentamos algunos ejemplos de refrigerantes simples.

Tabla 1.5 Refrigerantes de componente simple.

REFRIGERANTE	FORMULA QUIMICA
R10	CC ₁₄
R11	CCl ₃ F
R12	CCl ₂ F ₂
R13	CF ₃ Cl
R14	CF ₄
R13B1	CF ₃ Br
R20	CHCl ₃
R21	CHCl ₂ F
R22	CHClF ₂
R23	CHF ₃
R30	CH ₂ Cl ₂
R31	CH ₂ ClF
R32	CH ₂ F ₂
R40	CH ₃ Cl
R41	CH ₃ F
R110	C ₂ Cl ₆
R111	C ₂ FCl ₅
R112	C ₂ F ₂ Cl ₄
R112a	CCl ₃ CClF ₂
R113	CCl ₂ FCClF ₂
R113a	CCl ₃ CF ₃
R114	CClF ₂ CClF ₂
R114a	CCl ₂ FCF ₃
R114B2	CBrF ₂ CBrF ₂
R115	CCl ₂ F ₂ CF ₃
R116	C ₂ F ₆
R120	C ₂ HCl ₅
R123	C ₂ HCl ₂ F ₃
R124	C ₂ HClF ₄
R124a	CHF ₂ CCl ₂ F ₂
R125	CHF ₂ CF ₃
R133a	CH ₂ ClCF ₃
R134a	CF ₃ CFH ₂
R140a	CH ₃ CCl ₃
R142b	CH ₃ CClF ₂
R143a	CH ₃ CF ₃
R150a	CH ₃ CHCl ₂
R152a	CH ₃ CHF ₂
R160	CH ₃ CH ₂ Cl

Autores: (Carmona, 2007)

R11

En la figura 1.16 podemos observar el diagrama de Mollier en donde notamos el comportamiento del líquido refrigerante R-11 en acción, y los valores de entropía,

densidad, y temperatura en las diferentes etapas de trabajo en el ciclo Presión – Entalpia. La entalpia se encuentra en un rango entre 260 y 430 KJ/Kg y podemos observar que su temperatura crítica es de 190°C, los demás valores se podrán ir obteniendo dependiendo de en qué fase nos encontremos.

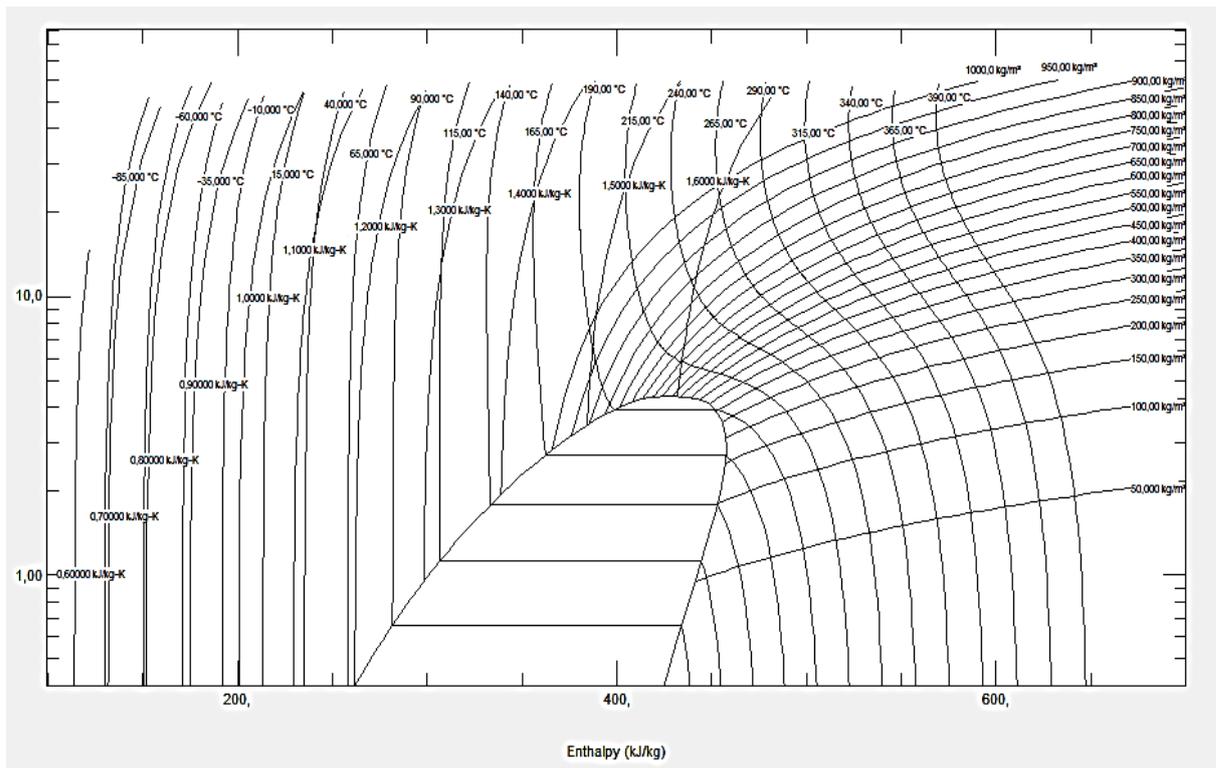


Figura 1.16 Diagrama presión-entalpia del refrigerante R11.
Fuente: Autores

R23

“Es un refrigerante del grupo de los HFC que sustituye a los CFC R 13 y R 503 en aquellas aplicaciones de baja temperatura (-40°C hasta -73°C) donde estos se utilizaban”. [6].

En la figura 1.17 se presenta el diagrama de Mollier en donde notamos el comportamiento del líquido refrigerante R-23. La entalpia de trabajo se encuentra en un rango entre 120 y 340 KJ/Kg y podemos observar que su temperatura crítica es de 20°C. Los demás valores se podrán ir obteniendo dependiendo de, en qué fase nos encontremos.

Todas las gráficas que se plantean a continuación de los refrigerantes de uso común tienen similares analogías dependiendo de las propiedades que presenten cada uno de ellos.

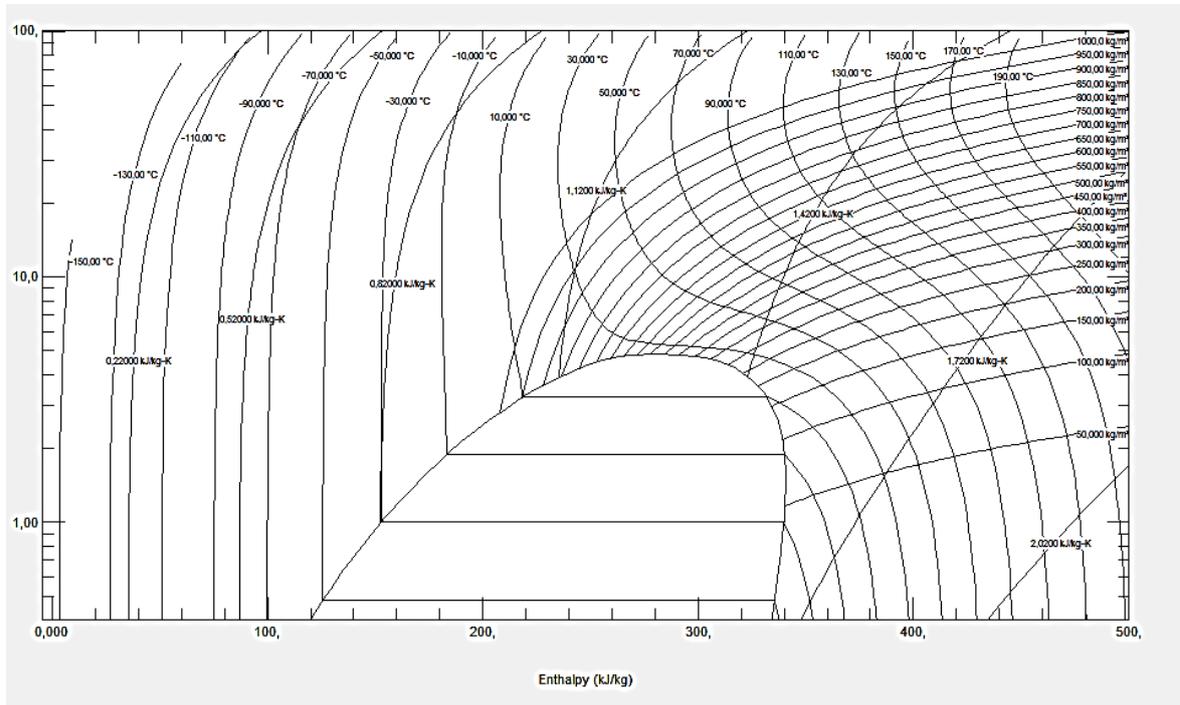


Figura 1.17 Diagrama presión-entalpia del refrigerante R23
Fuente: Autores

R-123

Es un fluido puro que se usó para sustituir al refrigerante R11, ya que posee un potencial de degradación de la capa de ozono “PDO” de 0.02, y un potencial de calentamiento global de 90, “El efecto de refrigeración teórico del ciclo con R123 constituye el 0.86 relativamente al del R11, y la temperatura de condensación y la presión son de 10 a 15% más bajas que las del R11” [7]. Cabe recalcar que este tipo de refrigerantes ya están fuera de circulación por pertenecer al grupo de los HCFC.

En la figura 1.18 podemos observar el diagrama de Mollier en donde notamos el comportamiento del líquido refrigerante R-123. La entalpia de trabajo se encuentra en un rango entre 260 y 430 KJ/Kg y su temperatura crítica es de 85°C.

R-125

“Es un gas utilizado para la extinción contra incendios, es un importante sustituto del halon, principalmente en los sectores donde el espacio y el peso están limitados o donde la velocidad de supresión es fundamental”. [6].

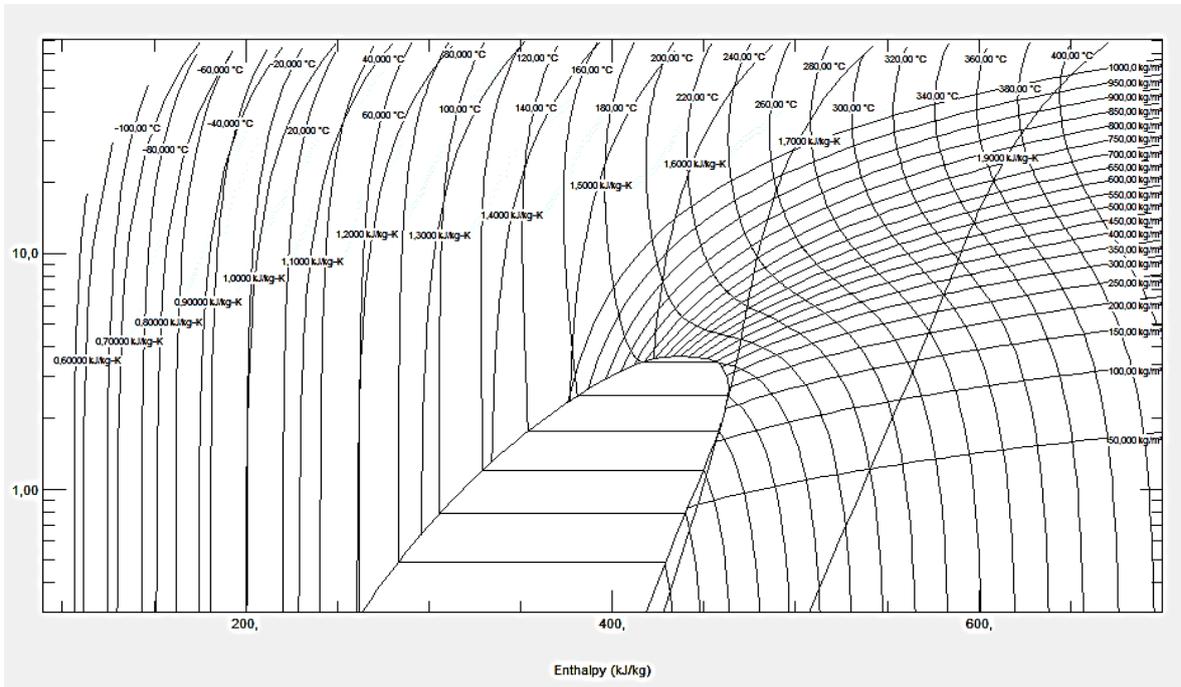


Figura 1.18 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R123
Fuente: Autores

En la figura 1.19 podemos observar el diagrama de Mollier para el refrigerante R-125, y los valores de entropía, densidad, y temperatura. La entalpía de trabajo se encuentra en un rango entre 170 y 320 KJ/Kg y la temperatura crítica es de 70°C.

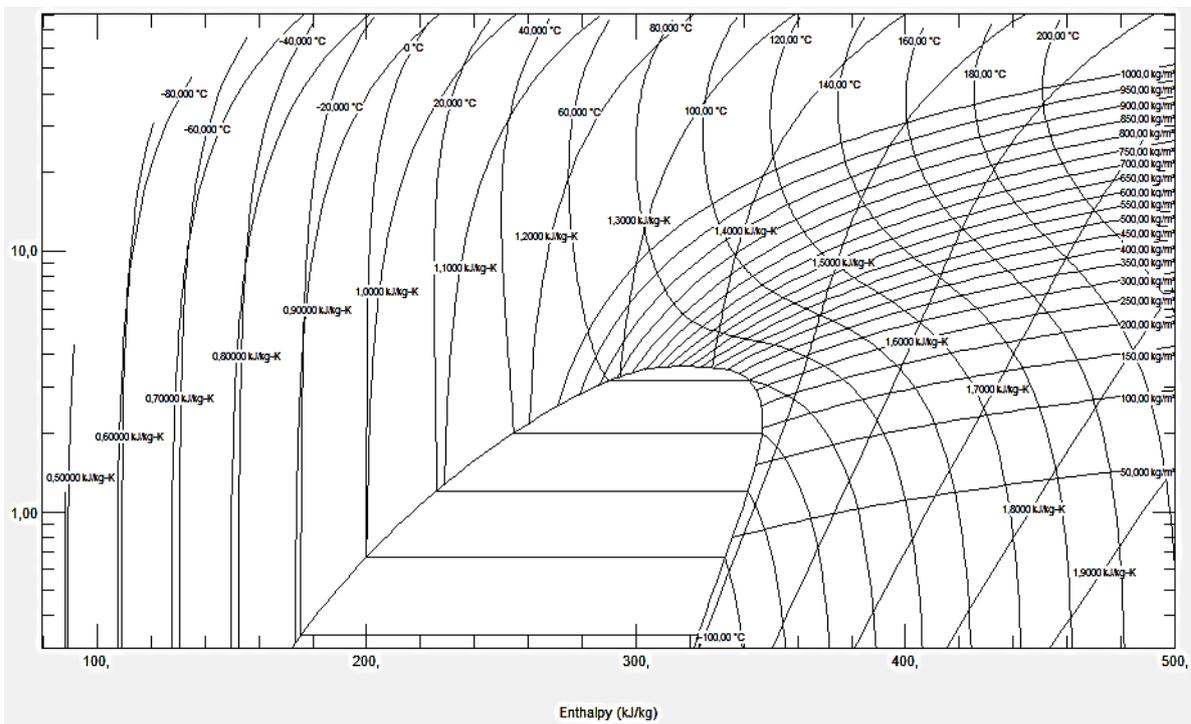


Figura 1.19 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R125
Fuente: Autores

1.3.3.2 Mezclas

También se puede unir dos refrigerantes para formar una mezcla, hay que tomar en cuenta que estos elementos que se van a mezclar sean compatibles entre sí a largo plazo de trabajo, estas mezclas pueden ser de dos tipos azeotropicas, y zeotropicas.

1.3.3.2.1 Azeótropos

“Se llama así a las mezclas de dos o más componentes de diferente volatilidad, las cuales, al ser utilizadas en un sistema de refrigeración, no cambian su composición, ni su temperatura de saturación al hervir en el evaporador, o se condensan a una presión constante”. [8].

Las mezclas azeotropicas no cambian al hervir, y su punto de ebullición es menor o igual al del componente más bajo de la mezcla, en la tabla 1.6 podemos observar algunos ejemplos de mezclas azeotropica que no tienen mayor importancia comercial.

Tabla 1.6 Ejemplos de mezclas azeotropicas.

DESIGNACION DEL AZEOTROPO	REFRIG.	PUNTO DE EBULLICION °C	% EN PESO	PUNTO DE EBULLICION DEL AZEOTROPO
R-500	R-12	-30	73.8	-33
	R-152a	-25	26.2	
R-501	R-12	-30	75	-41
	R-22	-41	25	
R-502	R-22	-41	48.8	-45
	R-115	-39	51.2	
R-503	R-23	-82	40.1	-88
	R-13	-81	59.9	
R-504	R-32	-52	48.2	-57
	R-115	-39	51.8	
R-505	R-12	-30	78	-30
	R-31	-9	22	
R-506	R-31	-9	55.1	-12
	R-114	4	44.9	
R-507	R-125	-49	50	-46.7
	R-143a	-47	50	
SIN NUMERO	R-22	-41	68	-45
	R-290	-42	32	
SIN NUMERO	R-114	4	59	-2
	R-600	0	41	
SIN NUMERO	R-12	-30	73	-35
	R-40	-24	27	

Autores: (Martinez & Zambrano, 2011)

1.3.3.2.1.1 Ventajas de las mezclas azeotrópicas.

- Utilización en sistemas con evaporadores de tipo inundado.
- En evaporadores tipo inundado, composición constante durante esa etapa.
- Bajo punto de ebullición.
- Temperaturas de evaporización más bajas.

1.3.3.2.2 Zeótropos

Este tipo de mezclas están formadas por varios componentes pero la mezcla no se comporta como un solo componente durante los cambios de estado. Esto se debe a que al cambiar al estado gaseoso no lo hacen a la vez los distintos compuestos de la mezcla. A éste cambio en la composición lo denominamos fragmentación. La definición zeótropo viene del griego zein = hervir y tropos = cambiar.

“A las mezclas zeotrópicas comerciales, se les debe asignar un número de identificación en la serie 400. Este número indica que componentes se encuentran en la mezcla. Pero no el porcentaje de cada uno de ellos”. [8].

Aquí presentamos algunos refrigerantes zeotrópicos:

R-404, R-406, R-408, R-409, R-413 entre otros.

1.3.4 Clases de refrigerantes.

1.3.4.1 Refrigerantes CFC's (Clorofluorocarbono)

Están formados a base de cloro, flúor y carbono, son elementos compatibles con otros elementos, no son inflamables o explosivos, este tipo de refrigerantes son los causantes de que la capa de ozono este deteriorada, por lo que ya no se fabrican, como por ejemplo el R-11 y el R-12.

El refrigerante R-12 fue el más utilizado en refrigeración domestica hasta antes de 1995.

En la figura 1.20 observamos el diagrama de Mollier para el refrigerante R-12, y los valores de entropía, densidad, y temperatura en las diferentes etapas de trabajo. La entalpia se encuentra entre 210 y 350 KJ/Kg y la temperatura crítica es de 110°C.

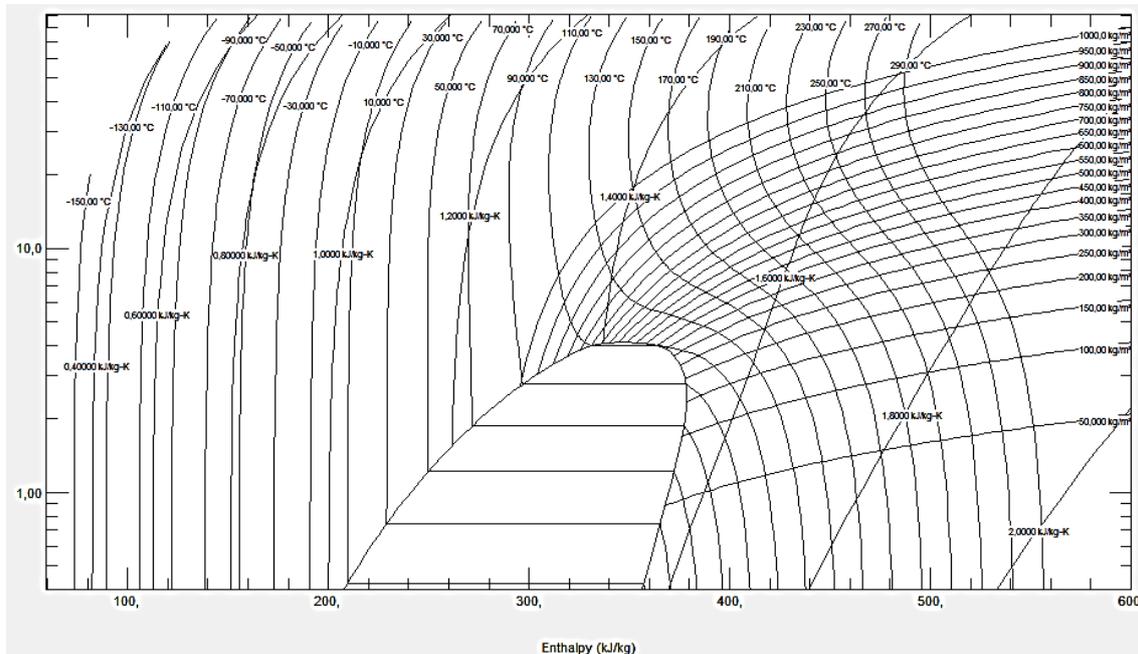


Figura. 1.20 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R12
Fuente: Autores

1.3.4.2 Refrigerantes HCFC's (Hidroclorofluorocarburo)

Los átomos que lo componen son el de cloro, flúor, hidrogeno y carbono. Este refrigerante produce menor contaminación que los anteriores pero también tienen que finalizar su producción y comercialización hasta antes del 2015, un ejemplo de estos es el R-22 que es un refrigerante que fue utilizado para refrigeración doméstica.

Este refrigerante tiene varias aplicaciones como por ejemplo aire acondicionado, o una de las aplicaciones que más ha perdurado es la refrigeración industrial y comercial, además se los utiliza en compresores, como por ejemplo de tornillo.

En la figura 1.21 podemos observar el diagrama de Mollier para el refrigerante R-22, y los valores de entropía, densidad, y temperatura en las diferentes etapas de trabajo en el ciclo Presión – Entalpía. La entalpía se encuentra en un rango entre 200 y 400 KJ/Kg, y podemos observar que su temperatura crítica es de 96°C, menor que la del refrigerante R-11, lo cual es una ventaja de este refrigerante, dentro de sus características termodinámicas.

1.3.4.3 Refrigerantes HFC's (Hidrofluorocarburo).

“Los HFC son considerados seguros para el medio ambiente e inoocuos para la capa de ozono, no son inflamables, poseen muy baja toxicidad y pueden reciclarse”. [9]

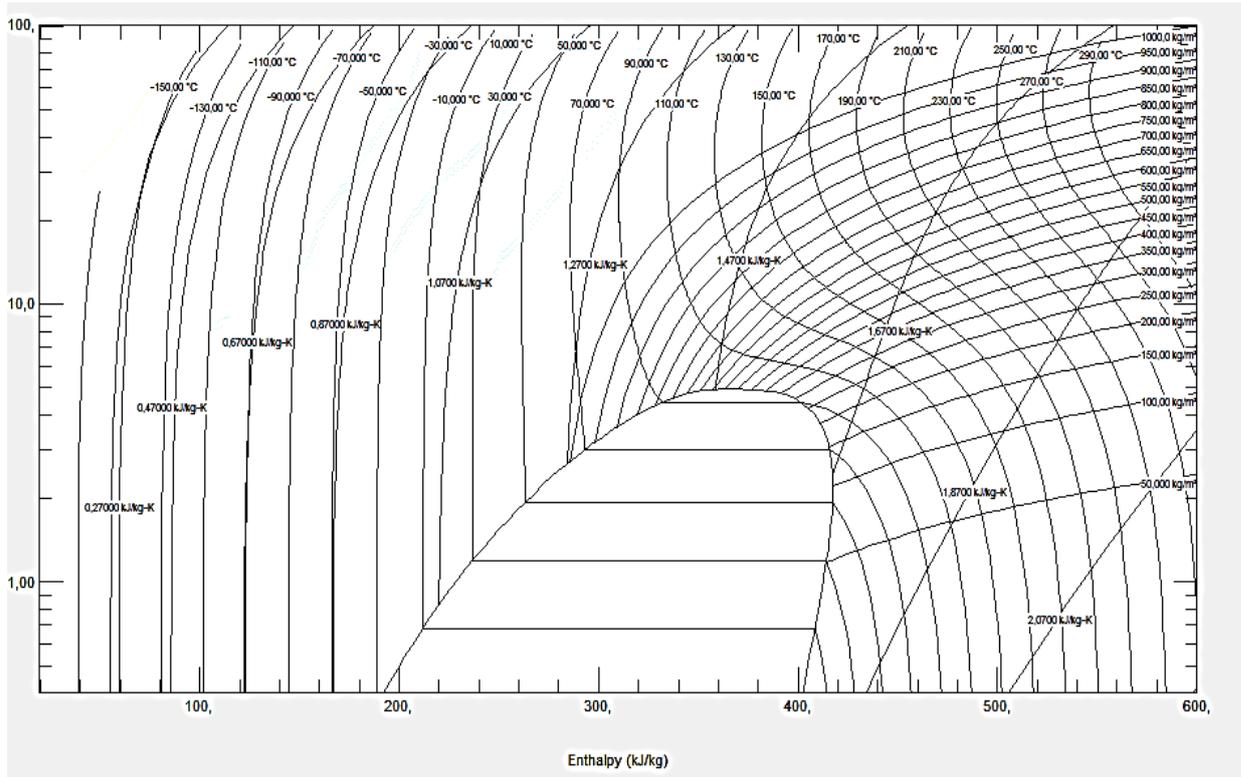


Figura 1.21 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R22

Fuente: Autores

Uno de los ejemplos más representativos de esta clase es el Refrigerante R-134a, que es el que actualmente se utiliza en refrigeración doméstica en nuestro país, y también se aplica al aire acondicionado de los vehículos, y otras utilidades más que hacen de este refrigerante muy apetecido en el comercio y producción mundial.

En la tabla 1.7 podemos observar algunas de las propiedades del refrigerante R-134a, las cuales nos ayudan a definir equipos instrumentación y para metros de trabajo del refrigerante.

La figura 1.22 nos presenta el diagrama de Mollier para el refrigerante R-134, y los valores de entropía, densidad, y temperatura en las diferentes etapas en el ciclo Presión – Entalpía. La entalpía de trabajo se encuentra en un rango entre 200 y 400 KJ/Kg y podemos observar que su temperatura crítica es de 100°C, además notamos que casi la mayoría de refrigerantes tienen similares valores en las tablas que se han presentado, lo que hace una verdadera diferencia a la hora de utilizar uno, u otro refrigerante, es el comportamiento que tengan con el medio ambiente, en donde el R-134 es el mejor de ellos.

Tabla 1.7 Propiedades termodinámicas del refrigerante R.134a.

Refrigerante	R 134a
Nombre	1,1,1,2-Tetrafluoroetano
Formula	CF ₃ -CH ₂ F
Temperatura crítica en °C	101
Peso Molecular en kg/kmol	102
Punto normal de ebullición en °C	-26.5
Presión a -25°C en bar (absoluto)	1.07
Densidad del liquido a -25°C en kg/l	1.37
Densidad vapor a to -25/+32°C en kg/m ³	4.4
Capacidad volumétrica a -25/55/32°C en kJ/m ³	658
Entalpía de vaporización a -25°C en kJ/kg	216
Presión a +20°C en bar (absoluto)	5.7

Fuente: (Dupont)

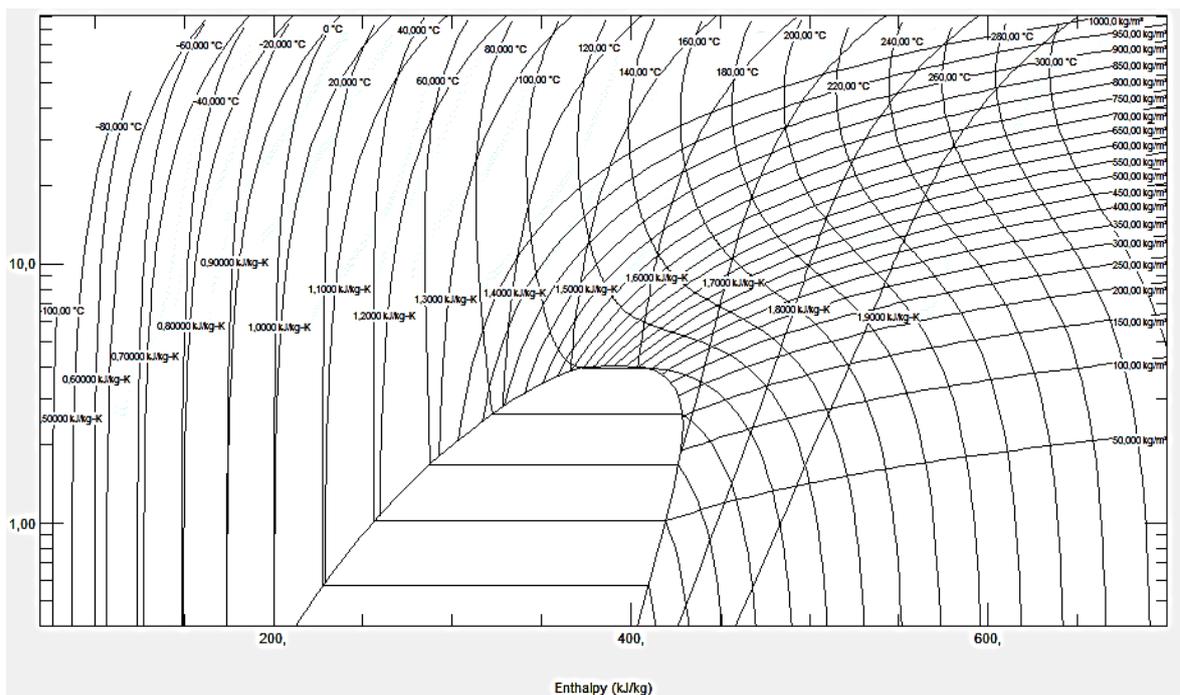


Figura 1.22 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R134a

Fuente: Autores

Otro de los refrigerantes que se está actualmente utilizando en refrigeración doméstica es el Isobutano R-600a, además tiene una capacidad volumétrica inferior en un 50% al R12 o al R134a, por lo que no se puede considerar un sustituto de éstos.

En la figura 1.23 se grafica el diagrama de Mollier para el refrigerante R-600a, y los valores de entropía, densidad, y temperatura en las diferentes etapas en el ciclo Presión – Entalpía. La entalpía de trabajo se encuentra en un rango entre 250 y 550 KJ/Kg y

podemos observar que su temperatura crítica es de 130°C, además este refrigerante es amigable con el medio ambiente.

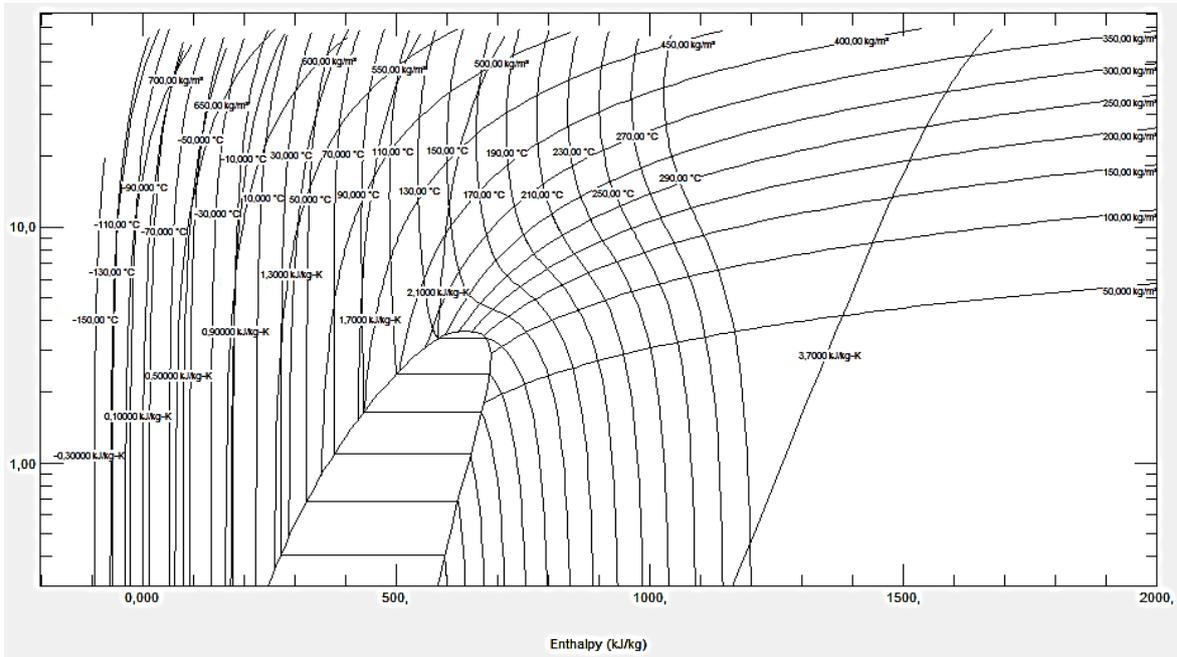


Figura 1.23 Diagrama presión-entalpía del refrigerante R-600a

Fuente: Autores

1.4 NORMAS QUE REGULAN EL USO DE LOS REFRIGERANTES.

Las normativas que se pueden encontrar dentro del campo de la refrigeración es muy extenso y variado se debe buscar la norma que mejor se adecue a nuestro campo de acción para su aplicación.

A continuación un listado de las diferentes normativas utilizadas en el campo de la refrigeración y su aplicación.

- **ANSI** (Instituto nacional Estadounidense de Estándares) Se trata de una institución que se encarga de estandarizar diferentes servicios, productos y procesos de refrigeración en Estados Unidos, cabe recalcar que es miembro de la organización ISO, a más de otras organizaciones, está encarga de acreditar a otras instituciones en varios temas, entre ellos la refrigeración.

ANSI/ASHRAE 34 Se utiliza para hacer una designación numérica y clasificación de refrigerantes según su seguridad, esta se basa en la toxicidad e inflamabilidad del gas.

ANSI/ASME B31.5 Estandariza tuberías de refrigeración, tanto en lo que son dimensiones como factores de trabajo de las mismas.

- **ARI** (Instituto de refrigeración y aire acondicionado) Esta institución representa a más del 90% de los equipos de refrigeración y de aire acondicionado central y comercial instalada en América del norte.

ARI Standard 700 Especificaciones para utilización de refrigerantes a base de fluorocarbono.

ARI Standard 740 Esta norma está destinada a regular la recuperación y reciclaje en refrigeración.

ARI Standard 793 Especificación de uso de fluorocarbonos y otros refrigerantes.

- **ASHRAE** (Sociedad Americana de los Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado). Esta institución genera normas para las personas que estén interesadas en procesos de refrigeración, aire acondicionado, ventilación y el mantenimiento de interiores.

ASHRAE 3 Controla la reducción de emisiones de refrigerantes a base de CFC halógenos en equipos y aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado.

ASHRAR 15 Es la norma que está destinado a regular y controlar el uso de refrigerantes inflamables

- **DIN** (Instituto Alemán de Normalización) Este instituto se encarga de normar la utilización de refrigerantes en Alemania.

DIN 7003 (provisional) Norma el uso seguro de refrigerantes inflamables.

DIN 8960 (provisional) Clasifica los refrigerantes inflamables.

DIN 8975 Regula y promueve el uso seguro de refrigerantes inflamables.

EN 378 Se utiliza para la manipulación segura de los refrigerantes.

- **IEC** (Comisión electrotécnica Internacional) esta es una institución encargada en los estándares de las diferentes tecnologías eléctricas, electrónicas y todas las relacionadas con la refrigeración.

IEC 60335-2-24 Norma que controla el uso de refrigerantes inflamables en refrigeradores domésticos.

IEC 60335-2-40 Uso seguro de refrigerantes inflamables: bombas de calor y aire acondicionado.

- **ISO** (Organización Internacional de Normalización) Regula la fabricación y comercialización de los refrigerantes.

ISO 817 Designación numérica para refrigerantes orgánicos.

JAPON Normas generales de seguridad en caso de exceso de presión del gas.

JAPON Normas de seguridad en refrigeración.

NF E35-400 Clasificación y normas de seguridad para refrigerantes inflamables.

NF E35-402 Normas de seguridad en la manipulación de refrigerantes inflamables.

- **UL** (Underwriters Laboratories). Esta empresa se desenvuelve en las seguridades medioambientales.

“UL 250 Uso seguro de refrigerantes inflamables: refrigeradores y congeladores domésticos.

UL 1995 Uso seguro de refrigerantes inflamables: equipos de enfriamiento y calor.

US DOT (49CFR 173) Clasificación de refrigerantes inflamables”. [11]

1.4.1 Especificaciones de las normas que se aplican para refrigeración doméstica.

1.4.1.1 ANSI/ASHRAE 34

Designación numérica y clasificación de refrigerantes según su seguridad, se basa en la toxicidad y la inflamabilidad del refrigerante.

Descripción:

“Esta es la norma encargada de generar y asignar una numeración para todos los refrigerantes que se han desarrollado basados en la composición química que tiene el refrigerante” (tabla 1.8).[12]

Tabla 1.8 Algunas características de clasificación del estándar 34.

Serie	Nombre	Gas
000	Metanos	R-12
100	Etanos	R-134a
200	Propanos	R-290
400	Zeótropos	R-401A
500	Azeotropos	R-502
600	Organicos	R-600a
700	Inorganicos	R-707

Fuente: (ASHRAE)

1.4.1.2 DIN 7003 (provisional)

Uso seguro de refrigerantes inflamables.

Descripción:

“Esta norma está destinada a orientar de acuerdo a la clasificación de los peligros de manipulación del refrigerante, tratan puntos como la toxicidad la inflamabilidad, y las aplicaciones en las que los refrigerantes de la clasificación de seguridad pueden ser utilizadas de manera segura” [11]. También generan políticas de seguridad en función de la peligrosidad del producto.

Tabla 1.9 Clases de refrigerantes según su inflamabilidad.

Clasificación.	Clase 1 No inflamable
	Clase 2 Poco inflamable
	Clase 3 Inflamabilidad alta

Fuente: (DIN)

1.4.1.3 IEC 60335-2-24

Uso seguro de refrigerantes inflamables: refrigeradores domésticos.

Descripción:

Esta norma se encarga de la seguridad de los electrodomésticos, aparatos de refrigeración para uso doméstico y similares; máquinas para hacer hielo de la incorporación de un motor-compresor y fabricantes de hielo destinados a ser utilizados en los compartimentos para alimentos congelados de almacenamiento.

1.4.1.4 ARI Standard 700

Norma de especificación para refrigerantes a base de fluorocarbono.

Descripción

Esta norma es establecer las especificaciones de pureza, para verificar la composición, y para especificar los métodos asociados de las pruebas de aceptación de los refrigerantes de fluorocarbono independientemente de la fuente (nueva, regenerada y / o reenvasado) para su uso en refrigeración nuevos y existentes y al aire los productos de acondicionamiento en el ámbito de las IRA.

1.4.1.5 ASHRAR 15

Uso seguro de refrigerantes inflamables.

Descripción:

Establece garantías para la vida, la integridad física, la salud la propiedad y prescribe los requisitos de seguridad. Esta norma se dirige hacia la seguridad de las personas y sus bienes en o cerca de las instalaciones de refrigeración. Incluye las especificaciones para la fabricación de sistemas instalados, pero no se ocupa de los efectos de las emisiones de refrigerantes sobre el medio ambiente.

1.4.1.6 DIN 8975

Uso seguro de refrigerantes inflamables.

Descripción:

Esta norma Europea es aplicable al “diseño, construcción e instalación de sistemas de refrigeración, incluyendo tuberías, componentes y materiales y que incluye equipos

auxiliares directamente relacionados con dichos sistemas. También especifica los requisitos para las pruebas, puesta en marcha, señalización y documentación” [13]. Esta no aplica para sistemas de refrigeración que usan agua o aire como elemento refrigerante.

1.5 CONCLUSIONES:

- La utilización del refrigerante R-134a para refrigeración doméstica en lugar del R-12, se lo ha hecho exclusivamente por los índices que presenta el R-12 en cuanto a destrucción de la capa de ozono del planeta, porque los valores de presión de evaporación de condensación, densidad de vapor saturado, densidad de líquido saturado, etc. Son muy similares y no tiene ninguna variación significativa en esos aspectos el nuevo refrigerante.
- Tratar de cambiar un sistema de refrigeración que trabaje con líquido R-12 a otro sistema que trabaje con el R-134a, no es fácil porque amerita muchos cambios técnicos, ya que cada uno operan bajo ciertas condiciones que no permite el cambio arbitrario de estos dos refrigerantes dentro del sistema, por lo que se tiene que hacer de una manera técnica.

1.6 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 1

1. Rios, J. (2004). *Diferencias entre sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes convencionales y los que utilizan refrigerantes ecológicos y análisis de la estructura molecular de los refrigerantes*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Velasco, B. (2011). *Estudio de un banco de pruebas de refrigeración y su aplicación en sistemas agroindustriales*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Técnica de Ambato.
3. Poblete, N. (2004). *Reconversión del refrigerante R12 a R134a, en el proceso productivo de refrigeradores domésticos*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Austral de Chile.
4. Valycontrol. (2012). Refrigerantes. México
5. Patiño, V. (2010). *Ingeniería de mantenimiento de refrigerantes*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad José Carlos Moriategui.
6. Mobegas. (2012). Ficha técnica.
7. Allchem. (2012). R123 refrigerante. Revisado Noviembre 20, 2012, desde <http://www.allchemi.com/eng/refregerants/traditional.html>
8. Martinez, J., & Cesar, Z. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de refrigeración por compresión de vapor de IHP de capacidad*. Tesis de ingeniero mecánico, Escuela Politécnica del Ejército.
9. Belman, J., & Navarro, J. (2008). *Desarrollo de un modelo físico para una instalación de producción de frío por compresión de vapor utilizando el refrigerante R134a*. Tesis Doctoral, Universidad Jaume.
10. Armas, M. A. (2009). *Sistemas alternativos de refrigeración con bajo impacto ambiental*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala.
11. Koppen, H. (1998). Guía para la aplicación de los códigos de buenos procedimientos. Belgica.
12. ASHRAE. (2010). ASHRAE Refrigerant Designations. Revisado Noviembre 10, 2012, desde <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines/standards-activities/ashrae-refrigerant-designations>
13. Din, 7003. (1995). *Refrigeration Systems and Heat Pumps with Flammable Refrigerants of Group L3 – Safety Requirements*. Germany.

CAPÍTULO 2

PRINCIPALES PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL REFRIGERANTE R134a.

2.1 INSTRUMENTACION.

2.1.1 Espectrómetro

Es importante dentro del estudio de los compuestos químicos el análisis de estos por medio de la espectrometría de masas, la cual es utilizada para analizar las masas de átomos, moléculas o fragmentos de moléculas. Para la espectrometría de masas es necesario ionizar las moléculas que se encuentran en estado gaseoso para luego acelerarlo en un campo eléctrico, consiguiendo de esta manera que se separen según su relación de (masa/carga) (m/z).

En la figura 2.1 se representa el análisis de espectrometría frente a m/z , en donde se puede observar cuatro isótopos¹ naturales de plomo (Pb), el área que se encuentra debajo de cada pico viene a representar la cantidad de isótopos en el compuesto que se está analizando por medio del espectrómetro.

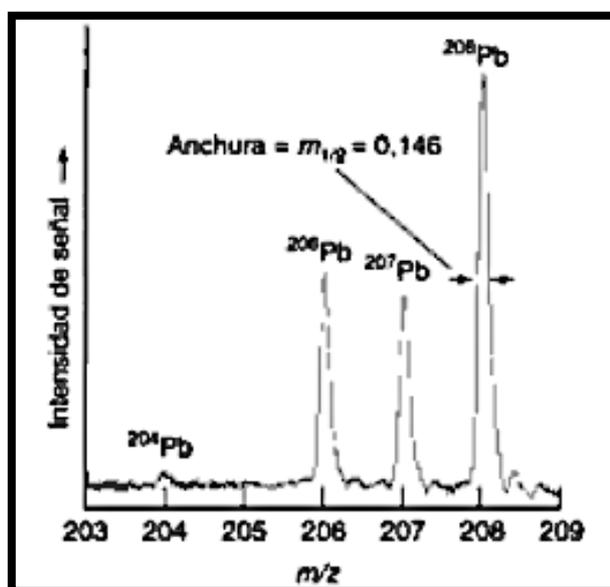


Figura 2.1 Análisis de espectrometría
Fuente: (Harris, 2007)

¹ Isotopo: denominación que se da a un átomo de un mismo elemento pero que posee una masa distinta.

En la figura 2.2 se indica un espectrómetro de masas el cual utiliza un campo magnético para seleccionar iones según su relación m/z . Los iones pasan hacia un detector que los identifica y selecciona, las moléculas gaseosas que ingresan por la parte superior izquierda son aceleradas por un campo eléctrico y pasan hacia un tubo analizador y quedan sometidos a un campo magnético, el cual se encuentra perpendicular a su trayectoria. El campo magnético utilizado en el espectrómetro cumple la función de desviar los iones hacia un detector situado en el extremo del tubo.

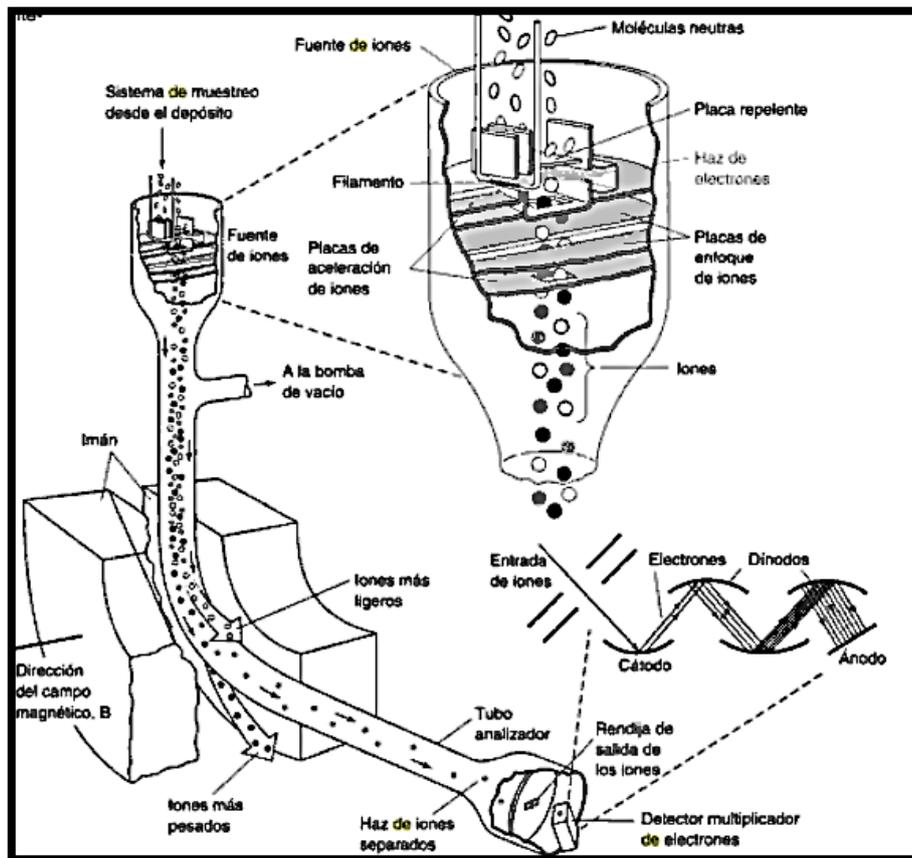


Figura 2.2 Espectrómetro de masas
Fuente: (Harris, 2007)

El detector funciona como un multiplicador de electrones, es decir el momento en el que cada ion llega hacia el detector, estos desencadenan una serie de electrones, lo cual se da debido a que una serie de dinodos que se encarga de multiplicar el número de electrones por 10^5 amplificando de esta manera la señal, para luego pasar hacia el ánodo donde se mide la corriente.

El espectrómetro de masas indica la corriente del detector en función de la relación m/z la cual es seleccionada por el campo magnético. Los espectrómetros de masas pueden funcionar tanto con iones negativos y positivos, para lo cual es necesario invertir el voltaje.

La Espectrometría de masas se utiliza cuando se sospecha que una mezcla refrigerante ha podido sufrir un fraccionamiento, que haya alterado la proporción original de sus componentes. Es posible conocer la proporción actual y comprobar si cumple el estándar de calidad, en la figura 2.3 se puede observar la estructura del refrigerante R-134a que se lo puede determinar mediante la espectrometría.

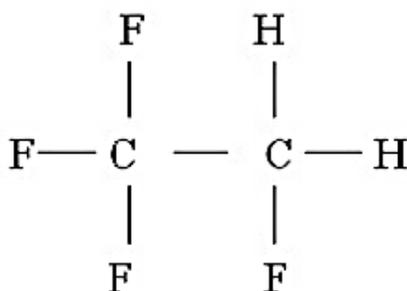


Figura 2.3 (Estructura molecular R-134a Tetrafluoretano $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$)
Fuente: Autores

Las propiedades físicas y termodinámicas del tetrafluoretano las podemos encontrar en la tabla 1.2.

2.1.2 Cromatógrafo

El análisis de pureza por cromatografía se desarrolló hace cinco décadas atrás, este análisis inicialmente fue empleado para compuestos volátiles que no se descomponían o modificaban estructuralmente al calentarse, lo cual inicialmente fue un gran inconveniente para un correcto análisis, sin embargo en la actualidad es posible desarrollar este análisis en polímeros que al calentarse producen monómeros volátiles.

La aplicación del análisis de pureza por cromatografía es muy extenso, siendo utilizado en análisis de mezclas complejas de hidrocarburos, en pesticidas, solventes utilizados en las industrias, contaminantes, productos utilizados en alimentos, etc. Se ha llegado a este amplio campo de aplicación debido a su rapidez y buena resolución.

La cromatografía de gases, Consiste básicamente en inyectar una muestra volatilizada en un cabezal de columna cromatográfica, para este efecto la muestra debe ser volátil y para

evitar problemas como explosiones o descomposiciones también debe ser térmicamente estable.

Se puede hallar dos tipos de cromatografía de gases:

- Cromatografía de gas sólido (CGS)
- Cromatografía de gas líquido (CGL)

Los principales componentes de un cromatógrafo de gases se nombran a continuación y se indican en la figura 2.4

- Botella de gas portador (que contiene la fase móvil)
- Reguladores de presión
- Filtros de oxígeno y humedad (que son indicadores de la presencia de O₂)
- Inyector (con un sistema para control de temperatura)
- Columna cromatográfica (se coloca en el horno)
- Detector (con un sistema para control de temperatura)
- Sistema receptor, procesador y de almacenamiento de la información
- Registrador o un monitor

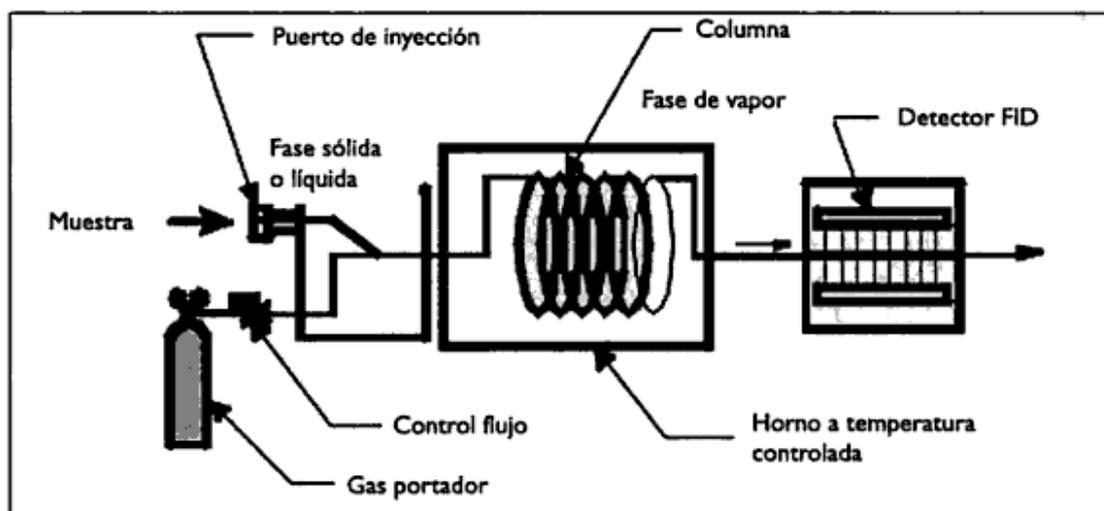


Figura 2.4 Cromatógrafo de gases.
Fuente: (Barquero, 2006)

Cabe señalar la importancia del gas portador el cual cumple dos funciones que son el de transportar los componentes de la muestra, y también crear una matriz adecuada para el detector. El gas debe ser inerte para evitar algún tipo de interacción con la muestra.

Muchas de las veces la inyección de la muestra es un problema en la cromatografía de gases, esto es debido a la cantidad pequeña de la muestra inyectada que es del orden de μL de muestra, para resolver este problema se puede usar inyectores automáticos que disminuyen significativamente errores que se puedan producir, también se pueden utilizar automuestradores, en combinación con inyectores.

El análisis de pureza por cromatografía en los refrigerantes nos permite determinar si existe algún contaminante o elemento que no sea propio y por lo tanto nos esté afectando algún sistema de refrigeración, es de suma importancia este análisis para evitar inconvenientes y fallas en los sistemas de refrigeración.

2.1.3 Aparato de Karl Fischer

Por medio del aparato de Karl Fischer es posible determinar cantidades pequeñas de agua que exista en refrigerantes, siendo posible aplicarlo a cualquier tipo de refrigerante tanto de alta, media y de bajas presiones.

En la figura 2.5 se puede apreciar el equipo para el análisis de hidrocarburos.

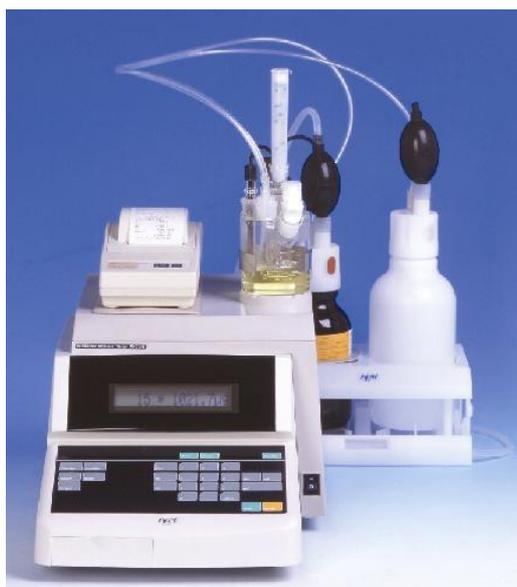


Figura 2.5 Aparato de Karl Fischer
Fuente: (Valencia, 2010)

El aparato está constituido por una celda electroquímica con dos compartimientos que sirven de ánodo y cátodo los cuales producen la conducción de corriente y por medio de un reactivo que es un tipo de disolución de yodo se determina si el refrigerante posee alguna cantidad de agua.

2.2 PROCEDIMIENTOS.

2.2.1 Determinación de la densidad

La densidad de un fluido se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{eq.(2.1)}$$

2.2.1.1 Determinación de la densidad por la ecuación general de los gases.

Para determinar la densidad se puede Partir de la ecuación general de los gases.

$$P \cdot v = n \cdot R \cdot T \quad \text{eq.(2.2)}$$

De donde

$$n = \text{moles} = \frac{\text{masa}}{\text{peso molar}}$$

Reemplazando obtenemos

$$P \cdot v = \frac{m \cdot R \cdot T}{P_m}$$

Despejando la presión

$$P = \frac{m \cdot R \cdot T}{v \cdot P_m} \quad \text{eq.(2.3)}$$

Ahora reemplazamos la formula “1” en la ecuación “3” y obtenemos:

$$P = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{P_m}$$

De donde finalmente se obtiene la fórmula de la densidad.

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} \quad \text{eq.(2.4)}$$

2.2.1.2 Determinación experimental de la densidad y volumen específico.

Experimentalmente es posible determinar la densidad absoluta de un sólido o de un líquido utilizando la ecuación general de los gases, el procedimiento consiste en medir la masa y el volumen de modo directo o por el método de flotación de los cuerpos sumergidos.

Se sabe que la masa de un sólido o de un líquido varía de forma directamente proporcional al volumen del cuerpo por lo que su función estaría dada por la siguiente ecuación lineal:

$$m = A + BV \quad \text{eq.(2.5)}$$

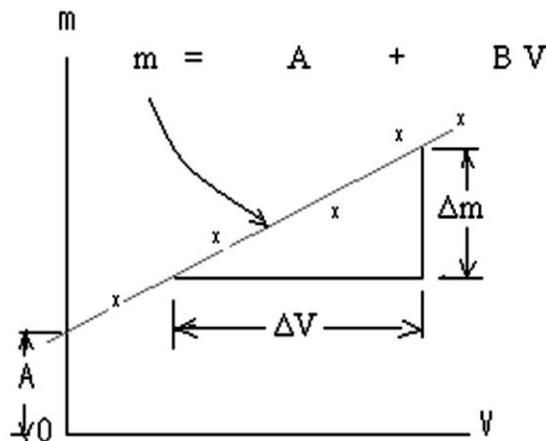


Figura 2.6 Grafica masa-volumen
Fuente: (Flores Urquiaga, 2010)

El valor de “B” se refiere a la pendiente la cual se la obtiene con el valor de dos puntos obtenidos con las mediciones de la masa y del volumen.

Al trazar la recta con la ecuación se obtiene lo que se puede observar en la figura 2.6 de donde se obtiene los valores de Δm y ΔV , y aplicando la siguiente expresión se obtiene la densidad:

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad \text{eq.(2.6)}$$

Por otro lado también podemos obtener el volumen específico "v" el cual es el volumen del cuerpo por unidad de masa “m” y es equivalente a la inversa de la densidad.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta m} = \frac{1}{\rho} \quad \text{eq.(2.7)}$$

2.2.1.3 Procedimiento para la determinación de la densidad.

- Deposite el contenido del líquido en una probeta y péselo (M_0) determinando su volumen V_0 .
- Con cuidado extraiga y mida sucesivamente masas M_1, M_2, M_3, \dots de líquido midiendo sus correspondientes volúmenes V_1, V_2, V_3, \dots en la probeta
- Para determinar la masa “m” del líquido en cada pesada, reste sucesivamente M_0 de M_1 y para determinar su volumen reste sucesivamente V_i de V_0
- A continuación utilice las formulas 5 y 6 y obtendrá los siguientes valores [1]:

Refrigerante N°	Volumen líquido (l/kg)	Volumen vapor (l/kg)	Densidad líquido a 30°C (Kg/l)	Densidad del vapor a 30°C (Kg/l)
134a	0.7376	120	1.1854	37.795

2.2.2 Determinación de la temperatura de ebullición.

Este procedimiento indica la temperatura a la cual una determinada muestra de refrigerante comienza a hervir en un sistema de enfriamiento en condiciones de equilibrio a la presión atmosférica.

“El punto de ebullición de un refrigerante es preferible que sea bajo porque aunque opere a presiones positivas pueda existir una temperatura baja en el evaporador de un sistema.

Según la norma ASTM D-1120-94 consiste en agregar 60 mL de refrigerante y 6 piedritas porosas en un balón de destilación, tapar el balón con un tubo de condensación dispuesto en forma vertical e introducir un termómetro en forma diagonal. Colocar el balón sobre un calentador eléctrico y comenzar a suministrarle calor hasta observar la condensación de las primeras gotas (las cuales condensan dentro del mismo balón), luego se regula el calentador hasta observar que condensan de 1 a 2 gotas por segundo hasta mantenerse constante durante 10min. Transcurridos los 10min se lee en el termómetro la temperatura y se reporta ésta como temperatura de ebullición del refrigerante” [2].

Refrigerante N° Temperatura de ebullición °C

134 ^a	-26.5
------------------	-------

En los refrigerantes el punto de ebullición siempre debe ser bajo, para que aunque se esté operando con presiones positivas, se consiga tener temperaturas bajas en el evaporador.

2.2.3 Determinación del pH

El pH es determinado generalmente para el control de la calidad en la producción de refrigerantes, generalmente es deseable que estos tengan un pH alcalino.

El pH de un refrigerante es una medida de concentración de iones de hidrogeno que posee y hace referencia si el refrigerante tiene compuesto del tipo ácido, alcalino o neutro.

La determinación del pH consta de valores de 0 a 14, de los cuales los valores de la escala 0 a 7 representan el medio ácido de la escala, los valores incluidos en la escala de 7 a 14 representan un medio alcalino o básico, y el valor de pH 7 es considerado neutro ya que al ser un valor medio no es considerado ni ácido ni alcalino.

“Para la determinación del pH de los refrigerantes se puede utilizar el procedimiento indicado en la norma ASTM D-1287-91, el cual consiste en colocar 50mL de refrigerante en un beaker, luego se introduce el electrodo del medidor de pH (Figura 2.7) (previamente calibrado con soluciones buffer con pH de 4, 7 y 10) en el refrigerante y se toma el valor de pH arrojado por el equipo” [2].



Figura 2.7 Medidor del pH digital
Fuente: (Carmona, 2007)

Refrigerante N°

pH

134 ^a	Neutro
------------------	--------

2.2.4 Determinación de la gravedad específica

La gravedad específica es conocida como una relación entre el volumen del líquido refrigerante, con el peso de otra sustancia usada como patrón pero que contiene el mismo volumen del líquido refrigerante.

La norma ASTM D-1122-97a (Reaprobada 2002) nos brinda un procedimiento para la determinación de la gravedad específica el cual consiste en “colocar 200 mL de refrigerante en un cilindro sin graduación; luego se introduce un hidrómetro hasta que el mismo se queda estático flotando en la solución sin tocar el fondo del cilindro y se lee la gravedad específica , inmediatamente se debe introducir un termómetro en el refrigerante para tomar la temperatura a la cual se realizó la prueba y utilizando tablas de correlación ASTM se convierte el valor de gravedad específica obtenido a la temperatura de trabajo” [2].

2.2.5 Determinación de la tendencia a formar espuma

En los refrigerantes es de mucha importancia distinguir aquellos que tienen la tendencia a formar espuma en exceso, de los que no tienen esta tendencia y son adecuados para funcionar en un sistema de refrigeración, la tendencia de formar espuma de un refrigerante se puede incrementar por el envejecimiento del servicio o por la contaminación.

Para determinar esta tendencia es posible aplicar el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1881-97, el cual consiste en “colocar 145mL de refrigerante en un cilindro graduado de 1000mL de capacidad e introducir en el cilindro un termómetro y un tubo para suministrarle aire a la solución. El tubo debe estar provisto de una piedra porosa en la punta para que las burbujas de aire suministrado sean homogéneas. El cilindro se introduce en un baño de María que debe permanecer regulado a 80°C. Cuando el refrigerante alcance los 80°C se conecta el tubo a un flujómetro de aire, que debe ser regulado a 1000mL/min. Se comienza a suministrar aire al refrigerante durante 5 min. Transcurridos los 5 min se lee en el cilindro el volumen alcanzado por la espuma formada, inmediatamente se cierra el

flujo de aire y se toma el tiempo en que la espuma desaparece completamente, repitiendo el procedimiento 2 veces. Se reporta en una tabla el promedio de las 3 lecturas de volumen de espuma y el promedio del tiempo de ruptura de la espuma”. [2]

2.2.6 Determinación de la corrosividad

Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido por la norma ASTM D-1384-01, el cual consiste en “agregar 333mL de refrigerante en un cilindro graduado de 1000mL de capacidad, completar con agua corrosiva hasta 1L, como se observa en la figura 2.8. El agua corrosiva deberá contener 100ppm de iones sulfato, 100ppm de iones cloruro y 100ppm de iones bicarbonato. Colocar la solución preparada en un beaker e introducir un cupón de corrosión con los siguientes metales: cobre, bronce, estaño, aluminio hierro y acero como se observa en las figuras 2.9 y 2.10. Luego se tapa el beaker y se coloca a través del tapón un termómetro, un tubo de condensación y un tubo para suministrarle aire a razón de 100mL/min. Se coloca un calentador regulado a 80°C y deja montada la prueba durante 14 días como se indica en la figura 2.11, Transcurridos los 14 días se extrae el cupón de corrosión, se lavan por separadas cada una de las láminas de metal, se colocan en la estufa para secar y posteriormente se pesan.

Por diferencia de pesaje se obtiene el peso perdido durante la prueba y se reporta como miligramos de metal perdido” [2].

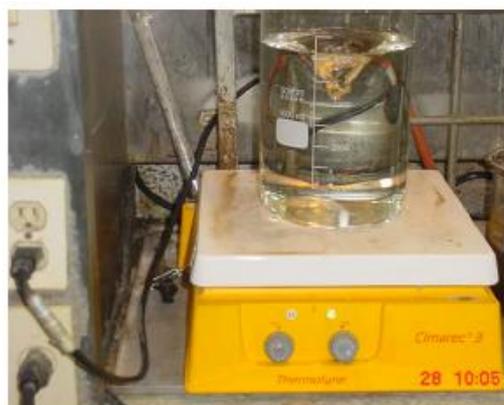


Figura 2.8 Agua corrosiva
Fuente: (Carmona, 2007)

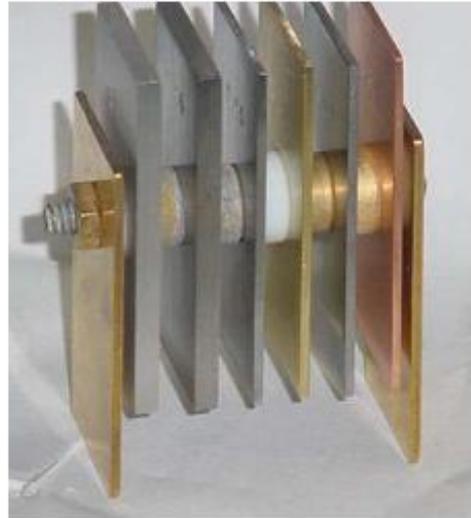


Figura 2.9 Cupones de corrosión
Fuente: (Carmona, 2007)



Figura 2.10 Muestra de los cupones de corrosión
Fuente: (Carmona, 2007)



Figura 2.11 Inicio de la prueba de corrosión
Fuente: (Carmona, 2007)

2.2.7 Ecuaciones de estado

Las ecuaciones de estado son de gran utilidad para determinar propiedades termodinámicas y también propiedades físicas de un fluido, es posible utilizar las ecuaciones de estado en rangos extensos de presión y temperatura, estas ecuaciones son de mucha exactitud por lo que son utilizados en tablas termodinámicas de gran confiabilidad, por la complejidad que pueden llegar a tener estas ecuaciones es recomendable utilizar software matemáticos simplificando así la obtención de resultados.

2.2.7.1 Importancia de las ecuaciones de estado

- Las ecuaciones de estado pueden ser utilizadas para determinar el comportamiento de los fluidos ante diferentes temperaturas y presiones.
- Con las ecuaciones de estado es posible predecir el estado de gases en nuestro caso lo refrigerantes y el estado de los líquidos. De las ecuaciones de estado existentes se puede tener en cuenta una de las más básicas y simples que es la ecuación de estado del gas ideal, que puede aproximarse al comportamiento de gases de bajas presiones y temperaturas que pueden ser mayores a la temperatura crítica. Un problema con algunas ecuaciones de estado es que pueden perder exactitud a altas presiones y bajas temperaturas.
- Entre las diferentes ecuaciones de estado se encuentra aquellas que pueden predecir el volumen de sólidos, que pueden incluir la transición de los sólidos entre los diferentes estados cristalinos.

2.2.7.2 Algunas ecuaciones de estado de importancia:

- **Ecuación de Van der Waals.**

Esta ecuación lleva el nombre del científico que la propuso en 1873.

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad \text{eq.(2.8)}$$

En la ecuación existen dos constantes a y b propias para cada gas las cuales variaran dependiendo del tipo de fluido, la expresión $\frac{a}{v^2}$ se da debido a la existencia de fuerzas intermoleculares, y la constante b es proporcional al volumen ocupado por las propias moléculas.

- **Ecuación de Berthelot.**

La ecuación de estado de Berthelot puede ser considerada más compleja que la ecuación de Van der Waals. En esta ecuación se incluye un término de atracción intermolecular que es dependiente de la temperatura y del volumen. La ecuación tiene la siguiente forma:

$$\left(P + \frac{a}{Tv^2}\right)(v - b) = RT \quad \text{eq.(2.9)}$$

- **Ecuación de Redlich-Kwong, R-K.**

Esta ecuación es muy utilizada en el campo termodinámico su origen es semi-empírico, al igual que la ecuación de Van Der Waals. La expresión de esta ecuación es:

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a}{T^{1/2}v(v+b)} \quad \text{eq.(2.10)}$$

Donde a y b son constantes propias de la ecuación de Redlich-Kwong

$$a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c}$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$$

- **Ecuación de Soave Redlich Kwong. (SRK).**

Esta ecuación puede ser utilizada para diferentes hidrocarburos que se encuentran a diferentes presiones que pueden ser altas o moderadas.

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a(T_r)}{v(v+b)} \quad \text{eq.(2.11)}$$

Donde T_r es la temperatura reducida (T/T_c)

- **Ecuación de Peng Robinson. (PR).**

Esta ecuación se basa en la ecuación de Van der Waals, posee dos parámetros, pero su forma es más complicada. La ecuación es la siguiente:

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a}{v^2-c^2} \quad \text{eq.(2.12)}$$

Donde a y b son constantes propias de la ecuación de Peng Robinson.

$$a = \frac{0.45724R^2T_c^2}{P_c}$$

$$b = \frac{0.07780RT_c}{p_c}$$

Donde P_c es la presión crítica y T_c es la temperatura crítica.

- **Ecuación de Wohl**

Esta ecuación de Wohl de forma compleja es aplicable al vapor sobrecalentado.

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a}{v(v-b)} \left(\frac{T_c}{T}\right)^{T_{c0}/T} + \frac{c_0}{v^3} \quad \text{eq.(2.13)}$$

De donde los coeficientes toman los siguientes valores.

$$c_0 = 4v_c^3P_c$$

$$a_0 = 6v_c^2P_c$$

$$b = v_c/4$$

Una de las ecuaciones más utilizadas es la de Benedict-Webb-Rubín la cual es utilizada para calcular las tablas de propiedades termodinámicas del refrigerante R 134a ya que permite un rango extenso entre temperaturas y presiones, la cual debido a su complejidad es mejor trabajarla por medio de un software que permita el ingreso de todos los coeficientes, la forma de la ecuación es la siguiente.

$$\frac{P}{100} = \sum_{n=1}^9 \frac{a_n}{v^n} + \exp\left(-\frac{V_c^2}{V^2}\right) \sum_{n=10}^{15} \frac{a_n}{v^{2n-17}} \quad \text{eq.(2.14)}$$

De donde la temperatura depende de los coeficientes dados por:

$$a_1 = RT$$

$$a_2 = b_1T + b_2T^{0.5} + b_3 + \frac{b_4}{T} + \frac{b_5}{T^2}$$

$$a_2 = b_1T + b_2T^{0.5} + b_3 + \frac{b_4}{T} + \frac{b_5}{T^2}$$

$$a_3 = b_6T + b_7 + \frac{b_8}{T} + \frac{b_9}{T^2}$$

$$a_4 = b_{10}T + b_{11} + \frac{b_{12}}{T}$$

$$a_5 = b_{13}$$

$$a_6 = \frac{b_{14}}{T} + \frac{b_{15}}{T^2}$$

$$a_7 = \frac{b_{16}}{T}$$

$$a_8 = \frac{b_{17}}{T} + \frac{b_{18}}{T^2}$$

$$a_9 = \frac{b_{19}}{T^2}$$

$$a_{10} = \frac{b_{20}}{T^2} + \frac{b_{21}}{T^3}$$

$$a_{11} = \frac{b_{22}}{T^2} + \frac{b_{23}}{T^4}$$

$$a_{12} = \frac{b_{24}}{T^2} + \frac{b_{25}}{T^3}$$

$$a_{13} = \frac{b_{26}}{T^2} + \frac{b_{27}}{T^4}$$

$$a_{14} = \frac{b_{28}}{T^2} + \frac{b_{29}}{T^3}$$

$$a_{15} = \frac{b_{30}}{T^2} + \frac{b_{31}}{T^3} + \frac{b_{32}}{T^4}$$

$$b_1 = -6.5455235227 E - 02$$

$$b_2 = 5.8893751817 E + 00$$

$$b_3 = -1.3761788409 E + 02$$

$$b_4 = 2.2693168845 E + 04$$

$$b_5 = -2.9262613296 E + 06$$

$$b_6 = -1.1923776190 E - 04$$

$$b_7 = -2.7214194543 E + 00$$

$$b_8 = 1.6925253680 E + 03$$

$$b_9 = 7.2942203182 E + 05$$

$$b_{10} = -1.1724519115 E - 04$$

$$b_{11} = 8.6864510013 E - 01$$

$$b_{12} = -3.0660168246 E + 02$$

$$b_{13} = -2.5664047742 E - 02$$

$$b_{14} = -2.4381835971 E + 00$$

$$b_{15} = -3.1603163961 E + 02$$

Donde T está en $K = ^\circ C + 273.15$

$$V = \frac{l}{mol}$$

$$V_c = 0.199334 \frac{l}{mol}$$

$$P = kPa$$

$$R = 0.08314471 \frac{bar \cdot l}{mol \cdot K}$$

Capacidad calorífica a presión constante

$$C_p = \frac{C_{p1} + C_{p2} \cdot T + C_{p3} \cdot T^2}{102.03}$$

Dónde:

$$C_{p1} = 19.4006$$

$$C_{p2} = 0.258531$$

$$C_{p3} = -1.29665 E - 04$$

- **Ecuación de Martin-Hou [6]**

Otra ecuación que nos brinda una amplia exactitud en el refrigerante R134a es la ecuación de Martin-Hou.

$$P = \frac{RT}{(\vartheta - b)} + \sum_i^5 \frac{\left(A_i + B_i T + C_i e^{\frac{-kT}{T_c}} \right)}{(\vartheta - b)^i} \quad \text{eq.(2.15)}$$

Constantes y valores en el (SI)

$$A_2 = -8.909485 E - 02$$

$$B_2 = 4.408654 E - 05$$

$$C_2 = -2.074834 E 00$$

$$A_3 = -1.016882 E - 03$$

$$B_3 = 2.574527 E - 06$$

$$C_3 = 2.142829 E - 02$$

$$A_4 = 1.778071 E - 05$$

$$B_4 = -4.016976 E - 08$$

$$C_4 = -2.977911 E - 04$$

$$A_5 = -7.481440 E - 08$$

$$B_5 = 1.670285 E - 10$$

$$C_5 = 1.255922 E - 06$$

$$K = 4.599967 \quad B = 3.76 E - 04$$

Capacidad calorífica a volumen constante.

$$C_v^\circ = a + bT + cT^2 + dT^3 + \frac{f}{T^2}$$

$$C_v^\circ = KJ/kg \cdot K$$

a, b, c, d son constantes

$$a = 3.154856 E + 00$$

$$b = -1.656054 E - 02$$

$$c = 4.353378 E - 05$$

$$d = -3.754497 E - 08$$

$$f = -3.023189 E + 04$$

Presión de vapor.

$$\log_{10} P_{sat} = A + \frac{B}{T} + C \cdot \log_{10} T + DT + E \left(\frac{[F - T]}{T} \right) \log_{10} (F - T)$$

$$P = kPa$$

$$T \text{ en } K = ^\circ C + 273.15$$

$$P = kPa$$

a, b, c, d, e, f son constantes

$$a = 4.069889 E + 01$$

$$b = -2.362540 E + 03$$

$$c = -1.306883 E + 01$$

$$d = 7.616005 E - 03$$

$$e = 2.342564 E - 01$$

$$f = 3.761111 E + 02$$

Densidad de liquido saturado

$$d_f = A_f + B_f(1 - T_r)^{(1/3)} + C_f(1 - T_r)^{(2/3)} + D_f(1 - T_r) + E_f(1 - T_r)^{(4/3)}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} (k)$$

$$d_f = kg/m^3$$

A_f, B_f, C_f, D_f, E_f son constantes

$$A_f = 5.281464 E + 02$$

$$B_f = 7.551834 E + 02$$

$$C_f = 1.028676 E + 03$$

$$D_f = -9.491172 E + 02$$

$$E_f = 5.935660 E + 02$$

En las ecuaciones de estado mencionadas es necesario ingresar algunos datos como, viscosidad, densidad, temperatura crítica, y la constante del gas refrigerante a la cual se le ha modificado la composición química, estos datos propios del compuesto se determinan en un laboratorio químico.

2.2.8 Síntesis.

La síntesis hace referencia a un proceso químico para obtener compuestos en base a sustancias simples.

La síntesis química se encarga principalmente en la producción de nuevas sustancias, pero además trata de desarrollar métodos económicos y eficientes para sintetizar sustancias naturales ya conocidas.

La síntesis ha podido ser desarrollada en la obtención de productos como plásticos, aceros adhesivos y otros materiales que no son posibles obtenerlos de forma natural.

Los productos obtenidos a través de la síntesis química se han desarrollado de manera muy acelerada, en la actualidad se obtiene aproximadamente 2000 productos nuevos cada día mediante síntesis, es posible obtener la ayuda de simulaciones para el desarrollo de la síntesis así teniendo una mayor exactitud y antes de experimentar en el laboratorio.

Para tener una mejor idea de la explicación de la síntesis se puede tomar en cuenta el proceso contrario, conocido como descomposición, que puede ser provocado por un agente externo en el cual a partir de una sustancia que es compuesta se provoca dos o incluso más sustancias de una estructura química más simple pero que son pertenecientes al producto original, se lo puede entender mejor por la siguiente ecuación.

$AB \rightarrow A + B$, o bien, $\text{Reactivo} \rightarrow A + B + \dots$ un claro ejemplo de descomposición puede ser la electrolisis del agua por mediante el cual se obtiene hidrogeno y oxígeno a partir del agua, la descomposición química muchas de las veces es conocida como una reacción química no deseada, que puede darse como ya se mencionó antes por agentes externos o también por condiciones exageradas como pueden ser el calor, humedad, electricidad.

“La descomposición química total de un compuesto origina los elementos que lo constituyen.

Reacción simple es cuando se unen 2 elementos para formar uno, y sustitución doble es cuando 2 moléculas intercambian un elemento entre sí para formar otra molécula.

Reacciones de síntesis: llamadas también de composición, que consiste en la unión de dos o más elementos o sustancias para formar un nuevo compuesto, ejemplos:” [3]

1. $H_2(\text{Hidrogeno}) + Cl_2(\text{Cloro}) \Rightarrow HCl$ (Ácido clorhídrico)
2. $Zn(\text{Zinc}) + O(\text{Oxigeno}) \Rightarrow ZnO$ (óxido de zinc)
3. $Li_2O(\text{Oxido de Litio}) + H_2O(\text{agua}) \Rightarrow Li_2(OH)$ Hidroxido de Litio
4. CO_2 (Anhidrido carbonico) + $CaO(\text{Oxido de Calcio}) \Rightarrow CaCO_3$ (Carbonato de calcio)
5. Ca (calcio) + O_2 (oxigeno) $\Rightarrow CaO(\text{Oxido de Calcio})$
6. $Fe_2O_3 + H_2O \Rightarrow HFeO_2$
7. $Cl_2O_7 + H_2O \Rightarrow HClO_4$
8. $MnO_3 + H_2O \Rightarrow H_2MnO_4$
9. $Na_2O + H_2O \Rightarrow 2HNaO$
10. $N_2 + O_2 \Rightarrow Na_2O_5$

2.2.8.1 Reactor químico

Un reactor químico puede llegar a ser muy fundamental en las composiciones químicas y en el desarrollo de nuevos productos, las operaciones que se llevan a cabo en ingeniería química como flujo de fluidos, transmisión de calor, transferencia de materiales y procesos de separación de compuestos químicos, constituyen una parte muy extensa en el estudio de la química. Sin embargo ya cuando se trata de producir un cambio de composición químico, la utilización de un reactor químico es muy esencial para lo cual se mencionara las más importantes reacciones químicas.

- Reacciones homogéneas: este tipo de reacción se refiere a las reacciones únicamente de un tipo de estado de la materia ya sea sólido, líquido o gaseoso.
- Reacciones heterogéneas: en este tipo de reacción a diferencia de las homogéneas requiere de al menos 2 estados de la materia para que se dé la reacción a las condiciones deseadas.

- Reacciones catalíticas: en este tipo de reacciones es necesario una sustancia o catalizador que inicie la reacción química caso contrario la reacción no tendrá inicio.
- Reacciones autocatalíticas: en este tipo de reacción, el elemento añadido actúa como un catalizador en este caso la reacción es mucho más veloz que en las reacciones catalíticas.
- Reacciones endotérmicas: en este tipo de reacción los elementos involucrados absorben calor del exterior.
- Reacciones exotérmicas: este tipo de reacciones a lo contrario de las endotérmicas lo que hacen es liberar calor hacia el exterior.

Muchas de las veces es necesario diseñar un reactor que se acople a ciertas características de un determinado producto, la finalidad del diseño de un reactor es la obtención de un producto en una cierta cantidad por unidad de tiempo a partir de reaccionantes conocidos que hayan sido previamente analizados para evitar cualquier inconveniente al momento de ingresarlos al reactor.

2.2.8.2 En el diseño de un reactor se debe tener en cuenta:

- El tipo de reactor que ha de utilizarse y su modo de operación. En este punto se analiza si se realizara la reacción mediante un proceso de flujo continuo o discontinua o si será híbrido, así como también se determinara si la operación del reactor será isotérmica, adiabática, o un intermedio entre estos, todo eso se determinara a partir de los reaccionantes que se vayan a ingresar.
- Estado físico de los reaccionantes a la entrada del reactor. En este punto del diseño del reactor lo que se intenta es definir las condiciones básicas del proceso, en lo que se refiere a presión, temperatura y composición de reaccionantes a la entrada del reactor.

Lo que se pretende con estos dos puntos en el diseño del reactor es:

- Definir el tamaño global del reactor, así como la ubicación de sus componentes, su configuración general y las dimensiones más importantes de las estructuras externas e internas.

- Tener en cuenta que a la salida del reactor exista una composición estado físico exacto. La composición de los productos debe estar, dentro de los límites impuestos por normas y especificaciones originales del proceso.
- Tener en cuenta que las temperaturas existentes en el interior del reactor sean las adecuadas así como un correcto control en la transferencia de calor todo esto debe ser realizado con una correcta instrumentación.
- Controlar en el reactor la presión de operación, así como la caída de presión que se puede llegar a dar debido al flujo de la mezcla de reacción.

2.2.8.3 Tipos de reactores

- **Reactores con transmisión de calor**

En este tipo de reactor se debe tener en cuenta que si no opera de forma adiabática es necesario incluir la transferencia de calor.

En la figura 2.12 se observan algunos tipos de reactores con transmisión de calor.

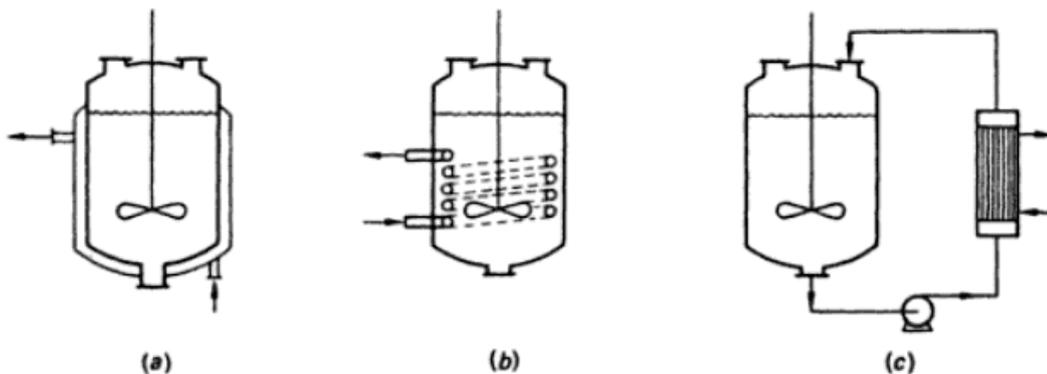


Figura 2.12 Reactores con transmisión de calor.

Fuente: (Coulson & Richardson, 2004)

- a) Camisa
- b) Serpentín interno
- c) Cambiadores de calor externos

En las figuras 2.12 “a” y 2.12 “b” se puede observar que la camisa y el serpentín están integrados como una sola parte del reactor, mientras que en la figura 2.12 “c” se utiliza un intercambiador de calor exterior con una bomba de recirculación. En este último tipo de reactor si uno de los componentes de la mezcla de reacción, es volátil a la temperatura de

operación, (como por ejemplo el disolvente), el cambiador de calor externo puede funcionar como un condensador de reflujo.

En la figura 2.13 se indican formas de diseño de reactores tubulares que incluyen la transmisión de calor.

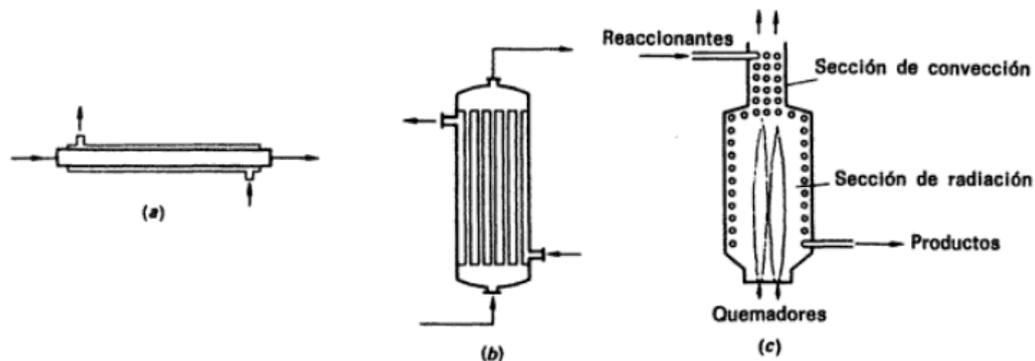


Figura 2.13 Diseños de reactores tubulares

Fuente: (Coulson & Richardson, 2004)

- a) Tubo encamisado
- b) Reactor de múltiples tubos (tubos en paralelo)
- c) Horno de tubos (los tubos están principalmente en serie. Aunque algunos pueden estar dispuestos en paralelo).

En este tipo de reactores cuando se requiere de una transferencia de calor elevada, la relación existente entre la superficie de transmisión de calor y el volumen del mismo también deberá ser elevada, por lo que el reactor se asemejará a un cambiador de calor.

- **Reactor discontinuo**

Un reactor discontinuo tiene la característica de que en el momento de la reacción, los elementos químicos no ingresan y tampoco salen, más que únicamente para la carga y descarga del material, mientras el material reacciona en el interior, se debe tener en cuenta las presiones, tiempos y temperaturas establecidas con anterioridad para evitar cualquier inconveniente, este tipo de reactor también es conocido como de tipo batch.

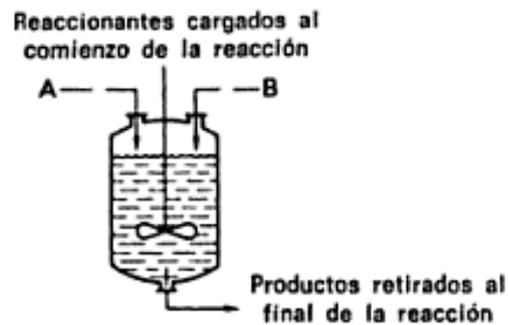


Figura 2.14 Reactor discontinuo.
Fuente: (Coulson & Richardson, 2004)

- **Reactor continuo**

En el reactor de tipo continuo la alimentación de elementos químicos es continua durante la reacción que se produce, y de la misma manera los productos de la reacción son descargados continuamente.

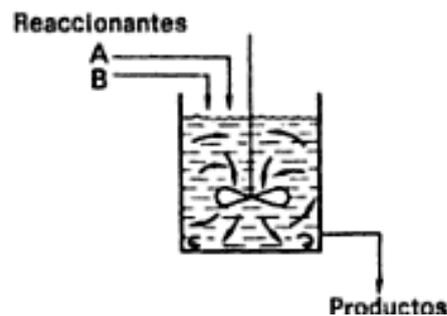


Figura 2.15 Reactor continuo.
Fuente: (Coulson & Richardson, 2004)

2.3 BANCOS DE PRUEBAS.

2.3.1 Generalidades

Los bancos de pruebas de refrigeración contiene todos los elementos utilizados en cualquier sistema de refrigeración como se observa en la figura 2.16 han sido desarrollados para poder realizar análisis de los componentes del banco así como el análisis del tipo de refrigerantes que se está utilizando, el análisis incluye la obtención de datos como las temperaturas, presiones, trabajo de las bombas y compresor, los bancos pueden utilizar un software para facilitarnos la obtención de datos o únicamente pueden darnos valores por medio de presostatos, termocuplas o diferentes dispositivos de medición.



Figura 2.16 Banco de pruebas.
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

Un sistema de refrigeración utiliza un sistema por compresión de vapor, esto es utilizado ya sea en un sistema de refrigeración industrial o en uno doméstico, es por eso que al momento de conocer un banco de pruebas es también necesario conocer el funcionamiento del sistema de refrigeración.

Se debe poner mucho énfasis en el ciclo de Carnot puesto que es el modelo del ciclo de refrigeración por compresión que mejor responde para este sistema de refrigeración.

2.3.2 Introducción a la refrigeración por compresión de vapor

La refrigeración por compresión de vapor es el método más utilizado a nivel industrial y doméstico, consiste en un circuito cerrado de recirculación de un fluido como se aprecia en la figura 2.17 el fluido es conocido como refrigerante, el cual cumple su ciclo pasando a través del evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión.

El proceso de refrigeración se inicia en el compresor el cual por medio de energía mecánica comprime el refrigerante, el compresor además es el encargado de la recirculación del fluido y de crear una diferencia de presión entre el evaporador y condensador, el gas circula por el condensador a elevada presión y las moléculas tratan de

unirse por lo que pierden calor y el gas pasa de un estado gaseoso a líquido para luego ingresar en la válvula de expansión la cual produce una caída de presión en el evaporador, por lo que al salir de dicha válvula se encuentra en un medio con baja presión, por lo que cambia su estado de líquido a gaseoso y además absorbiendo calor, finalizando así el ciclo y listo para repetirlo.

En cualquier instalación frigorífica por compresión, el refrigerante pasa por diversos cambios en su estado, es por ello que el refrigerante a ser usado tiene que cumplir ciertas cualidades para una mejor eficiencia en el equipo.

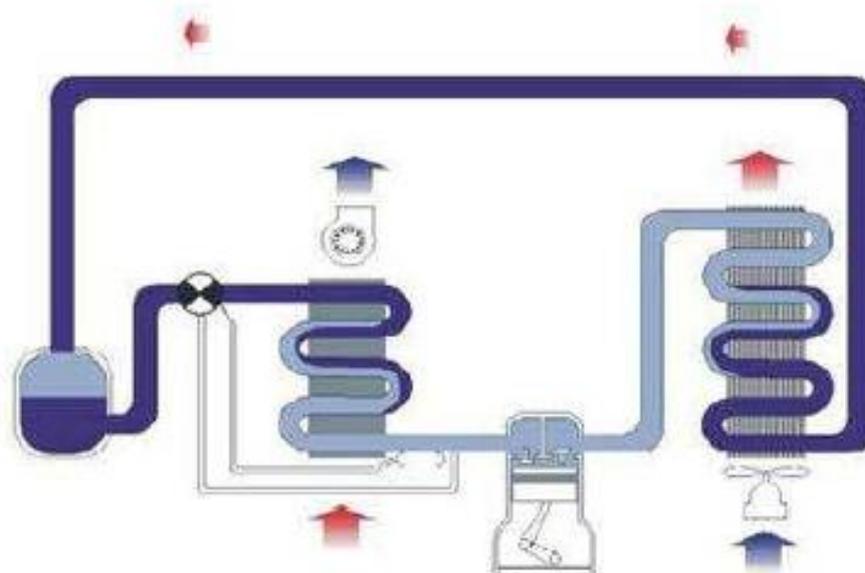


Figura 2.17 Ciclo de refrigeración.
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

2.3.3 Ciclo de Carnot

El ciclo de Carnot es el más importante en el estudio de ciclo de refrigeración puestos que es eficiente al operar entre dos temperaturas, y es un buen referente en la comparación con los ciclos reales, en la figura 2.18 se puede observar que el ciclo de Carnot consta de dos procesos isotérmicos (DA-CB), y dos procesos isoentropicos (DC-AB).

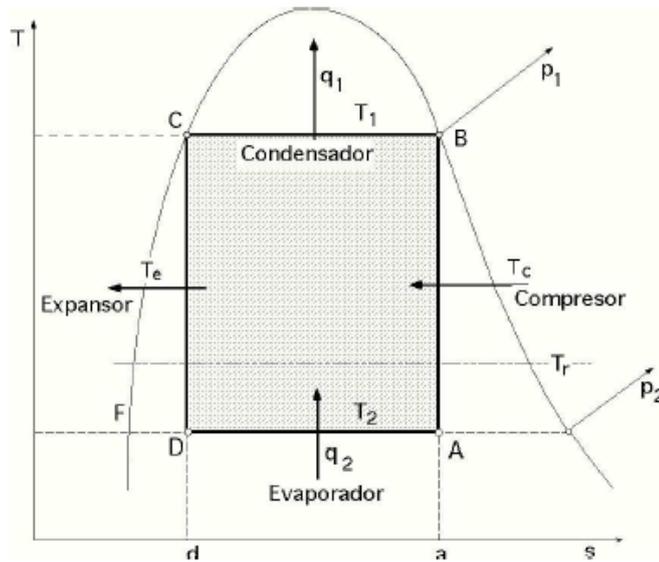


Figura 2.18 Ciclo de Carnot (T-S)
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

“Según la teoría de refrigeración por compresión de vapor, el ciclo de Carnot, y los diagramas (T-S) y (P-h), podemos decir que los elementos necesarios para una refrigeración doméstica en un banco de pruebas son; Compresor de embolo, condensador, válvulas de expansión y evaporadores” [4]

En la figura 2.19 se observa un diagrama (P-h) del ciclo ideal de refrigeración.

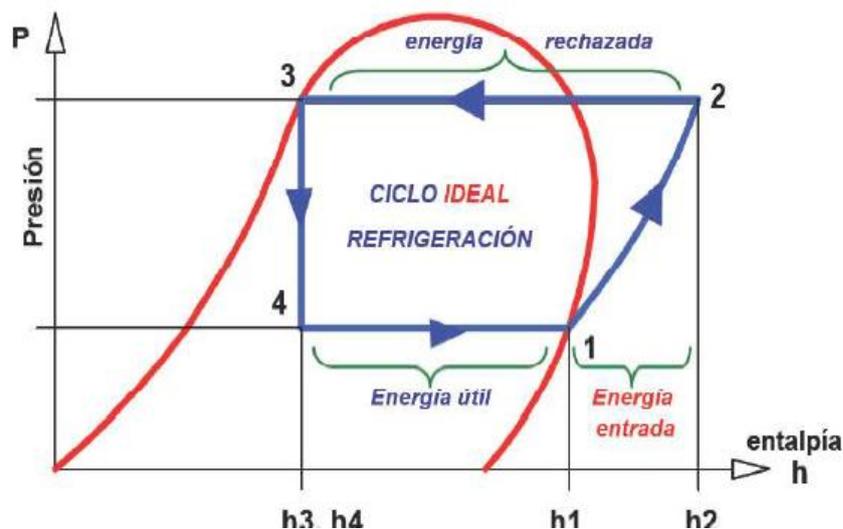


Figura 2.19 Diagrama (P-h) del ciclo teórico de refrigeración
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

2.3.4 Proceso de refrigeración.

El proceso de refrigeración consiste básicamente en la recirculación del fluido el cual debe pasar por todo el sistema optimizando la absorción de calor, en el grafico 2.20 se observa el ciclo de refrigeración con sus componentes principales, y en el grafico 2.21 se observa el diagrama presión entalpia en donde se indica el paso por los componentes del ciclo.

Una variación importante a tomar en cuenta del ciclo real frente al teórico se encuentra en el compresor y eso es debido a que este sufre recalentamientos o sub enfriamientos, en el resto de componentes pueden existir caídas de presión.

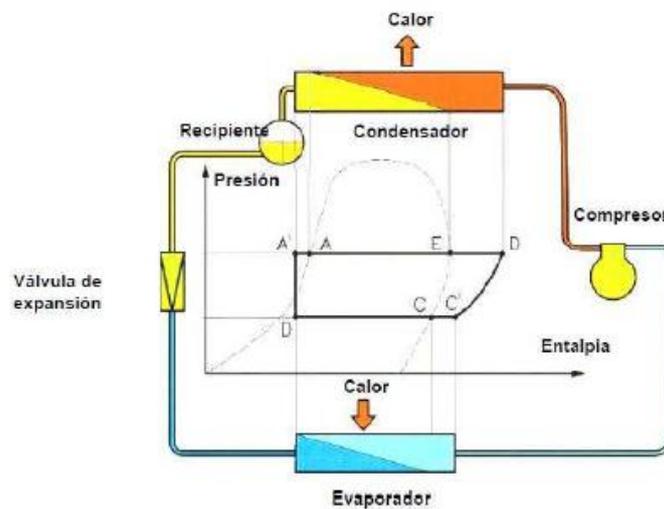


Figura 2.20 Ciclo de refrigeración (diagrama P - h)
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

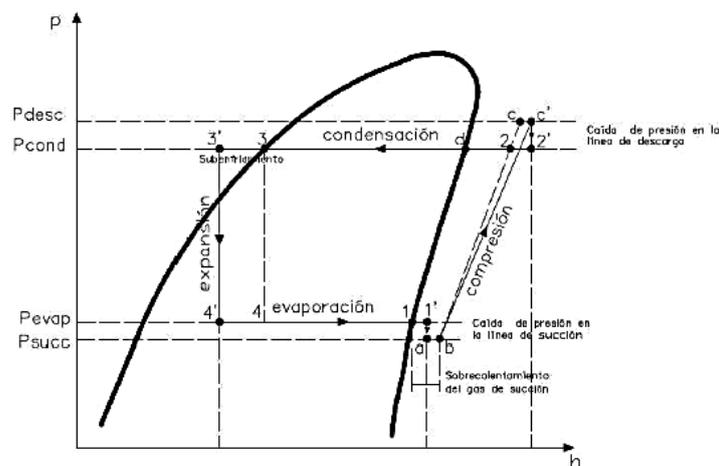


Figura 2.21 Diagrama (P-h) del ciclo real de refrigeración.
Fuente: (Martinez & Zambrano, 2011)

2.3.5 Selección de Equipos y componentes del Banco de Pruebas.

Para realizar una correcta selección de equipos y componentes de un banco de pruebas de refrigeración es necesario tener un conocimiento bien definido de termodinámica y en base a estos conocimientos realizar la correcta selección en base a catálogos que nos facilitan diferentes proveedores, de los cuales se puede encontrar diferentes calidades, precios, eficiencias, etc utilizando diferentes parámetros se puede proceder con la selección de los equipos o componentes.

Los parámetros deberán ser tomados en cuenta el fluido a utilizar, datos de la cámara de enfriamientos, potencia frigorífica, temperatura de evaporación, potencia del compresor, temperatura de la condensación.

En la unidad de refrigeración que hay en el taller mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana, se realizaron pruebas para poder saber el comportamiento real del refrigerante R-134a. Este banco de pruebas consta de todos los elementos antes mencionados para garantizar el correcto funcionamiento de este proceso, unos controladores de presión y temperatura en algunos puntos claves del sistema y están conectados a un software que permite graficar los comportamientos del líquido en diferentes circunstancias.

La pantalla principal del programa tiene la presentación que observamos en la figura 2.36, en donde lo que tenemos que hacer es ejecutar el encendido de las bombas, e ir graduando el porcentaje de bombeo de cada una de ellas, y también podemos variar la velocidad del compresor, para luego dar a conocer cada cuantos segundos se desea la toma de muestra y el número de muestras del muestreo del sistema. En el misma pantalla encontramos un icono llamado “Power on” que nos sirve para el encendido general, otro llamado “motor on” para el encendido del motor del compresor.

Tenemos que tomar mucha atención a la parte inferior de la pantalla porque ahí nos muestra si es que se está dando temperaturas demasiado altas o bajas en los puntos de control más importantes del sistema.

Además en el diagrama del sistema en cada uno de los puntos se está controlando calor de salida, de ingreso, flujos de agua, torques, trabajos, y diferentes temperaturas.



Figura 2.22 Banco de pruebas de refrigeración.
Fuente: (Venegas, 2012)

“El equipo denominado RA1 (Figura 2.22) es un sistema de compresión de vapor el cual es controlado por medio de un ordenador y del software RA1 refrigeración.

Los componentes del proceso están montados sobre un bastidor de metal que está diseñado para estar en la parte superior del depósito de agua. El depósito de agua está diseñado para estar en el suelo. Conectores de unión rápida auto sellantes y los tubos flexibles se conectan del depósito a la unidad de refrigeración.

La velocidad del compresor puede ser variada y el par se puede medir a través de un inversor que permite cambios en el desempeño de velocidad y el par puede estar conectado continuamente.

El condensador y evaporador que se utilizan son intercambiadores de calor de placas soldadas con agua como medio de transferencia térmica que permite el equilibrio de la energía total que se generará y las condiciones en el condensador y evaporador pueden variarse con precisión y de forma independiente usando bombas de velocidad variable, la misma que es fijada en el software, además que el flujo de agua a través de cada intercambiador de calor es independiente dependiendo de la velocidad de la bomba respectiva.

El equipo RA1 está instrumentado con sensores electrónicos de medición de temperaturas a lo largo del proceso, la presión en ambos lados de la velocidad de flujo de agua a través del compresor y el condensador y evaporador, son medidos permitiendo que todos estos parámetros se registren continuamente.

Dos indicadores tipo Bourdon para el refrigerante indican la presión y la temperatura del refrigerante correspondiente a ambos lados del compresor y este es independiente de los sistemas electrónicos.

La fuente de depósito de agua a una temperatura estable y la presión en el condensador y evaporador eliminan las fluctuaciones del sistema. La tasa de flujo de refrigerante también se mide por un caudalímetro de área variable.

La válvula de expansión puede ajustarse para cambiar el punto de funcionamiento, lo cual se conoce como recalentamiento de ajuste. Esta válvula permite que el refrigerante líquido se expanda a través de un agujero de diámetro pequeño causando que el refrigerante disminuya su temperatura considerablemente. El flujo del refrigerante es variado por el termostato dentro de la válvula que está conectado a un detector de temperatura adjunto a la tubería de salida del refrigerante en el evaporador. Luego de la válvula de expansión el refrigerante es 90% líquido y 10% vapor, y el flujo es regulado automáticamente por el termostato que no permite que el evaporador sobrecargado o descargado de refrigerante.

El compresor es impulsado por un motor eléctrico trifásico con un variador que permite alcanzar velocidades de funcionamiento diferentes. El inversor incorpora control vectorial de par y permite que la velocidad y el torque del motor puedan ser medidos y registrados por el PC de control.

La refrigeración por agua del condensador y evaporador de agua caliente utilizan una reserva de agua para reducir al mínimo los cambios en la presión del agua o la temperatura durante la operación. El uso de un depósito para recircular el agua misma continuamente también elimina la necesidad de una conexión de red de agua permanente o el agua que fluye continuamente a la fuga.

El uso de agua como medio de transferencia de calor en el condensador y el evaporador permite un balance energético completo del proceso que se llevará a cabo y los resultados a medir son por ende precisos.

La unidad es totalmente autónoma, que sólo requiere la conexión a un suministro eléctrico y un equipo adecuado. El equipo se suministra con el software necesario e incorpora un dispositivo de interfaz USB del ordenador para conexión directa a un PC.

El refrigerante empleado por el sistema es el 134a, debido a que es amigable con el medio ambiente.

El equipo posee una mirilla para control del refrigerante líquido que pasa por el sistema luego de salir del condensador. En este punto del sistema ninguna burbuja de aire o vapor debe estar presente. Este hecho es muy importante en un sistema con válvula de expansión termoestática debido a que el flujo a través de la válvula se volverá inestable si existe vapor presente. El anillo de color verde colabora con el control ya que cambiará a color amarillo en caso de existir vapor o burbujas de aire en el sistema hasta este punto”. [5]

Otros datos importantes del equipo son:

- Rango de velocidad del compresor: 200 a 1050 RPM
- Potencia de salida del motor: 0,37 kW
- Capacidad de trabajo del tanque de agua: 400 litros
- Sensores de temperatura: tipo termistor, rango de -10 a 60 ° C.
- Medidor de caudal de refrigerante: tipo de área variable, entre 9 -38 l / h
- Tanque de agua: Longitud: 1,2 m, Anchura: 0,6 m, Altura: 0,84 m.

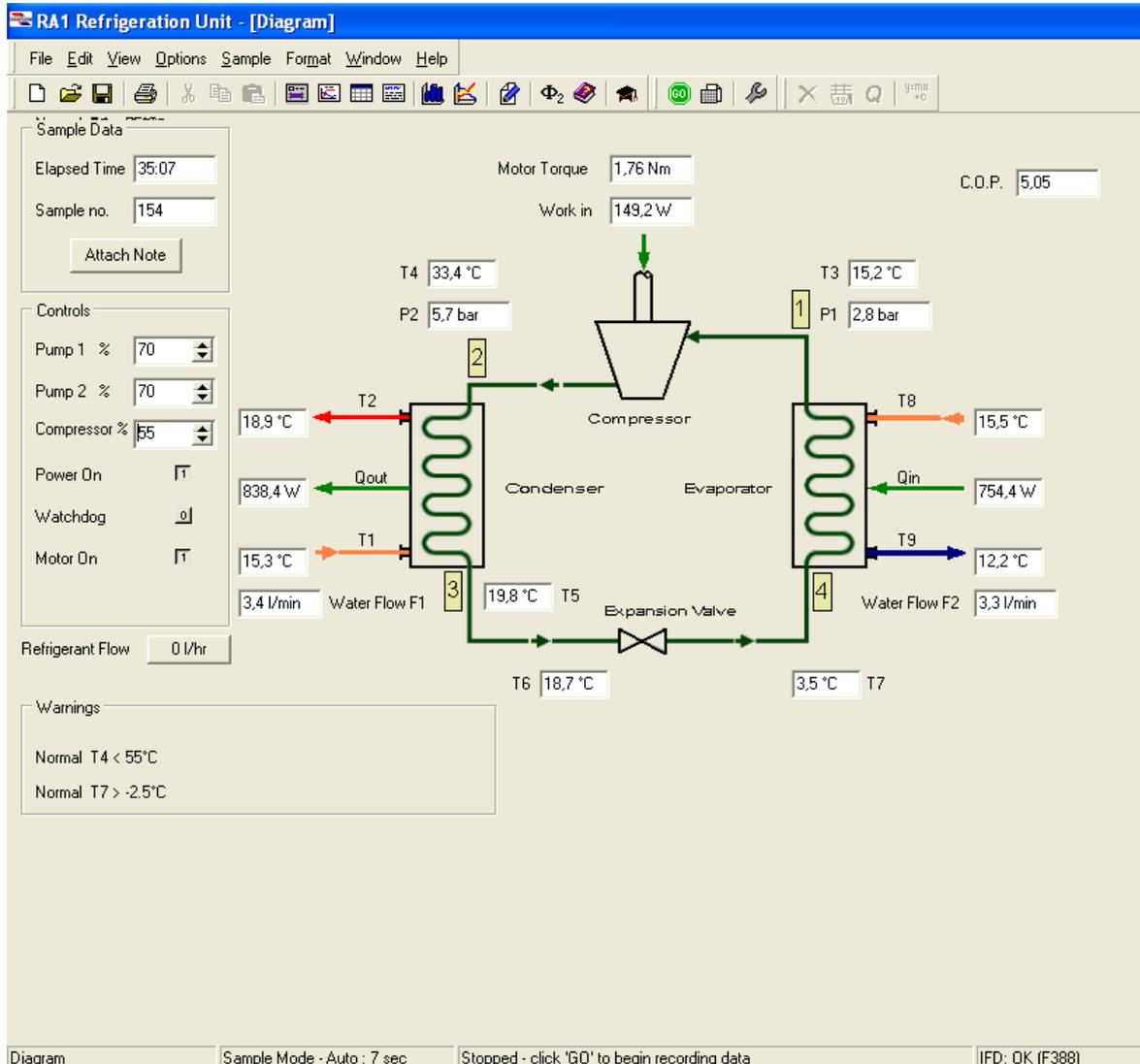


Figura 2.23 Ventana principal software RA1
Fuente: (Autores)

El muestreo se configura bajo diferentes parámetros, nosotros hemos elegido dejar la presión de las bombas en un 70%, y el compresor un 55%, y los resultados obtenidos en los gráficos fueron los siguientes:

El primero es una relación de comparación de trabajo entre las dos presiones que tienen las bombas, como podemos observar la presión de la bomba 2 es mayor que la bomba 1, y es lógico porque la bomba 2 se encuentra luego del compresor, que es el que va a elevar la presión del fluido de trabajo (Figura 2.24).

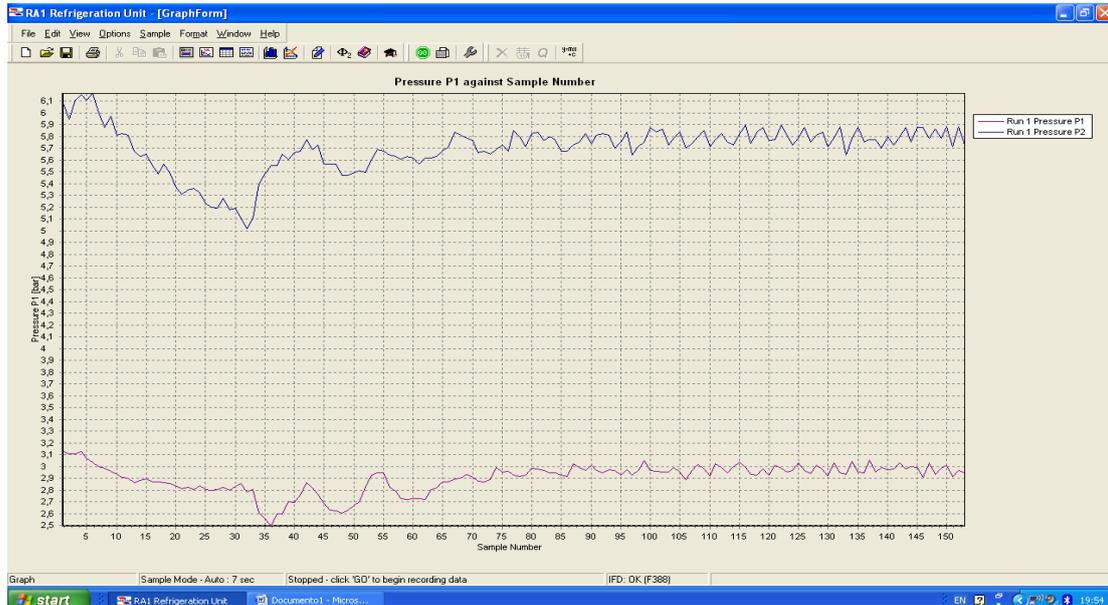


Figura 2.24 Grafica de presión
Fuente: (Autores)

Otra grafica obtenida es la relación de temperaturas en todos los puntos del sistema (Figura 2.25) en donde podemos observar claramente que la menor temperatura mostrada es la T7, que es la temperatura de salida después de la válvula de expansión, porque la temperatura obligatoriamente tiene que bajar al provocarse un expansión del fluido y la mayor será en el punto T4 que se encuentra luego del compresor.



Figura 2.25 Grafica de temperatura
Fuente: (Autores)

Tabla 2.1 Valores de temperaturas de los puntos indicados en la gráfica 2.25

Elapsed Time	Sample Number	Notes	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]
00:00	1		14,7	17,2	11,1	25,3	15,1	16,1	6,5	14,9	13,1
00:07	2		14,7	17,2	10,5	25,4	15,1	16,0	6,5	14,9	13,1
00:14	3		14,7	17,3	9,8	25,4	15,1	15,8	6,6	14,9	13,0
00:21	4		14,7	17,3	9,5	25,5	15,1	15,8	6,6	14,9	13,1
00:28	5		14,7	17,3	9,3	25,4	15,0	15,7	6,4	14,9	13,0
00:35	6		14,7	17,3	9,2	25,3	15,0	15,6	6,3	14,9	13,0
00:42	7		14,7	17,4	9,2	25,2	15,0	15,5	6,0	14,9	13,0
00:49	8		14,8	17,4	9,3	25,1	15,0	15,5	5,8	14,9	13,1
00:56	9		14,8	17,4	9,5	25,0	14,9	15,5	5,6	14,9	13,1
01:03	10		14,8	17,5	9,6	24,9	14,9	15,5	5,3	14,9	13,1
01:10	11		14,8	17,5	9,8	24,8	14,9	15,4	5,1	14,9	12,9
01:17	12		14,8	17,5	9,8	24,8	14,9	15,4	5,0	14,9	13,1
01:24	13		14,8	17,5	9,9	24,7	14,9	15,3	4,9	14,9	13,1
01:31	14		14,8	17,5	9,7	24,6	14,9	15,3	4,8	14,9	13,0
01:38	15		14,8	17,5	9,2	24,5	14,9	15,3	4,8	14,9	13,0
01:45	16		14,8	17,5	9,0	24,4	14,9	15,2	4,8	14,9	13,0
01:52	17		14,8	17,5	8,9	24,3	14,9	15,2	4,7	14,9	13,0
01:59	18		14,8	17,6	8,8	24,1	14,9	15,2	4,7	14,9	12,9
02:06	19		14,8	17,6	8,7	23,9	14,9	15,2	4,6	14,9	12,9
02:13	20		14,8	17,6	9,0	23,8	14,9	15,2	4,5	14,9	12,9
02:20	21		14,8	17,6	9,1	23,6	14,9	15,2	4,4	14,9	12,9
02:27	22		14,8	17,6	9,2	23,5	15,0	15,2	4,3	15,0	13,0
02:34	23		14,8	17,6	9,2	23,3	14,9	15,1	4,3	15,0	12,9
02:41	24		14,8	17,6	9,3	23,2	15,0	15,2	4,2	14,9	12,9
02:48	25		14,8	17,6	9,2	23,1	15,0	15,1	4,2	14,9	12,9
02:55	26		14,8	17,6	8,8	22,9	15,0	15,1	4,1	14,9	12,9
03:02	27		14,8	17,6	8,6	22,8	15,0	15,1	4,1	14,9	12,9
03:09	28		14,8	17,6	8,6	22,8	15,0	15,1	4,1	14,9	12,9
03:16	29		14,8	17,6	8,2	22,6	15,0	15,1	4,1	14,9	12,9
03:23	30		14,8	17,6	7,8	22,5	15,1	15,0	4,1	14,9	12,9
03:30	31		14,8	17,6	7,9	22,4	15,2	15,0	4,1	14,9	12,8
03:37	32		14,8	17,6	8,2	22,3	15,3	15,0	4,1	14,9	12,9
03:44	33		14,8	17,6	8,7	22,2	15,4	15,0	4,0	14,9	12,9
03:51	34		14,8	17,7	9,8	22,2	15,6	15,0	3,7	14,9	12,8
03:58	35		14,8	18,2	10,6	22,9	16,5	15,0	3,1	14,9	12,6
04:05	36		14,8	18,6	11,2	23,7	17,2	15,0	2,5	14,9	12,5
04:12	37		14,8	18,8	11,8	24,0	17,4	15,0	2,2	14,9	12,4
04:19	38		14,8	18,9	12,3	24,3	17,3	15,0	2,1	14,9	12,3
04:26	39		14,8	19,0	12,8	24,4	17,1	15,1	2,3	14,9	12,2
04:33	40		14,8	19,0	13,2	24,4	17,0	15,1	2,6	14,9	12,2
04:40	41		14,8	19,1	13,5	24,3	16,9	15,1	3,1	14,9	12,1
04:47	42		14,8	19,1	13,7	24,3	17,1	15,2	3,8	14,9	12,0

04:54	43		14,8	19,2	13,8	24,2	17,5	15,2	4,3	15,0	11,9
05:01	44		14,9	19,3	13,8	24,2	18,0	15,3	4,3	15,0	11,9
05:08	45		14,8	19,3	13,8	24,3	18,8	15,4	4,0	15,0	12,0
05:15	46		14,8	19,2	13,9	24,3	19,2	15,5	3,7	15,0	12,1
05:22	47		14,9	19,2	14,0	24,3	19,5	15,6	3,1	15,0	12,2
05:29	48		14,8	19,1	14,1	24,4	19,7	15,7	2,9	15,0	12,2
05:36	49		14,9	19,1	14,2	24,6	20,0	15,8	2,7	15,0	12,2
05:43	50		14,8	19,1	14,3	24,8	20,1	15,9	2,8	15,0	12,1

Además es importante realizar la gráfica del torque del motor de la bomba (Figura 2.26) para analizar la variación del torque durante el trabajo.

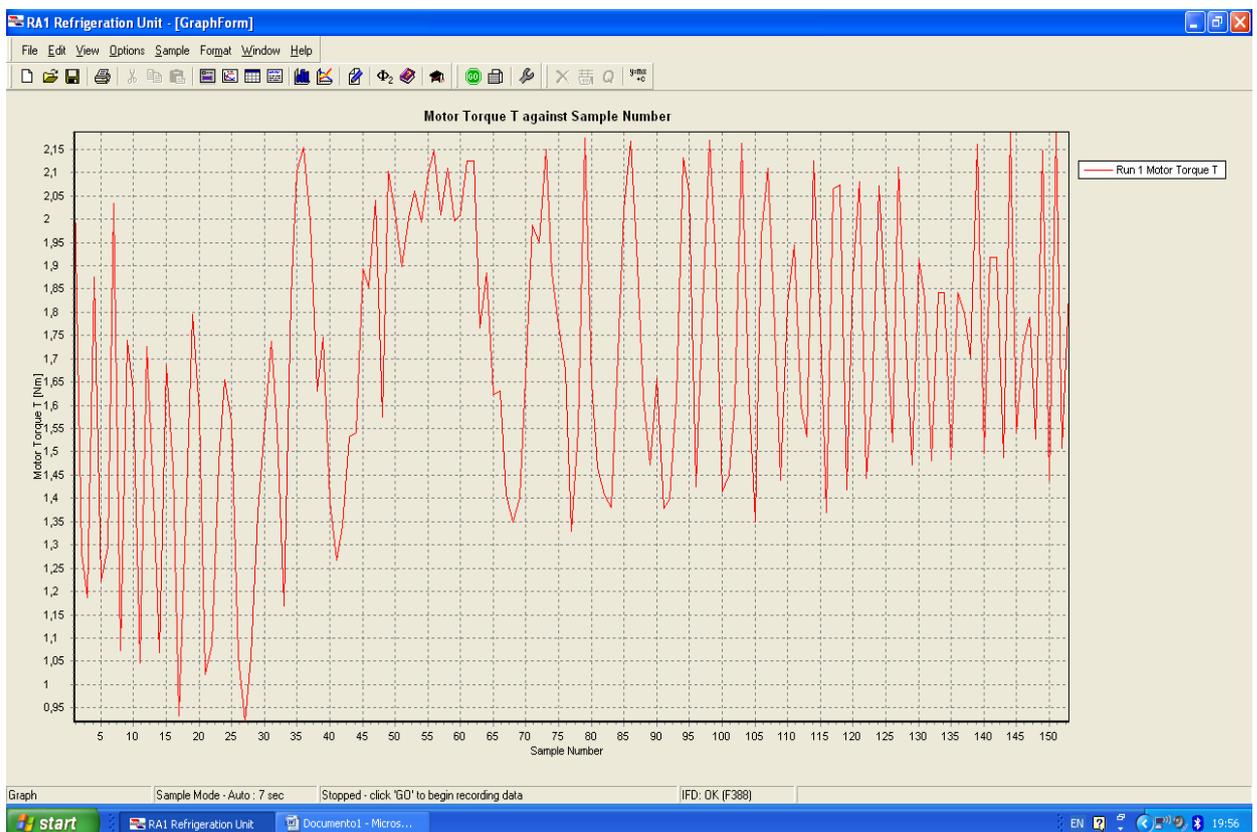


Figura 2.26 Grafica de torque de motor

Fuente: (Autores)

El gráfico del flujo de agua (Figura 2.27) en el punto 1 que está situado después de la salida del condensador, y el punto 2 que está ubicado después de la válvula de expansión, en donde F1 es menor por ser un punto que está ubicado después de la salida del condensador, entonces es lógico que la velocidad sea menor que cuando está después de la válvula de expansión.

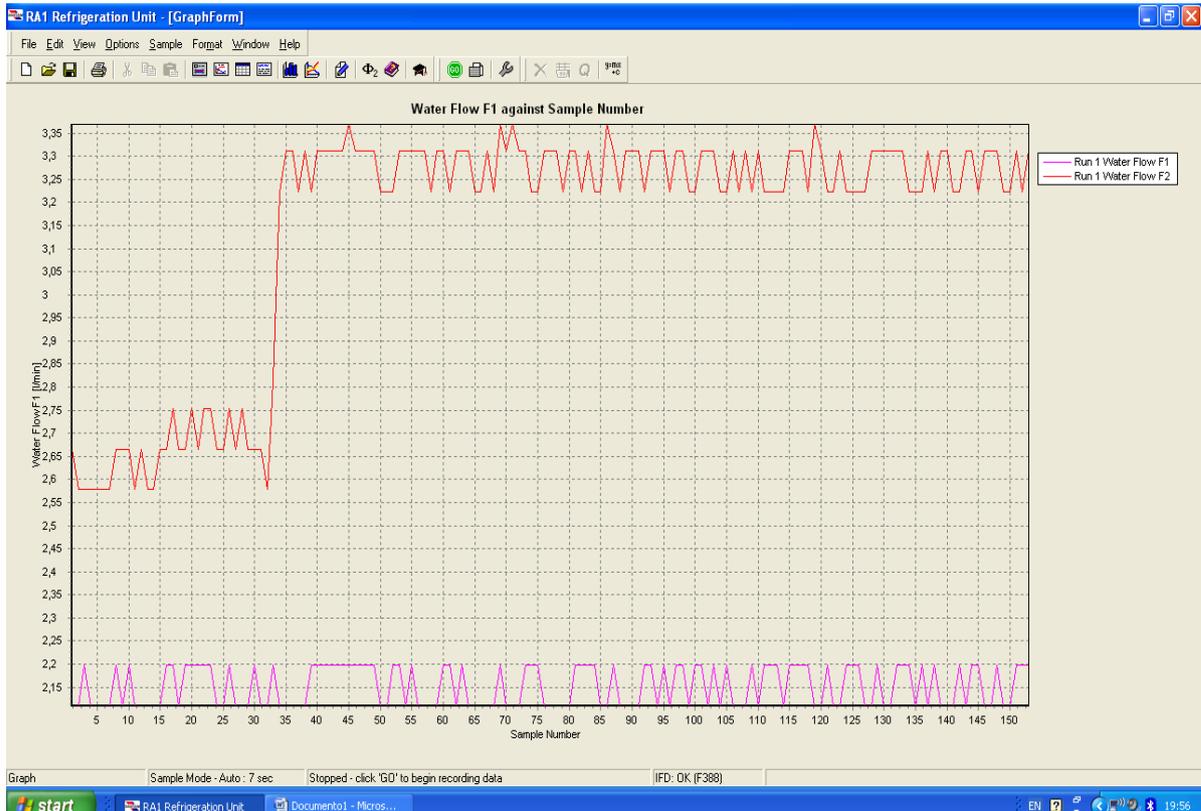


Figura 2.27 Grafica de flujo de agua
Fuente: (Autores)

2.4 Software.

En la actualidad se cuenta con una amplia gama de programas que facilitan el desarrollo de ejercicios, y la comprensión de las teorías de la termodinámica, además de las propiedades que pueden tener los fluidos en ciertas aplicaciones reales.

El comportamiento de los líquidos es fácilmente simulado en la mayoría de los programas que se pueden encontrar y descargar del internet de forma gratuita, también se puede hacer ciertas simulaciones del comportamiento de estos en el momento de trabajar en una situación determinada, a más de cambiar porcentajes de los componentes del fluido y analizar los resultados.

La siguiente parte nos da a conocer los diferentes programas que se encuentran disponibles para termodinámica, se trata de software libres que se pueden descargar en el internet.

Cada uno de estos tiene aplicaciones que a continuación las describiremos brevemente.

2.4.1 Steam Tab



Este software brinda las propiedades del vapor, del agua y ciertos refrigerantes, a distintas temperaturas y presiones en rangos de temperatura: 190-5,000 K; presión: 0 a 100.000 bar.

Este software permite en una hoja de cálculo examinar un gran número de escenarios de diseño para la optimización además permite visualizar los resultados en grandes tablas y gráficos [_ \(http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com\)](http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com)

2.4.2 CyclePad



Este programa permite la posibilidad de analizar e incluso construir ciclos termodinámicos en los cuales se pueden realizar modificaciones a los distintos elementos para analizar diferentes resultados en distintos casos, es un software muy útil en termodinámica. [\(http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com\)](http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com)

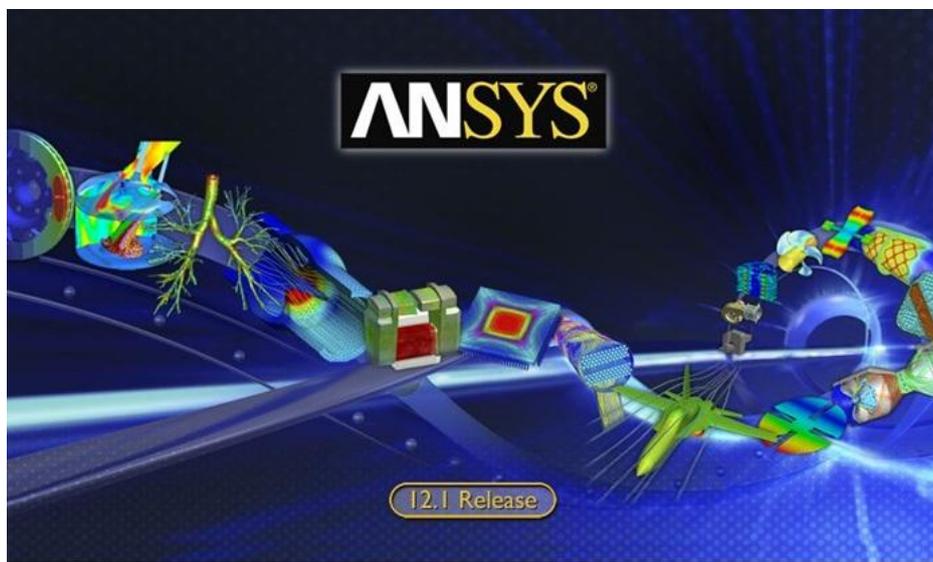
2.4.3 TPX

Este software permite ingresar funciones y el cálculo de propiedades termodinámicas de los fluidos, nos da la posibilidad de obtener tablas y gráficos. [\(http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com\)](http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com).

2.4.4 Propagua y propagas

Son dos programas informáticos; Propagua que permiten el cálculo de propiedades del vapor de agua siendo una herramienta muy buena, permitiendo incluso el análisis completo de una central térmica. Y progases permite el cálculo de propiedades de los gases más frecuentes, incluso gases de combustión, en estado de gas perfecto. (<http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com>).

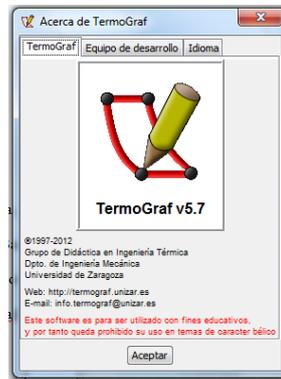
2.4.5 Ansys



Un programa universal para el método de elementos finitos (FEM), es muy popular entre los profesionales en el campo de la ingeniería asistida por ordenador (CAE, Computer-Aided Engineering) y soluciones de la CE de lineal y no lineal, estable e inestable en tres dimensiones. ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Especialmente útil para problemas de mecánica de sólidos y la mecánica de estructuras, incluida la no-estacionario geométrica y física problemas no lineales de la interacción de contacto de los elementos estructurales, los problemas de dinámica de fluidos, transferencia de calor y transferencia de calor, la electrodinámica, la acústica, y los campos relacionados con la mecánica. Modelado y análisis en algunas áreas de la industria para

evitar los ciclos de desarrollo largo y costoso del “diseño - prueba - la fabricación”. El sistema funciona sobre la base del núcleo Parasolid geométricas.

2.4.6 Termograf



Termograf (Figura 2.28) es un software el cual está especializado en el cálculo de distintas propiedades termodinámicas permitiendo graficar distintos estados, procesos y ciclos directamente sobre graficas termodinámicas, permite también la configuración de sustancias, unidades, además se puede crear tablas termodinámicas, se trata de un software de uso libre y gratuito.

Entre las gráficas que se pueden realizar tenemos las siguientes: Pv, Ts, Ph, hs, Tv, PT, Ps, Th, hv, sv

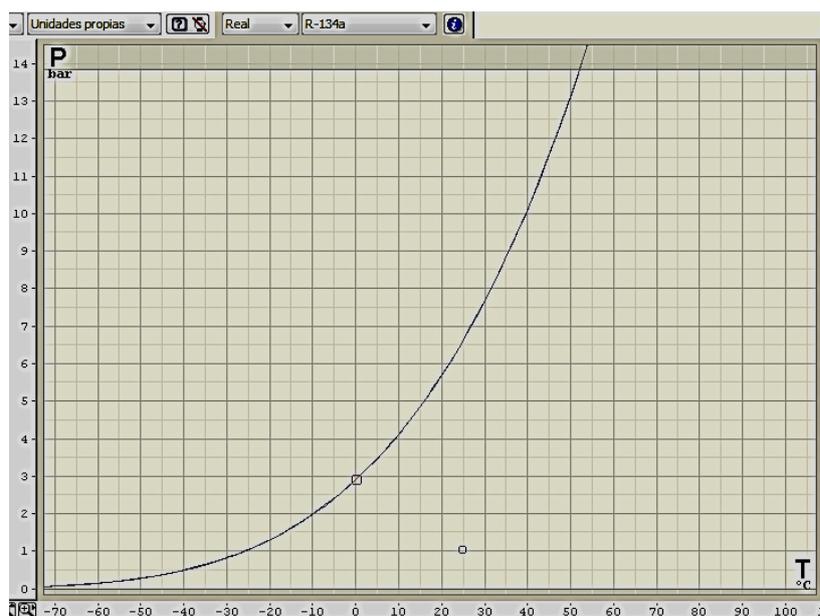
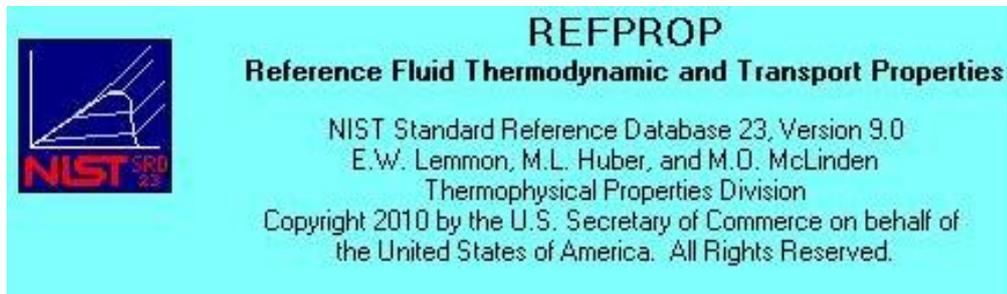


Figura 2.28 Grafica presión temperatura del refrigerante R 134a

Fuente: (Autores)

2.4.7 Refprop



El programa refprop nos permite analizar ecuaciones de estado para la determinación de tablas y gráficas. Además realiza mezclas entre los diferentes refrigerantes que posee en su extensa biblioteca, incluye los parámetros binarios de interacción para los siguientes fluidos: argón, gas butano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, decano, etano, helio, heptano, hexano, hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, isobutano, isopentano, metano, nitrógeno, nonano, octano, oxígeno, pentano, propano, y el agua.

Es un software de uso libre que se lo puede descargar en el siguiente enlace.

(<http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com>)

Este software nos brinda información sobre diferentes fluidos refrigerantes, en nuestro caso obtuvimos información acerca del refrigerante R 134^a con los siguientes datos

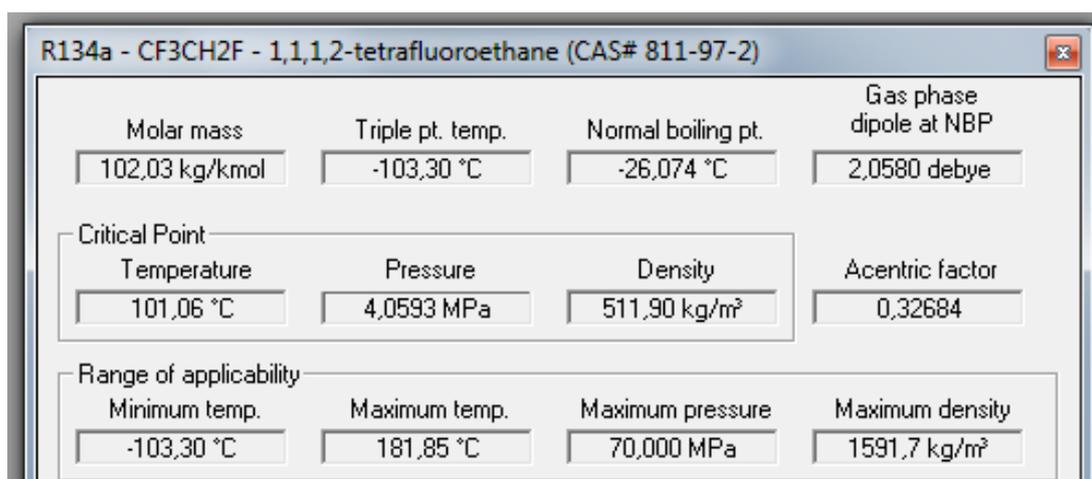


Figura 2.29 Grafica de propiedades del refrigerante R 134a

Fuente: (Autores)

Por medio del programa refprop podemos determinar las tablas de saturación del refrigerante R 134 a, en la siguiente tabla se ha determinado las diferentes propiedades en un rango de temperaturas de -30 a 30 °C

2: R134a: V/L sat. T=-30,000 to 30,000 °C

	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-30,000	0,084378	1388,4	4,4259	160,79	380,32	0,84863	1,7515
2	-25,000	0,10640	1373,4	5,5059	167,19	383,45	0,87460	1,7461
3	-20,000	0,13273	1358,3	6,7845	173,64	386,55	0,90025	1,7413
4	-15,000	0,16394	1342,8	8,2870	180,14	389,63	0,92559	1,7371
5	-10,000	0,20060	1327,1	10,041	186,70	392,66	0,95065	1,7334
6	-5,0000	0,24334	1311,1	12,077	193,32	395,66	0,97544	1,7300
7	0,00000	0,29280	1294,8	14,428	200,00	398,60	1,0000	1,7271
8	5,0000	0,34966	1278,1	17,131	206,75	401,49	1,0243	1,7245
9	10,000	0,41461	1261,0	20,226	213,58	404,32	1,0485	1,7221
10	15,000	0,48837	1243,4	23,758	220,48	407,07	1,0724	1,7200
11	20,000	0,57171	1225,3	27,780	227,47	409,75	1,0962	1,7180
12	25,000	0,66538	1206,7	32,350	234,55	412,33	1,1199	1,7162
13	30,000	0,77020	1187,5	37,535	241,72	414,82	1,1435	1,7145

Figura 2.30 Tabla de saturación del refrigerante R 134a

Fuente: (Autores)

2.4.8 EES



El software EES (Engineering Equation Solve) nos permite la resolución de ecuaciones algebraicas, ecuaciones diferenciales y ecuaciones con variables complejas, además se puede resolver problemas comunes en el campo de la termodinámica ya que contiene muchas funciones de propiedades termo físicas, permitiéndonos comprobar y apreciar con una mayor exactitud resultados de sistemas termodinámicos.

2.5 CONCLUSIONES:

- Mediante diferentes procedimientos realizados en laboratorios es posible determinar propiedades importantes del refrigerante, para ello se necesita conocimientos acerca del manejo de equipos propios de un laboratorio de química.
- Las ecuaciones de estado nos brindan información muy exacta acerca del comportamiento de un refrigerante por lo que son utilizados en todos los software de uso termodinámico.
- Es confiable utilizar cualquier software de uso termodinámico ya que todos se basan en ecuaciones de estado, la diferencia entre los software es la limitación que da para resolver diferentes problemas.
- Al utilizar un banco de pruebas se puede obtener información importante de un refrigerante y de sus propiedades termodinámicas, pero especialmente se puede observar el comportamiento de los componentes de un banco de refrigeración frente al refrigerante.

2.6 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 2

1. Urquiaga, F., & Hipolito, F. (2010). Densidad y volumen específico de sólidos y/o líquidos. Perú.
2. Carmona, G. (2007). *Evaluación de Refrigerantes para el Sistema de Enfriamiento de los Motocompresores ubicados en la Superintendencia de Plantas del Distrito San Tomé*. Tesis de ingeniero químico, Universidad del Oriente.
3. Babor, J. (2005). *Química general moderna* (6ta ed.). Marín.
4. Martínez, J., & Cesar, Z. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de refrigeración por compresión de vapor de 1HP de capacidad que usa refrigerante R404A con variación del medio de transferencia de calor en el evaporador y del control de flujo de refrigerante*. Tesis de ingeniero mecánico, Escuela Politécnica del Ejército.
5. Venegas, G. (2012). *Elaboración e implementación de las guías de los laboratorios*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Politécnica Salesiana.
6. DuPont Suva. (2004). *Propiedades Termodinámicas HFC-134a*.

CAPITULO 3

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL REFRIGERANTE R-134a AL MODIFICAR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO.

3.1 ANTECEDENTES

Para establecer de manera física una modificación de la composición química de un refrigerante se necesitaría diseñar un reactor químico que permita por medio de un proceso de síntesis la modificación de componentes de un refrigerante, el inconveniente en nuestro medio es que no se dispone de reactores, fundamentalmente por ser costoso y de diseño complicado, además para la simulación de refrigerantes modificando su composición química se necesita ingresar datos del refrigerante con la modificación realizada, estos datos deben ser ingresados en las ecuaciones de estado, que son las que me permiten determinar las tablas termodinámicas, es por esta razón que para presentar una estrategia adecuada como propuesta de modificación de la composición química para este documento se ha decidido mezclar el refrigerante R134a con los refrigerantes naturales R600a y R290, que son los más utilizados actualmente en refrigeración doméstica, por ser conocidos por sus ventajas termodinámicas y además por tratarse de hidrofluorocarbonos HFC los cuales tienen un valor de cero potencial de daño a la capa de ozono. Para obtener las mezclas será necesario establecer varios paquetes de porcentajes de masa de cada refrigerante, mismos con los que mediante la utilización de un software especializado como el EES y el REFPROP, se podrá realizar el cálculo en un ciclo para obtener los resultados de: Temperatura evaporador, Temperatura condensador, Presión de descarga del compresor, Temperatura a la salida del condensador.

3.1.1 Ciclo ideal de Refrigeración

En el ciclo ideal no se consideran las caídas de presión ni el rozamiento, ni la transferencia de calor a los alrededores, en la compresión no hay irreversibilidades y estas son ignoradas en el condensador y el evaporador, además el proceso de la compresión es isentropico.

En la figura 3.1 se puede observar el ciclo ideal con sus respectivos procesos.

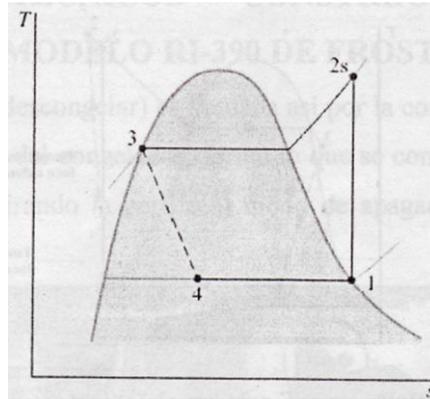


Figura 3.1. Diagrama T-s ciclo ideal de compresión de vapor.

Fuente: (Cengel & Boles, 2009)

“Proceso 1-2s: compresión isentrópica del refrigerantes desde el estado 1 a la presión del condensador al estado 2s.

Proceso 2s-3: transferencia de calor del refrigerante que fluye a presión constante a través del condensador. El refrigerante sale como liquido en el estado 3.

Proceso 3-4: proceso de estrangulación del estado 3 a dos fases liquido-vapor en el estado 4.

Proceso 4-1: transferencia de calor al refrigerante que fluye a presión constante a través del evaporador para completar el ciclo.” [1]

3.1.2 Ciclo real de Refrigeración

En el ciclo real de refrigeración de tomaran en cuenta los efectos fricciones lo que incrementara la transferencia de calor y la entropía, además el refrigerante puede sobrecalentarse a la entrada del compresor y subenfriarse a la salida del condensador, hay que tomar en cuenta que en el ciclo real el compresor no es isoentropico

“comparando el ciclo 1-2-3-4-1 con el ciclo ideal correspondiente 1-2s-3-4-1, la capacidad de refrigeración es en ambos la misma, pero el trabajo consumido es mayor en el caso de la compresión irreversible que en el ciclo ideal, consecuentemente, el COP del ciclo 1-2-3-4-1 es menor que el del ciclo 1-2s-3-4-1” [1]

En la figura 3.2 se puede observar el diagrama del ciclo real en sus distintas fases.

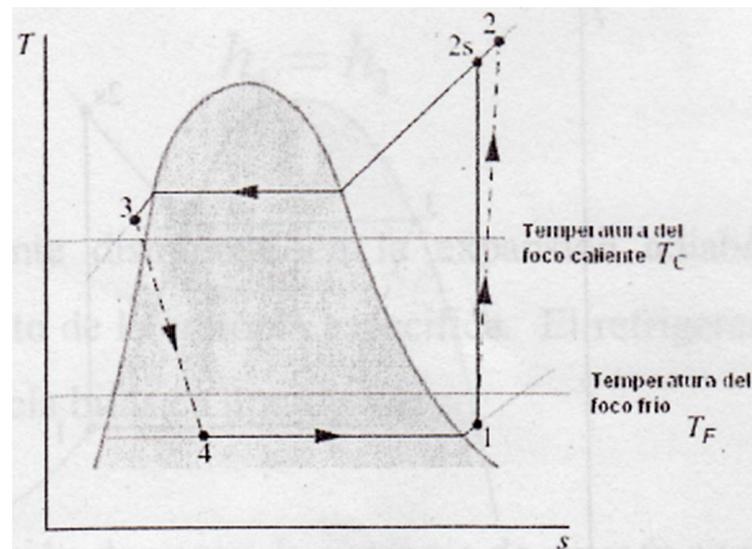


Figura3. 2. Diagrama T-s ciclo real de compresión de vapor.
Fuente: (Cengel & Boles, 2009)

El software EES (Engineering Equations Solver), tiene como función principal la solución de un grupo de ecuaciones algebraicas que gobiernan el sistema, una vez que se conoce todas las incógnitas, se podrá consultar los resultados desde distintas ventanas como:

- Tabla de datos de vectores de cada uno de los puntos que intervienen en el ciclo
- Tabla de incógnitas calculadas
- Diagrama interactivo del proceso
- Obtención de tablas y curvas paramétricas
- Optimización de una variable en función de otra

Para establecer un análisis completo del comportamiento de las mezclas establecidas se utilizará también en este análisis el software Refprop, mismo que se especializa en las propiedades de distintos refrigerantes brindando la opción de obtener tablas y gráficos, así como la posibilidad de realizar mezclas entre los refrigerantes que se encuentran en su base de datos.

El programa EES a pesar de tener una extensa biblioteca de refrigerantes no se especializa en mezclas por lo cual se utilizará el REFPROP para la obtención de datos como densidad, entropía, entalpia, presiones, temperaturas para ingresarlos en el programa EES y de esta manera obtener resultados muy reales.

Como datos de partida para el análisis de la mezcla de refrigerantes se ha tomado a un sistema de refrigeración doméstico de la empresa Indurama, modelo RI-480 no frost de la cual se ha obtenido la siguiente información técnica.

Tabla 3.1 Datos técnicos del refrigerador modelo RI-480

Temperatura evaporador	-25°C
Temperatura condensador	49°C
Presión de descarga del compresor (ciclo real)	12.06582 bar
Temperatura a la salida del condensador (ciclo real)	30°C

(Minchala, 2009)

Para el análisis del ciclo de refrigeración se analizara primero el ciclo ideal y luego se analizara el ciclo real con cada porcentaje de mezcla de refrigerante.

Primero se procederá a realizar el análisis de los refrigerantes R-134a, R-600a y R-290 por separado y luego en los porcentajes establecidos de mezclas.

Los valores a ser obtenidos son los siguientes:

- **\dot{W}_c : trabajo consumido por el compresor:** esto se refiere al trabajo que necesita el compresor para cumplir el ciclo de refrigeración.

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad \text{Eq.(3.1)}$$

- **\dot{Q}_{in} : capacidad de refrigeración:** es el calor que se transfiere desde el espacio que está siendo refrigerado al refrigerante.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad \text{Eq.(3.2)}$$

- **\dot{Q}_{out} : calor transferido al condensador:** esto se refiere al calor transferido del condensador al medio exterior.

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad \text{Eq.(3.3)}$$

- **COP : coeficiente de operación:** este coeficiente nos da una idea de la eficiencia con que esta operando el sistema de refrigeración.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{Eq.(3.4)}$$

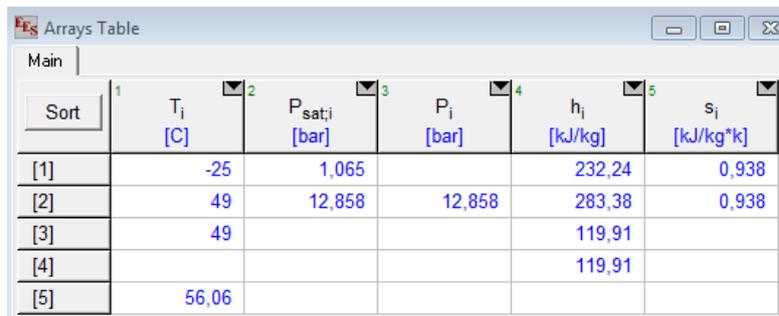
3.2 ANÁLISIS DEL CICLO IDEAL-REAL DE LOS REFRIGERANTES EN ESTADO PURO

3.2.1 Análisis del refrigerante R-134a (tetrafluoroetano)

3.2.1.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-134a.

Se realiza el análisis del ciclo ideal del refrigerante R-134a ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

En la figura 3.3 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg*k]
[1]	-25	1,065		232,24	0,938
[2]	49	12,858	12,858	283,38	0,938
[3]	49			119,91	
[4]				119,91	
[5]	56,06				

Figura 3.3 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-134a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.4 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,001007$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,1131$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1646$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [K]	$T_f = 248,2$ [K]	$W_c = 0,05149$ [kJ/s]	

Figura 3.4 Tabla de resultados para el refrigerante R-134a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la siguiente formula.

$$\dot{m}_{ref.} = \rho \cdot \dot{V}_d \quad \text{Eq.(3.5)}$$

Dónde:

ρ = Densidad del gas.

\dot{V}_d = desplazamiento del compresor por unidad de tiempo.

$$\dot{V}_d = 0.00001562 \frac{m^3}{s}$$

En la figura 3.5 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

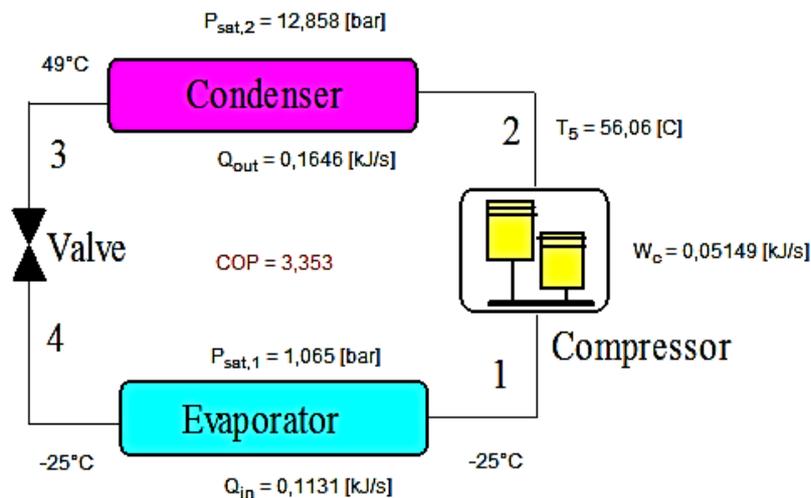


Figura 3.5 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-134a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.2 se tiene los resultados del análisis del ciclo

Tabla 3.2 Resultados correspondiente al ciclo ideal para el refrigerante R-134a

Refrigerante R-134a		
	R-134a	
Trabajo consumido por el compresor	0.05149	KW
Capacidad de refrigeración	0.1131	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1646	KJ/s
Coficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.2.1.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-134a.

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=283,38[kJ/kg]$$

$$h_1=232,24[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=1,065[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

El valor de la temperatura en el punto 3, la eficiencia y la presión en el punto 2 son necesarios para el cálculo del ciclo real.

En la figura 3.6 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	p_i [bar]	s_i	T_i [C]
[1]	232,2			
[2]	297	12,07	0,9806	68,38
[3]	91,49		0,3396	30
[4]	91,49			

Figura 3.6 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-134a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.7 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg			
COP = 2,172	$h_{2s} = 284$ [kJ/kg]	$m = 0,001007$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 1,068$ [bar]	$Q_{in} = 0,1417$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2069$ [kJ/s]	$W_c = 0,06521$ [kJ/s]

Figura 3.7 Tabla de resultados para el refrigerante R-134a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.8 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

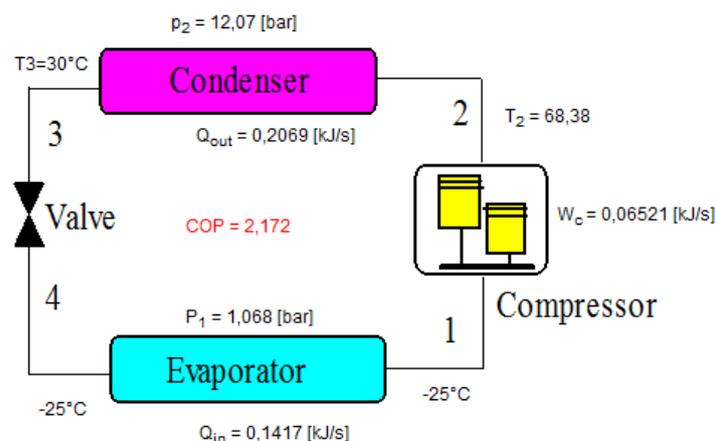


Figura 3.8 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-134a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.3 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.3 resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-134a

Refrigerante R-134a		
	R-134a	
Trabajo consumido por el compresor	0.06521	KW
Capacidad de refrigeración	0.1417	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2069	KJ/s
Coefficiente de operación	2.172	

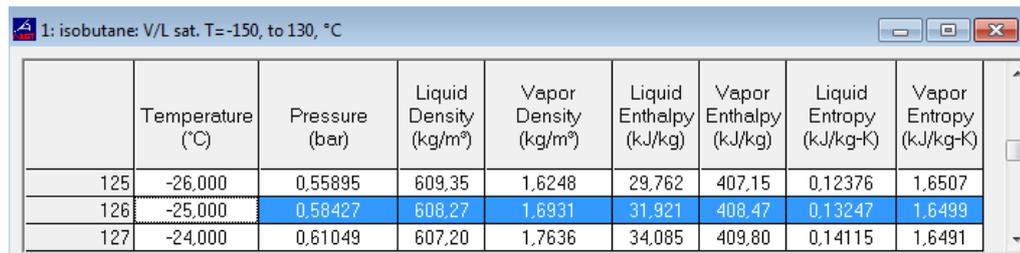
Fuente: (Autores)

3.2.2 Análisis del refrigerante R-600a (Isobutano)

3.2.2.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-600a

Se realiza el análisis del ciclo ideal del refrigerante R-600a ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

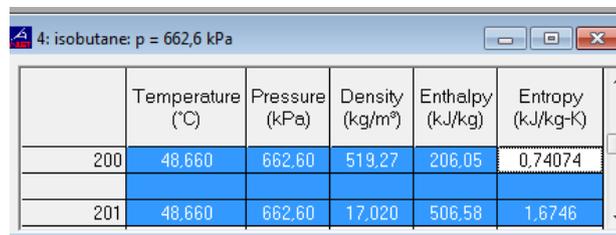
Para el isobutano es recomendable comenzar a utilizar los datos termodinámicos para el R-600a que nos proporciona el software refprop figura 3.9, y 3.10



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
125	-26.000	0.55895	609.35	1.6248	29.762	407.15	0.12376	1.6507
126	-25.000	0.58427	608.27	1.6931	31.921	408.47	0.13247	1.6499
127	-24.000	0.61049	607.20	1.7636	34.085	409.80	0.14115	1.6491

Figura 3.9 Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (kPa)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
200	48.660	662.60	519.27	206.05	0.74074
201	48.660	662.60	17.020	506.58	1.6746

Figura 3.10 Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano

Fuente: (Autores)

En la figura 3.11 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.

Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg*k]
[1]	-25	0,5842		408,5	1,65
[2]	49	6,626	6,626	498,6	1,65
[3]	49			206,9	
[4]				206,9	
[5]	48,6				

Figura 3.11 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-600a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.12 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,0002681$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,05404$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,07821$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [K]	$T_f = 248,2$ [K]	$W_c = 0,02417$ [kJ/s]	

Figura 3.12 Tabla de resultados para el refrigerante R-600a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 17.165 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0.0002681} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.13 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

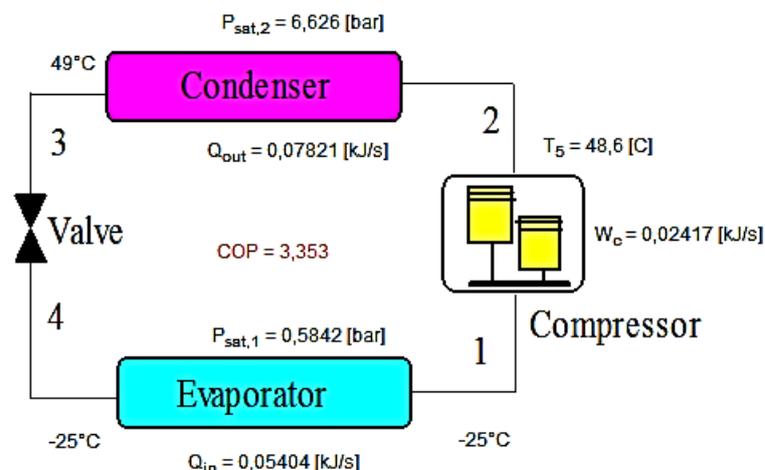


Figura 3.13 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-600a en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.4 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.4 Resultados correspondientes al ciclo ideal para el refrigerante R-600a

Refrigerante R-134a		
	R-600a	
Trabajo consumido por el compresor	0.02417	KW
Capacidad de refrigeración	0.05404	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.07821	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.2.2.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-600a

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=498,631[kJ/kg]$$

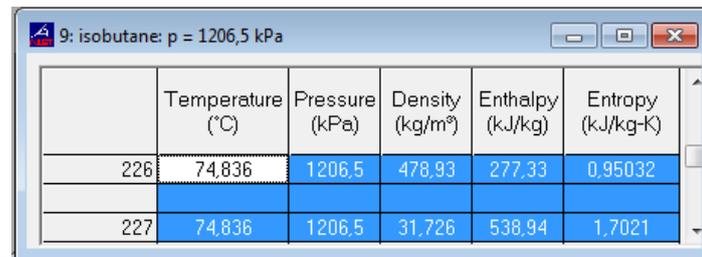
$$h[1]=408,47[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=0,5842[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

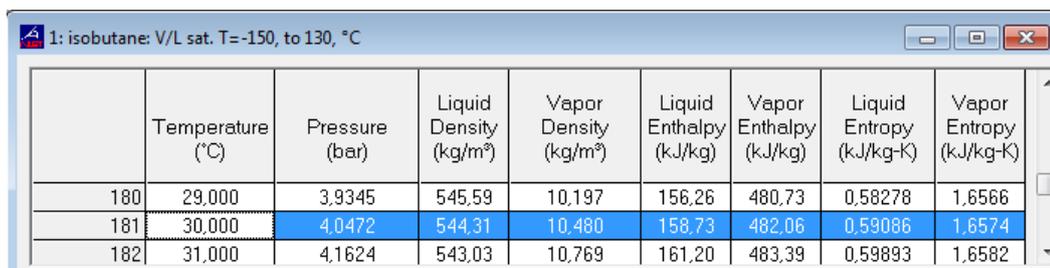
Para el isobutano es recomendable comenzar a utilizar los datos termodinámicos para el R-600a que nos proporciona el software refprop figura. 3.14, y 3.15



	Temperature (°C)	Pressure (kPa)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
226	74.836	1206.5	478.93	277.33	0.95032
227	74.836	1206.5	31.726	538.94	1.7021

Figura 3.14 Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano

Fuente: (Autores)

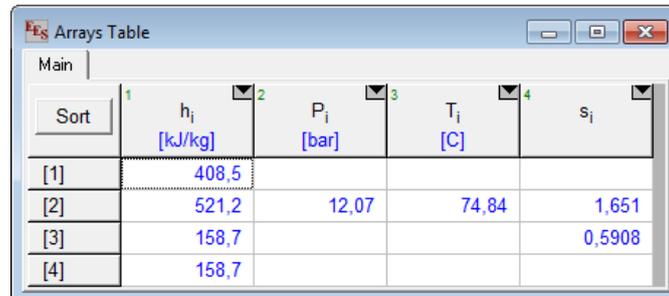


	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
180	29,000	3.9345	545.59	10.197	156.26	480.73	0.58278	1.6566
181	30,000	4.0472	544.31	10.480	158.73	482.06	0.59086	1.6574
182	31,000	4.1624	543.03	10.769	161.20	483.39	0.59893	1.6582

Figura 3.15 Valores termodinámicos obtenidos para el Isobutano

Fuente: (Autores)

En la figura 3.16 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i
[1]	408,5			
[2]	521,2	12,07	74,84	1,651
[3]	158,7			0,5908
[4]	158,7			

Figura 3.16 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-600a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.17 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,216	$h_{2s} = 498,6$ [kJ/kg]	$m = 0,0002681$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 0,5842$ [bar]	$Q_{in} = 0,06696$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,09718$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,03022$ [kJ/s]			

Figura 3.17 Tabla de resultados para el refrigerante R-600a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.18 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

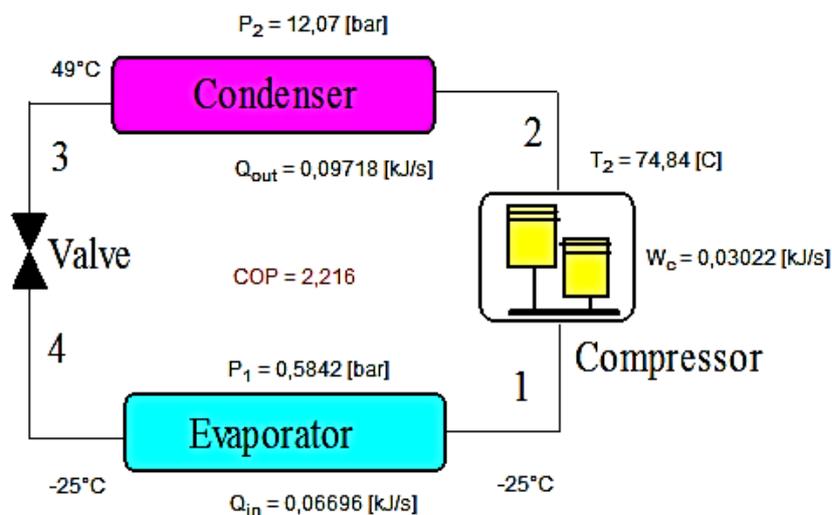


Figura 3.18 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-600a en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.5 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.5 Resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-600a

Refrigerante R-600a		
	R-600a	
Trabajo consumido por el compresor	0.03022	KW
Capacidad de refrigeración	0.06696	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.09718	KJ/s
Coefficiente de operación	2.216	

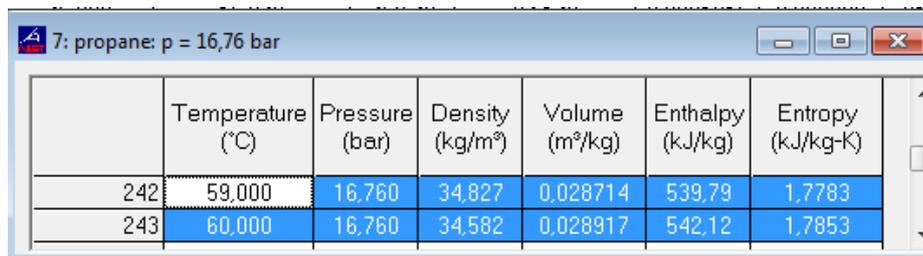
Fuente: (Autores)

3.2.3 Análisis del refrigerante R-290 (propano)

3.2.3.1 Análisis del ciclo ideal del refrigerante R-290.

Se realiza el análisis del ciclo ideal del refrigerante R-290 ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

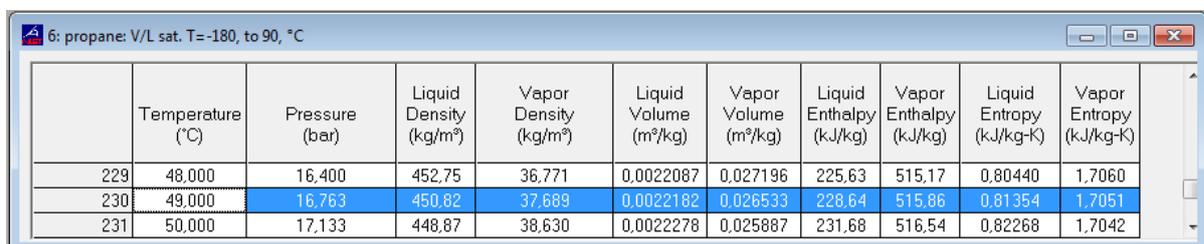
Para el propano es recomendable comenzar a utilizar los datos termodinámicos para el R-600a que nos proporciona el software refprop figura. 3.19, y 3.20



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Volume (m³/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
242	59,000	16,760	34,827	0,028714	539,79	1,7783
243	60,000	16,760	34,582	0,028917	542,12	1,7853

Figura 3.19 Valores termodinámicos obtenidos para el propano

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
229	48,000	16,400	452,75	36,771	0,0022087	0,027196	225,63	515,17	0,80440	1,7060
230	49,000	16,763	450,82	37,689	0,0022182	0,026533	228,64	515,86	0,81354	1,7051
231	50,000	17,133	448,87	38,630	0,0022278	0,025887	231,68	516,54	0,82268	1,7042

Figura 3.20 Valores termodinámicos obtenidos para el propano

Fuente: (Autores)

En la figura 3.21 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.

Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg*k]
[1]	-25	2,034		441,2	1,782
[2]	49	16,76	16,76	540,9	1,782
[3]	49			228,6	
[4]				228,6	
[5]	59,45				

Figura 3.21 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-290 en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.22 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,0005885$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,1251$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1837$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [K]	$T_f = 248,2$ [K]	$W_c = 0,05867$ [kJ/s]	

Figura 3.22 Tabla de resultados para el refrigerante R-290 en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 37,68 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0,0005885} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.23 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

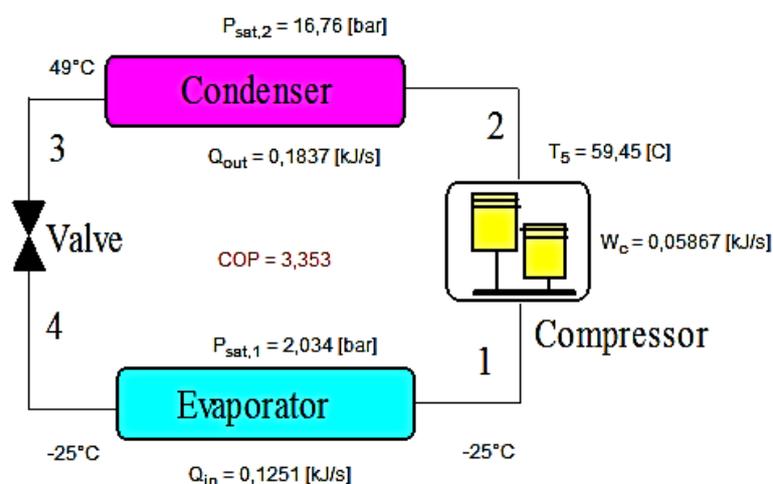


Figura 3.23 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-290 en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.6 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.6 Resultados correspondientes al ciclo ideal para el refrigerante R-290

Refrigerante R-290		
	R-290	
Trabajo consumido por el compresor	0.05867	KW
Capacidad de refrigeración	0.1251	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1837	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.2.3.2 Análisis del ciclo real del refrigerante R-290.

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=540,855[kJ/kg]$$

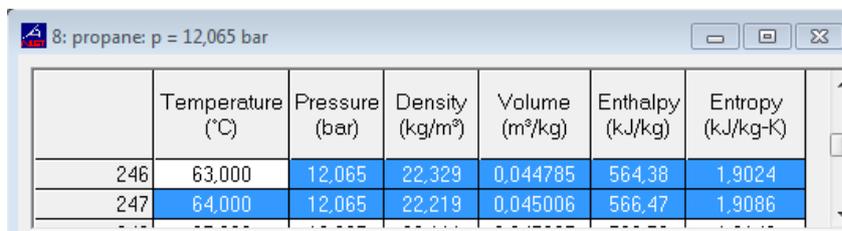
$$h[1]=441,16[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=2,034[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

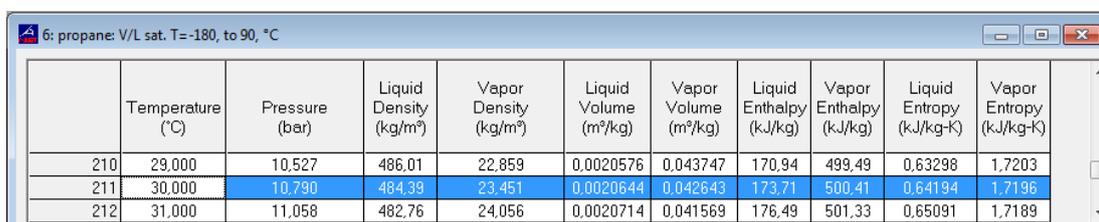
Para el propano es recomendable comenzar a utilizar los datos termodinámicos para el R-600a que nos proporciona el software refprop figura. 3.24, y 3.25



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Volume (m³/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
246	63,000	12,065	22,329	0,044785	564,38	1,9024
247	64,000	12,065	22,219	0,045006	566,47	1,9086

Figura 3.24 Valores termodinámicos obtenidos para el propano

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Volume (m³/kg)	Vapor Volume (m³/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
210	29,000	10,527	486,01	22,859	0,0020576	0,043747	170,94	499,49	0,63298	1,7203
211	30,000	10,790	484,39	23,451	0,0020644	0,042643	173,71	500,41	0,64194	1,7186
212	31,000	11,058	482,76	24,056	0,0020714	0,041569	176,49	501,33	0,65091	1,7189

Figura 3.25 Valores termodinámicos obtenidos para el propano

Fuente: (Autores)

En la figura 3.26 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.

Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i
[1]	441,2			
[2]	565,8	12,07	63,67	1,907
[3]	173,7			0,6419
[4]	173,7			

Figura 3.26 Tabla de valores T,P,h,s. para el refrigerante R-290 en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.27 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,146	$h_{2s} = 540,9$ [kJ/kg]	$m = 0,0005885$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 2,034$ [bar]	$Q_{in} = 0,1574$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2307$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,07334$ [kJ/s]			

Figura 3.27 Tabla de resultados para el refrigerante R-290 en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.28 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

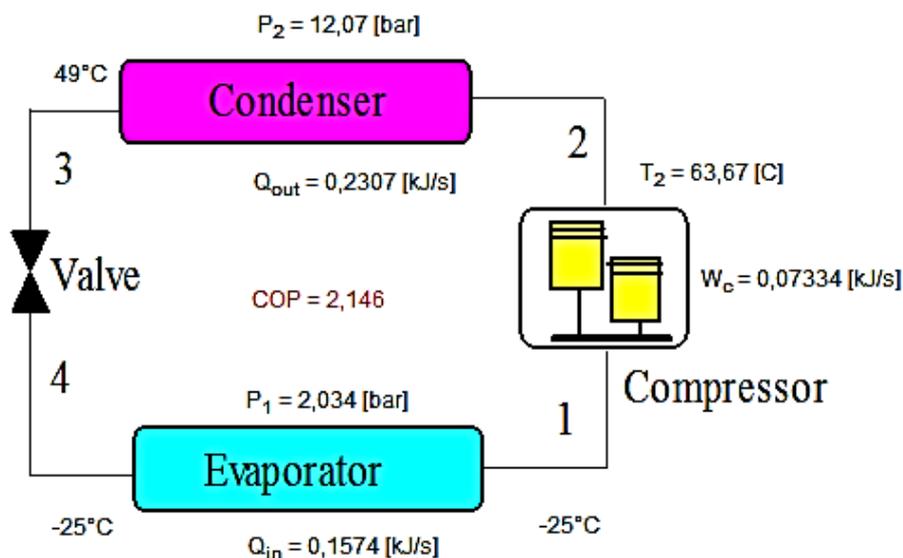


Figura 3.28 Diagrama del ciclo de refrigeración para el refrigerante R-290 en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.7 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.7 Resultados correspondientes al ciclo real para el refrigerante R-290

Refrigerante R-290		
	R-290	
Trabajo consumido por el compresor	0.07334	KW
Capacidad de refrigeración	0.1574	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2307	KJ/s
Coefficiente de operación	2.146	

Fuente: (Autores)

3.3 MEZCLAS DE REFRIGERANTES.

Para determinar los valores porcentuales de las mezclas, se tuvo que realizar de una manera experimental, el porcentaje de intervención de los refrigerantes para la mezcla, así determinando los valores porcentuales más significativos mostrados en las tablas 3.8 y 3.9, ya que al ir variando con porcentajes más pequeños no había diferencias que generen gran cambio de valores numéricos en los resultados obtenidos, y que a su vez sean objeto de estudio y análisis posterior. Se lo realizo de esta manera debido a que no existen documentos, o norma estandarice como determinar un porcentaje de mezcla óptima de refrigerantes.

La mezcla de refrigerantes se lo realizara en las proporciones indicadas en las tablas 3.8 y 3.9.

Tabla 3.8 Proporciones de mezclas para los refrigerantes R-134a, y R-600a.

R-134a	R-600a
% 90	% 10
% 75	% 25
% 50	% 50
% 25	% 75
% 10	% 90

Fuente: (Autores)

Tabla 3.9 Proporciones de mezclas para los refrigerantes R-134a, y R-290.

R-134a	R-290
% 90	% 10
% 75	% 25
% 50	% 50
% 25	% 75
% 10	% 90

Fuente: (Autores)

Procedimiento.

Para realizar las mezclas se utilizara el programa refprop figura 3.29, el cual nos permite realizar mezclas entre todos los refrigerantes existentes en la biblioteca, únicamente se debe indicar los porcentajes de la mezcla que siempre deben sumar la unidad.

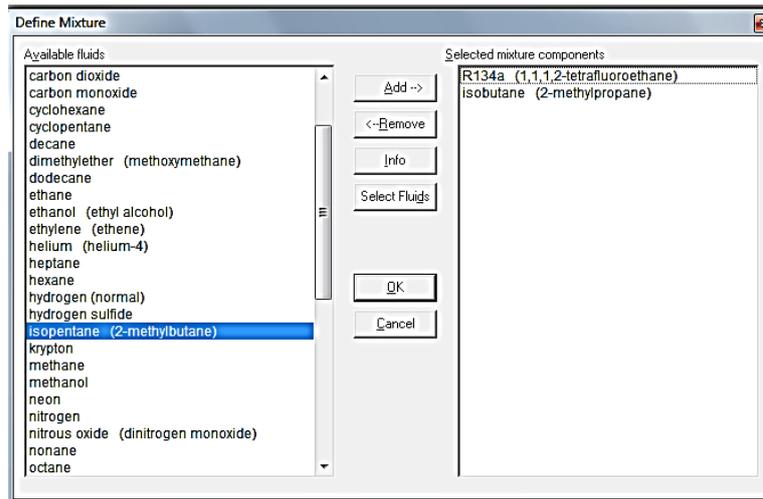


Figura 3.29 Diagrama del ciclo de refrigeración
Fuente: (Autores)

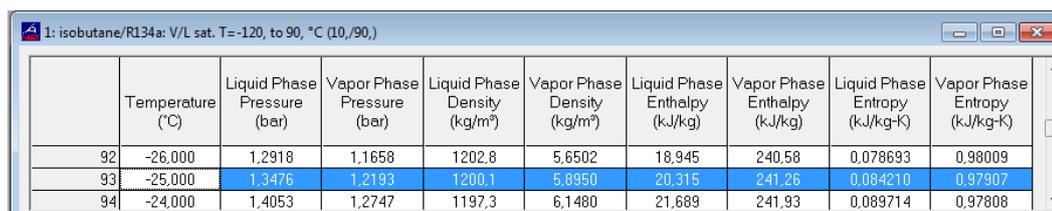
3.3.1 Análisis del ciclo ideal-real de la mezcla de refrigerantes R-134a/R-600a.

3.3.1.1 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%) Respectivamente

3.3.1.1.1 Análisis del ciclo ideal de la Mezcla R-134a/R-600a (90%/10%)

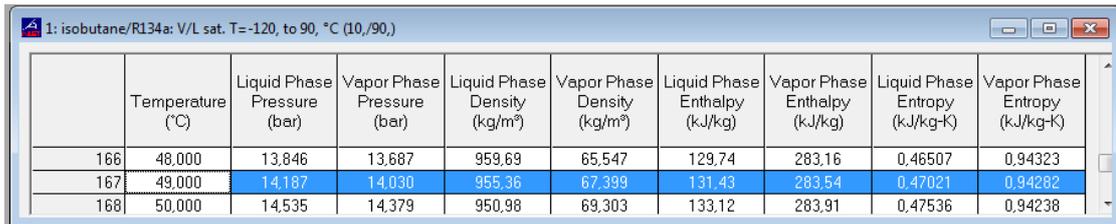
Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.30, fig. 3.31, hay que resaltar que en la fig 3.32 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



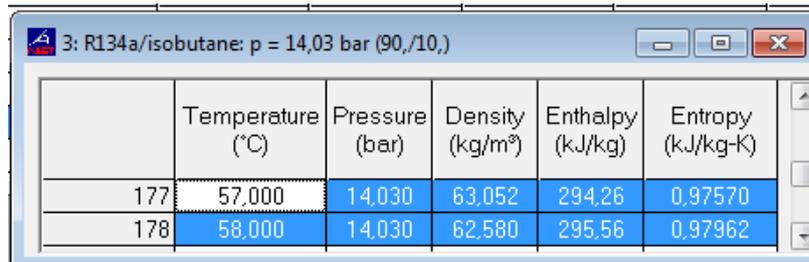
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
92	-26,000	1,2918	1,1658	1202,8	5,6502	18,945	240,58	0,078693	0,98009
93	-25,000	1,3476	1,2193	1200,1	5,8950	20,315	241,26	0,084210	0,97907
94	-24,000	1,4053	1,2747	1197,3	6,1480	21,689	241,93	0,089714	0,97808

Figura 3.30 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
166	48,000	13,846	13,687	959,69	65,547	129,74	283,16	0,46507	0,94323
167	49,000	14,187	14,030	955,36	67,399	131,43	283,54	0,47021	0,94282
168	50,000	14,535	14,379	950,98	69,303	133,12	283,91	0,47536	0,94238

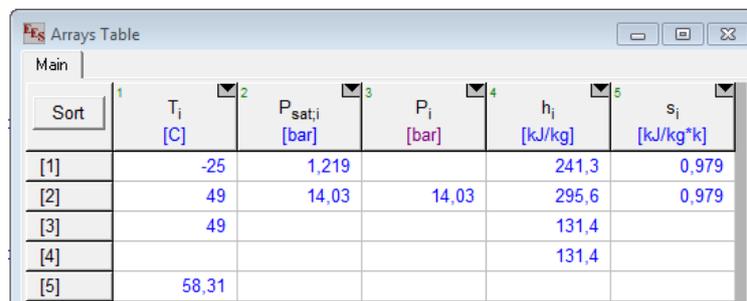
Figura 3.31 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
177	57,000	14,030	63,052	294,26	0,97570
178	58,000	14,030	62,580	295,56	0,97962

Figura 3.32 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.33 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	T _i [C]	P _{sat,i} [bar]	P _i [bar]	h _i [kJ/kg]	s _i [kJ/kg·K]
[1]	-25	1,219		241,3	0,979
[2]	49	14,03	14,03	295,6	0,979
[3]	49			131,4	
[4]				131,4	
[5]	58,31				

Figura 3.33 Tabla de valores T,P,h,s. para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.34 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4



Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	m = 0,001053 [kg/s]	Q _{in} = 0,1156 [kJ/s]	Q _{out} = 0,1728 [kJ/s]
T _c = 322,2 [K]	T _f = 248,2 [K]	W _c = 0,05721 [kJ/s]	

Figura 3.34 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 67.399 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = 0.001053 \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.35 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

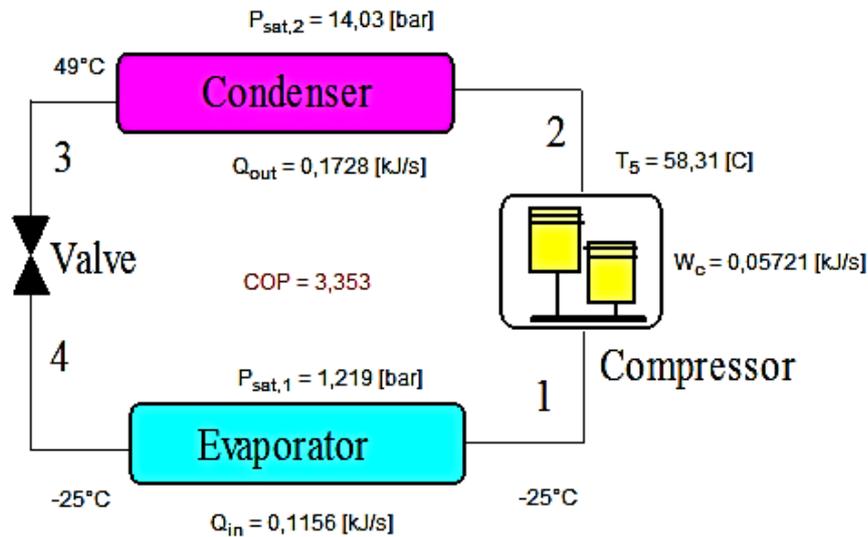


Figura 3.35 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.10 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.10 Resultados correspondientes al ciclo ideal para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%)

Mezclas R-134a/R-600a (90%/10%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.05721	KW
Capacidad de refrigeración	0.1156	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1728	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.1.1.2 Análisis del ciclo real de la Mezcla R-134a/R-600a (90%/10%)

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=295,35[kJ/kg]$$

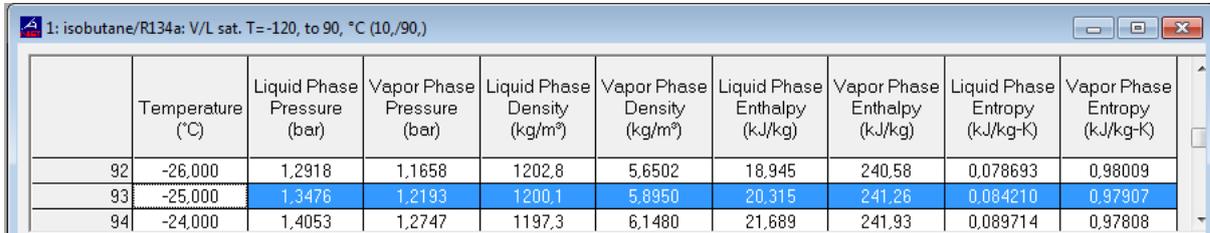
$$h[1]=241,26[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=1,2193[bar]$$

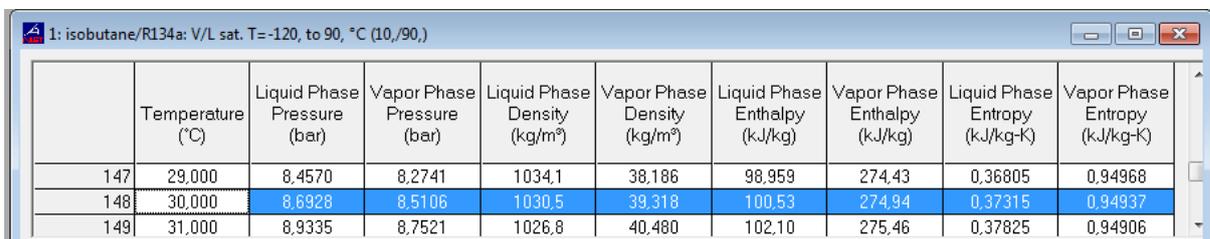
$$P[2]=12,065[bar]$$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.36, a la fig. 3.39



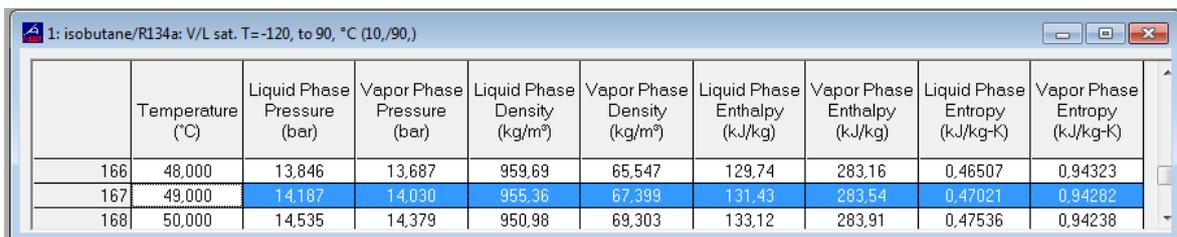
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
92	-26,000	1,2918	1,1658	1202,8	5,6502	18,945	240,58	0,078693	0,98009
93	-25,000	1,3476	1,2193	1200,1	5,8950	20,315	241,26	0,084210	0,97907
94	-24,000	1,4053	1,2747	1197,3	6,1480	21,689	241,93	0,089714	0,97808

Figura 3.36 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



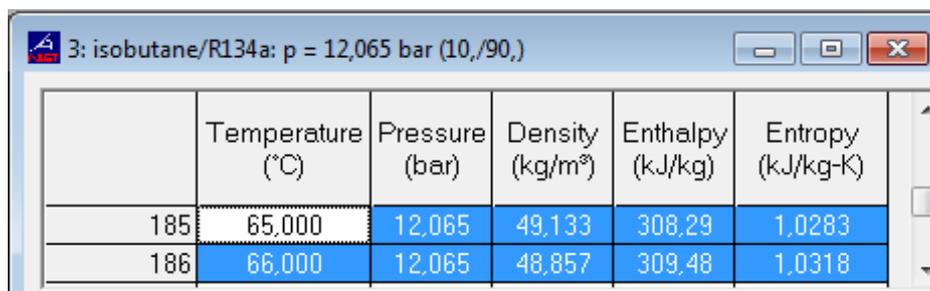
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
147	29,000	8,4570	8,2741	1034,1	38,186	98,959	274,43	0,36805	0,94968
148	30,000	8,6928	8,5106	1030,5	39,318	100,53	274,94	0,37315	0,94937
149	31,000	8,9335	8,7521	1026,8	40,480	102,10	275,46	0,37825	0,94906

Figura 3.37 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
166	48,000	13,846	13,687	959,69	65,547	129,74	283,16	0,46507	0,94323
167	49,000	14,187	14,030	955,36	67,399	131,43	283,54	0,47021	0,94282
168	50,000	14,535	14,379	950,98	69,303	133,12	283,91	0,47536	0,94238

Figura 3.38 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
185	65,000	12,065	49,133	308,29	1,0283
186	66,000	12,065	48,857	309,48	1,0318

Figura 3.39 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.40 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.

Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i [kJ/kg*K]
[1]	241,3			
[2]	309,2	12,07	65,76	1,031
[3]	100,5			0,3731
[4]	100,5			

Figura 3.40 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.41 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,072	$h_{2s} = 295,6$ [kJ/kg]	$m = 0,001053$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 1,219$ [bar]	$Q_{in} = 0,1482$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2197$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,07151$ [kJ/s]			

Figura 3.41 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.42 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

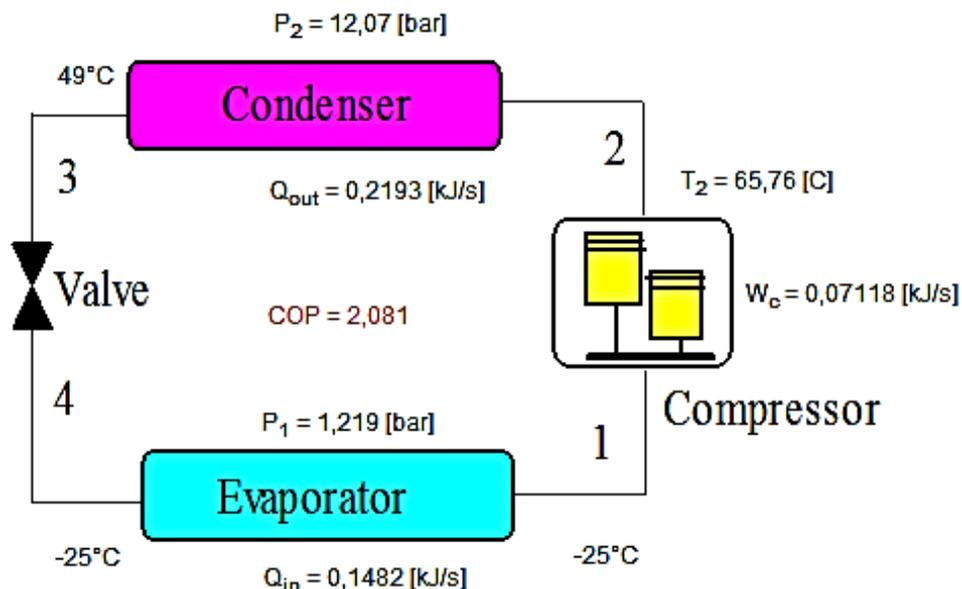


Figura 3.42 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.11 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.11 Resultados correspondientes al ciclo real para la mezcla R-134a/R600a (90%/10%)

Mezclas R-134a/R-600a (90%/10%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.07118	KW
Capacidad de refrigeración	0.1482	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2193	KJ/s
Coefficiente de operación	2.081	

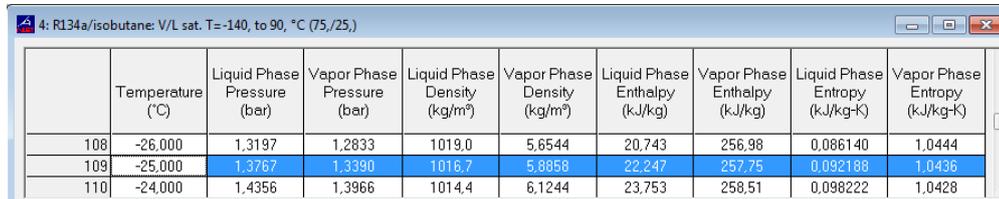
Fuente: (Autores)

3.3.1.2 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%) Respectivamente.

3.3.1.2.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

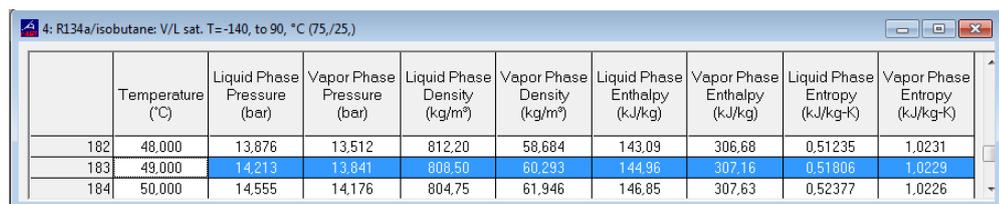
Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.43, fig. 3.44, y en la fig 3.45 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
108	-26,000	1,3197	1,2833	1019,0	5,6544	20,743	256,98	0,086140	1,0444
109	-25,000	1,3767	1,3390	1016,7	5,8858	22,247	257,75	0,092188	1,0436
110	-24,000	1,4356	1,3966	1014,4	6,1244	23,753	258,51	0,098222	1,0428

Figura 3.43 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

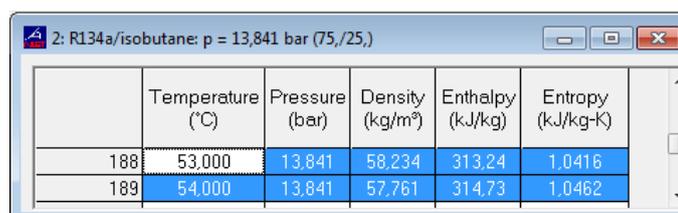
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
182	48,000	13,876	13,512	812,20	58,684	143,09	306,68	0,51235	1,0231
183	49,000	14,213	13,841	808,50	60,293	144,96	307,16	0,51806	1,0229
184	50,000	14,555	14,176	804,75	61,946	146,85	307,63	0,52377	1,0226

Figura 3.44 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)

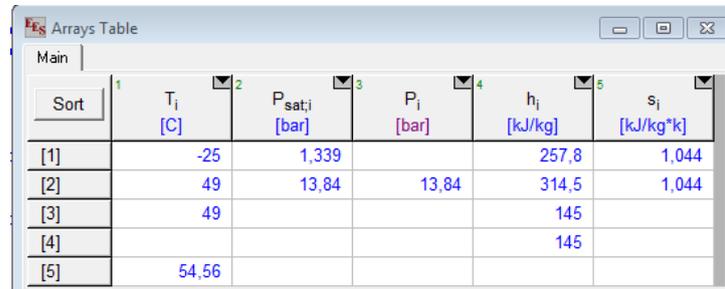


	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
188	53,000	13,841	58,234	313,24	1,0416
189	54,000	13,841	57,761	314,73	1,0462

Figura 3.45 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)

En la figura 3.46 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg·k]
[1]	-25	1,339		257,8	1,044
[2]	49	13,84	13,84	314,5	1,044
[3]	49			145	
[4]				145	
[5]	54,56				

Figura 3.46 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.47 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

COP = 3,353	$m = 0,0009418$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,1062$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1597$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [k]	$T_f = 248,2$ [k]	$W_c = 0,05345$ [kJ/s]	

Figura 3.47 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 67.293 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0.0009418} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.48 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

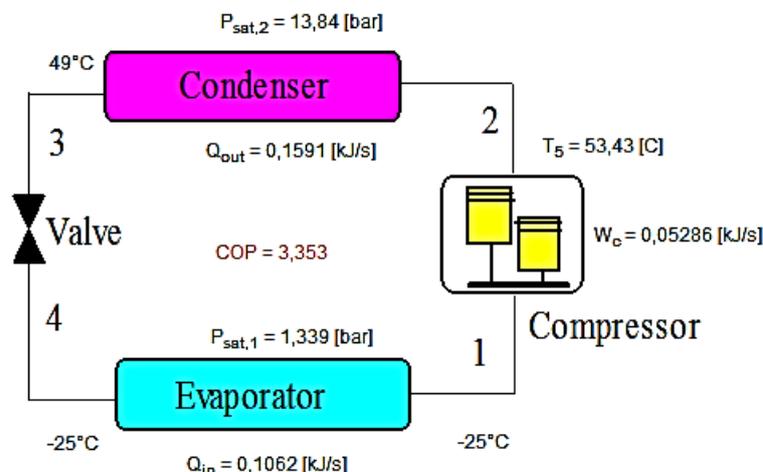


Figura 3.48 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.12 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.12 Resultados correspondientes al ciclo ideal para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%)

Mezclas R-134a/R-600a (75%/25%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.05286	KW
Capacidad de refrigeración	0.1062	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1591	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.1.2 Análisis del ciclo Real de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=314,50[kJ/kg]$$

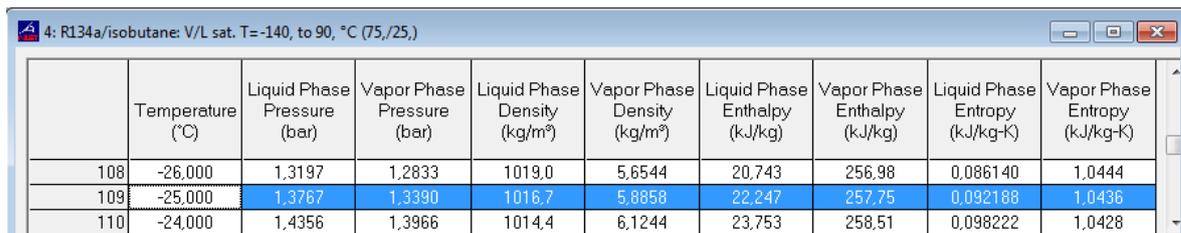
$$h[1]=257,75[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=1,3390[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

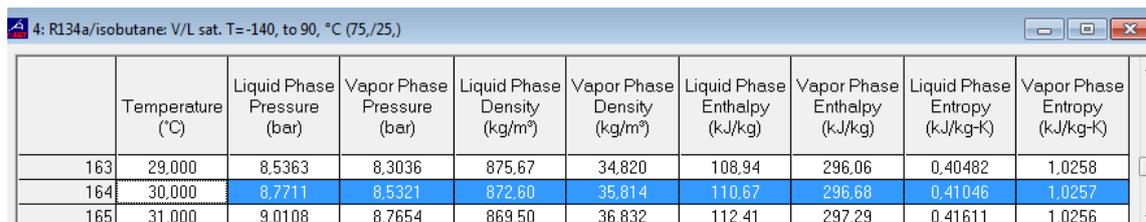
El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.49, a la fig. 3.52



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
108	-26,000	1,3197	1,2833	1019,0	5,6544	20,743	256,98	0,086140	1,0444
109	-25,000	1,3767	1,3390	1016,7	5,8858	22,247	257,75	0,092188	1,0436
110	-24,000	1,4356	1,3966	1014,4	6,1244	23,753	258,51	0,098222	1,0428

Figura 3.49 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

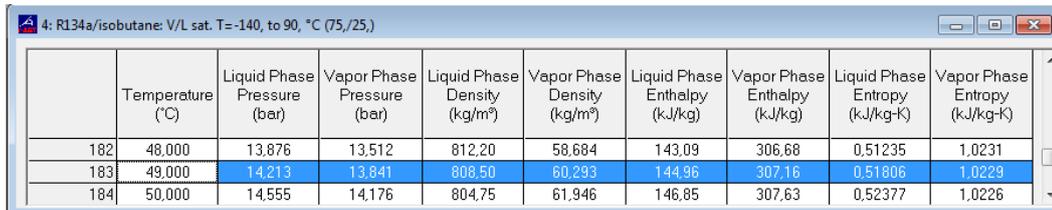
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
163	29,000	8,5363	8,3036	875,67	34,820	108,94	296,06	0,40482	1,0258
164	30,000	8,7711	8,5321	872,60	35,814	110,67	296,68	0,41046	1,0257
165	31,000	9,0108	8,7654	869,50	36,832	112,41	297,29	0,41611	1,0256

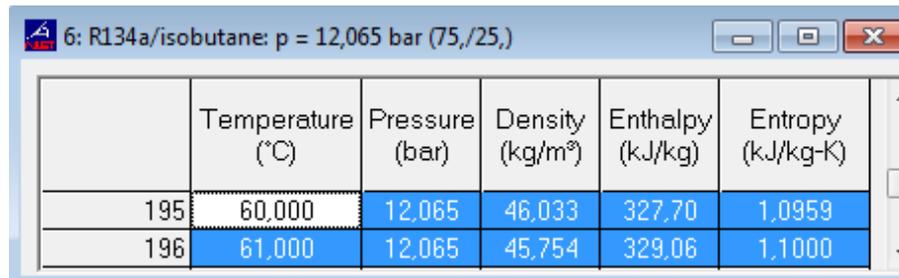
Figura 3.50 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
182	48,000	13,876	13,512	812,20	58,684	143,09	306,68	0,51235	1,0231
183	49,000	14,213	13,841	808,50	60,293	144,96	307,16	0,51806	1,0229
184	50,000	14,555	14,176	804,75	61,946	146,85	307,63	0,52377	1,0226

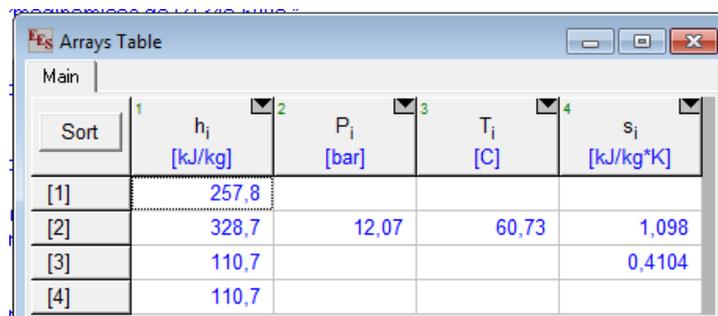
Figura 3.51 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
195	60,000	12,065	46,033	327,70	1,0959
196	61,000	12,065	45,754	329,06	1,1000

Figura 3.52 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.53 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	1 h _i [kJ/kg]	2 P _i [bar]	3 T _i [C]	4 s _i [kJ/kg*K]
[1]	257,8			
[2]	328,7	12,07	60,73	1,098
[3]	110,7			0,4104
[4]	110,7			

Figura 3.53 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.54 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4



Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,073	h _{2s} = 314,5 [kJ/kg]	m = 0,0009418 [kg/s]	n _c = 0,8
P ₁ = 1,339 [bar]	Q _{in} = 0,1385 [kJ/s]	Q _{out} = 0,2053 [kJ/s]	T ₃ = 30 [C]
W _c = 0,06681 [kJ/s]			

Figura 3.54 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.55 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

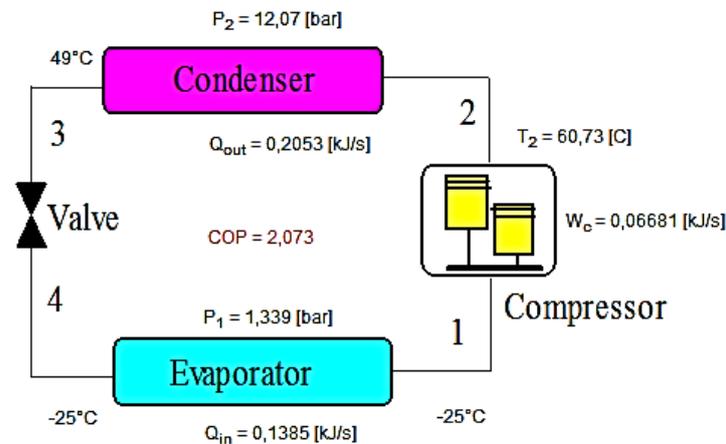


Figura 3.55 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.13 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.13 Resultados correspondientes al ciclo real para la mezcla R-134a/R600a (75%/25%)

Mezclas R-134a/R-600a (75%/25%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.06681	KW
Capacidad de refrigeración	0.1385	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2053	KJ/s
Coficiente de operación	2.073	

Fuente: (Autores)

3.3.1.3 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%) respectivamente.

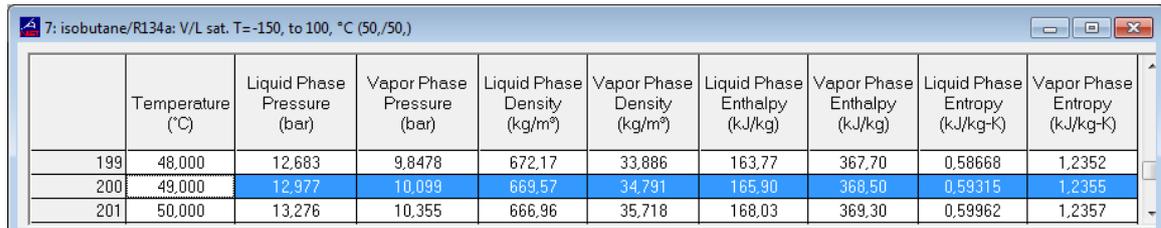
3.3.1.3.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (75%/25%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.56, fig. 3.57, en la fig 3.58 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.

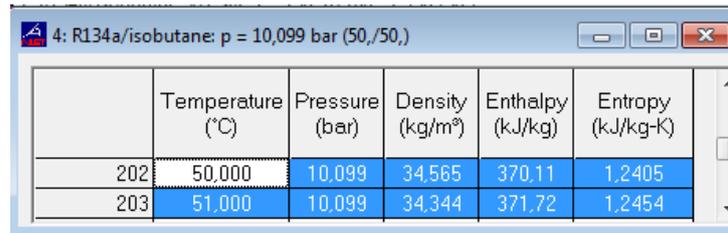
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
125	-26,000	1,3026	0,84380	824,19	3,1527	23,748	299,42	0,098605	1,2429
126	-25,000	1,3573	0,88182	822,45	3,2853	25,471	300,38	0,10553	1,2420
127	-24,000	1,4137	0,92119	820,71	3,4223	27,197	301,35	0,11245	1,2412

Figura 3.56 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
199	48,000	12,683	9,8478	672,17	33,886	163,77	367,70	0,58668	1,2352
200	49,000	12,977	10,099	669,57	34,791	165,90	368,50	0,59315	1,2355
201	50,000	13,276	10,355	666,96	35,718	168,03	369,30	0,59962	1,2357

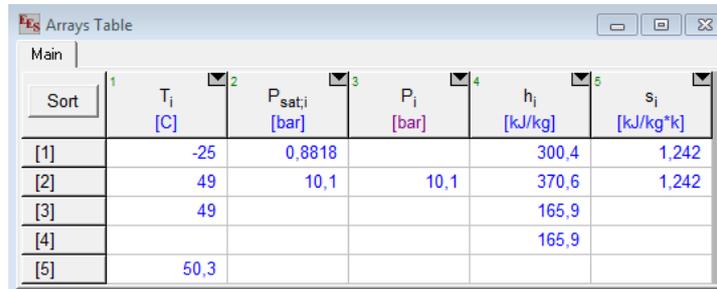
Figura 3.57 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
202	50,000	10,099	34,565	370,11	1,2405
203	51,000	10,099	34,344	371,72	1,2454

Figura 3.58 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.59 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	T _i [C]	P _{sat,i} [bar]	P _i [bar]	h _i [kJ/kg]	s _i [kJ/kg·K]
[1]	-25	0,8818		300,4	1,242
[2]	49	10,1	10,1	370,6	1,242
[3]	49			165,9	
[4]				165,9	
[5]	50,3				

Figura 3.59 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.60 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

COP = 3,353 m = 0,0005434 [kg/s] Q_{in} = 0,07308 [kJ/s] Q_{out} = 0,1112 [kJ/s]

T_c = 322,2 [K] T_f = 248,2 [K] W_c = 0,03816 [kJ/s]

Figura 3.60 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante \dot{m}_{ref} , se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref} = 34,791 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00001562 \frac{m^3}{s} = 0,0005434 \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.61 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

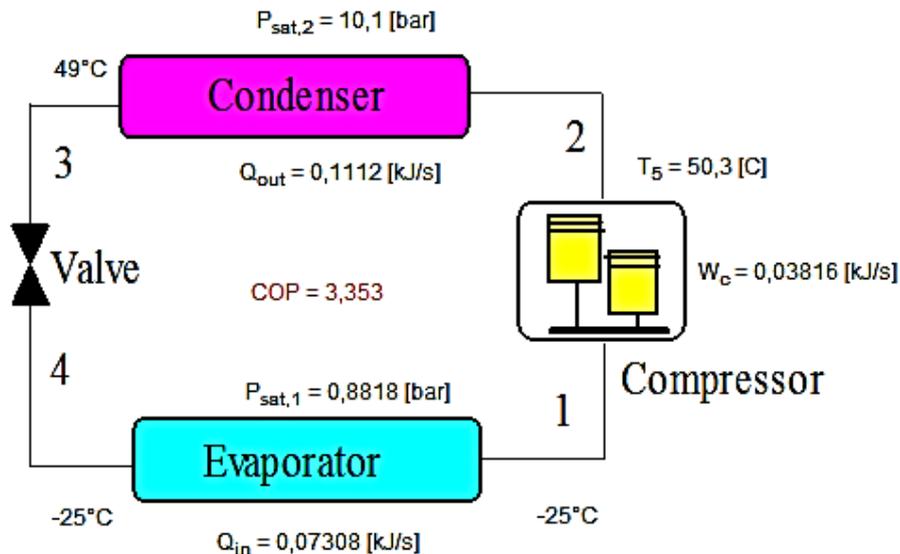


Figura 3.61 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.14 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.14 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezclas R-134a/R-600a (50%/50%)

Mezclas R-134a/R-600a (50%/50%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.03816	KW
Capacidad de refrigeración	0.07308	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1112	KJ/s
Coficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.1.3.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (50%/50%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=370,60[kJ/kg]$$

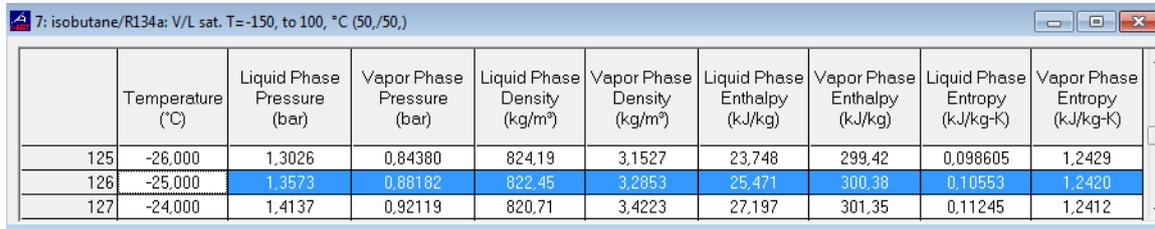
$$h[1]=300,38[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=0,8818[bar]$$

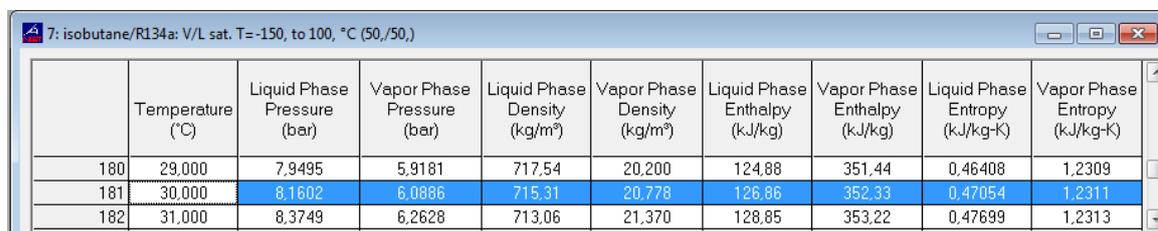
$$P[2]=12,065[bar]$$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.62, a la fig. 3.65



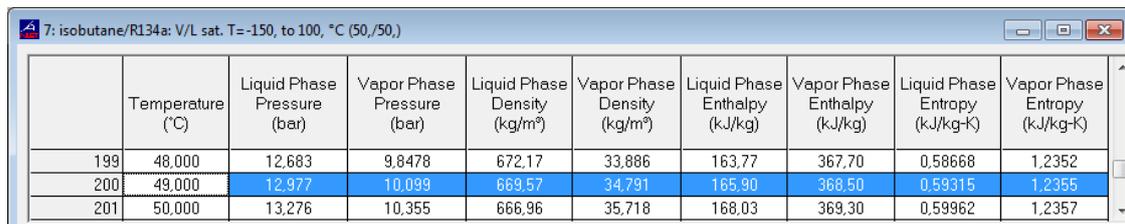
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
125	-26,000	1,3026	0,84380	824,19	3,1527	23,748	299,42	0,098605	1,2429
126	-25,000	1,3573	0,88182	822,45	3,2853	25,471	300,38	0,10553	1,2420
127	-24,000	1,4137	0,92119	820,71	3,4223	27,197	301,35	0,11245	1,2412

Figura 3.62 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



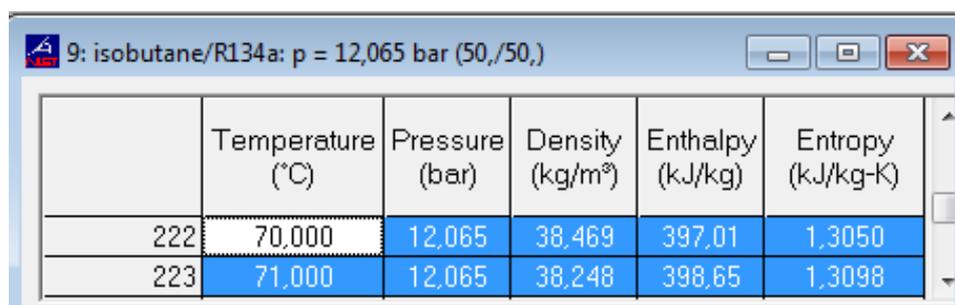
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
180	29,000	7,9495	5,9181	717,54	20,200	124,88	351,44	0,46408	1,2309
181	30,000	8,1602	6,0886	715,31	20,778	126,86	352,33	0,47054	1,2311
182	31,000	8,3749	6,2628	713,06	21,370	128,85	353,22	0,47699	1,2313

Figura 3.63 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
199	48,000	12,683	9,8478	672,17	33,886	163,77	367,70	0,58668	1,2352
200	49,000	12,977	10,099	669,57	34,791	165,90	368,50	0,59315	1,2355
201	50,000	13,276	10,355	666,96	35,718	168,03	369,30	0,59962	1,2357

Figura 3.64 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
222	70,000	12,065	38,469	397,01	1,3050
223	71,000	12,065	38,248	398,65	1,3098

Figura 3.65 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.66 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.

Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i [kJ/kg*K]
[1]	300,4			
[2]	397,3	12,07	70,17	1,306
[3]	126,9			0,4705
[4]	126,9			

Figura 3.66 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.67 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 1,791	$h_{2s} = 377,9$ [kJ/kg]	$m = 0,0005434$ [kg/s]	$\eta_c = 0,8$
$P_1 = 0,8818$ [bar]	$Q_{in} = 0,09429$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1469$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,05265$ [kJ/s]			

Figura 3.67 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.68 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

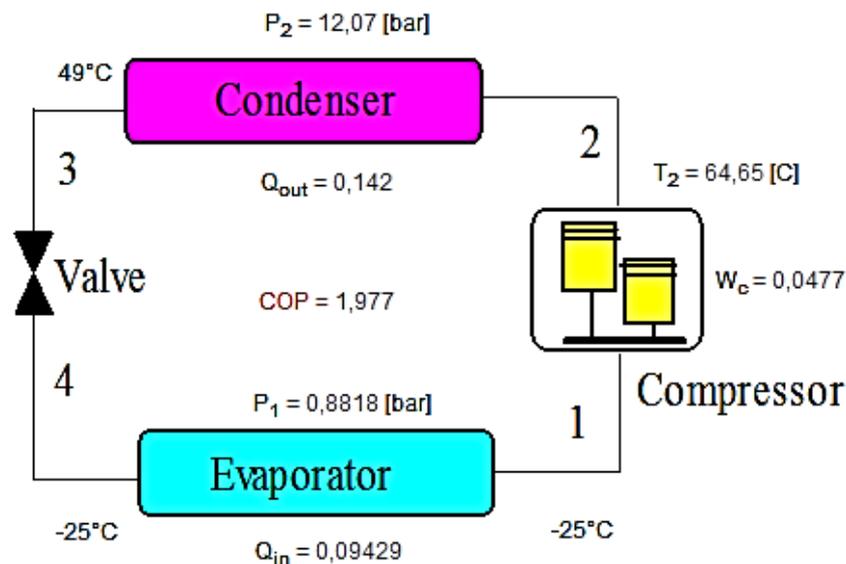


Figura 3.68 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (50%/50%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.15 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.15 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (50%/50%)

Mezclas R-134a/R-600a (50%/50%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.0477	KW
Capacidad de refrigeración	0.09429	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.142	KJ/s
Coefficiente de operación	1.977	

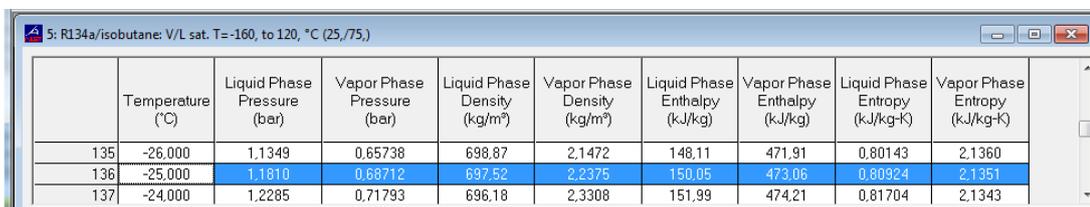
Fuente: (Autores)

3.3.1.4 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%) respectivamente.

3.3.1.4.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

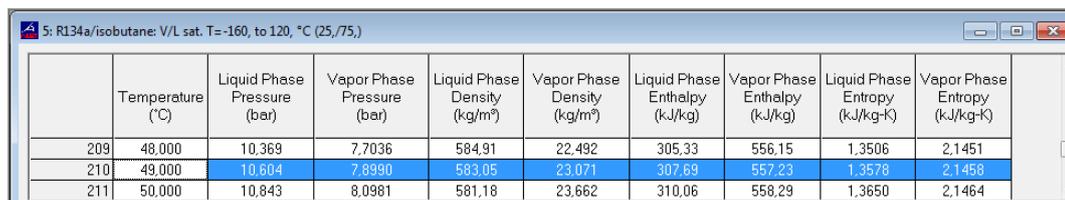
Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.69, fig. 3.70, en la fig 3.71 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	1,1349	0,65738	698,87	2,1472	148,11	471,91	0,80143	2,1360
136	-25,000	1,1810	0,68712	697,52	2,2375	150,05	473,06	0,80924	2,1351
137	-24,000	1,2285	0,71793	696,18	2,3308	151,99	474,21	0,81704	2,1343

Figura 3.69 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

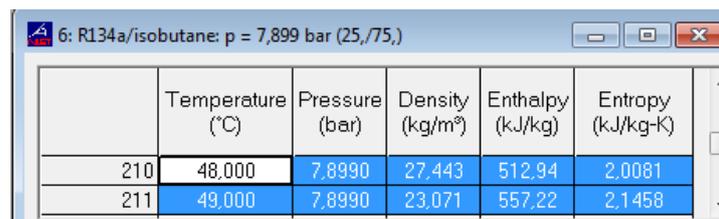
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	10,369	7,7036	584,91	22,492	305,33	556,15	1,3506	2,1451
210	49,000	10,604	7,8990	583,05	23,071	307,69	557,23	1,3578	2,1458
211	50,000	10,843	8,0981	581,18	23,662	310,06	558,29	1,3650	2,1464

Figura 3.70 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)

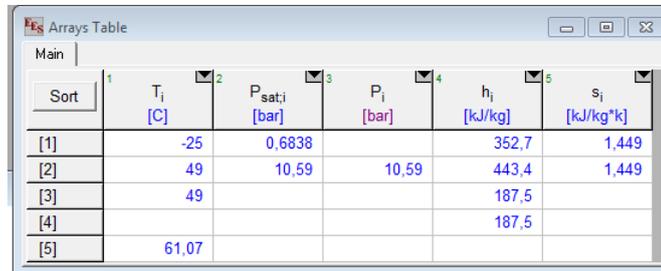


	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
210	48,000	7,8990	27,443	512,94	2,0081
211	49,000	7,8990	23,071	557,22	2,1458

Figura 3.71 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)

En la figura 3.72 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg·K]
[1]	-25	0,6838		352,7	1,449
[2]	49	10,59	10,59	443,4	1,449
[3]	49			187,5	
[4]				187,5	
[5]	61,07				

Figura 3.72 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.73 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

COP = 3,353	$m = 0,0003602$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,05952$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,09219$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [K]	$T_f = 248,2$ [K]	$W_c = 0,03268$ [kJ/s]	

Figura 3.73 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 23,060 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0,0003602} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.74 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

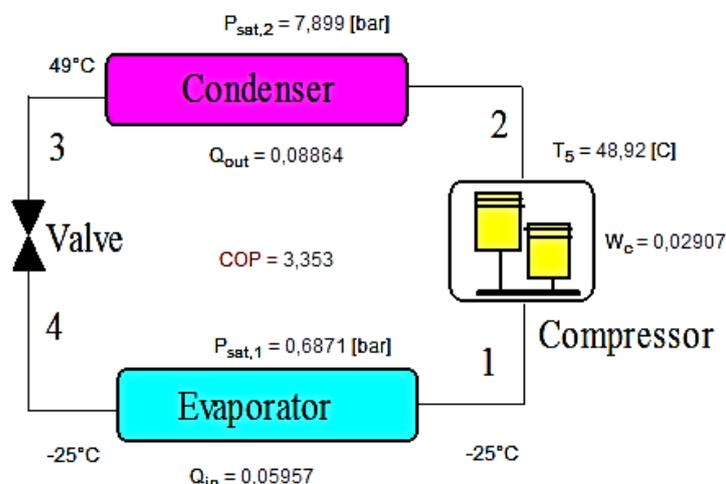


Figura 3.74 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.16 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.16 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R-600a (25%/75%)

Mezclas R-134a/R-600a (25%/75%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.02907	KW
Capacidad de refrigeración	0.05957	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.08864	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.1.4.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (25%/75%)

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=553,77[kJ/kg]$$

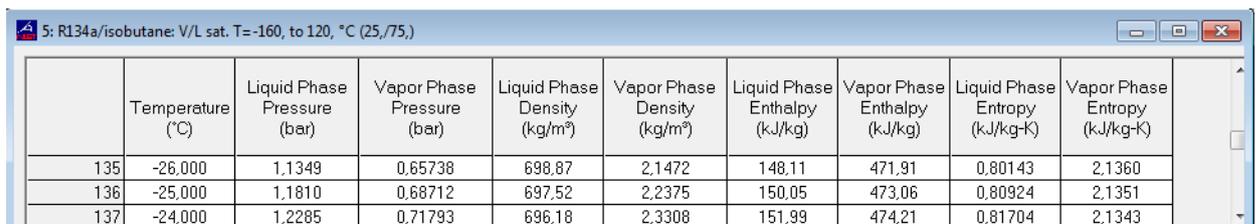
$$h[1]=473,06[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=0,6871[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

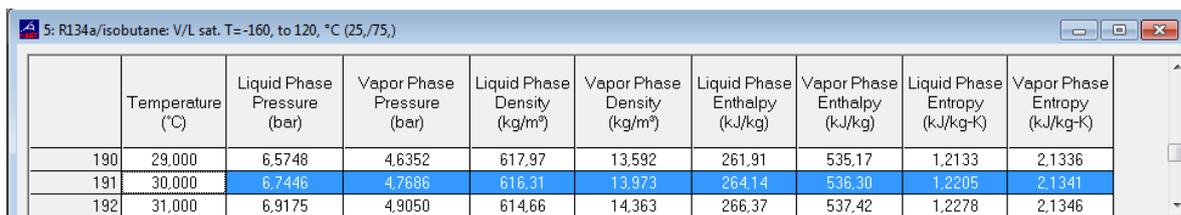
El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.75, a la fig. 3.78



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	1,1349	0,65738	698,87	2,1472	148,11	471,91	0,80143	2,1360
136	-25,000	1,1810	0,68712	697,52	2,2375	150,05	473,06	0,80924	2,1351
137	-24,000	1,2285	0,71793	696,18	2,3308	151,99	474,21	0,81704	2,1343

Figura 3.75 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

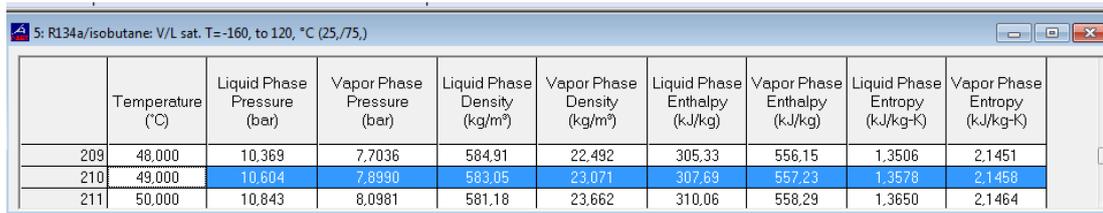
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
190	29,000	6,5748	4,6352	617,97	13,592	261,91	535,17	1,2133	2,1336
191	30,000	6,7446	4,7686	616,31	13,973	264,14	536,30	1,2205	2,1341
192	31,000	6,9175	4,9050	614,66	14,363	266,37	537,42	1,2278	2,1346

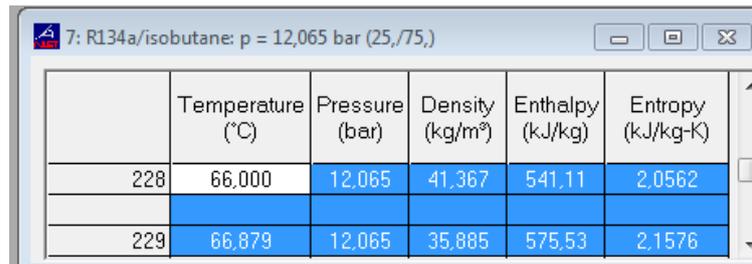
Figura 3.76 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	10,369	7,7036	584,91	22,492	305,33	556,15	1,3506	2,1451
210	49,000	10,604	7,8990	583,05	23,071	307,69	557,23	1,3578	2,1458
211	50,000	10,843	8,0981	581,18	23,662	310,06	558,29	1,3650	2,1464

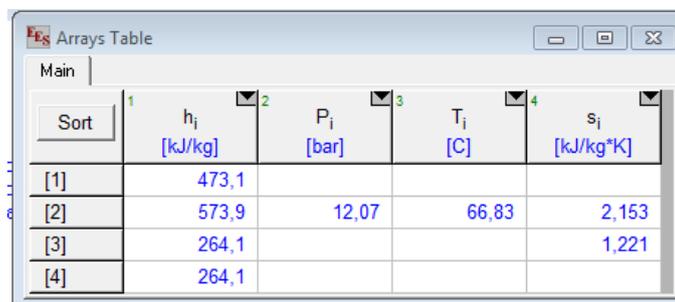
Figura 3.77 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
228	66,000	12,065	41,367	541,11	2,0562
229	66,879	12,065	35,885	575,53	2,1576

Figura 3.78 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.79 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1 h_i [kJ/kg]	2 P_i [bar]	3 T_i [C]	4 s_i [kJ/kg*K]
[1]	473,1			
[2]	573,9	12,07	66,83	2,153
[3]	264,1			1,221
[4]	264,1			

Figura 3.79 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.80 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4



Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,071	$h_{2s} = 553,8$ [kJ/kg]	$m = 0,0003602$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 0,6871$ [bar]	$Q_{in} = 0,07525$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1116$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,03634$ [kJ/s]			

Figura 3.80 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.81 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

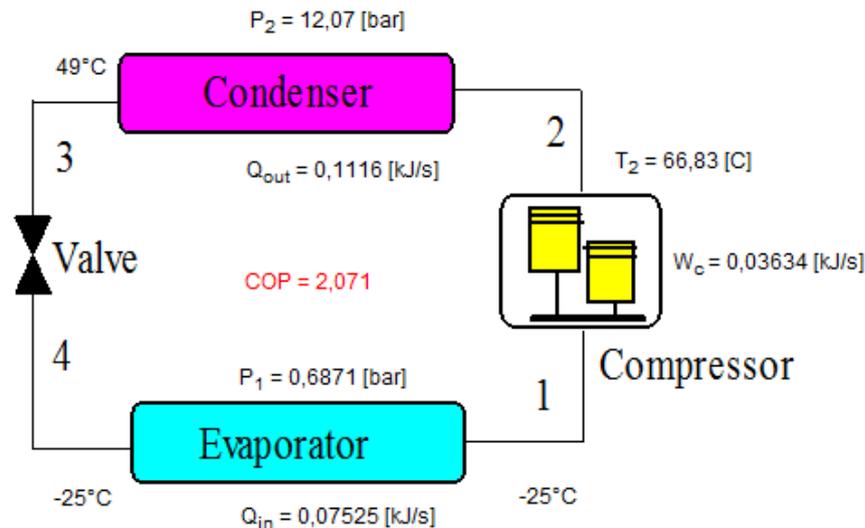


Figura 3.81 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.17 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.17 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (25%/75%)

Mezclas R-134a/R-600a (25%/75%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.03634	KW
Capacidad de refrigeración	0.07525	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1116	KJ/s
Coficiente de operación	2.071	

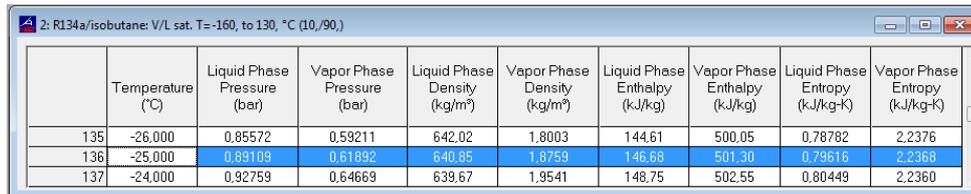
Fuente: (Autores)

3.3.1.5 Análisis de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%) respectivamente.

3.3.1.5.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).

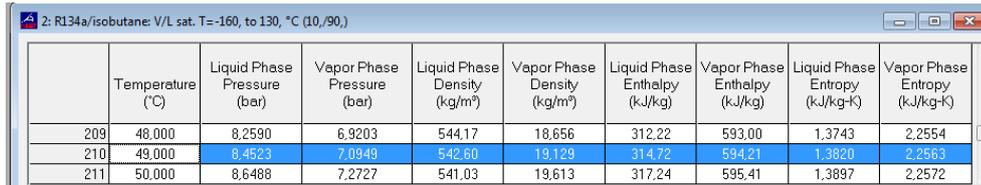
Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.82, fig. 3.83, en la fig 3.84 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



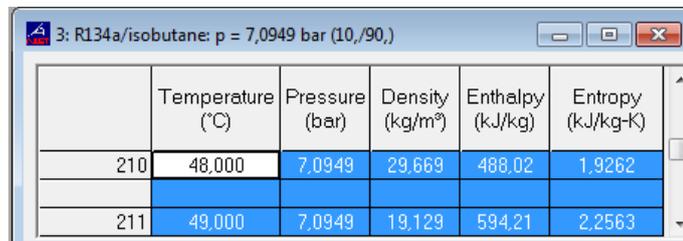
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	0,85572	0,59211	642,02	1,8003	144,61	500,05	0,78782	2,2376
136	-25,000	0,89109	0,61892	640,85	1,8759	146,68	501,30	0,79616	2,2368
137	-24,000	0,92759	0,64669	639,67	1,9541	148,75	502,55	0,80449	2,2360

Figura 3.82 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	8,2590	6,9203	544,17	18,656	312,22	593,00	1,3743	2,2554
210	49,000	8,4523	7,0949	542,60	19,129	314,72	594,21	1,3820	2,2563
211	50,000	8,6488	7,2727	541,03	19,613	317,24	595,41	1,3897	2,2572

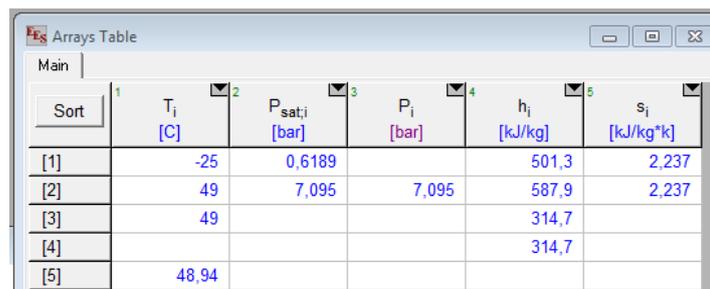
Figura 3.83 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
210	48,000	7,0949	29,669	488,02	1,9262
211	49,000	7,0949	19,129	594,21	2,2563

Figura 3.84 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.85 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	P_{sati} [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg-K]
[1]	-25	0,6189		501,3	2,237
[2]	49	7,095	7,095	587,9	2,237
[3]	49			314,7	
[4]				314,7	
[5]	48,94				

Figura 3.85 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.86 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,000298$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,0556$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,08142$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [K]	$T_f = 248,2$ [K]	$W_c = 0,02582$ [kJ/s]	

Figura 3.86 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 19.129 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0.000298} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.87 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

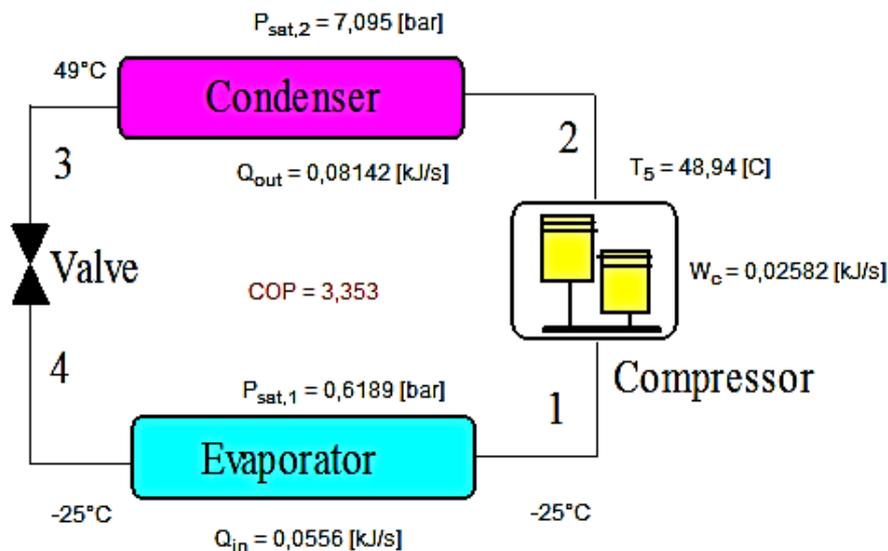


Figura 3.87 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.18 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.18 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R-600a (10%/90%)

Mezclas R-134a/R-600a (10%/90%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.02582	KW
Capacidad de refrigeración	0.0556	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.08142	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.1.5.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-600a (10%/90%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=587,937[kJ/kg]$$

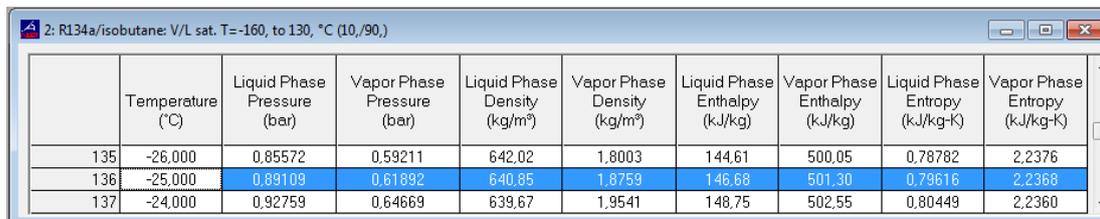
$$h[1]=501,30[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$P_1=0,6189[\text{bar}]$

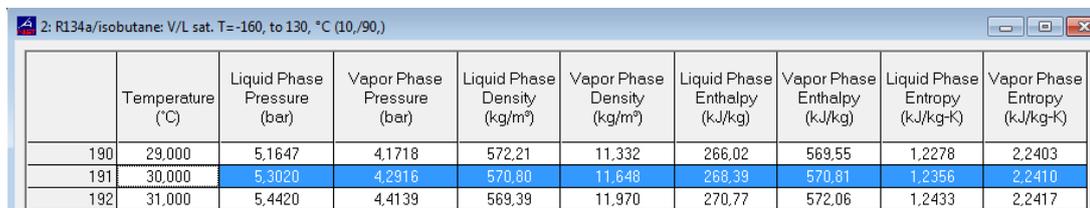
$P[2]=12,065[\text{bar}]$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.88, a la fig. 3.91



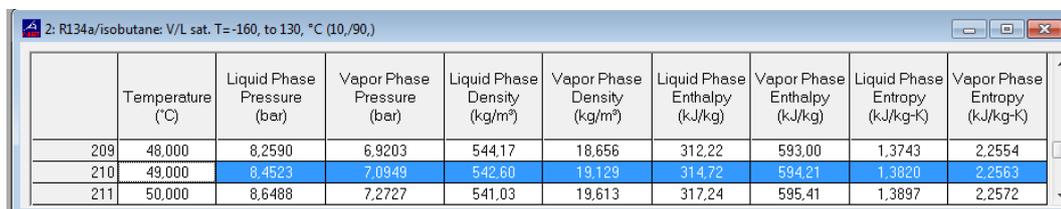
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	0,85572	0,59211	642,02	1,8003	144,61	500,05	0,78782	2,2376
136	-25,000	0,89109	0,61892	640,85	1,8759	146,68	501,30	0,79616	2,2368
137	-24,000	0,92759	0,64669	639,67	1,9541	148,75	502,55	0,80449	2,2360

Figura 3.88 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



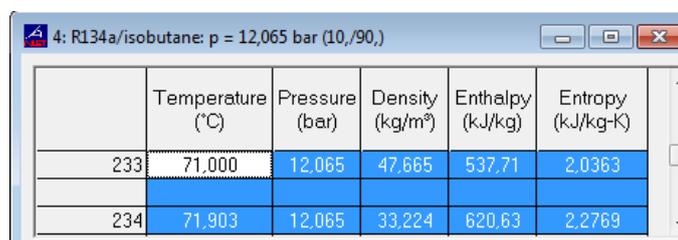
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
190	29,000	5,1647	4,1718	572,21	11,332	266,02	569,55	1,2278	2,2403
191	30,000	5,3020	4,2916	570,80	11,648	268,39	570,81	1,2356	2,2410
192	31,000	5,4420	4,4139	569,39	11,970	270,77	572,06	1,2433	2,2417

Figura 3.89 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	8,2590	6,9203	544,17	18,656	312,22	593,00	1,3743	2,2554
210	49,000	8,4523	7,0949	542,60	19,129	314,72	594,21	1,3820	2,2563
211	50,000	8,6488	7,2727	541,03	19,613	317,24	595,41	1,3897	2,2572

Figura 3.90 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
233	71,000	12,065	47,665	537,71	2,0363
234	71,903	12,065	33,224	620,63	2,2769

Figura 3.91 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.92 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.

Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i [kJ/kg*K]
[1]	501,3			
[2]	609,6	12,07	71,78	2,245
[3]	268,4			1,236
[4]	268,4			

Figura 3.92 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.93 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,151	$h_{2s} = 587,9$ [kJ/kg]	$m = 0,000298$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 0,6189$ [bar]	$Q_{in} = 0,06941$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1017$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,03227$ [kJ/s]			

Figura 3.93 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.94 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

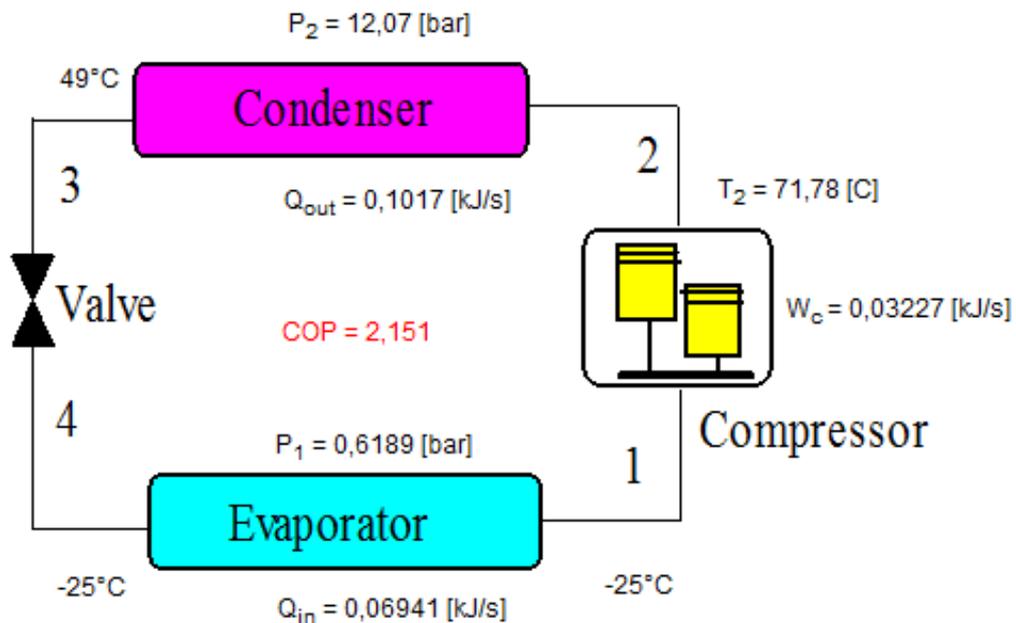


Figura 3.94 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R600a (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.19 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.19 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R-600a (10%/90%)

Mezclas R-134a/R-600a (10%/90%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.03227	KW
Capacidad de refrigeración	0.06941	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1017	KJ/s
Coficiente de operación	2.151	

Fuente: (Autores)

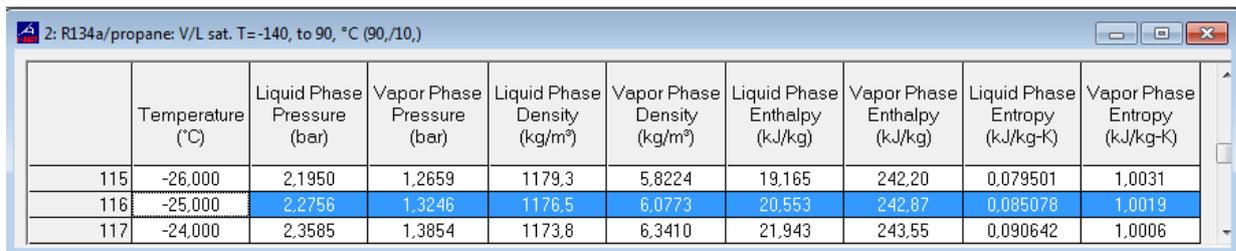
3.3.2 Análisis del ciclo ideal-real de la mezcla de refrigerantes R-134a/R-290.

3.3.2.1 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%) respectivamente.

3.3.2.1.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

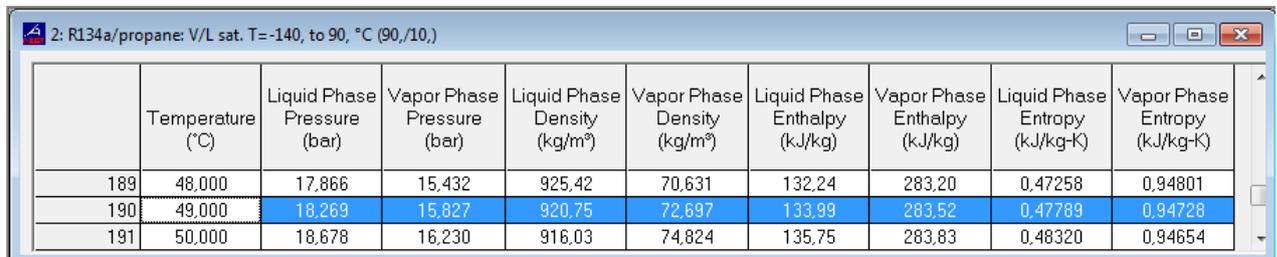
Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.95, fig. 3.96, en la fig 3.97 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
115	-26.000	2.1950	1.2659	1179.3	5.8224	19.165	242.20	0.079501	1.0031
116	-25.000	2.2756	1.3246	1176.5	6.0773	20.553	242.87	0.085078	1.0019
117	-24.000	2.3585	1.3854	1173.8	6.3410	21.943	243.55	0.090642	1.0006

Figura 3.95 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

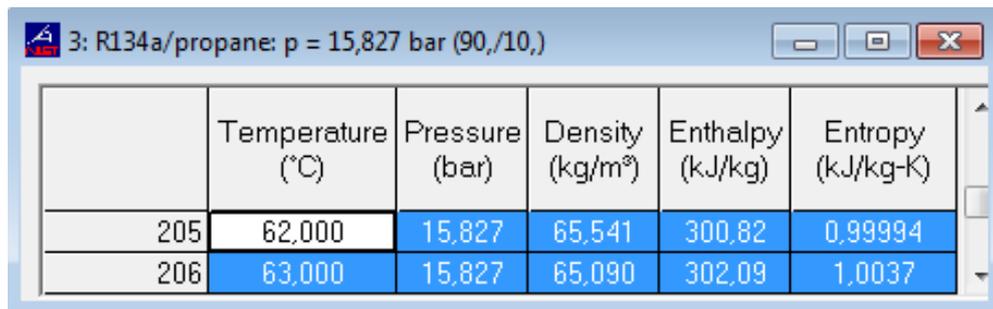
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
189	48.000	17.866	15.432	925.42	70.631	132.24	283.20	0.47258	0.94801
190	49.000	18.269	15.827	920.75	72.697	133.99	283.52	0.47789	0.94728
191	50.000	18.678	16.230	916.03	74.824	135.75	283.83	0.48320	0.94654

Figura 3.96 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

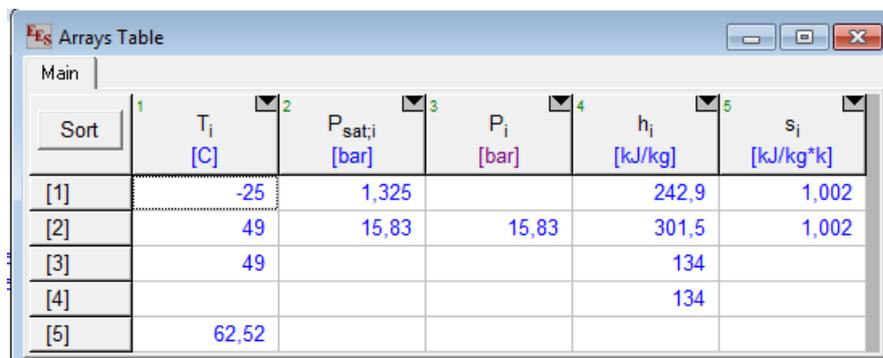
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
205	62,000	15,827	65,541	300,82	0,99994
206	63,000	15,827	65,090	302,09	1,0037

Figura 3.97 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.98 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	1 T _i [C]	2 P _{sat,i} [bar]	3 P _i [bar]	4 h _i [kJ/kg]	5 s _i [kJ/kg*k]
[1]	-25	1,325		242,9	1,002
[2]	49	15,83	15,83	301,5	1,002
[3]	49			134	
[4]				134	
[5]	62,52				

Figura 3.98 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.99 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	m = 0,001136 [kg/s]	Q _{in} = 0,1236 [kJ/s]	Q _{out} = 0,1902 [kJ/s]
T _c = 322,2 [K]	T _f = 248,2 [K]	W _c = 0,06656 [kJ/s]	

Figura 3.99 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 72.697 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0.001136} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.100 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

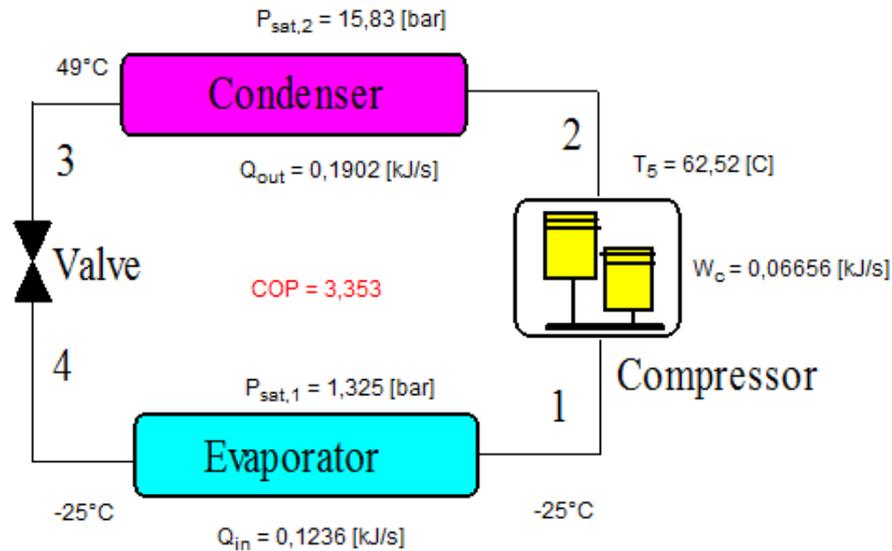


Figura 3.100 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.18 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.20 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (90%/10%)

Mezclas R-134a/R-290 (90%/10%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.06656	KW
Capacidad de refrigeración	0.1236	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1902	KJ/s
Coficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.2.1.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (90%/10%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3 = 30 [C]$$

$$h_{2s} = 301,482 [kJ/kg]$$

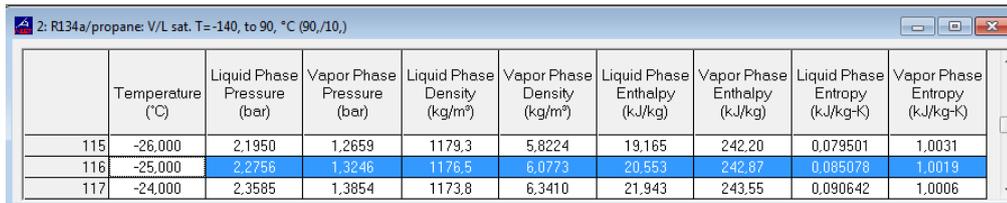
$$h[1] = 242,87 [kJ/kg]$$

$$n_c = 0,8$$

$$P_1 = 1,3246 [bar]$$

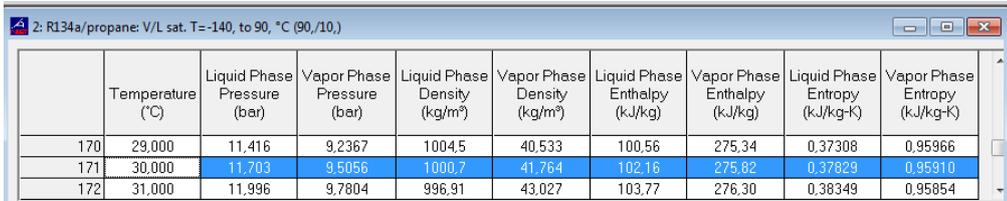
$$P[2] = 12,065 [bar]$$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.101, a la fig. 3.104



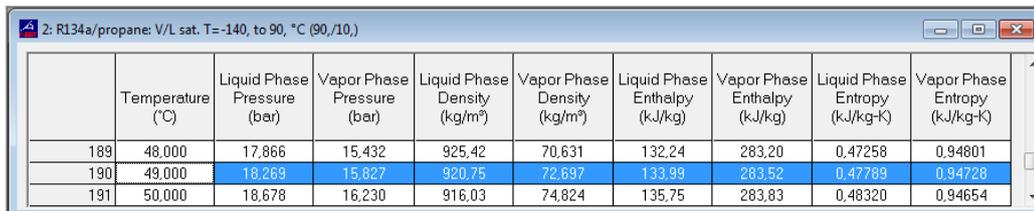
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
115	-26,000	2,1950	1,2659	1179,3	5,8224	19,165	242,20	0,079501	1,0031
116	-25,000	2,2756	1,3246	1176,5	6,0773	20,553	242,87	0,085078	1,0019
117	-24,000	2,3585	1,3854	1173,8	6,3410	21,943	243,55	0,090642	1,0006

Figura 3.101 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



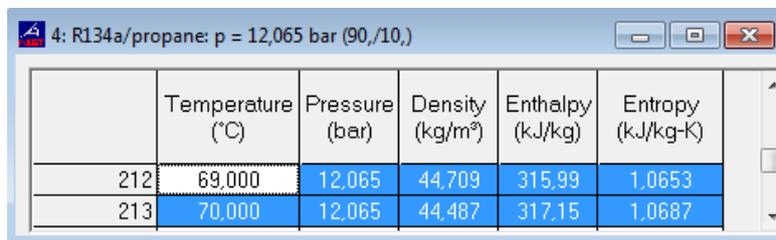
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
170	29,000	11,416	9,2367	1004,5	40,533	100,56	275,34	0,37308	0,95966
171	30,000	11,703	9,5056	1000,7	41,764	102,16	275,82	0,37829	0,95910
172	31,000	11,996	9,7804	996,91	43,027	103,77	276,30	0,38349	0,95854

Figura 3.102 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
189	48,000	17,866	15,432	925,42	70,631	132,24	283,20	0,47258	0,94801
190	49,000	18,269	15,827	920,75	72,697	133,99	283,52	0,47789	0,94728
191	50,000	18,678	16,230	916,03	74,824	135,75	283,83	0,48320	0,94654

Figura 3.103 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
212	69,000	12,065	44,709	315,99	1,0653
213	70,000	12,065	44,487	317,15	1,0687

Figura 3.104 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.105 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1 h _i [kJ/kg]	2 P _i [bar]	3 T _i [C]	4 s _i [kJ/kg-K]
[1]	242,9			
[2]	316,1	12,07	69,09	1,065
[3]	102,2			0,3782
[4]	102,2			

Figura 3.105 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.106 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg				
COP = 1,921	$h_{2s} = 301,5$ [kJ/kg]	$m = 0,001136$ [kg/s]	$n_c = 0,8$	$P_1 = 1,325$ [bar]
$Q_{in} = 0,1598$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,243$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]	$W_c = 0,08319$ [kJ/s]	

Figura 3.106 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.107 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

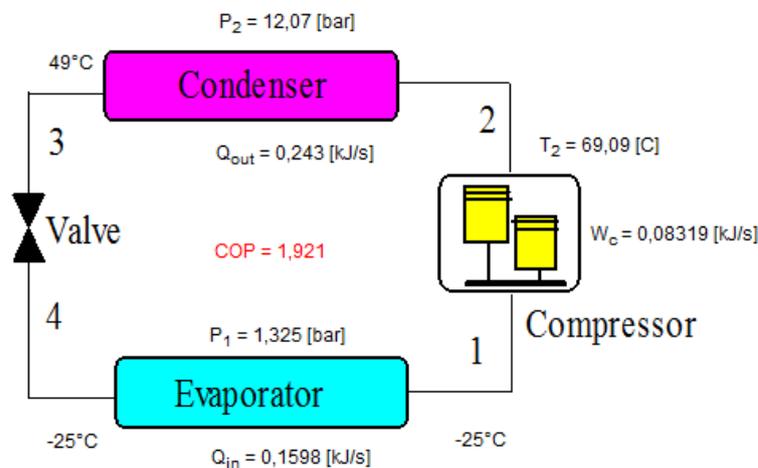


Figura 3.107 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (90%/10%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.19 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.21 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (90%/10%)

Mezclas R-134a/R-290 (90%/10%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.08319	KW
Capacidad de refrigeración	0.1598	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.243	KJ/s
Coficiente de operación	1.921	

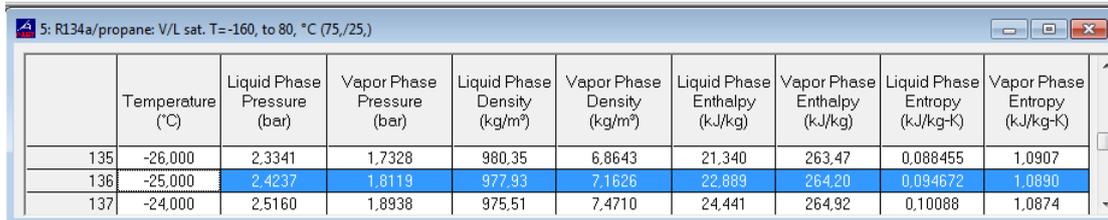
Fuente: (Autores)

3.3.2.2 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%) respectivamente.

3.3.2.2.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%).

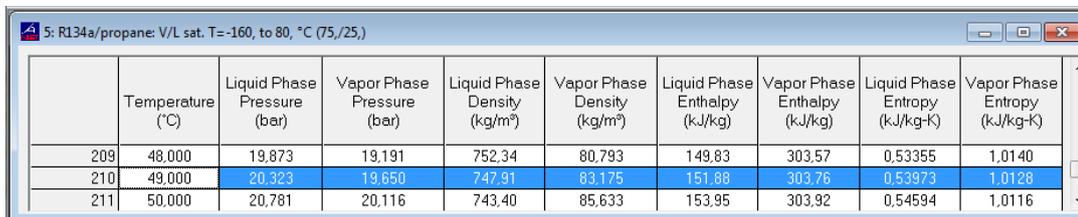
Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.108, fig. 3.109, en la fig 3.110 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



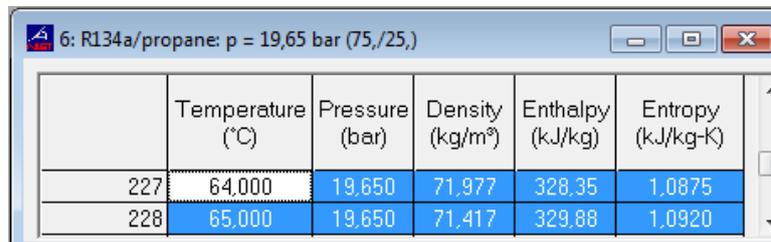
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	2,3341	1,7328	980,35	6,8643	21,340	263,47	0,088455	1,0907
136	-25,000	2,4237	1,8119	977,93	7,1626	22,889	264,20	0,094672	1,0890
137	-24,000	2,5160	1,8938	975,51	7,4710	24,441	264,92	0,10088	1,0874

Figura 3.108 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	19,873	19,191	752,34	80,793	149,83	303,57	0,53355	1,0140
210	49,000	20,323	19,650	747,91	83,175	151,88	303,76	0,53973	1,0128
211	50,000	20,781	20,116	743,40	85,633	153,95	303,92	0,54594	1,0116

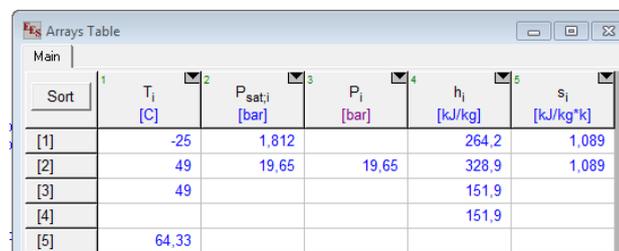
Figura 3.109 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
227	64,000	19,650	71,977	328,35	1,0875
228	65,000	19,650	71,417	329,88	1,0920

Figura 3.110 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.111 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1 T _i [C]	2 P _{sat,i} [bar]	3 P _i [bar]	4 h _i [kJ/kg]	5 s _i [kJ/kg-K]
[1]	-25	1,812		264,2	1,089
[2]	49	19,65	19,65	328,9	1,089
[3]	49			151,9	
[4]				151,9	
[5]	64,33				

Figura 3.111 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.112 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,00129 \text{ [kg/s]}$	$Q_{in} = 0,1449 \text{ [kJ/s]}$	$Q_{out} = 0,2283 \text{ [kJ/s]}$
$T_c = 322,2 \text{ [K]}$	$T_f = 248,2 \text{ [K]}$	$W_c = 0,08341 \text{ [kJ/s]}$	

Figura 3.112 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 83.175 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0.00129} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.113 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

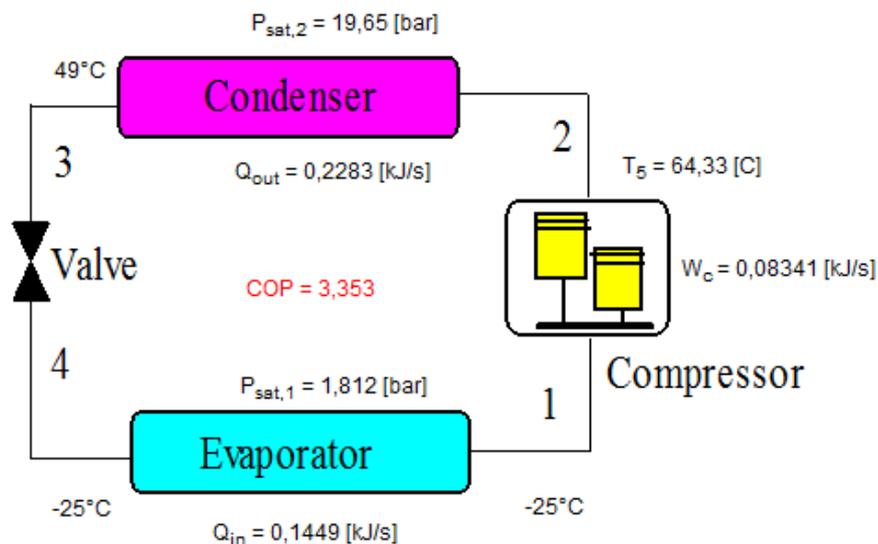


Figura 3.113 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.22 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.22 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (75%/25%)

Mezclas R-134a/R-290 (75%/25%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.08341	KW
Capacidad de refrigeración	0.1449	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2283	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.2.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (75%/25%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=328.9[kJ/kg]$$

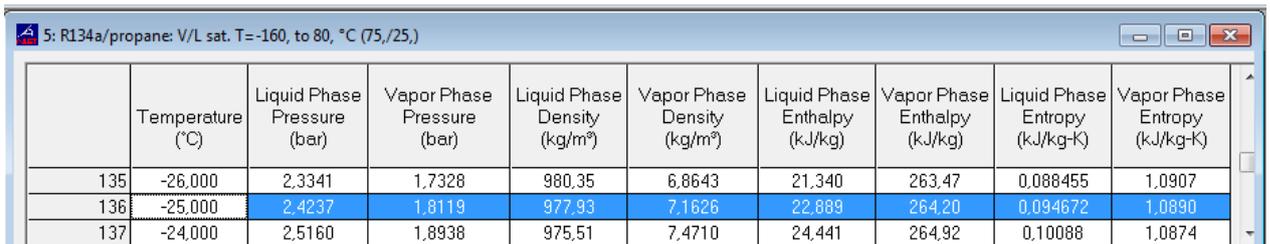
$$h[1]=264.2[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=1.812[bar]$$

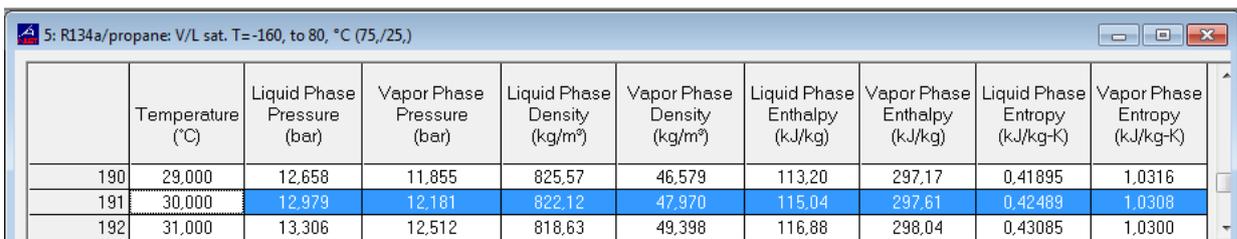
$$P[2]=12,065[bar]$$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.114, a la fig. 3.117



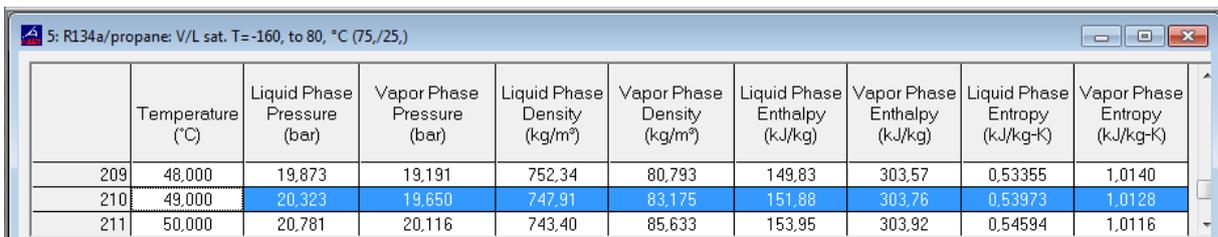
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
135	-26,000	2,3341	1,7328	980,35	6,8643	21,340	263,47	0,088455	1,0907
136	-25,000	2,4237	1,8119	977,93	7,1626	22,889	264,20	0,094672	1,0890
137	-24,000	2,5160	1,8938	975,51	7,4710	24,441	264,92	0,10088	1,0874

Figura 3.114 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



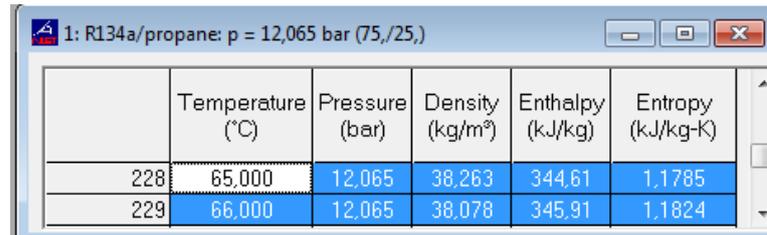
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
190	29,000	12,658	11,855	825,57	46,579	113,20	297,17	0,41895	1,0316
191	30,000	12,979	12,181	822,12	47,970	115,04	297,61	0,42489	1,0308
192	31,000	13,306	12,512	818,63	49,398	116,88	298,04	0,43085	1,0300

Figura 3.115 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
209	48,000	19,873	19,191	752,34	80,793	149,83	303,57	0,53355	1,0140
210	49,000	20,323	19,650	747,91	83,175	151,88	303,76	0,53973	1,0128
211	50,000	20,781	20,116	743,40	85,633	153,95	303,92	0,54594	1,0116

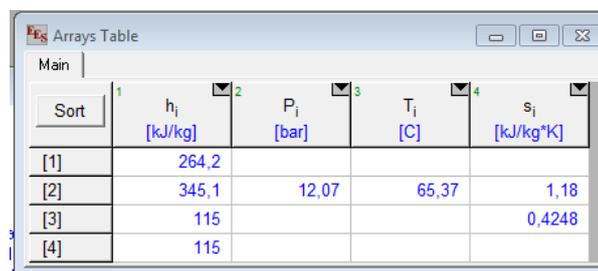
Figura 3.116 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
228	65,000	12,065	38,263	344,61	1,1785
229	66,000	12,065	38,078	345,91	1,1824

Figura 3.117 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.118 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	h _i [kJ/kg]	P _i [bar]	T _i [C]	s _i [kJ/kg-K]
[1]	264,2			
[2]	345,1	12,07	65,37	1,18
[3]	115			0,4248
[4]	115			

Figura 3.118 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.119 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 1,844	h _{2s} = 328,9 [kJ/kg]	m = 0,00129 [kg/s]	n _c = 0,8
P ₁ = 1,812 [bar]	Q _{in} = 0,1924 [kJ/s]	Q _{out} = 0,2967 [kJ/s]	T ₃ = 30 [C]
W _c = 0,1043 [kJ/s]			

Figura 3.119 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.120 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

En la tabla 3.23 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.23 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (75%/25%)

Mezclas R-134a/R-290 (75%/25%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.1043	KW
Capacidad de refrigeración	0.1924	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2967	KJ/s
Coficiente de operación	1.844	

Fuente: (Autores)

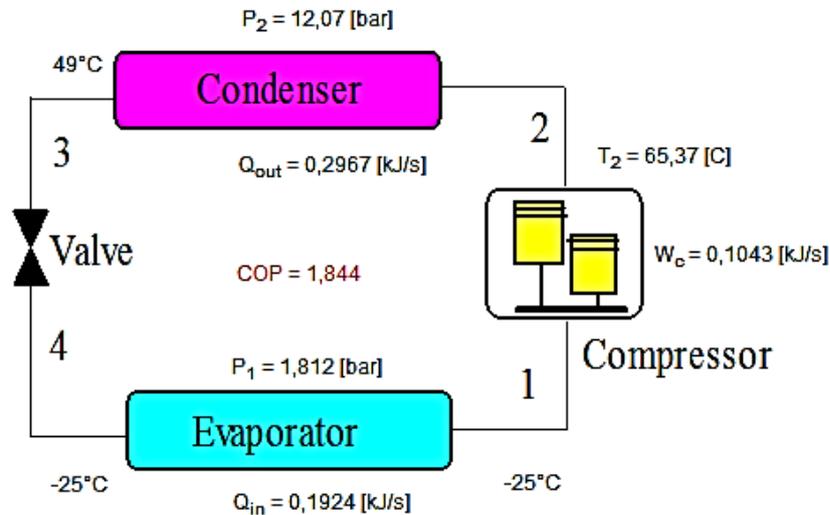


Figura 3.120 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (75%/25%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

3.3.2.3 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%) respectivamente.

3.3.2.3.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

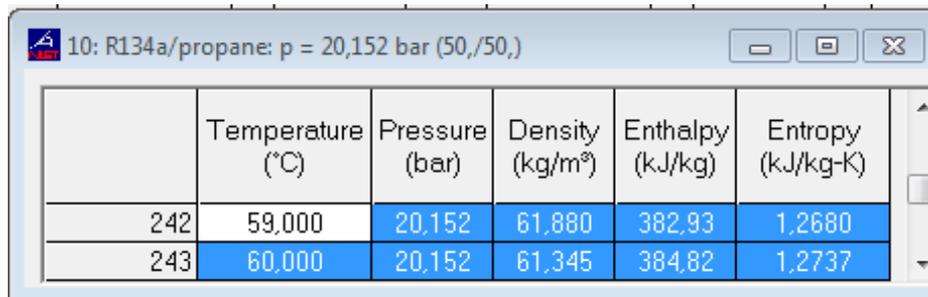
Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.121, fig. 3.122, en la fig 3.123 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
155	-26,000	2,3612	2,3469	777,84	7,5874	24,968	313,13	0,10344	1,2699
156	-25,000	2,4526	2,4373	775,96	7,8639	26,783	313,98	0,11072	1,2686
157	-24,000	2,5467	2,5302	774,07	8,1482	28,602	314,82	0,11799	1,2674

Figura 3.121 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
229	48,000	19,980	19,711	601,35	66,716	176,44	362,54	0,62743	1,2077
230	49,000	20,427	20,152	597,96	68,538	178,87	362,82	0,63473	1,2085
231	50,000	20,880	20,601	594,52	70,416	181,31	363,09	0,64206	1,2054

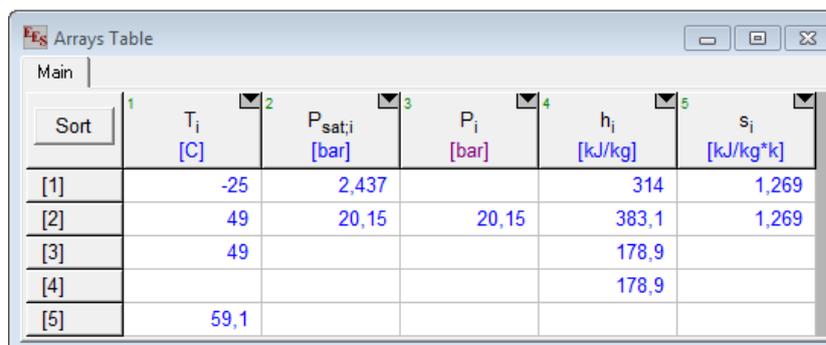
Figura 3.122 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
242	59,000	20,152	61,880	382,93	1,2680
243	60,000	20,152	61,345	384,82	1,2737

Figura 3.123 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.124 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	1 T _i [C]	2 P _{sati} [bar]	3 P _i [bar]	4 h _i [kJ/kg]	5 s _i [kJ/kg*k]
[1]	-25	2,437		314	1,269
[2]	49	20,15	20,15	383,1	1,269
[3]	49			178,9	
[4]				178,9	
[5]	59,1				

Figura 3.124 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.125 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	m = 0,00107 [kg/s]	Q _{in} = 0,1446 [kJ/s]	Q _{out} = 0,2185 [kJ/s]
T _c = 322,2 [K]	T _f = 248,2 [K]	W _c = 0,07398 [kJ/s]	

Figura 3.125 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 68.538 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00001562 \frac{m^3}{s} = 0.00107 \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.126 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

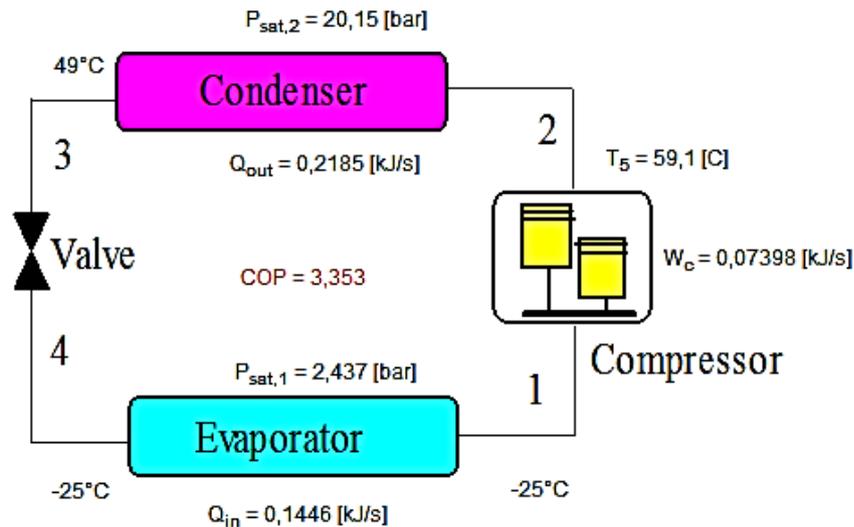


Figura 3.126 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.24 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.24 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (50%/50%)

Mezclas R-134a/R-290 (50%/50%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.07398	KW
Capacidad de refrigeración	0.1446	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2185	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.2.3.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (50%/50%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3 = 30 [C]$$

$$h_{2s} = 383,12 [kJ/kg]$$

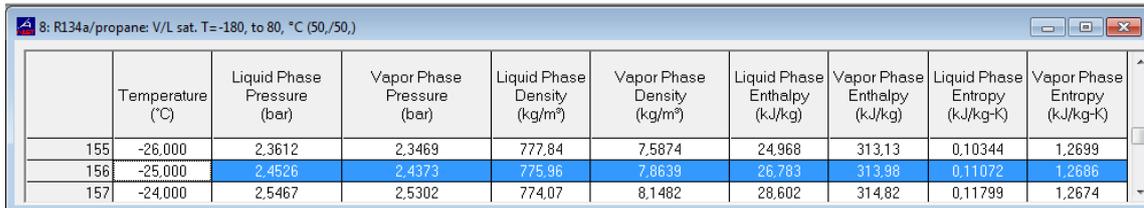
$$h_1 = 313,98 [kJ/kg]$$

$$n_c = 0,8$$

$$P_1 = 2,4373 [bar]$$

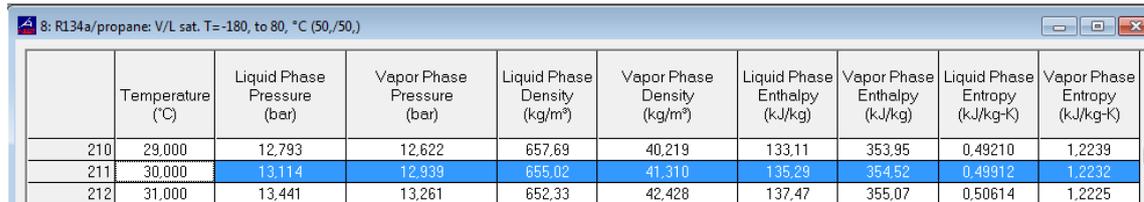
$$P_2 = 12,065 [bar]$$

El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.127, a la fig. 3.130



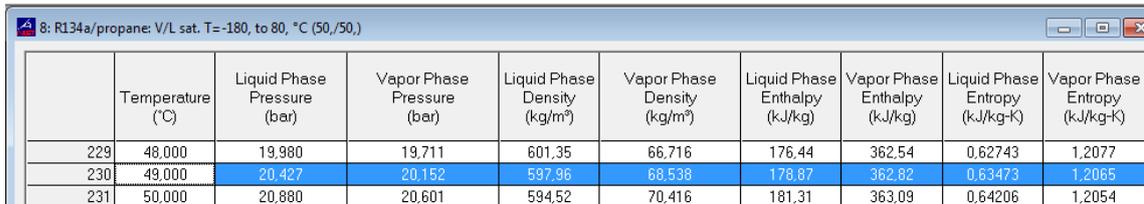
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
155	-26,000	2,3612	2,3469	777,84	7,5874	24,968	313,13	0,10344	1,2699
156	-25,000	2,4526	2,4373	775,96	7,8639	26,783	313,98	0,11072	1,2686
157	-24,000	2,5467	2,5302	774,07	8,1482	28,602	314,82	0,11799	1,2674

Figura 3.127 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



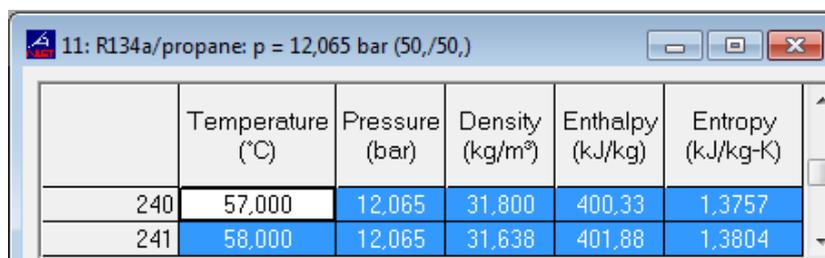
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
210	29,000	12,793	12,622	657,69	40,219	133,11	353,95	0,49210	1,2239
211	30,000	13,114	12,939	655,02	41,310	135,29	354,52	0,49912	1,2232
212	31,000	13,441	13,261	652,33	42,428	137,47	355,07	0,50614	1,2225

Figura 3.128 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
229	48,000	19,980	19,711	601,35	66,716	176,44	362,54	0,62743	1,2077
230	49,000	20,427	20,152	597,96	68,538	178,87	362,82	0,63473	1,2065
231	50,000	20,880	20,601	594,52	70,416	181,31	363,09	0,64206	1,2054

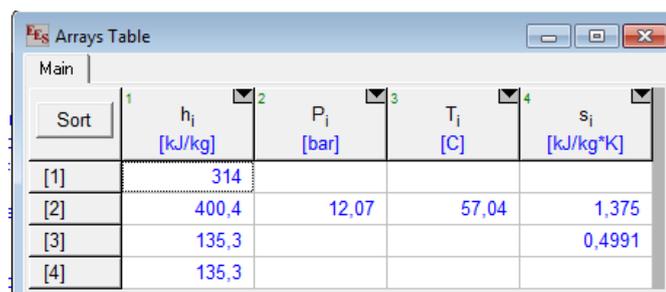
Figura 3.129 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
240	57,000	12,065	31,800	400,33	1,3757
241	58,000	12,065	31,638	401,88	1,3804

Figura 3.130 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.131 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	h _i [kJ/kg]	P _i [bar]	T _i [C]	s _i [kJ/kg-K]
[1]	314			
[2]	400,4	12,07	57,04	1,375
[3]	135,3			0,4991
[4]	135,3			

Figura 3.131 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.132 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,068	$h_{2s} = 383,1$ [kJ/kg]	$m = 0,00107$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 2,437$ [bar]	$Q_{in} = 0,1912$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2837$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,09247$ [kJ/s]			

Figura 3.132 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.133 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

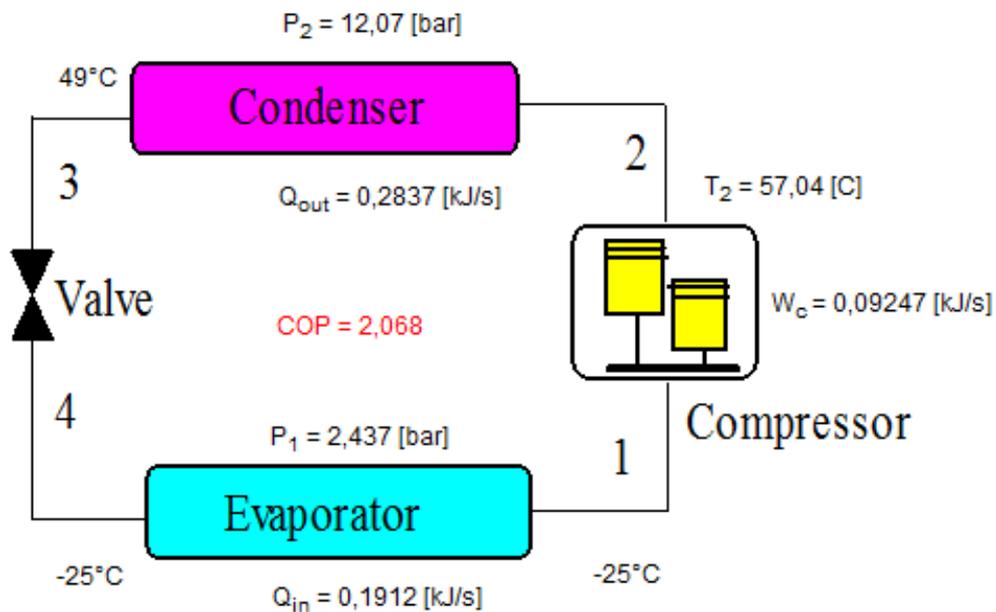


Figura 3.133 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (50%/50%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.25 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.25 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (50%/50%)

Mezclas R-134a/R-290 (50%/50%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.09247	KW
Capacidad de refrigeración	0.1912	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2837	KJ/s
Coficiente de operación	2.068	

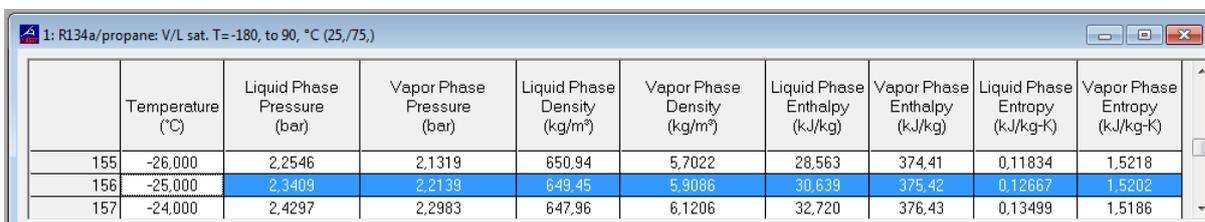
Fuente: (Autores)

3.3.2.4 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%) respectivamente.

3.3.2.4.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%).

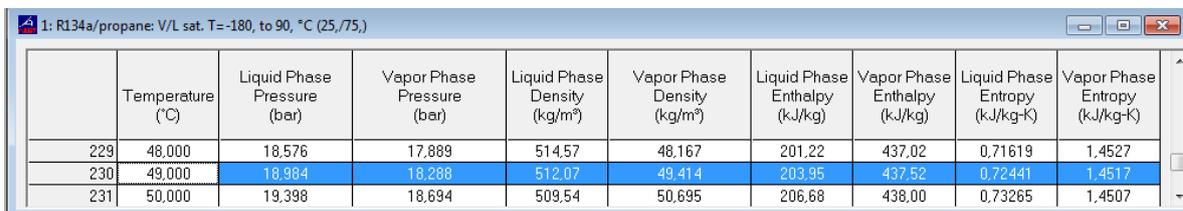
Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.134, fig. 3.135, en la fig. 3.136 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.



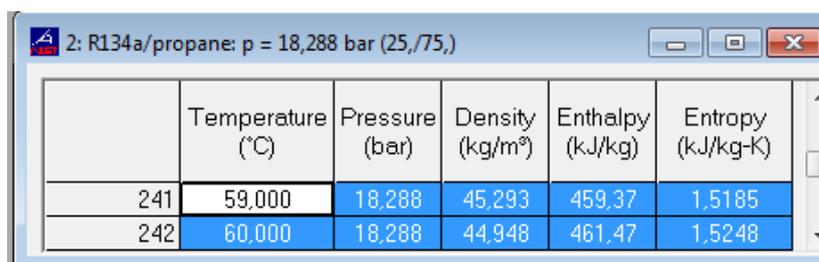
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
155	-26,000	2,2546	2,1319	650,94	5,7022	28,563	374,41	0,11834	1,5218
156	-25,000	2,3409	2,2139	649,45	5,9086	30,639	375,42	0,12667	1,5202
157	-24,000	2,4297	2,2983	647,96	6,1206	32,720	376,43	0,13499	1,5186

Figura 3.134 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
229	48,000	18,576	17,889	514,57	48,167	201,22	437,02	0,71619	1,4527
230	49,000	18,984	18,288	512,07	49,414	203,95	437,52	0,72441	1,4517
231	50,000	19,398	18,694	509,54	50,695	206,68	438,00	0,73265	1,4507

Figura 3.135 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
241	59,000	18,288	45,293	459,37	1,5185
242	60,000	18,288	44,948	461,47	1,5248

Figura 3.136 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.137 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.

Sort	1	2	3	4	5
	T_i [C]	$P_{sat,i}$ [bar]	P_i [bar]	h_i [kJ/kg]	s_i [kJ/kg*k]
[1]	-25	2,214		375,4	1,52
[2]	49	18,29	18,29	459,9	1,52
[3]	49			204	
[4]				204	
[5]	59,26				

Figura 3.137 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.138 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	$m = 0,000771$ [kg/s]	$Q_{in} = 0,1322$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,1974$ [kJ/s]
$T_c = 322,2$ [k]	$T_f = 248,2$ [k]	$W_c = 0,06516$ [kJ/s]	

Figura 3.138 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 49,414 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0,000771} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.139 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

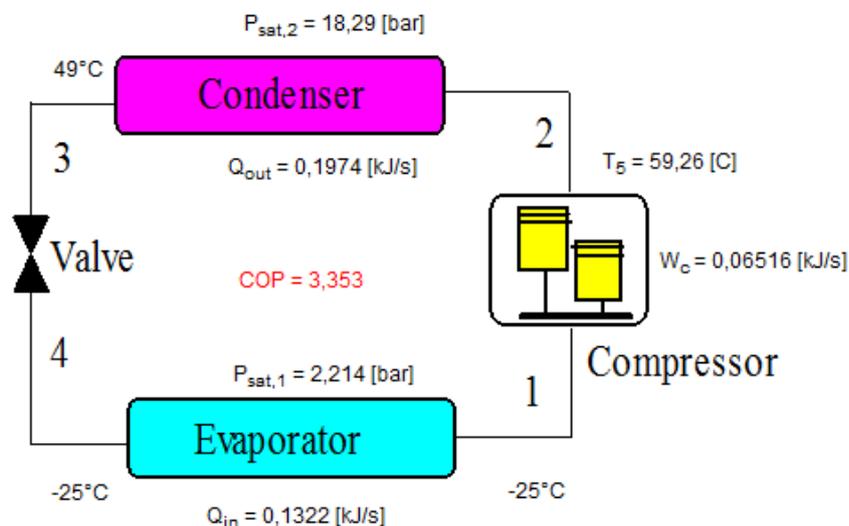


Figura 3.139 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.26 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.26 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (25%/75%)

Mezclas R-134a/R-290 (25%/75%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.06516	KW
Capacidad de refrigeración	0.1322	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1974	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.2.4.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (25%/75%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3=30[C]$$

$$h_{2s}=459.33[kJ/kg]$$

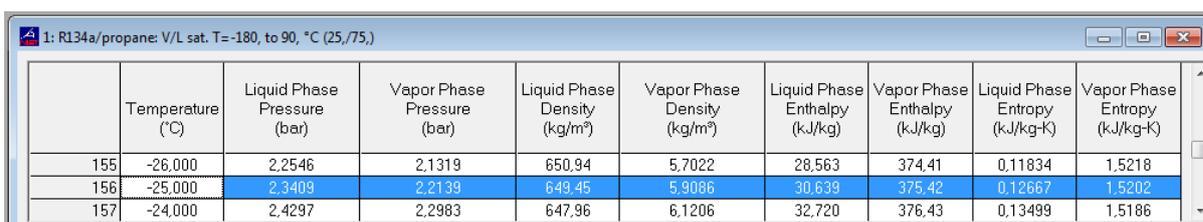
$$h[1]=375.42[kJ/kg]$$

$$n_c=0,8$$

$$P_1=2,2139[bar]$$

$$P[2]=12,065[bar]$$

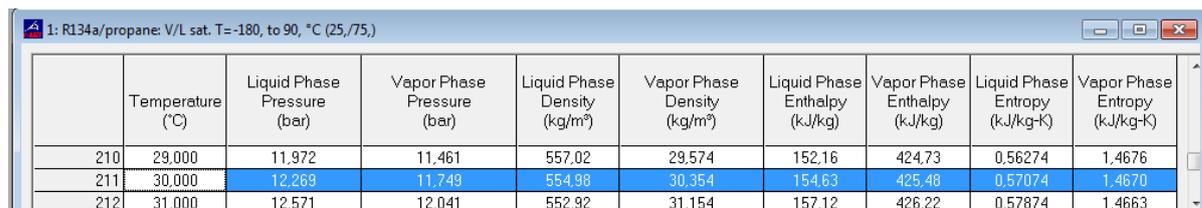
El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.140, a la fig. 3.143



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
155	-26,000	2,2546	2,1319	650,94	5,7022	28,563	374,41	0,11834	1,5218
156	-25,000	2,3409	2,2139	649,45	5,9086	30,639	375,42	0,12667	1,5202
157	-24,000	2,4297	2,2983	647,96	6,1206	32,720	376,43	0,13499	1,5186

Figura 3.140 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

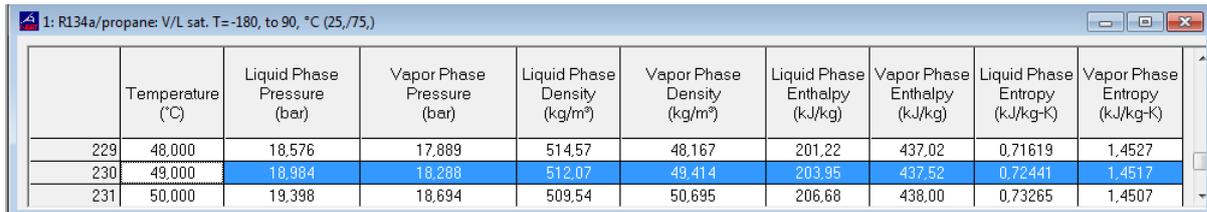
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
210	29,000	11,972	11,461	557,02	29,574	152,16	424,73	0,56274	1,4676
211	30,000	12,269	11,749	554,98	30,354	154,63	425,48	0,57074	1,4670
212	31,000	12,571	12,041	552,92	31,154	157,12	426,22	0,57874	1,4663

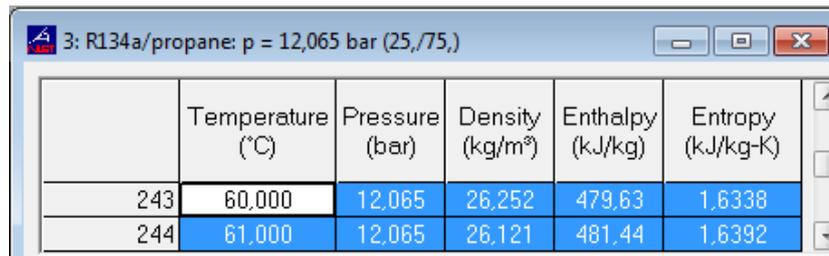
Figura 3.141 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
229	48,000	18,576	17,889	514,57	48,167	201,22	437,02	0,71619	1,4527
230	49,000	18,984	18,288	512,07	49,414	203,95	437,52	0,72441	1,4517
231	50,000	19,398	18,694	509,54	50,695	206,68	438,00	0,73265	1,4507

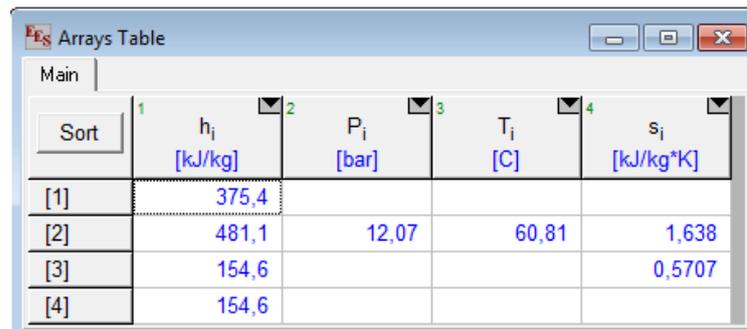
Figura 3.142 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
243	60,000	12,065	26,252	479,63	1,6338
244	61,000	12,065	26,121	481,44	1,6392

Figura 3.143 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.144 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.



Sort	1 h_i [kJ/kg]	2 P_i [bar]	3 T_i [C]	4 s_i [kJ/kg-K]
[1]	375,4			
[2]	481,1	12,07	60,81	1,638
[3]	154,6			0,5707
[4]	154,6			

Figura 3.144 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.145 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,09	$h_{2s} = 459,9$ [kJ/kg]	$m = 0,000771$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 2,214$ [bar]	$Q_{in} = 0,1702$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2517$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,08145$ [kJ/s]			

Figura 3.145 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.146 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

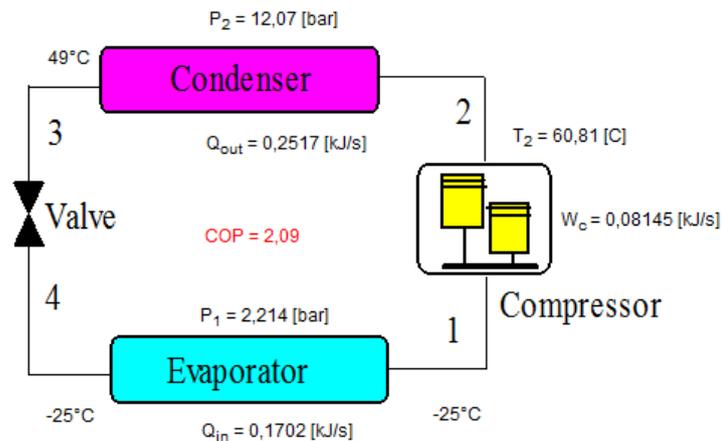


Figura 3.146 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (25%/75%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.27 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.27 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (25%/75%)

Mezclas R-134a/R-290 (25%/75%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.08145	KW
Capacidad de refrigeración	0.1702	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2517	KJ/s
Coficiente de operación	2.09	

Fuente: (Autores)

3.3.2.5 Análisis de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%) respectivamente.

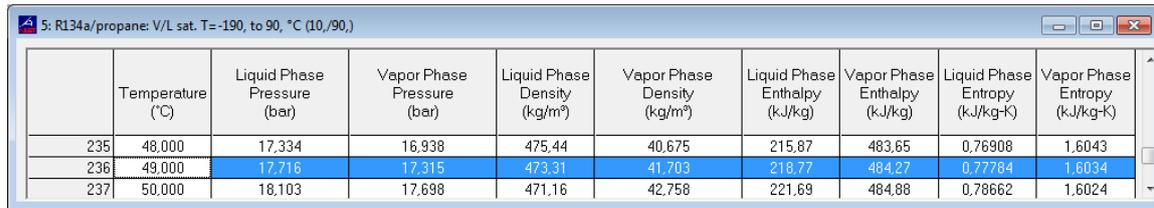
3.3.2.5.1 Análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%).

Se realiza el análisis del ciclo ideal de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%) ingresando las ecuaciones termodinámicas en la programación del software EES ubicadas en el anexo.

Para esta mezcla se va a utilizar los datos termodinámicos que nos proporciona el software refprop fig. 3.147, fig. 3.148, en la fig. 3.149 se realiza una interpolación a la presión indicada en el anexo correspondiente a esta mezcla.

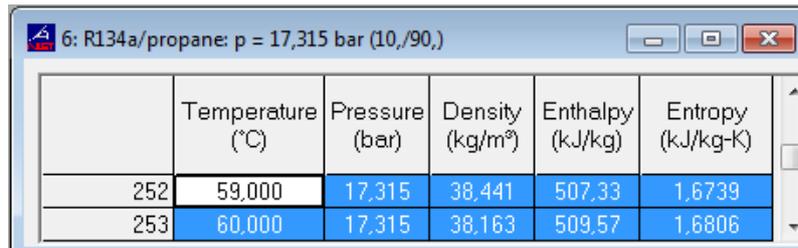
	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
161	-26.000	2.1000	2.0206	594.18	4.8976	30.710	413.40	0.12727	1.6782
162	-25.000	2.1804	2.0984	592.86	5.0744	32.942	414.51	0.13623	1.6764
163	-24.000	2.2631	2.1785	591.55	5.2562	35.180	415.62	0.14517	1.6746

Figura 3.147 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
235	48,000	17,334	16,938	475,44	40,675	215,87	483,65	0,76908	1,6043
236	49,000	17,716	17,315	473,31	41,703	218,77	484,27	0,77784	1,6034
237	50,000	18,103	17,698	471,16	42,758	221,69	484,88	0,78662	1,6024

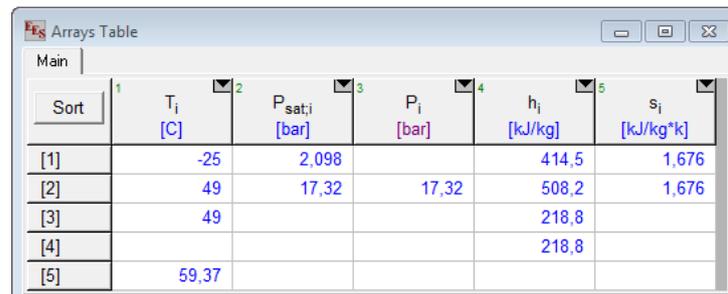
Figura 3.148 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
252	59,000	17,315	38,441	507,33	1,6739
253	60,000	17,315	38,163	509,57	1,6806

Figura 3.149 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla
Fuente: (Autores)

En la figura 3.150 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpia y entropía.



Sort	T _i [C]	P _{sat,i} [bar]	P _i [bar]	h _i [kJ/kg]	s _i [kJ/kg·K]
[1]	-25	2,098		414,5	1,676
[2]	49	17,32	17,32	508,2	1,676
[3]	49			218,8	
[4]				218,8	
[5]	59,37				

Figura 3.150 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la figura 3.151 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 3,353	m = 0,000651 [kg/s]	Q _{in} = 0,1274 [kJ/s]	Q _{out} = 0,1884 [kJ/s]
T _c = 322,2 [K]	T _f = 248,2 [K]	W _c = 0,06097 [kJ/s]	

Figura 3.151 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

El valor de flujo másico del refrigerante $\dot{m}_{ref.}$ se lo obtiene con la Eq. 3.5

$$\dot{m}_{ref.} = 41,703 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00001562 \frac{m^3}{s} = \mathbf{0,000651} \frac{kg}{s}$$

En la figura 3.152 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

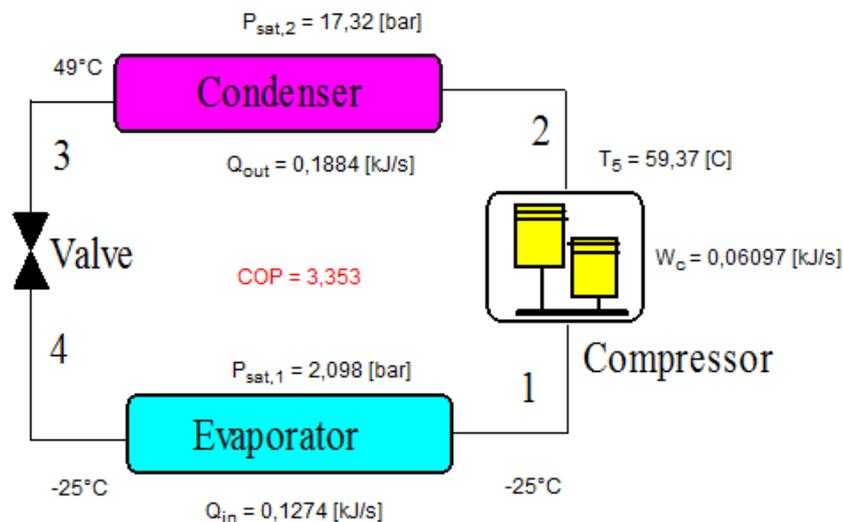


Figura 3.152 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo ideal
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.28 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.28 Resultados correspondientes al ciclo ideal para mezcla R-134a/R290 (10%/90%)

Mezclas R-134a/R-290 (10%/90%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.06097	KW
Capacidad de refrigeración	0.1274	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.1884	KJ/s
Coefficiente de operación	3.353	

Fuente: (Autores)

3.3.2.5.2 Análisis del ciclo real de la mezcla R-134a/R-290 (10%/90%).

Para el análisis del ciclo real se utilizara los siguientes valores:

$$T_3 = 30 [C]$$

$$h_{2s} = 508.165 [kJ/kg]$$

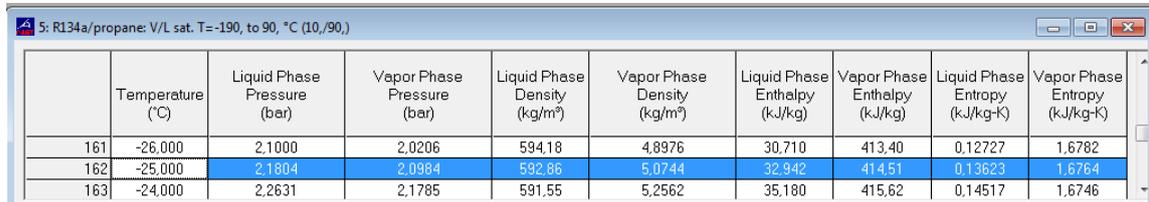
$$h_1 = 414.51 [kJ/kg]$$

$$n_c = 0,8$$

$$P_1 = 2,098 [bar]$$

$$P_2 = 12,065 [bar]$$

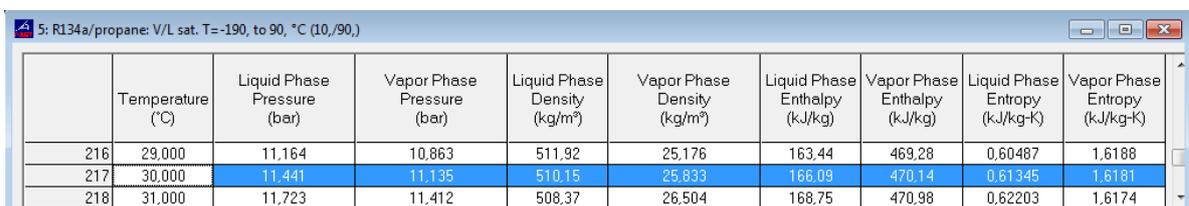
El software refprop nos proporciona toda la información termodinámica de esta mezcla como se puede observar en fig. 3.153, a la fig. 3.156



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
161	-26,000	2,1000	2,0206	594,18	4,8976	30,710	413,40	0,12727	1,6782
162	-25,000	2,1804	2,0984	592,86	5,0744	32,942	414,51	0,13623	1,6764
163	-24,000	2,2631	2,1785	591,55	5,2562	35,180	415,62	0,14517	1,6746

Figura 3.153 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

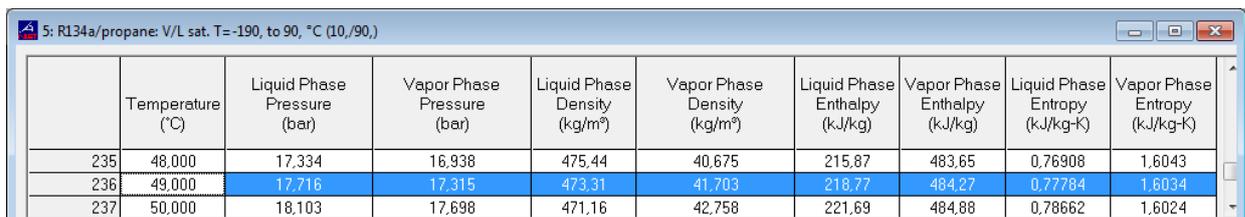
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
216	29,000	11,164	10,863	511,92	25,176	163,44	469,28	0,60487	1,6188
217	30,000	11,441	11,135	510,15	25,833	166,09	470,14	0,61345	1,6181
218	31,000	11,723	11,412	508,37	26,504	168,75	470,98	0,62203	1,6174

Figura 3.154 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

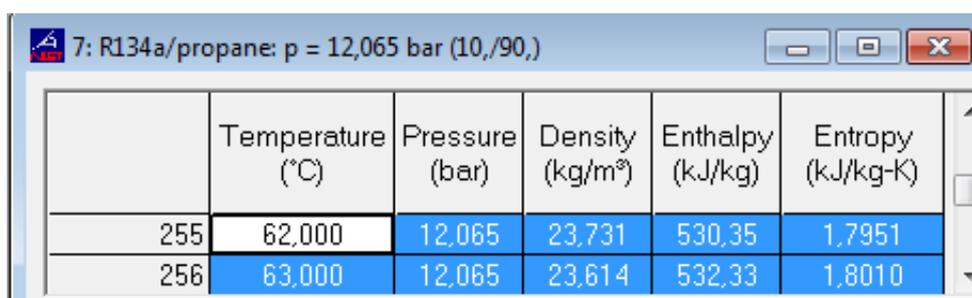
Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
235	48,000	17,334	16,938	475,44	40,675	215,87	483,65	0,76908	1,6043
236	49,000	17,716	17,315	473,31	41,703	218,77	484,27	0,77784	1,6034
237	50,000	18,103	17,698	471,16	42,758	221,69	484,88	0,78662	1,6024

Figura 3.155 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)



	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
255	62,000	12,065	23,731	530,35	1,7951
256	63,000	12,065	23,614	532,33	1,8010

Figura 3.156 Valores termodinámicos obtenidos para la mezcla

Fuente: (Autores)

En la figura 3.157 se tiene los valores de cada una de las incógnitas ingresadas correspondientes a la temperatura, presión, entalpía y entropía.

Sort	1	2	3	4
	h_i [kJ/kg]	P_i [bar]	T_i [C]	s_i [kJ/kg*K]
[1]	414,5			
[2]	531,6	12,07	62,63	1,799
[3]	166,1			0,6134
[4]	166,1			

Figura 3.157 Tabla de valores para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.158 se tiene la tabla de resultados de las ecuaciones 3.1 a la 3.4

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg			
COP = 2,122	$h_{2s} = 508,2$ [kJ/kg]	$m = 0,000651$ [kg/s]	$n_c = 0,8$
$P_1 = 2,098$ [bar]	$Q_{in} = 0,1617$ [kJ/s]	$Q_{out} = 0,2379$ [kJ/s]	$T_3 = 30$ [C]
$W_c = 0,07621$ [kJ/s]			

Figura 3.158 Tabla de resultados para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la figura 3.159 se puede observar el diagrama del ciclo de refrigeración con los valores que fueron ingresados en la programación del EES.

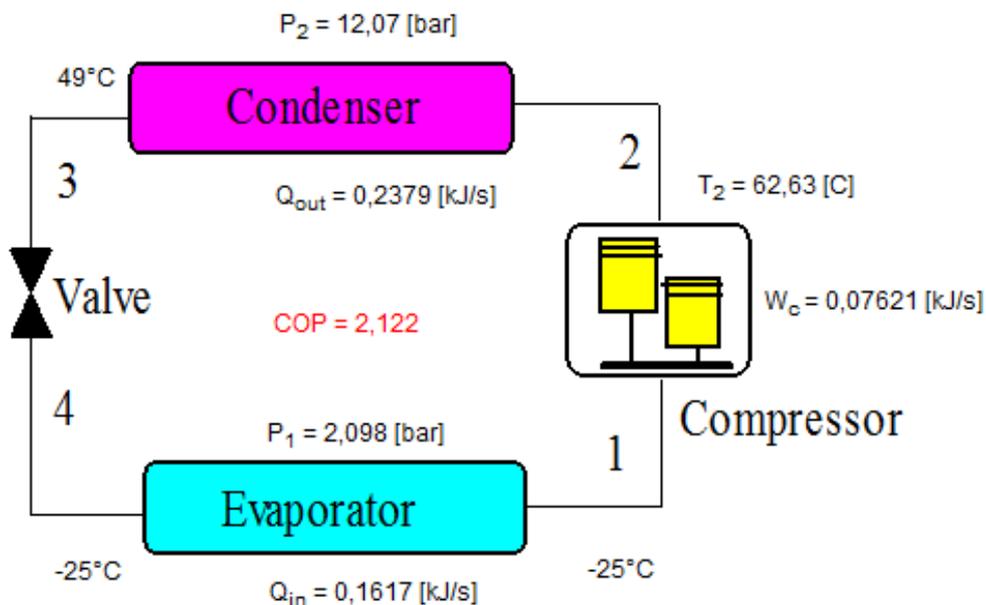


Figura 3.159 Diagrama del ciclo de refrigeración para la mezcla R-134a/R290 (10%/90%) en ciclo real
Fuente: (Autores)

En la tabla 3.29 se tiene los resultados del análisis del ciclo.

Tabla 3.29 Resultados correspondientes al ciclo real para mezcla R-134a/R290 (10%/90%)

Mezclas R-134a/R-290 (10%/90%)		
Trabajo consumido por el compresor	0.07621	KW
Capacidad de refrigeración	0.1617	KJ/s
Calor transferido del condensador	0.2379	KJ/s
Coefficiente de operación	2.122	

Fuente: (Autores)

3.4 CONCLUSIONES:

- El Software EES permite realizar un análisis termodinámico muy extenso y completo sin embargo existe limitación para elabora mezclas.
- Al realizar una comparación visual entre la tabla de refrigerante R-134a que es el más estudiado en termodinámica y las tablas obtenidas mediante REFPROP para R-134a se puede concluir que el software utiliza ecuaciones de estado de mucha precisión.
- Es fundamental realizar el ciclo ideal y observar las variaciones existentes con el ciclo real para asegurarse de que el proceso llevado a cabo es el correcto y conocer los rangos de diferencia entre ambos.
- Para el planteamiento del ciclo real en un equipo de refrigeración es necesario datos de su presión y temperatura que se obtienen mediante pruebas de laboratorio.

3.5 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 3

1. Minchala, W. (2009). *Estudio de reducción de consumo de energía de las refrigeradoras modelos RI-390 defrost y RI-480 no frost que fabrica Indurama*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Politécnica Salesiana.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1 REFRIGERANTES PUROS

Con los resultados obtenidos de la simulación de los refrigerantes puros y sus mezclas se realiza el análisis correspondiente con el objetivo de seleccionar un refrigerante ideal tomando en cuenta el COP, la presión, la temperatura y el Calor latente como factores predominantes en la decisión final.

4.1.1 Desde el punto de vista del COP

En la tabla 4.1 se puede observar los resultados obtenidos de la simulación en el software EES de los refrigerantes puros R-134a, R-600a y R-290.

Tabla 4.1 Resultados de la simulación.

Cuadro de resultados			
En función de:	R-134a (KW)	R-600a (KW)	R-290 (KW)
Trabajo consumido por el compresor	0.06521	0.03022	0.07334
Capacidad de refrigeración	0.1417	0.06696	0.1574
Calor transferido del condensador	0.2069	0.09718	0.2307
Coefficiente de operación (COP)	2.172	2.216	2.146

Fuente: (Autores)

Como se puede observar el valor mayor de COP en el sistema de refrigeración planteado es de **2.216**, del refrigerante R-600a; este valor hace referencia a la eficiencia con la que está funcionando el sistema de refrigeración el cual debe ser un valor alto para saber que el sistema funciona de manera eficiente.

4.1.2 Desde el punto de vista de la presión

Los valores de presión de operación son muy importantes especialmente el valor de la presión de condensación debido a que con esta presión se determinara la robustez del compresor y del condensador, la cual debe ser lo suficientemente baja ya que de lo contrario aumentaría el tamaño del equipo y por ende su costo, “se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica”. [1] En caso de que se trabaje con presiones inferiores a la atmosférica se corre el peligro de que al existir una fuga, ingrese aire al sistema, por ello es recomendable que la presión tanto en el condensador como en el

evaporador sea ligeramente superior a la presión atmosférica. De la agencia espacial civil ecuatoriana se obtuvo como dato la presión atmosférica en cuenca de 0,6bar.

En la tabla 4.2 se observa que El refrigerante que mejor cumple las condiciones de presión y se encuentra sobre la presión atmosférica es el refrigerante R-134a con un valor en el condensador de 12.858 bares y en el evaporador de 1.065bar

Tabla 4.2 Presiones de operación

Refrigerante N°	Evaporador -25°C (Bar)	Condensador 49°C (Bar)
R-134a	1.065	12.858
R-600a	0.5842	6.626
R290	2.034	16.76

Fuente: (Autores)

4.1.3 Desde el punto de vista de la temperatura

La temperatura que se va a considerar para determinar un refrigerante ideal es la temperatura crítica, se considera únicamente esta temperatura debido a que el software Refprop utilizado para el análisis tanto de mezclas de refrigerantes como refrigerantes puros, presenta este parámetro como resultado luego del análisis.

La temperatura crítica se considerada para el diseño del condensador ya que ningún fluido en estado de vapor se condensa a una temperatura mayor que la crítica.

En la tabla 4.3 se presenta la temperatura crítica para cada refrigerante obtenidas del anexo “C”, y en la tabla 4.4, además de las temperaturas obtenidas mediante la simulación para el condensador.

Tabla 4.3 Temperatura critica

Refrigerante N°	Temperatura critica °C	Temperatura condensador °C
R-134a	101.06	68.38
R-600a	134.66	74.84
R290	96.74	63.67

Fuente: (Autores)

Se puede observar que para cada refrigerante puro de la tabla 4.4 la temperatura del condensador está por debajo de la temperatura crítica esto significa que los tres refrigerantes pueden ser considerados como ideales de acuerdo al criterio de temperatura.

4.1.4 Desde el punto de vista del Calor latente.

Un refrigerante debe tener un valor alto de calor latente (el cual ocurre en el evaporador), debido a que esto posibilita la refrigeración por la razón que si es mayor este valor, se necesitara la circulación de una menor cantidad de refrigerante.

El calor latente se define de la siguiente manera.

$$h_{fg} = h_g - h_f \quad \text{Eq 4.1}$$

En la tabla 4.4 se presenta los valores de calor latente, mismos que se han obtenido mediante la Eq. 4.1 se requiere determinar mediante cálculo de estos valores ya que el software entrega los resultados de h_g y h_f los cuales se tomaran en cuenta a una temperatura del evaporador de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabla 4.4 Temperatura del condensador

Refrigerante N°	Entalpia a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	h_f (Kcal/kg)	h_{fg} (Kcal/kg)	h_g (Kcal/kg)
R-134a	4.5516	51.687	56.239
R-600a	7.6294	90.3586	97.628
R-290	8.2397	97.2	105.44

Fuente: Autores

El refrigerante que se considera como ideal con respecto al calor latente es el refrigerante R-290 porque su valor es el mayor de entre los refrigerantes seleccionados, pero hay que considerar también al refrigerante R-600a el cual tiene un valor alto en comparación del refrigerante R-134a.

4.1.5 Selección del refrigerante óptimo de entre los refrigerantes puros

En la tabla 4.5 se presenta la comparación de entre los refrigerantes que han sido seleccionados como los más óptimos de acuerdo a cada una de las propiedades termodinámicas que se plantearon en los análisis de las tablas 4,1; 4,2; 4,3 y 4,4.

Tabla 4.5 Refrigerante optimo

Propiedades termodinámicas	Refrigerante ideal N°	Valor obtenido
COP	R-600a	2.216
Presión (bar)	R-134a	1.065-12.858
Temperatura (°C)	R-134a	101.06
	R-600a	134.66
	R290	96.74
Calor latente (Kcal/kg)	R-290	97.2

Fuente: (Autores)

Una de las consideraciones más importantes para la selección del refrigerante ideal es la presión, la cual debe ser mayor que la presión atmosférica, en base a esta consideración se puede seleccionar al refrigerante R-134a como ideal tomando en cuenta además que su valor de COP no tiene gran diferencia con el refrigerante R-600a tampoco tiene una diferencia significativa con el valor de calor latente del R-290.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA R134a-R600a.

Con los resultados obtenidos de la simulación de las mezclas de refrigerantes se realiza el análisis correspondiente con el objetivo de seleccionar un refrigerante ideal tomando en cuenta el COP, la presión, la temperatura y el Calor latente como factores predominantes.

4.2.1 Desde el punto de vista del COP

En la tabla 4.6 se puede observar los resultados obtenidos de la simulación en el software EES de la mezcla R-134a/R-600a.

Tabla 4.6 Resultados de la simulación en la mezcla R-134a/R-600a.

Cuadro de resultados R-134a/R-600a						
Porcentajes	90/10	75/25	50/50	25/75	10/90	%
Trabajo consumido por el compresor	0.07118	0.06681	0.0477	0.03634	0.03227	KW
Capacidad de refrigeración	0.1482	0.1385	0.09429	0.07525	0.06941	KW
Calor transferido del condensador	0.2197	0.2053	0.142	0.1116	0.1017	KW
Coefficiente de operación	2.081	2.073	1.977	2.071	2.151	

Fuente: (Autores)

Como se puede observar el valor mayor de COP en el sistema de refrigeración planteado es de 2.151 que pertenece al porcentaje de mezcla R-134a 10%, R-600a 90%; este valor hace referencia a la eficiencia con la que está funcionando el sistema de refrigeración el cual debe ser un valor alto para saber que el sistema funciona de manera eficiente.

4.2.2 Desde el punto de vista de la Presión

Los valores de presión de operación son muy importantes especialmente el valor de la presión de condensación debido a que con esta presión se determinara la robustez del compresor y del condensador, la cual debe ser lo suficientemente baja ya que de ser alta aumentaría el tamaño del equipo y por ende su costo, “se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica”. [1] En caso de que se trabaje con presiones inferiores a la atmosférica se corre el peligro de que al existir una fuga, ingrese aire al sistema, por ello es recomendable que la presión tanto en el condensador como en el evaporador sea ligeramente superior a la presión atmosférica. De la agencia espacial civil ecuatoriana se obtuvo como dato la presión atmosférica en cuenca de 0,6bar.

En la tabla 4.7 se observa que El refrigerante que mejor cumple las condiciones de presión es la mezcla en porcentaje R-134a 10%, R-600a 90% que tiene un valor en el condensador de 7.095bar y en el evaporador de 0.6189bar, lo cual cumple la condición de tener un valor de presión ligeramente superior a la presión atmosférica de 0.6bar

Tabla 4.7 Presiones de operación en la mezcla R-134a/R-600a.

Proporción de mezcla R-134a/R-600a	Evaporador -25°C	Condensador 49°C
	Bar	Bar
90/10	1.219	14.03
75/25	1.339	13.84
50/50	0.8818	10.1
25/75	0.6871	7.899
10/90	0.6189	7.095

Fuente: (Autores)

4.2.3 Desde el punto de vista de la Temperatura

La temperatura que se va a considerar para determinar un refrigerante ideal es la temperatura crítica, se considera únicamente esta temperatura debido a que el software refprop utilizado para el análisis tanto de mezclas de refrigerantes como refrigerantes puros, presenta este parámetro como resultado luego del análisis.

La temperatura crítica se considerada para el diseño del condensador ya que ningún fluido en estado de vapor se condensa a una temperatura mayor que la crítica.

En la tabla 4.8 se presenta la temperatura crítica para cada refrigerante obtenidas del anexo C, además de las temperaturas obtenidas mediante la simulación para el condensador.

Tabla 4.8 Temperatura critica en la mezcla R-134a/R-600a.

Proporción de mezcla R-134a/R-600a	Temperatura crítica °C	Temperatura condensador °C
90/10	95.143	65.76
75/25	94.785	60.73
50/50	108.7	64.65
25/75	124.34	66.83
10/90	131.25	71.78

Fuente: (Autores)

Se puede observar que para cada refrigerante de la tabla 4.9 la temperatura del condensador está por debajo de la temperatura crítica, esto significa que las cinco mezclas de refrigerantes pueden ser consideradas como ideales de acuerdo al criterio de temperatura crítica.

4.2.4 Desde el punto de vista del Calor latente

Un refrigerante debe tener un valor alto de calor latente (el cual ocurre en el evaporador), debido a que esto posibilita la refrigeración por la razón que si es mayor este valor, se necesitara la circulación de una menor cantidad de refrigerante.

En la tabla 4.9 se presenta los valores de calor latente, mismos que se han obtenido mediante la Eq. 4.1 se requiere determinar mediante cálculo de estos valores ya que el software entrega los resultados de h_g y h_f los cuales se tomaran en cuenta a una temperatura del evaporador de -25 °C.

Tabla 4.9 Temperatura del condensador en la mezcla R-134a/R-600a.

Proporción de mezcla R-134a/R-600a	Entalpia a -25 °C		
	h_f (Kcal/kg)	h_{fg} (Kcal/kg)	h_g (Kcal/kg)
90/10	4.8555	52.8065	57.662
75/25	5.3171	56.2859	61.603
50/50	6.0877	65.7063	71.794
25/75	6.8588	77.2022	84.061
10/90	7.3214	84.7576	92.079

Fuente: (Autores)

El refrigerante que se considera como ideal con respecto al calor latente es la mezcla en porcentaje R-134a 10%, R-600a 90% porque su valor es el mayor de entre las mezclas realizadas.

4.2.5 Selección del refrigerante óptimo de la mezcla R-134a/R-600a.

En la tabla 4.10 se tiene la comparación de entre los refrigerantes que han sido seleccionados como los más óptimos en cada una de las propiedades termodinámicas que se plantearon como las más importantes.

Tabla 4.10 Refrigerante optimo en la mezcla R-134a/R-600a.

Propiedades termodinámicas	Refrigerante ideal %	Valor obtenido
COP	10/90	2.151
Presión (bar)	10/90	0.6189-7.095
Temperatura (°C)	90/10	95.143 (°C)
	75/25	94.785 (°C)
	50/50	108.7 (°C)
	25/75	124.34 (°C)
	10/90	131.25 (°C)
Calor latente (Kcal/kg)	10/90	84.7576

Fuente: (Autores)

De acuerdo al análisis termodinámico se tiene que la mezcla R-134a 10%, R-600a 90% cumple con las condiciones para ser seleccionado como una alternativa ideal.

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA MEZCLA R134a/R-290.

Con los resultados obtenidos de la simulación de las mezclas de refrigerantes se realiza el análisis correspondiente con el objetivo de seleccionar un refrigerante ideal tomando en cuenta el COP, la presión, la temperatura y el Calor latente como factores predominantes.

4.3.1 Desde el punto de vista del COP

En la tabla 4.11 se puede observar los resultados obtenidos de la simulación en el software EES de la mezcla R-134a/R-290

Tabla 4.11 Resultados de la simulación en la mezcla R-134a/R-290.

Cuadro de resultados R-134a/R-290						
Porcentajes	90/10	75/25	50/50	25/75	10/90	%
Trabajo consumido por el compresor	0.08319	0.1043	0.0924	0.08145	0.07621	KW
Capacidad de refrigeración	0.1598	0.1924	0.1912	0.1702	0.1617	KW
Calor transferido del condensador	0.243	0.2967	0.2837	0.2517	0.2379	KW
Coefficiente de operación	1.921	1.844	2.068	2.09	2.122	

Fuente: (Autores)

Como se puede observar el valor mayor de COP en el sistema de refrigeración planteado es de **2.122** que pertenece al porcentaje de mezcla R-134a 10%, R-290 90%; este valor hace referencia a la eficiencia con la que está funcionando el sistema de refrigeración el cual debe ser un valor alto para saber que el sistema funciona de manera eficiente.

4.3.2 Desde el punto de vista de la Presión.

Los valores de presión de operación son muy importantes especialmente el valor de la presión de condensación debido a que con esta presión se determinara la robustez del compresor y del condensador, la cual debe ser lo suficientemente baja ya que de ser alta aumentaría el tamaño del equipo y por ende su costo, “se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica”. [1] En caso de que se trabaje con presiones inferiores a la atmosférica se corre el peligro de que al existir una fuga, ingrese aire al sistema, por

ello es recomendable que la presión tanto en el condensador como en el evaporador sea ligeramente superior a la presión atmosférica. De la agencia espacial civil ecuatoriana se obtuvo como dato la presión atmosférica en cuenca de 0,6bar.

En la tabla 4.12 se observa que El refrigerante que mejor cumple las condiciones de presión es la mezcla en porcentaje R-134a 90%, R-290 10% que tiene un valor en el condensador de 15.83bar y en el evaporador de 1.325bar, lo cual cumple la condición de tener un valor de presión ligeramente superior a la presión atmosférica de 0.6bar

Tabla 4.12 Presiones de operación en la mezcla R-134a/R-290

Proporción de mezcla R-134a/R-290	Evaporador -25°C (Bar)	Condensador 49°C (Bar)
90/10	1.325	15.83
75/25	1.812	19.65
50/50	2.437	20.15
25/75	2.214	18.29
10/90	2.098	17.32

Fuente: (Autores)

4.3.3 Desde el punto de vista de la Temperatura

La temperatura que se va a considerar para determinar un refrigerante ideal es la temperatura crítica, se considera únicamente esta temperatura debido a que el software Refprop utilizado para el análisis tanto de mezclas de refrigerantes como refrigerantes puros, presenta este parámetro como resultado luego del análisis.

La temperatura crítica se considerada para el diseño del condensador ya que ningún fluido en estado de vapor se condensa a una temperatura mayor que la crítica.

En la tabla 4.13 se presenta la temperatura crítica para cada refrigerante obtenidas del anexo C, además de las temperaturas obtenidas mediante la simulación para el condensador.

Tabla 4.13 Temperatura crítica en la mezcla R-134a/R-290

Proporción de mezcla R-134a/R-290	Temperatura crítica °C	Temperatura condensador °C
90/10	90.345	69.09
75/25	81.431	65.37
50/50	82.911	57.04
25/75	90.465	60.81
10/90	94.551	62.63

Fuente: (Autores)

Se puede observar que para cada refrigerante de la tabla 4.13 la temperatura del condensador está por debajo de la temperatura crítica, esto significa que las cinco mezclas de refrigerantes pueden ser consideradas como ideales de acuerdo al criterio de temperatura crítica.

4.3.4 Desde el punto de vista del Calor latente.

Un refrigerante debe tener un valor alto de calor latente (el cual ocurre en el evaporador), debido a que esto posibilita la refrigeración por la razón que si es mayor este valor, se necesitara la circulación de una menor cantidad de refrigerante.

En la tabla 4.14 se presenta los valores de calor latente, mismos que se han obtenido mediante la Eq. 4.1 se requiere determinar mediante cálculo de estos valores ya que el software entrega los resultados de h_g y h_f los cuales se tomaran en cuenta a una temperatura del evaporador de -25 °C.

Tabla 4.14 Temperatura del condensador en la mezcla R-134a/R-290

Proporción de mezcla R-134a/R-290	Entalpia a -25 °C		
	h_f (Kcal/kg)	h_{fg} (Kcal/kg)	h_g (Kcal/kg)
90/10	4.9122	53.1358	58.048
75/25	5.4706	57.6734	63.144
50/50	6.4013	68.6417	75.043
25/75	7.3229	82.4051	89.728
10/90	7.8734	91.1966	99.070

Fuente: (Autores)

El refrigerante que se considera como ideal con respecto al calor latente es la mezcla en porcentaje R-134a 10%, R-290 90% porque su valor es el mayor de entre las mezclas realizadas.

4.3.5 Selección del refrigerante óptimo de la mezcla R-134a/R-290.

En la tabla 4.15 se tiene la comparación de entre los refrigerantes que han sido seleccionados como los más óptimos en cada una de las propiedades termodinámicas que se plantearon como las más importantes.

Tabla 4.15 Refrigerante optimo en la mezcla R-134a/R-290

Propiedades termodinámicas	Refrigerante ideal %	Valor obtenido
COP	10/90	2.122
Presión (bar)	90/10	1.325-15.83
Temperatura (°C)	90/10	90.345
	75/25	81.431
	50/50	82.911
	25/75	90.465
	10/90	94.551
Calor latente (Kcal/kg)	10/90	91.1966

Fuente: (Autores)

En la selección de un refrigerante ideal de la mezcla R-134a, R-290 se ha obtenido un valor alto de COP y calor latente en la mezcla R-134a 10%, R-290 90%, sin embargo la presión de operación que cumple de mejor manera las condiciones requeridas es de la mezcla R-134a 90%, R-290 10%, al comparar las presiones de operación en tabla 4.16 se observa que la diferencia entre presiones del condensador la cual determina la robustez del condensador y del compresor no es significativa, mientras la presión del evaporador esta sobre la presión atmosférica.

Tabla 4.16 Comparación de presiones de la mezcla R-134a/R-290

	R-134a 10%, R-290a 90%	R-134a 90%, R-290a 10%
Presión (bar)	2.098-17.32	1.325-15.83

Fuente: (Autores)

De acuerdo al análisis de mezclas R-134a, R-290 se tiene que la mezcla en proporción R-134a 10%, R-290 90% presenta las mejores propiedades termodinámicas por lo cual se lo selecciona como una alternativa ideal.

4.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS REFRIGERANTES IDEALES SELECCIONADOS.

En la tabla 4.17 se puede realizar una comparación entre los refrigerantes considerados como ideales entre los porcentajes de mezclas R-134a 10%-R-600a 90%, R-134a 10%-R-290 90% y el refrigerante puro R-134a, se puede observar que los valores de COP están muy cercanos siendo el valor más alto el del refrigerante R-134a, en presión se sabe que es recomendable por diseño un valor bajo, en la tabla se tiene un valor bajo de presión en la proporción de mezcla refrigerante R-134a 10%-R-600 90%, en el parámetro de temperatura el refrigerante puro y las dos mezclas tienen un valor alto que esta sobre la temperatura del evaporador de acuerdo a las simulaciones realizadas, el calor latente de mayor valor lo tiene el refrigerante R-134a, se sabe que es preferible un valor alto de calor latente ya que se necesitaría menos cantidad de refrigerante.

Tabla 4.17 Refrigerante optimo general).

Propiedades termodinámicas	Refrigerante R-134a	Mezcla R-134a/R-600a (10/90)	Mezcla R-134a/R-290 (10/90)
COP	2.17	2.151	2.122
Presión	1.065-12.858 (bar)	0.6189-7.095 (bar)	1.325-15.83 (bar)
Temperatura	134.66 (°C)	131.25 (°C)	90.345 (°C)
Calor latente	97.2 (Kcal/kg)	84.7576 (Kcal/kg)	91.1966 (Kcal/kg)

Fuente: (Autores)

La mezcla refrigerante R-134a 10%-R-600a 90%, cumple con los mejores requerimientos de propiedades termodinámicas, manteniendo un valor aceptable de COP, Presión y Temperatura, sin embargo el valor de calor latente es bajo comparado con los demás refrigerantes de la tabla 4.17 por lo cual se necesitaría de una cantidad mayor de refrigerante, uno de los aspectos más importante de esta mezcla es la presión de operación la cual es muy tomada en cuenta para el diseño, la mezcla refrigerante seleccionada como ideal tiene valores bajos de presión lo cual es favorable para la robustez del condensador y el compresor significando un ahorro energético y a su vez económico, estos parámetros dan soporte para seleccionarlo como una alternativa ideal.

El refrigerante ideal debe cumplir además con ciertas características como:

- No debe ser toxico ni venenoso
- No debe tener efecto sobre otros materiales
- No debe ser toxico ni venenoso
- Fácil de detectar cuando se fuga
- Debe ser un compuesto estable

Estas características pueden ser determinadas mediante análisis de laboratorio y mediante bancos de pruebas diseñados para diferentes refrigerantes o mezclas de refrigerantes.

4.5 CONCLUSIONES:

- Las mezclas refrigerantes pueden mejorar muchas de las propiedades termodinámicas que son requeridas para un refrigerante ideal pero es necesario realizar pruebas en bancos para saber que tiene una correcta circulación en un sistema de refrigeración.
- Las mezclas de refrigerantes pueden llegar a ser una buena alternativa medioambiental y eficiente en los sistemas de refrigeración.
- En la selección de un refrigerante ideal es esencial considerar los parámetros de diseño especialmente los que afecten al compresor que es el que va a realizar la circulación constante y el que mayormente se va a ver afectado en un sistema de refrigeración.
- Es posible mejorar notablemente un refrigerante mediante mezclas pero es necesario contar con mucha experiencia en el campo así como con equipos sofisticados, pero la simulación es una alternativa que da a conocer las mejoras que se pueden lograr al trabajar con distintos refrigerantes.

4.6 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 4

1. Valycontrol. (2012). Refrigerantes. México

CONCLUSIONES GENERALES

- Ha sido necesario el desarrollo de productos que no sean contaminantes y que den resultados eficientes y económicos desarrollando de esta manera mezclas entre distintos refrigerantes, demostrando que se puede mantener o mejorar las características termodinámicas sin producir contaminación.
- Con el desarrollo de nuevos software como lo son el EES y REFPROP es posible determinar las características y el desempeño que tiene un refrigerante en un sistema de refrigeración sin necesidad de recurrir a procesos ni equipos costosos de laboratorio.
- El refrigerante R-134a ha sido el más utilizado en refrigeración domestica, pero hoy en día lo que se busca es mejorar las características y abaratar los costos de los equipos por lo cual la propuesta de las mezclas es una alternativa que satisface muchas de las condiciones de mejoras.
- La mezcla entre los refrigerantes más utilizados en refrigeración domestica R-600a y R-134a dio como resultado una mejora notable en las características termodinámicas de un sistema de refrigeración.
- En nuestro medio no se cuenta con la tecnología para realizar una modificación química a un refrigerante debido a que el diseño de los reactores es costoso y requiere de estudios minuciosos sobre los refrigerantes.

RECOMENDACIONES

- Para realizar análisis de mezclas se recomienda que los refrigerantes sean del mismo campo ya sea domestico, industrial, etc.
- Al trabajar con ecuaciones de estado para la obtención de las tablas termodinámicas se recomienda utilizar software especializado que permita el ingreso de constantes y variables para acelerar el proceso, son ecuaciones demasiado complejas como para realizarlas de forma manual.
- En estudios posteriores de refrigerantes en modificación químico o mezclas realizar ensayos en bancos de pruebas para obtener resultados reales y compararlos con los calculados.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica* (6 ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- Urquiaga, F., & Hipolito, F. (2010). *Densidad y volumen específico de sólidos y/o líquidos*. Perú.
- Babor, J. (2005). *Química general moderna* (6ta ed.). Marín.
- Mobegas. (2012). Ficha técnica.
- DuPont Suva. (2004). *Propiedades Termodinámicas HFC-134a*.
- Din, 7003. (1995). *Refrigeration Systems and Heat Pumps with Flammable Refrigerants of Group L3 – Safety Requirements*. Germany.
- ASHRAE. (2010). *ASHRAE Refrigerant Designations*. Revisado Noviembre 10, 2012, desde <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards-guidelines/standards-activities/ashrae-refrigerant-designations>
- Valycontrol. (2012). *Refrigerantes*. México.
- Koppen, H. (1998). *Guía para la aplicación de los códigos de buenos procedimientos*. Belgica.
- Minchala, W. (2009). *Estudio de reducción de consumo de energía de las refrigeradoras modelos RI-390 defrost y RI-480 no frost que fabrica Indurama*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Politécnica Salesiana.
- Venegas, G. (2012). *Elaboración e implementación de las guías de los laboratorios*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Politécnica Salesiana.
- Martínez, J., & Cesar, Z. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de refrigeración por compresión de vapor de IHP de capacidad que usa refrigerante R404A con variación del medio de transferencia de calor en el evaporador y del control de flujo de refrigerante*. Tesis de ingeniero mecánico, Escuela Politécnica del Ejército.
- Carmona, G. (2007). *Evaluación de Refrigerantes para el Sistema de Enfriamiento de los Motores ubicados en la Superintendencia de Plantas del Distrito San Tomé*. Tesis de ingeniero químico, Universidad del Oriente.
- Belman, J., & Navarro, J. (2008). *Desarrollo de un modelo físico para una instalación de producción de frío por compresión de vapor utilizando el refrigerante R134a*. Tesis Doctoral, Universidad Jaume.

- Armas, M. A. (2009). *Sistemas alternativos de refrigeración con bajo impacto ambiental*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Patiño, V. (2010). *Ingeniería de mantenimiento de refrigerantes*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad José Carlos Moriategui.
- Rios, J. (2004). *Diferencias entre sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes convencionales y los que utilizan refrigerantes ecológicos y análisis de la estructura molecular de los refrigerantes*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Velasco, B. (2011). *Estudio de un banco de pruebas de refrigeración y su aplicación en sistemas agroindustriales*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Técnica de Ambato.
- Poblete, N. (2004). *Reconversión del refrigerante R12 a R134a, en el proceso productivo de refrigeradores domésticos*. Tesis de ingeniero mecánico, Universidad Austral de Chile.
- Allchem. (2012). R123 refrigerante. Revisado Noviembre 20, 2012, desde <http://www.allchemi.com/eng/refregerants/traditional.html>
- Cadenas, A. (2011). Mezclas Zeotrópicas. Revisado Octubre 1, 2012, desde <http://es.scribd.com/doc/68773483/mezclas-zeotropicas#> , 2011.
- ASHRAE, (2012). Revisado Marzo 20, 2012, desde <http://www.ashraegdl.org/>.
- Gurrea, J. (2010). *Compresor rotativo*. Revisado Diciembre 15, 2012, desde <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-rotativo-paletas.html>.

Anexo A

Líneas de programación en EES para refrigerantes puros

R-134a (tetrafluoroetano)

Programación del ciclo ideal

Para la programación del ciclo ideal se ingresa los datos de las temperaturas del evaporador y del condensador identificadas como T1 y T2, luego se calcula los valores de la entropía s1 y la entalpia h1 a la temperatura indicada de -25°C, la P_sat(1), P_sat(2) se la calcula mediante las propiedades de fluido R-134a que se encuentra en la biblioteca del programa al cual se accede mediante datos de función ubicado en el menú opciones del software EES. Los valores de h2, T2 y s2 también son calculados mediante la biblioteca de propiedades para el refrigerante R-134a.

Para el cálculo del trabajo consumido por el compresor, capacidad de refrigeración, calor transferido al condensador y coeficiente de operación se ingresa las formulas con la nomenclatura ingresada posteriormente para que el programa reconozca las variables de temperatura, presión, entalpia, entropía y flujo másico.

Si se necesita ingresar comentario o indicaciones se lo realiza mediante la utilización de comillas, el texto ingresado dentro de comillas quedara marcado de color azul excepto que se desee darle otro color.

En la programación de los siguientes ciclos ideales de los refrigerantes puros se sigue el mismo procedimiento que para el refrigerante R-134a.

Code View

datos

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

valores calculados

s[1]=0,938[kJ/kg*k] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 a -25°C"
h[1]=232,235[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 a -25°C"
P_sat[1]=P_sat(R134a,T=T[1])

P_sat[2]=P_sat(R134a,T=T[2]) "valor obtenido de la presion de descarga del compresor"
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=Enthalpy(R134a,P=P[2],s=s[2])
T[5]=Temperature(R134a,P=P[2],s=s[2])

m=0,0010067[kg/s] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
h[3]=119,908 [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 a 49°C"
h[3]=h[4] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
T[3]=T[2]

trabajo consumido por el compresor

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

capacidad de refrigeracion

Q_in=m*(h[1]-h[4])

calor transferido al condensador

Q_out=m*(h[2]-h[3])

coeficiente de operacion del ciclo ideal

T_f=248,15[k] "-25°C temperatura del evaporador"
T_c=322,15[k] "49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Para la programación del ciclo real se ingresan los datos de T3 determinada como 30°C, los valores de h2s, h1, P_1 fue determinado en el ciclo ideal, la presión P2=12.065bar está dado como dato para el cálculo del ciclo real, el cual servirá para obtener T2 y S2 mediante interpolación de valores, los valores de S3 y h3 se obtiene de las tablas termodinámicas para el refrigerante R-134a.

Para el cálculo del trabajo consumido por el compresor, capacidad de refrigeración, calor transferido al condensador y coeficiente de operación se ingresan las formulas con la nomenclatura ingresada posteriormente para que el programa reconozca las variables de temperatura, presión, entalpia, entropía y flujo másico.

Si se necesita ingresar comentario o indicaciones se lo realiza mediante la utilización de comillas, el texto ingresado dentro de comillas quedara marcado de color azul excepto que se desee darle otro color.

En la programación de los siguientes ciclos reales de los refrigerantes puros se sigue el mismo procedimiento que para el refrigerante R-134a.

datos

```

T[3]=30[C]
h_2s=284.0233[kJ/kg]           "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 "
h[1]=232.2[kJ/kg]             "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 "
n_c=0.8                        "eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
P_1=1.068[bar]

"entalpia al final de la compresion"
h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]     "Calculo de la entalpia final del compresor"
T[2]=68.3752                   "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12.065 "
s[2]=0.9806                    "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-134 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12.065 "
p[2]=12.065[bar]

s[3]=0.3396[kJ/kg*K]          "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-134 a 30°C "
h[3]=91.49[kJ/kg]             "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-134 a 30°C "
h[3]=h[4]

m=0.0010067[kg/s]            "Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"
W_c=m*(h[2]-h[1])              "Kw"

"capacidad de refrigeracion"
Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"
Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"
COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

```

R-600a (Isobutano)

Programación del ciclo ideal

Ciclo ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1.6499[kJ/kg*k] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a a -25°C"
h[1]=408.47[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a a -25°C"
P_sat[1]=P_sat(R600a;T=T[1])

P_sat[2]=P_sat(R600a;T=T[2]) "valor obtenido de la presion de descarga del compresor"
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=498.631[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa reprop "
T[5]=48.6[C]

m=0.00026812[kg/s] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
h[3]=206.93 [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a a 49°C"
h[3]=h[4] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
T[3]=T[2]

"trabajo consumido por el compresor"
W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"
"capacidad de refrigeracion"
Q_in=m*(h[1]-h[4])
"calor transferido al condensador"
Q_out=m*(h[2]-h[3])
"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248.15[k] "-25°C temperatura del evaporador"
T_c=322.15[k] "49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Ciclo real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=498.631[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a "
h[1]=408.47[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a "
n_c=0.8 "eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
P_1=0.5842[bar]
P[2]=12.065[bar] "presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"
h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1] "Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=74.836[C] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
s[2]=1.6511 "valor obtenido de las tablas termodinamicas reprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0.5908[kJ/kg*K] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-600a a 30°C "
h[3]=158.73[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-600a a 30°C "
h[3]=h[4]

m=0.00026812[kg/s] "Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"
W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"
"capacidad de refrigeracion"
Q_in=m*(h[1]-h[4])
"calor transferido al condensador"
Q_out=m*(h[2]-h[3])
"coeficiente de operacion del ciclo real"
COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

R-290 (propano)

Programación del ciclo ideal

Ciclo ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1,7815[kJ/kg*K] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-290 a -25°C"
h[1]=441,16[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-290 a -25°C"
P_sat[1]=P_sat(R290;T=T[1])

P_sat[2]=P_sat(R290;T=T[2]) "valor obtenido de la presion de descarga del compresor"
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=540,8551[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "
T[5]=59,45[C]

m=0,0005885[kg/s] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
h[3]=228,64 [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-600a a 49°C"
h[3]=h[4] "valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
T[3]=T[2]

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[k] "-25°C temperatura del evaporador"
T_c=322,15[k] "49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Ciclo real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=540,855[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-290 "
h[1]=441,16[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-290 "
n_c=0,8 "eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
P_1=2,034[bar]
P[2]=12,065[bar] "presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"
h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1] "Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=63,67[C] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
s[2]=1,9066 "valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0,6419[kJ/kg*K] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-290a a 30°C "
h[3]=173,71[kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R-290a a 30°C "
h[3]=h[4]

m=0,0005885[kg/s] "Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Anexo B

Líneas de programación en EES para mezclas de refrigerantes

Mezclas R-134a/R-600a (90%/10%)

Programación del ciclo ideal

Para la programación del ciclo ideal en mezclas se va a utilizar los valores termodinámicos de temperatura, presión, entalpia, entropía y densidad que proporciona el software refprop, se lo realiza de esta manera debido a que EES no me permite realizar mezclas para obtener dichos valores pero si me permite ingresar los valores de las constantes termodinámicas para realizar los respectivos cálculos.

Para el cálculo del trabajo consumido por el compresor, capacidad de refrigeración, calor transferido al condensador y coeficiente de operación se ingresa las formulas con la nomenclatura ingresada posteriormente para que el programa reconozca las variables de temperatura, presión, entalpia, entropía y flujo másico.

Si se necesita ingresar comentario o indicaciones se lo realiza mediante la utilización de comillas, el texto ingresado dentro de comillas quedara marcado de color azul excepto que se desee darle otro color.

En la programación de los siguientes ciclos ideales de los refrigerantes en mezclas se sigue el mismo procedimiento que para la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%).

datos

*datos
T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

*valores calculados
s[1]=0.979[kJ/kg*K]
h[1]=241.26[kJ/kg]
P_sat[1]=1.2193[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"

P_sat[2]=14.030[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=295.60[kJ/kg]
T[5]=58.31[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor"

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0.00105277[kg/s]
h[3]=131.43 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

trabajo consumido por el compresor

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

capacidad de refrigeracion

Q_in=m*(h[1]-h[4])

calor transferido al condensador

Q_out=m*(h[2]-h[3])

coeficiente de operacion del ciclo ideal

T_e=248.15[k]
T_c=322.15[k]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_e/(T_c-T_e)

Programación del ciclo real

Para la programación del ciclo real en mezclas se utiliza T3 de 30°C y los valores de h_{2s} , h_1 , P1 y P2 dados en el ciclo ideal, se utiliza los valores como temperatura, presión, entalpía, entropía y densidad que proporciona el software refprop, se lo realiza de esta manera debido a que EES no me permite realizar mezclas para obtener dichos valores pero si me permite ingresar los valores de las constantes termodinámicas para realizar los respectivos cálculos.

Para el cálculo del trabajo consumido por el compresor, capacidad de refrigeración, calor transferido al condensador y coeficiente de operación se ingresa las formulas con la nomenclatura ingresada posteriormente para que el programa reconozca las variables de temperatura, presión, entalpía, entropía y flujo másico.

Si se necesita ingresar comentario o indicaciones se lo realiza mediante la utilización de comillas, el texto ingresado dentro de comillas quedara marcado de color azul excepto que se desee darle otro color.

En la programación de los siguientes ciclos reales de los refrigerantes en mezclas se sigue el mismo procedimiento que para la mezcla R-134a/R-600a (90%/10%).

Ciclo real

"datos"

T₃=30[C]
 $h_{2s}=295,60$ [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
 $h_1=241,26$ [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
 $n_c=0,8$ "eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
 $P_1=1,2193$ [bar]
 $P_2=12,065$ [bar] "presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

$h_2=((h_{2s}-h_1)/n_c)+h_1$ "Calculo de la entalpia final del compresor"

T₂=65,76[C] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
 $s_2=1,031$ [kJ/kg*K] "valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h_2 y P_2 "

$s_3=0,3731$ [kJ/kg*K] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
 $h_3=100,53$ [kJ/kg] "valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
 $h_3=h_4$

$m=0,00105277$ [kg/s] "Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

$W_c=m*(h_2-h_1)$ "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

$Q_{in}=m*(h_1-h_4)$

"calor transferido al condensador"

$Q_{out}=m*(h_2-h_3)$

"coeficiente de operacion del ciclo real"

$COP=(h_1-h_4)/(h_2-h_1)$

Mezclas R-134a/R-600a (75%/25%)

Programación del ciclo ideal

Comprobación

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]=49[C]

"valores calculados"

s[1]=1.0436[kJ/kg*K]
h[1]=257.75[kJ/kg]
P_saf[1]=1.3390[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"

P_saf[2]=13.841[bar]
P[2]=P_saf[2]
s[2]=s[1]
h[2]=313.88[kJ/kg]
T[5]=53.43[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0.00094178[kg/s]
h[3]=144.96 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248.15[K] "25°C temperatura del evaporador"
T_c=322.15[K] "49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Comprobación

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=314.50[kJ/kg]
h[1]=257.75[kJ/kg]
n_c=0.8
P_1=1.3390[bar]
P[2]=12.065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entropia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entropia final del compresor"

T[2]=60.73[C]
s[2]=1.098[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12.065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0.4104[kJ/kg*K]
h[3]=110.67[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "

m=0.00094178[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-600a (50%/50%)

Programación del ciclo ideal

Programación

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1.2420[kJ/kg*K]
h[1]=300.38[kJ/kg]
P_sat[1]=0.8818[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"

P_sat[2]=10.099[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=370.60[kJ/kg]
T[5]=50.30[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa reprop "

m=0.0005434[kg/s]
h[3]=165.90 [kJ/kg]
h[3]-h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248.15[k]
T_c=322.15[k]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Programación

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=377.899[kJ/kg]
h[1]=300.38[kJ/kg]
n_c=0.8
P_1=0.8818[bar]
P[2]=12.065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=70.17[C]
s[2]=1.3058[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12.065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas reprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0.4705[kJ/kg*K]
h[3]=126.86[kJ/kg]
h[3]-h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C"

m=0.0005434[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-600a (25%/75%)

Programación del ciclo ideal

Ciclo ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=2,1351[kJ/kg*K]
h[1]=473,06[kJ/kg]
P_sat[1]=0,6871[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"

P_sat[2]=7,8990[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=553,77[kJ/kg]
T[5]=48,92[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0,0003602[kg/s]
h[3]=307,69 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[k]

"-25°C temperatura del evaporador"

T_c=322,15[k]

"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Ciclo real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=553,77[kJ/kg]
h[1]=473,06[kJ/kg]
n_c=0,8
P_1=0,6871[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/h_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=66,83[C]
s[2]=2,1528[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=1,2205[kJ/kg*K]
h[3]=264,14[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "

m=0,0003602[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-600a (10%/90%)

Programación del ciclo ideal

condiciones

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=2,2368[kJ/kg*K]
h[1]=501,30[kJ/kg]
P_sat[1]=0,6189[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a -25°C"

P_sat[2]=7,0949[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=587,937[kJ/kg]
T[5]=48,94[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa reprop "

m=0,000298[kg/s]
h[3]=314,72[kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[k]
T_c=322,15[k]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

condiciones

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=587,937[kJ/kg]
h[1]=501,30[kJ/kg]
n_c=0,8
P_1=0,6189[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=71,78[C]
s[2]=2,2449[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-600a interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas reprop con h[2] y P[2] "

s[3]=1,2356[kJ/kg*K]
h[3]=268,39[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-600a a 30°C "

m=0,000298[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-290 (90%/10%)

Programación del ciclo ideal

Programación

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1,0019[kJ/kg*K]
h[1]=242,87[kJ/kg]
P_sat[1]=1,3246[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"

P_sat[2]=15,827[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=301,482[kJ/kg]
T[5]=62,52[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa reprop "

m=0,00113553[kg/s]
h[3]=133,99 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_e=248,15[K]
T_c=322,15[K]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_e/(T_c-T_e)

Programación del ciclo real

Programación

"datos"

T_e=30[C]
h_2s=301,482[kJ/kg]
h[1]=242,87[kJ/kg]
n_c=0,8
P_sat=1,3246[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=69,09[C]
s[2]=1,065[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas reprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0,3782[kJ/kg*K]
h[3]=102,16[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "

m=0,00113553[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-290 (75%/25%)

Programación del ciclo ideal

Datos dados

"datos"

T[1]= -25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1,0890[kJ/kg*K]
h[1]=264,20[kJ/kg]
P_sat[1]=1,8119[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"

P_sat[2]=19,650[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=328,86[kJ/kg]
T[5]=64,33[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0,00129[kg/s]
h[3]=151,88 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[K]
T_c=322,15[K]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Datos dados

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=328,9[kJ/kg]
h[1]=264,2[kJ/kg]
n_c=0,8
P_1=1,812[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=65,37[C]
s[2]=1,18[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0,4248[kJ/kg*K]
h[3]=115,04[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "

m=0,00129[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-290 (50%/50%)

Programación del ciclo ideal

Ciclo Ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1,2686[kJ/kg*K]
h[1]=313,98[kJ/kg]
P_sat[1]=2,4373[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"

P_sat[2]=20,152[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=383,12[kJ/kg]
T[5]=59,10[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa reprop "

m=0,00107[kg/s]
h[3]=178,87 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[K]

"-25°C temperatura del evaporador"

T_c=322,15[K]

"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Ciclo Real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=383,12[kJ/kg]
h[1]=313,98[kJ/kg]
n_c=0,8
P_1=2,4373[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=57,04[C]
s[2]=1,375[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas reprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0,4991[kJ/kg*K]
h[3]=135,29[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C"

m=0,00107[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-290 (25%/75%)

Programación del ciclo ideal

Ciclo ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1,5202[kJ/kg*k]
h[1]=375,42[kJ/kg]
P_sat[1]=2,2139[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"

P_sat[2]=18,288[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=459,93[kJ/kg]
T[5]=59,26[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0,000771[kg/s]
h[3]=203,95 [kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_f=248,15[K] "25°C temperatura del evaporador"
T_c=322,15[K] "49°C temperatura en el condensador"

COP=T_f/(T_c-T_f)

Programación del ciclo real

Ciclo real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=459,93[kJ/kg]
h[1]=375,42[kJ/kg]
n_c=0,8
P_1=2,2139[bar]
P[2]=12,065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=60,81[C]
s[2]=1,6382[kJ/kg*k]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12,065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0,5707[kJ/kg*k]
h[3]=154,63[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "

m=0,000771[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

WV_c=m*(h[2]-h[1]) "Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Mezclas R-134a/R-290 (10%/90%)

Programación del ciclo ideal

Ciclo ideal

"datos"

T[1]=-25[C]
T[2]= 49[C]

"valores calculados"

s[1]=1.6764[kJ/kg*K]
h[1]=414.51[kJ/kg]
P_sat[1]=2.098[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a -25°C"

P_sat[2]=17.315[bar]
P[2]=P_sat[2]
s[2]=s[1]
h[2]=508.165[kJ/kg]
T[5]=59.37[C]

"valor obtenido de la presion de descarga del compresor con T2"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a P[2] y s[2] del programa refprop "

m=0.000651[kg/s]
h[3]=218.77[kJ/kg]
h[3]=h[4]
T[3]=T[2]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 a 49°C"
"valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo ideal"

T_e=248.15[k]
T_c=322.15[k]

"-25°C temperatura del evaporador"
"49°C temperatura en el condensador"

COP=T_e/(T_c-T_e)

Programación del ciclo real

Ciclo real

"datos"

T_3=30[C]
h_2s=508.165[kJ/kg]
h[1]=414.51[kJ/kg]
n_c=0.8
P_1=2.098[bar]
P[2]=12.065[bar]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 "
"eficiencia adiabatica del compresor de 80% esta dada por el fabricante"
"presion real a la descarga del compresor"

"entalpia al final de la compresion"

h[2]=((h_2s-h[1])/n_c)+h[1]

"Calculo de la entalpia final del compresor"

T[2]=62.63[C]
s[2]=1.7988[kJ/kg*K]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de R134a-290 interpolando con h_2 y la presion real de descarga de 12.065 "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas refprop con h[2] y P[2] "

s[3]=0.6134[kJ/kg*K]
h[3]=166.09[kJ/kg]
h[3]=h[4]

"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C "
"valor obtenido de las tablas termodinamicas de region liquida de R134a-290 a 30°C"

m=0.000651[kg/s]

"Valor obtenido de las tablas termodinamicas a 49°C"

"trabajo real consumido por el compresor"

W_c=m*(h[2]-h[1])

"Kw"

"capacidad de refrigeracion"

Q_in=m*(h[1]-h[4])

"calor transferido al condensador"

Q_out=m*(h[2]-h[3])

"coeficiente de operacion del ciclo real"

COP=(h[1]-h[4])/(h[2]-h[1])

Anexo C

Información técnica para los refrigerantes puros

A continuación se tiene la información técnica para los refrigerantes puros, dicha información se la obtuvo mediante el software EES.

R-134a

R134a - CF ₃ CH ₂ F - 1,1,1,2-tetrafluoroethane (CAS# 811-97-2)			
Molar mass	Triple pt. temp.	Normal boiling pt.	Gas phase dipole at NBP
102,03 kg/kmol	-103,3 °C	-26,074 °C	2,058 debye
Critical Point			
Temperature	Pressure	Density	Acentric factor
101,06 °C	40,593 bar	511,9 kg/m ³	0,32684
Range of applicability			
Minimum temp.	Maximum temp.	Maximum pressure	Maximum density
-103,3 °C	181,85 °C	700, bar	1591,7 kg/m ³

R-600a

isobutane - CH(CH ₃) ₃ - 2-methylpropane (CAS# 75-28-5)			
Molar mass	Triple pt. temp.	Normal boiling pt.	Gas phase dipole at NBP
58,122 kg/kmol	-159,42 °C	-11,749 °C	0,132 debye
Critical Point			
Temperature	Pressure	Density	Acentric factor
134,66 °C	36,29 bar	225,5 kg/m ³	0,184
Range of applicability			
Minimum temp.	Maximum temp.	Maximum pressure	Maximum density
-159,42 °C	301,85 °C	350, bar	749,78 kg/m ³

R-290

propane - CH ₃ CH ₂ CH ₃ (CAS# 74-98-6)			
Molar mass	Triple pt. temp.	Normal boiling pt.	Gas phase dipole at NBP
44,096 kg/kmol	-187,63 °C	-42,114 °C	0,084 debye
Critical Point			
Temperature	Pressure	Density	Acentric factor
96,74 °C	42,512 bar	220,48 kg/m ³	0,1521
Range of applicability			
Minimum temp.	Maximum temp.	Maximum pressure	Maximum density
-187,63 °C	376,85 °C	10000, bar	908,37 kg/m ³

Anexo D

Información técnica para las mezclas realizadas

A continuación se tiene la información técnica para los refrigerantes en mezclas, dicha información se la obtuvo mediante el software EES, en la ventana se indica la fracción de cada refrigerante con la que se realizó la mezcla, así como temperatura, presión y densidad en su punto crítico.

R-134a 90%, R-600a 10%

Mixture name: R134a/isobutane

Estimated critical properties
Temperature: 95,143 °C
Pressure: 39,54 bar
Density: 457,2 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

R134a	0,9
isobutane	0,1

Molar mass: 94,865 kg/kmol

R-134a 75%, R-600a 25%

Mixture name: R134a/isobutane

Estimated critical properties
Temperature: 94,785 °C
Pressure: 37,365 bar
Density: 385,57 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

R134a	0,75
isobutane	0,25

Molar mass: 85,823 kg/kmol

R-134a 50%, R-600a 50%

Mixture name: R134a/isobutane

Estimated critical properties
Temperature: 109,7 °C
Pressure: 39,656 bar
Density: 319,99 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

R134a	0,5
isobutane	0,5

Molar mass: 74,058 kg/kmol

R-134a 25%, R-600a 75%

Mixture name: R134a/isobutane

Estimated critical properties
Temperature: 124,34 °C
Pressure: 39,871 bar
Density: 262,62 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

R134a	0,25
isobutane	0,75

Molar mass: 65,129 kg/kmol

R-134a 10%, R-600a 90%

Mixture name: R134a/isobutane

Estimated critical properties
Temperature: 131,25 °C
Pressure: 38,103 bar
Density: 236,34 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

R134a	0,1
isobutane	0,9

Molar mass: 60,736 kg/kmol

R-134a 90%, R-290 10%

Mixture name: propane/R134a

Estimated critical properties
Temperature: 90,345 °C
Pressure: 41,541 bar
Density: 457,66 kg/m³

Components and composition: Mass Fraction

propane	0,1
R134a	0,9

Molar mass: 90,183 kg/kmol

R-134a 25%, R-290 75%

R-134a 50%, R-290 50%

Mixture Information

Mixture name: propane/R134a

Estimated critical properties:
Temperature: 81.431 °C
Pressure: 39.81 bar
Density: 385.65 kg/m³

Components and composition
Mass Fraction

propane	0.25
R134a	0.75

Molar mass: 76.804 kg/kmol

Mixture Information

Mixture name: propane/R134a

Estimated critical properties:
Temperature: 82.911 °C
Pressure: 40.577 bar
Density: 311, kg/m³

Components and composition
Mass Fraction

propane	0.5
R134a	0.5

Molar mass: 61.579 kg/kmol

R-134a 25%, R-290 75%

Mixture Information

Mixture name: propane/R134a

Estimated critical properties:
Temperature: 90.465 °C
Pressure: 42.405 bar
Density: 258.4 kg/m³

Components and composition
Mass Fraction

propane	0.75
R134a	0.25

Molar mass: 51.391 kg/kmol

R-134a 10%, R-290 90%

Mixture Information

Mixture name: propane/R134a

Estimated critical properties:
Temperature: 94.551 °C
Pressure: 42.72 bar
Density: 233.49 kg/m³

Components and composition
Mass Fraction

propane	0.9
R134a	0.1

Molar mass: 46.75 kg/kmol

Anexo E

Tablas termodinámicas

Las tablas termodinámicas brindan información acerca de los distintos refrigerantes ya sean puros o en mezclas, estas tablas fueron obtenidas mediante el software especializado refprop.

R-134a

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,0055940	1582,4	0,039694	-72,782	188,71	-0,36021	1,1500
2	-95,000	0,0093899	1569,1	0,064790	-66,856	191,64	-0,32648	1,1245
3	-90,000	0,015241	1555,8	0,10236	-60,918	194,62	-0,29361	1,1016
4	-85,000	0,023990	1542,5	0,15697	-54,962	197,63	-0,26152	1,0810
5	-80,000	0,036719	1529,0	0,23429	-48,984	200,68	-0,23017	1,0624
6	-75,000	0,054777	1515,5	0,34116	-42,979	203,77	-0,19948	1,0458
7	-70,000	0,079814	1501,9	0,48568	-36,945	206,88	-0,16942	1,0308
8	-65,000	0,11380	1488,2	0,67728	-30,879	210,01	-0,13993	1,0174
9	-60,000	0,15906	1474,3	0,92676	-24,780	213,17	-0,11099	1,0053
10	-55,000	0,21828	1460,4	1,2463	-18,644	216,33	-0,082556	0,99458
11	-50,000	0,29451	1446,3	1,6496	-12,470	219,51	-0,054598	0,98496
12	-45,000	0,39117	1432,1	2,1518	-6,2563	222,69	-0,027089	0,97638
13	-40,000	0,51209	1417,7	2,7695	0,00000	225,86	0,00000	0,96873
14	-35,000	0,66144	1403,1	3,5209	6,3007	229,02	0,026693	0,96192
15	-30,000	0,84378	1388,4	4,4259	12,648	232,17	0,053015	0,95586
16	-25,000	1,0640	1373,4	5,5059	19,044	235,31	0,078988	0,95048
17	-20,000	1,3273	1358,3	6,7845	25,492	238,41	0,10464	0,94571
18	-15,000	1,6394	1342,8	8,2870	31,994	241,48	0,12998	0,94148
19	-10,000	2,0060	1327,1	10,041	38,553	244,52	0,15504	0,93774
20	-5,0000	2,4334	1311,1	12,077	45,172	247,51	0,17983	0,93442
21	0,00000	2,9280	1294,8	14,428	51,856	250,46	0,20439	0,93148
22	5,0000	3,4966	1278,1	17,131	58,608	253,35	0,22872	0,92885
23	10,000	4,1461	1261,0	20,226	65,433	256,17	0,25286	0,92650
24	15,000	4,8837	1243,4	23,758	72,336	258,93	0,27682	0,92438
25	20,000	5,7171	1225,3	27,780	79,324	261,60	0,30063	0,92243
26	25,000	6,6538	1206,7	32,350	86,402	264,19	0,32431	0,92062
27	30,000	7,7020	1187,5	37,535	93,578	266,67	0,34789	0,91888
28	35,000	8,8698	1167,5	43,416	100,86	269,04	0,37140	0,91718
29	40,000	10,166	1146,7	50,085	108,27	271,28	0,39487	0,91545
30	45,000	11,599	1125,1	57,657	115,80	273,38	0,41833	0,91362
31	50,000	13,179	1102,3	66,272	123,48	275,29	0,44184	0,91164
32	55,000	14,915	1078,3	76,104	131,32	277,01	0,46545	0,90940
33	60,000	16,818	1052,9	87,379	139,36	278,49	0,48921	0,90681
34	65,000	18,898	1025,6	100,40	147,62	279,67	0,51321	0,90374
35	70,000	21,168	996,25	115,57	156,14	280,51	0,53757	0,89999
36	75,000	23,641	964,09	133,49	164,98	280,89	0,56243	0,89533
37	80,000	26,332	928,24	155,08	174,25	280,67	0,58803	0,88938
38	85,000	29,258	887,16	181,85	184,08	279,62	0,61477	0,88152
39	90,000	32,442	837,83	216,76	194,78	277,27	0,64342	0,87057
40	95,000	35,912	772,70	267,14	207,10	272,53	0,67593	0,85364
41	100,00	39,724	651,18	373,01	225,15	259,54	0,72317	0,81531

R-600a

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,0037947	683,90	0,015329	-118,91	315,68	-0,58783	1,9220
2	-95,000	0,0061984	679,07	0,024344	-109,48	321,35	-0,53414	1,8842
3	-90,000	0,0098191	674,22	0,037526	-99,963	327,11	-0,48148	1,8503
4	-85,000	0,015124	669,35	0,056294	-90,368	332,95	-0,42980	1,8201
5	-80,000	0,022705	664,46	0,082374	-80,689	338,88	-0,37904	1,7932
6	-75,000	0,033287	659,53	0,11782	-70,925	344,89	-0,32914	1,7693
7	-70,000	0,047753	654,58	0,16504	-61,073	350,97	-0,28005	1,7482
8	-65,000	0,067146	649,60	0,22678	-51,131	357,12	-0,23172	1,7296
9	-60,000	0,092684	644,58	0,30616	-41,099	363,34	-0,18411	1,7133
10	-55,000	0,12576	639,53	0,40667	-30,972	369,63	-0,13717	1,6992
11	-50,000	0,16797	634,44	0,53214	-20,748	375,98	-0,090866	1,6870
12	-45,000	0,22107	629,30	0,68678	-10,425	382,38	-0,045155	1,6765
13	-40,000	0,28702	624,12	0,87513	0,00000	388,84	0,00000	1,6678
14	-35,000	0,36797	618,89	1,1021	10,531	395,34	0,044633	1,6605
15	-30,000	0,46622	613,61	1,3729	21,170	401,89	0,088778	1,6546
16	-25,000	0,58427	608,27	1,6931	31,921	408,47	0,13247	1,6499
17	-20,000	0,72477	602,88	2,0687	42,788	415,10	0,17573	1,6464
18	-15,000	0,89053	597,41	2,5060	53,774	421,75	0,21860	1,6440
19	-10,000	1,0845	591,88	3,0117	64,884	428,42	0,26109	1,6426
20	-5,0000	1,3098	586,27	3,5928	76,120	435,12	0,30325	1,6420
21	0,00000	1,5696	580,58	4,2570	87,488	441,83	0,34509	1,6423
22	5,0000	1,8672	574,80	5,0121	98,992	448,54	0,38664	1,6433
23	10,000	2,2061	568,92	5,8670	110,64	455,27	0,42792	1,6450
24	15,000	2,5899	562,95	6,8308	122,43	461,99	0,46896	1,6474
25	20,000	3,0222	556,86	7,9134	134,37	468,70	0,50978	1,6502
26	25,000	3,5067	550,65	9,1258	146,47	475,39	0,55040	1,6536
27	30,000	4,0472	544,31	10,480	158,73	482,06	0,59086	1,6574
28	35,000	4,6477	537,83	11,988	171,16	488,70	0,63117	1,6616
29	40,000	5,3121	531,19	13,666	183,77	495,29	0,67135	1,6662
30	45,000	6,0445	524,37	15,529	196,56	501,83	0,71144	1,6710
31	50,000	6,8490	517,37	17,595	209,55	508,31	0,75146	1,6760
32	55,000	7,7299	510,16	19,886	222,74	514,71	0,79144	1,6812
33	60,000	8,6916	502,71	22,426	236,15	521,02	0,83141	1,6865
34	65,000	9,7386	495,00	25,242	249,78	527,21	0,87141	1,6918
35	70,000	10,875	486,99	28,369	263,66	533,25	0,91147	1,6971
36	75,000	12,107	478,65	31,846	277,80	539,13	0,95164	1,7023
37	80,000	13,438	469,92	35,721	292,22	544,80	0,99197	1,7072
38	85,000	14,874	460,75	40,057	306,95	550,22	1,0325	1,7118
39	90,000	16,420	451,05	44,927	322,03	555,35	1,0734	1,7159
40	95,000	18,081	440,73	50,430	337,49	560,11	1,1146	1,7193
41	100,00	19,865	429,64	56,697	353,39	564,42	1,1564	1,7220

R-290

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,028994	643,74	0,089039	-128,68	351,76	-0,63577	2,1389
2	-95,000	0,043795	638,55	0,13085	-118,38	357,58	-0,57714	2,0946
3	-90,000	0,064475	633,32	0,18762	-108,02	363,46	-0,51979	2,0545
4	-85,000	0,092716	628,06	0,26304	-97,593	369,37	-0,46364	2,0182
5	-80,000	0,13049	622,76	0,36132	-87,095	375,32	-0,40861	1,9854
6	-75,000	0,18008	617,41	0,48715	-76,523	381,29	-0,35461	1,9558
7	-70,000	0,24404	612,02	0,64570	-65,872	387,28	-0,30158	1,9291
8	-65,000	0,32527	606,57	0,84261	-55,137	393,29	-0,24944	1,9049
9	-60,000	0,42693	601,08	1,0840	-44,312	399,31	-0,19813	1,8832
10	-55,000	0,55249	595,52	1,3764	-33,392	405,34	-0,14759	1,8635
11	-50,000	0,70569	589,90	1,7270	-22,371	411,35	-0,097757	1,8459
12	-45,000	0,89051	584,20	2,1430	-11,242	417,36	-0,048578	1,8300
13	-40,000	1,1112	578,43	2,6326	0,00000	423,36	0,00000	1,8158
14	-35,000	1,3723	572,58	3,2042	11,362	429,32	0,048025	1,8031
15	-30,000	1,6783	566,64	3,8669	22,852	435,26	0,095545	1,7917
16	-25,000	2,0343	560,60	4,6302	34,475	441,16	0,14261	1,7815
17	-20,000	2,4452	554,45	5,5046	46,240	447,01	0,18925	1,7724
18	-15,000	2,9162	548,19	6,5012	58,154	452,80	0,23552	1,7643
19	-10,000	3,4528	541,80	7,6321	70,225	458,53	0,28145	1,7571
20	-5,0000	4,0604	535,27	8,9103	82,463	464,18	0,32710	1,7506
21	0,00000	4,7446	528,59	10,351	94,877	469,74	0,37249	1,7449
22	5,0000	5,5112	521,75	11,969	107,48	475,20	0,41767	1,7397
23	10,000	6,3660	514,73	13,783	120,27	480,55	0,46268	1,7351
24	15,000	7,3151	507,50	15,813	133,28	485,76	0,50757	1,7308
25	20,000	8,3646	500,06	18,082	146,51	490,83	0,55237	1,7269
26	25,000	9,5207	492,36	20,618	159,98	495,72	0,59714	1,7232
27	30,000	10,790	484,39	23,451	173,71	500,41	0,64194	1,7196
28	35,000	12,179	476,10	26,618	187,72	504,88	0,68682	1,7161
29	40,000	13,694	467,46	30,165	202,02	509,09	0,73184	1,7124
30	45,000	15,343	458,40	34,146	216,67	512,99	0,77710	1,7085
31	50,000	17,133	448,87	38,630	231,68	516,54	0,82268	1,7042
32	55,000	19,072	438,76	43,706	247,11	519,65	0,86872	1,6993
33	60,000	21,168	427,97	49,493	263,01	522,24	0,91536	1,6935
34	65,000	23,430	416,34	56,152	279,48	524,17	0,96283	1,6864
35	70,000	25,868	403,62	63,916	296,63	525,25	1,0114	1,6777
36	75,000	28,493	389,47	73,140	314,64	525,21	1,0616	1,6664
37	80,000	31,319	373,29	84,406	333,80	523,61	1,1141	1,6516
38	85,000	34,361	353,96	98,818	354,68	519,63	1,1705	1,6310
39	90,000	37,641	328,83	119,00	378,59	511,35	1,2341	1,5997
40	95,000	41,195	286,51	156,31	411,21	490,69	1,3201	1,5360

R-134a 90%, R-600a 10%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,012502	0,0066392	1387,1	0,043803	-77,048	190,60	-0,38113	1,1874
2	-95,000	0,019477	0,011129	1375,3	0,071403	-70,817	193,80	-0,34565	1,1605
3	-90,000	0,029595	0,018036	1363,5	0,11264	-64,563	197,05	-0,31104	1,1362
4	-85,000	0,043937	0,028342	1351,5	0,17246	-58,282	200,34	-0,27721	1,1144
5	-80,000	0,063842	0,043300	1339,6	0,25697	-51,968	203,67	-0,24410	1,0949
6	-75,000	0,090926	0,064466	1327,5	0,37349	-45,620	207,03	-0,21166	1,0774
7	-70,000	0,12711	0,093732	1315,3	0,53068	-39,235	210,42	-0,17985	1,0617
8	-65,000	0,17465	0,13334	1303,1	0,73853	-32,809	213,83	-0,14862	1,0477
9	-60,000	0,23612	0,18593	1290,7	1,0084	-26,341	217,26	-0,11794	1,0351
10	-55,000	0,31446	0,25451	1278,2	1,3532	-19,829	220,70	-0,08765	1,0240
11	-50,000	0,41297	0,34248	1265,6	1,7870	-13,269	224,15	-0,058070	1,0141
12	-45,000	0,53528	0,45365	1252,8	2,3257	-6,6603	227,59	-0,028825	1,0052
13	-40,000	0,68539	0,59219	1239,9	2,9863	0,00000	231,03	0,00000	0,99743
14	-35,000	0,86764	0,76266	1226,8	3,7876	6,7143	234,46	0,028431	0,99053
15	-30,000	1,0867	0,96995	1213,5	4,7499	13,485	237,87	0,056492	0,98443
16	-25,000	1,3476	1,2193	1200,1	5,8950	20,315	241,26	0,084210	0,97907
17	-20,000	1,6556	1,5163	1186,4	7,2468	27,208	244,61	0,11161	0,97436
18	-15,000	2,0164	1,8667	1172,4	8,8310	34,167	247,93	0,13871	0,97023
19	-10,000	2,4358	2,2768	1158,2	10,676	41,195	251,21	0,16553	0,96662
20	-5,0000	2,9199	2,7527	1143,7	12,812	48,297	254,43	0,19211	0,96347
21	0,00000	3,4753	3,3011	1128,8	15,272	55,476	257,60	0,21846	0,96071
22	5,0000	4,1085	3,9289	1113,6	18,095	62,739	260,71	0,24460	0,95829
23	10,000	4,8265	4,6430	1098,0	21,322	70,090	263,74	0,27056	0,95615
24	15,000	5,6364	5,4507	1081,9	24,999	77,537	266,69	0,29637	0,95425
25	20,000	6,5456	6,3594	1065,4	29,181	85,085	269,55	0,32205	0,95252
26	25,000	7,5618	7,3767	1048,3	33,930	92,745	272,31	0,34763	0,95092
27	30,000	8,6928	8,5106	1030,5	39,318	100,53	274,94	0,37315	0,94937
28	35,000	9,9470	9,7692	1012,0	45,432	108,44	277,45	0,39864	0,94782
29	40,000	11,333	11,161	992,67	52,376	116,50	279,79	0,42413	0,94620
30	45,000	12,859	12,694	972,39	60,279	124,72	281,96	0,44969	0,94442
31	50,000	14,535	14,379	950,98	69,303	133,12	283,91	0,47536	0,94238
32	55,000	16,371	16,225	928,24	79,659	141,74	285,61	0,50121	0,93998
33	60,000	18,377	18,242	903,88	91,626	150,60	287,00	0,52735	0,93705
34	65,000	20,566	20,442	877,51	105,59	159,76	288,02	0,55389	0,93340
35	70,000	22,949	22,837	848,56	122,12	169,27	288,54	0,58101	0,92874
36	75,000	25,541	25,442	816,14	142,09	179,26	288,41	0,60900	0,92265
37	80,000	28,359	28,274	778,70	166,99	189,89	287,36	0,63831	0,91441
38	85,000	31,424	31,353	733,15	199,79	201,53	284,85	0,66991	0,90259
39	90,000	34,765	34,712	671,25	248,41	215,15	279,46	0,70635	0,88348
40	95,000	38,435	38,419	516,34	387,26	240,17	258,73	0,77304	0,82346

R-134a 75%, R-600a 25%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,011163	0,0086728	1174,8	0,051779	-83,777	200,89	-0,41426	1,2524
2	-95,000	0,017853	0,014488	1164,8	0,084127	-77,043	204,49	-0,37592	1,2232
3	-90,000	0,027728	0,023387	1154,9	0,13221	-70,276	208,13	-0,33846	1,1971
4	-85,000	0,041920	0,038157	1144,8	0,21025	-63,469	211,81	-0,30181	1,1697
5	-80,000	0,061830	0,056898	1134,7	0,30585	-56,621	215,54	-0,26589	1,1507
6	-75,000	0,089149	0,082839	1124,5	0,43483	-49,728	219,31	-0,23067	1,1338
7	-70,000	0,12588	0,11798	1114,2	0,60536	-42,787	223,11	-0,19610	1,1188
8	-65,000	0,17436	0,16465	1103,9	0,82670	-35,796	226,93	-0,16212	1,1055
9	-60,000	0,23725	0,22551	1093,4	1,1092	-28,752	230,77	-0,12871	1,0937
10	-55,000	0,31756	0,30356	1082,9	1,4642	-21,653	234,63	-0,095824	1,0833
11	-50,000	0,41867	0,40212	1072,2	1,9043	-14,497	238,49	-0,063431	1,0741
12	-45,000	0,54425	0,52480	1061,4	2,4428	-7,2798	242,36	-0,031500	1,0661
13	-40,000	0,69835	0,67553	1050,5	3,0942	0,00000	246,22	0,00000	1,0591
14	-35,000	0,88531	0,85848	1039,4	3,8739	7,3456	250,08	0,031096	1,0531
15	-30,000	1,1098	1,0781	1028,2	4,7985	14,760	253,92	0,061817	1,0480
16	-25,000	1,3767	1,3390	1016,7	5,8858	22,247	257,75	0,092188	1,0436
17	-20,000	1,6913	1,6462	1005,1	7,1549	29,809	261,55	0,12223	1,0399
18	-15,000	2,0590	2,0049	993,29	8,6269	37,450	265,32	0,15198	1,0368
19	-10,000	2,4856	2,4205	981,22	10,325	45,175	269,05	0,18145	1,0343
20	-5,0000	2,9770	2,8987	968,90	12,274	52,989	272,74	0,21068	1,0322
21	0,00000	3,5393	3,4456	956,29	14,502	60,896	276,39	0,23968	1,0305
22	5,0000	4,1788	4,0673	943,36	17,041	68,902	279,97	0,26848	1,0292
23	10,000	4,9022	4,7703	930,08	19,926	77,013	283,49	0,29710	1,0282
24	15,000	5,7161	5,5613	916,42	23,196	85,237	286,93	0,32558	1,0273
25	20,000	6,6275	6,4471	902,32	26,897	93,581	290,29	0,35395	1,0267
26	25,000	7,6434	7,4349	887,74	31,083	102,06	293,54	0,38223	1,0262
27	30,000	8,7711	8,5321	872,60	35,814	110,67	296,68	0,41046	1,0257
28	35,000	10,018	9,7465	856,84	41,164	119,44	299,69	0,43868	1,0252
29	40,000	11,393	11,086	840,36	47,225	128,38	302,53	0,46694	1,0245
30	45,000	12,902	12,560	823,04	54,105	137,51	305,19	0,49528	1,0237
31	50,000	14,555	14,176	804,75	61,946	146,85	307,63	0,52377	1,0226
32	55,000	16,361	15,945	785,29	70,928	156,43	309,80	0,55250	1,0211
33	60,000	18,328	17,877	764,42	81,293	166,29	311,64	0,58156	1,0190
34	65,000	20,467	19,983	741,77	93,376	176,49	313,08	0,61109	1,0161
35	70,000	22,789	22,278	716,82	107,67	187,11	314,00	0,64132	1,0121
36	75,000	25,306	24,776	688,75	124,93	198,26	314,22	0,67255	1,0065
37	80,000	28,030	27,497	656,12	146,48	210,17	313,43	0,70536	0,99847
38	85,000	30,979	30,466	615,98	174,96	223,28	311,04	0,74090	0,98651
39	90,000	34,167	33,728	560,07	217,60	238,82	305,39	0,78250	0,96621

R-134a 50%, R-600a 50%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,012138	0,0058624	942,75	0,030187	-95,382	230,90	-0,47149	1,4671
2	-95,000	0,019303	0,0095610	935,17	0,047870	-87,758	235,19	-0,42808	1,4367
3	-90,000	0,029792	0,015121	927,55	0,073684	-80,085	239,55	-0,38561	1,4095
4	-85,000	0,044744	0,023253	919,88	0,11038	-72,360	243,98	-0,34401	1,3851
5	-80,000	0,065547	0,034848	912,16	0,16128	-64,579	248,46	-0,30321	1,3633
6	-75,000	0,093853	0,051005	904,38	0,23036	-56,740	252,99	-0,26315	1,3439
7	-70,000	0,13160	0,073046	896,55	0,32224	-48,839	257,58	-0,22380	1,3267
8	-65,000	0,18101	0,10254	888,66	0,44224	-40,875	262,21	-0,18510	1,3114
9	-60,000	0,24461	0,14129	880,69	0,59634	-32,844	266,89	-0,14700	1,2979
10	-55,000	0,32519	0,19141	872,66	0,79128	-24,743	271,60	-0,10948	1,2861
11	-50,000	0,42587	0,25524	864,54	1,0345	-16,571	276,35	-0,072499	1,2757
12	-45,000	0,55000	0,33542	856,33	1,3341	-8,3245	281,12	-0,036015	1,2667
13	-40,000	0,70122	0,43485	848,02	1,6990	0,00000	285,91	0,00000	1,2589
14	-35,000	0,88340	0,55672	839,62	2,1387	8,4052	290,73	0,035577	1,2523
15	-30,000	1,1006	0,70448	831,09	2,6638	16,894	295,55	0,070746	1,2467
16	-25,000	1,3573	0,88182	822,45	3,2853	25,471	300,38	0,10553	1,2420
17	-20,000	1,6578	1,0927	813,68	4,0154	34,138	305,22	0,13997	1,2381
18	-15,000	2,0068	1,3414	804,76	4,8669	42,901	310,05	0,17408	1,2351
19	-10,000	2,4092	1,6323	795,68	5,8538	51,763	314,87	0,20788	1,2327
20	-5,0000	2,8698	1,9700	786,43	6,9913	60,728	319,68	0,24141	1,2310
21	0,00000	3,3938	2,3596	777,00	8,2958	69,802	324,47	0,27469	1,2298
22	5,0000	3,9863	2,8061	767,36	9,7852	78,990	329,23	0,30774	1,2291
23	10,000	4,6524	3,3149	757,50	11,479	88,297	333,95	0,34060	1,2288
24	15,000	5,3976	3,8916	747,39	13,400	97,731	338,63	0,37327	1,2290
25	20,000	6,2270	4,5420	737,01	15,571	107,30	343,27	0,40580	1,2294
26	25,000	7,1461	5,2722	726,33	18,020	117,01	347,84	0,43822	1,2301
27	30,000	8,1602	6,0886	715,31	20,778	126,86	352,33	0,47054	1,2311
28	35,000	9,2749	6,9978	703,91	23,882	136,88	356,75	0,50280	1,2322
29	40,000	10,496	8,0069	692,10	27,372	147,07	361,06	0,53504	1,2333
30	45,000	11,828	9,1232	679,80	31,297	157,45	365,25	0,56730	1,2345
31	50,000	13,276	10,355	666,96	35,718	168,03	369,30	0,59962	1,2357
32	55,000	14,848	11,710	653,49	40,705	178,83	373,18	0,63206	1,2367
33	60,000	16,546	13,198	639,28	46,346	189,88	376,86	0,66468	1,2375
34	65,000	18,378	14,830	624,20	52,754	201,21	380,31	0,69757	1,2379
35	70,000	20,348	16,615	608,07	60,074	212,85	383,46	0,73081	1,2379
36	75,000	22,460	18,568	590,64	68,502	224,87	386,26	0,76456	1,2372
37	80,000	24,719	20,703	571,57	78,309	237,34	388,62	0,79902	1,2356
38	85,000	27,127	23,041	550,33	89,893	250,37	390,38	0,83446	1,2327
39	90,000	29,684	25,604	526,08	103,88	264,16	391,36	0,87136	1,2280
40	95,000	32,385	28,428	497,31	121,36	279,03	391,18	0,91059	1,2207
41	100,00	35,202	31,573	460,80	144,55	295,73	389,12	0,95405	1,2087

R-134a 25%, R-600a 75%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,012880	0,0044921	791,47	0,020337	-107,16	270,45	-0,52963	1,6936
2	-95,000	0,020023	0,0073340	785,51	0,032283	-98,622	275,44	-0,48105	1,6594
3	-90,000	0,030268	0,011612	779,52	0,049741	-90,026	280,50	-0,43347	1,6288
4	-85,000	0,044602	0,017877	773,50	0,074585	-81,363	285,63	-0,38681	1,6015
5	-80,000	0,064211	0,026823	767,44	0,10909	-72,632	290,84	-0,34103	1,5772
6	-75,000	0,090488	0,039305	761,35	0,15597	-63,830	296,11	-0,29605	1,5555
7	-70,000	0,12504	0,056357	755,21	0,21839	-54,954	301,45	-0,25184	1,5363
8	-65,000	0,16971	0,079204	749,03	0,29998	-46,001	306,85	-0,20833	1,5194
9	-60,000	0,22654	0,10927	742,81	0,40486	-36,970	312,31	-0,16549	1,5045
10	-55,000	0,29780	0,14821	736,53	0,53762	-27,857	317,81	-0,12328	1,4915
11	-50,000	0,38598	0,19786	730,19	0,70333	-18,659	323,37	-0,081649	1,4802
12	-45,000	0,49376	0,26030	723,80	0,90756	-9,3748	328,97	-0,040567	1,4704
13	-40,000	0,62403	0,33784	717,34	1,1563	0,00000	334,61	0,00000	1,4622
14	-35,000	0,77982	0,43297	710,81	1,4562	9,4680	340,28	0,040087	1,4552
15	-30,000	0,96436	0,54842	704,21	1,8141	19,033	345,98	0,079724	1,4494
16	-25,000	1,1810	0,68712	697,52	2,2375	28,697	351,71	0,11894	1,4448
17	-20,000	1,4333	0,85220	690,75	2,7345	38,465	357,46	0,15777	1,4412
18	-15,000	1,7247	1,0470	683,89	3,3136	48,340	363,23	0,19623	1,4385
19	-10,000	2,0591	1,2749	676,92	3,9838	58,327	369,01	0,23436	1,4366
20	-5,0000	2,4401	1,5398	669,84	4,7550	68,429	374,79	0,27217	1,4355
21	0,00000	2,8717	1,8453	662,65	5,6376	78,650	380,57	0,30970	1,4351
22	5,0000	3,3578	2,1956	655,32	6,6428	88,996	386,35	0,34696	1,4353
23	10,000	3,9023	2,5948	647,85	7,7827	99,472	392,12	0,38399	1,4361
24	15,000	4,5092	3,0471	640,24	9,0706	110,08	397,87	0,42081	1,4374
25	20,000	5,1826	3,5571	632,45	10,521	120,83	403,60	0,45744	1,4392
26	25,000	5,9263	4,1293	624,48	12,149	131,73	409,29	0,49390	1,4413
27	30,000	6,7446	4,7686	616,31	13,973	142,79	414,95	0,53022	1,4438
28	35,000	7,6413	5,4799	607,93	16,013	154,00	420,55	0,56644	1,4466
29	40,000	8,6206	6,2683	599,29	18,290	165,39	426,09	0,60257	1,4496
30	45,000	9,6865	7,1392	590,39	20,830	176,95	431,56	0,63864	1,4528
31	50,000	10,843	8,0981	581,18	23,662	188,71	436,94	0,67470	1,4561
32	55,000	12,094	9,1508	571,64	26,820	200,67	442,22	0,71077	1,4595
33	60,000	13,443	10,304	561,71	30,345	212,86	447,36	0,74689	1,4628
34	65,000	14,894	11,563	551,34	34,285	225,28	452,35	0,78312	1,4661
35	70,000	16,452	12,936	540,47	38,699	237,96	457,16	0,81950	1,4692
36	75,000	18,119	14,429	529,00	43,659	250,92	461,75	0,85611	1,4719
37	80,000	19,899	16,053	516,84	49,257	264,21	466,08	0,89303	1,4743
38	85,000	21,795	17,814	503,85	55,613	277,86	470,10	0,93036	1,4761
39	90,000	23,811	19,725	489,82	62,887	291,93	473,72	0,96826	1,4772
40	95,000	25,947	21,797	474,49	71,300	306,51	476,85	1,0069	1,4773
41	100,00	28,205	24,047	457,45	81,177	321,72	479,34	1,0467	1,4760

R-134a 10%, R-600a 90%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,0095248	0,0040280	723,03	0,017005	-114,22	297,07	-0,56458	1,8305
2	-95,000	0,014760	0,0065785	717,80	0,027000	-105,14	302,46	-0,51292	1,7941
3	-90,000	0,022266	0,010419	712,54	0,041615	-95,996	307,94	-0,46228	1,7616
4	-85,000	0,032774	0,016046	707,26	0,062419	-86,772	313,50	-0,41260	1,7325
5	-80,000	0,047169	0,024085	701,94	0,091324	-77,471	319,14	-0,36383	1,7066
6	-75,000	0,066501	0,035305	696,60	0,13061	-68,090	324,85	-0,31589	1,6836
7	-70,000	0,091993	0,050639	691,23	0,18292	-58,628	330,64	-0,26875	1,6632
8	-65,000	0,12505	0,071192	685,81	0,25132	-49,082	336,49	-0,22235	1,6453
9	-60,000	0,16726	0,098253	680,36	0,33927	-39,449	342,41	-0,17665	1,6296
10	-55,000	0,22041	0,13330	674,87	0,45060	-29,727	348,38	-0,13160	1,6159
11	-50,000	0,28645	0,17801	669,33	0,58959	-19,913	354,41	-0,087172	1,6040
12	-45,000	0,36753	0,23426	663,75	0,76089	-10,005	360,50	-0,043316	1,5939
13	-40,000	0,46597	0,30412	658,11	0,96953	0,00000	366,63	0,00000	1,5853
14	-35,000	0,58426	0,38985	652,42	1,2210	10,106	372,80	0,042810	1,5782
15	-30,000	0,72503	0,49390	646,66	1,5210	20,316	379,01	0,085147	1,5723
16	-25,000	0,89109	0,61892	640,85	1,8759	30,633	385,26	0,12704	1,5677
17	-20,000	1,0854	0,76773	634,96	2,2923	41,061	391,53	0,16852	1,5641
18	-15,000	1,3109	0,94329	629,00	2,7772	51,603	397,83	0,20962	1,5616
19	-10,000	1,5709	1,1488	622,95	3,3381	62,263	404,15	0,25036	1,5600
20	-5,0000	1,8687	1,3874	616,82	3,9829	73,046	410,49	0,29077	1,5592
21	0,00000	2,2075	1,6627	610,60	4,7202	83,956	416,83	0,33088	1,5592
22	5,0000	2,5909	1,9782	604,27	5,5591	94,996	423,18	0,37070	1,5599
23	10,000	3,0224	2,3375	597,84	6,5093	106,17	429,52	0,41027	1,5613
24	15,000	3,5055	2,7446	591,29	7,5814	117,49	435,86	0,44961	1,5632
25	20,000	4,0441	3,2032	584,60	8,7866	128,96	442,19	0,48874	1,5657
26	25,000	4,6416	3,7175	577,78	10,138	140,57	448,49	0,52768	1,5686
27	30,000	5,3020	4,2916	570,80	11,648	152,35	454,76	0,56647	1,5719
28	35,000	6,0291	4,9297	563,66	13,332	164,29	461,00	0,60512	1,5755
29	40,000	6,8266	5,6363	556,33	15,208	176,41	467,18	0,64366	1,5795
30	45,000	7,6985	6,4157	548,79	17,295	188,70	473,31	0,68212	1,5837
31	50,000	8,6488	7,2727	541,03	19,613	201,19	479,37	0,72053	1,5881
32	55,000	9,6814	8,2121	533,02	22,188	213,89	485,33	0,75891	1,5926
33	60,000	10,800	9,2388	524,73	25,049	226,79	491,20	0,79731	1,5971
34	65,000	12,010	10,358	516,12	28,229	239,93	496,93	0,83575	1,6017
35	70,000	13,314	11,575	507,16	31,771	253,31	502,51	0,87429	1,6061
36	75,000	14,717	12,895	497,78	35,723	266,96	507,90	0,91298	1,6104
37	80,000	16,223	14,325	487,92	40,145	280,91	513,08	0,95187	1,6144
38	85,000	17,837	15,872	477,51	45,114	295,17	517,98	0,99104	1,6180
39	90,000	19,562	17,541	466,43	50,728	309,80	522,56	1,0306	1,6210
40	95,000	21,404	19,340	454,54	57,115	324,85	526,75	1,0707	1,6233
41	100,00	23,367	21,280	441,64	64,452	340,39	530,45	1,1114	1,6247

R-134a 90%, R-290 10%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,052187	0,0070244	1366,6	0,044052	-77,802	192,00	-0,38463	1,2352
2	-95,000	0,073755	0,011787	1354,7	0,071882	-71,514	195,23	-0,34884	1,2059
3	-90,000	0,10232	0,019125	1342,7	0,11352	-65,202	198,50	-0,31391	1,1795
4	-85,000	0,13955	0,030093	1330,6	0,17403	-58,862	201,82	-0,27977	1,1557
5	-80,000	0,18742	0,046040	1318,5	0,25965	-52,489	205,17	-0,24636	1,1342
6	-75,000	0,24813	0,068649	1306,3	0,37794	-46,081	208,55	-0,21363	1,1148
7	-70,000	0,32424	0,099973	1293,9	0,53780	-39,635	211,96	-0,18153	1,0974
8	-65,000	0,41857	0,14247	1281,5	0,74964	-33,147	215,39	-0,15002	1,0817
9	-60,000	0,53429	0,19901	1268,9	1,0253	-26,615	218,83	-0,11905	1,0676
10	-55,000	0,67487	0,27292	1256,2	1,3783	-20,038	222,29	-0,088602	1,0549
11	-50,000	0,84412	0,36798	1243,4	1,8235	-13,411	225,75	-0,058629	1,0435
12	-45,000	1,0462	0,48843	1230,4	2,3777	-6,7325	229,21	-0,029105	1,0333
13	-40,000	1,2854	0,63895	1217,3	3,0592	0,00000	232,65	0,00000	1,0241
14	-35,000	1,5667	0,82470	1203,9	3,8880	6,7896	236,08	0,028714	1,0159
15	-30,000	1,8949	1,0512	1190,3	4,8860	13,639	239,49	0,057065	1,0085
16	-25,000	2,2756	1,3246	1176,5	6,0773	20,553	242,87	0,085078	1,0019
17	-20,000	2,7142	1,6511	1162,5	7,4878	27,533	246,22	0,11278	0,99592
18	-15,000	3,2166	2,0377	1148,2	9,1460	34,585	249,52	0,14019	0,99059
19	-10,000	3,7891	2,4913	1133,6	11,083	41,711	252,77	0,16734	0,98580
20	-5,0000	4,4379	3,0197	1118,6	13,334	48,918	255,96	0,19425	0,98148
21	0,00000	5,1697	3,6305	1103,3	15,936	56,211	259,08	0,22095	0,97755
22	5,0000	5,9914	4,3319	1087,5	18,932	63,594	262,13	0,24747	0,97398
23	10,000	6,9099	5,1325	1071,4	22,369	71,076	265,09	0,27383	0,97068
24	15,000	7,9327	6,0408	1054,6	26,303	78,664	267,96	0,30005	0,96761
25	20,000	9,0673	7,0662	1037,4	30,796	86,367	270,71	0,32618	0,96470
26	25,000	10,321	8,2178	1019,4	35,920	94,195	273,34	0,35225	0,96188
27	30,000	11,703	9,5056	1000,7	41,764	102,16	275,82	0,37829	0,95910
28	35,000	13,221	10,940	981,22	48,430	110,28	278,14	0,40434	0,95626
29	40,000	14,883	12,531	960,72	56,047	118,57	280,27	0,43047	0,95330
30	45,000	16,699	14,290	939,06	64,776	127,05	282,18	0,45673	0,95009
31	50,000	18,678	16,230	916,03	74,824	135,75	283,83	0,48320	0,94654
32	55,000	20,830	18,364	891,33	86,465	144,71	285,15	0,50998	0,94246
33	60,000	23,166	20,706	864,57	100,08	153,98	286,09	0,53722	0,93767
34	65,000	25,697	23,274	835,13	116,22	163,63	286,52	0,56510	0,93186
35	70,000	28,434	26,086	802,07	135,73	173,79	286,28	0,59393	0,92460
36	75,000	31,389	29,170	763,76	160,06	184,65	285,11	0,62426	0,91516
37	80,000	34,574	32,563	716,91	192,01	196,62	282,48	0,65715	0,90213
38	85,000	37,987	36,332	652,71	238,80	210,78	277,07	0,69557	0,88196
39	90,000	41,429	40,764	502,90	347,55	236,13	260,63	0,76415	0,83207

R-134a 75%, R-290 25%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,038447	0,0098740	1141,1	0,052743	-85,928	207,65	-0,42461	1,3735
2	-95,000	0,057007	0,016558	1130,9	0,086016	-79,021	211,31	-0,38530	1,3385
3	-90,000	0,082600	0,026845	1120,7	0,13575	-72,080	215,02	-0,34689	1,3068
4	-85,000	0,11718	0,042202	1110,4	0,20796	-65,101	218,77	-0,30931	1,2781
5	-80,000	0,16302	0,064498	1100,1	0,31003	-58,080	222,55	-0,27250	1,2523
6	-75,000	0,22278	0,096056	1089,6	0,45086	-51,014	226,35	-0,23641	1,2288
7	-70,000	0,29945	0,13970	1079,1	0,64098	-43,899	230,18	-0,20099	1,2077
8	-65,000	0,39640	0,19878	1068,4	0,89256	-36,732	234,02	-0,16618	1,1886
9	-60,000	0,51737	0,27720	1057,7	1,2195	-29,510	237,86	-0,13194	1,1713
10	-55,000	0,66645	0,37945	1046,8	1,6375	-22,229	241,70	-0,098246	1,1557
11	-50,000	0,84810	0,51055	1035,8	2,1639	-14,886	245,53	-0,065046	1,1416
12	-45,000	1,0671	0,67611	1024,6	2,8181	-7,4775	249,34	-0,032309	1,1288
13	-40,000	1,3286	0,88223	1013,2	3,6211	0,00000	253,12	0,00000	1,1173
14	-35,000	1,6380	1,1355	1001,7	4,5960	7,5507	256,86	0,031912	1,1069
15	-30,000	2,0010	1,4429	989,91	5,7675	15,179	260,56	0,063459	1,0975
16	-25,000	2,4237	1,8119	977,93	7,1626	22,889	264,20	0,094672	1,0890
17	-20,000	2,9124	2,2501	965,71	8,8104	30,686	267,77	0,12558	1,0813
18	-15,000	3,4735	2,7653	953,22	10,742	38,576	271,27	0,15621	1,0743
19	-10,000	4,1138	3,3656	940,42	12,992	46,564	274,68	0,18660	1,0679
20	-5,0000	4,8404	4,0588	927,30	15,598	54,657	278,00	0,21677	1,0621
21	0,00000	5,6605	4,8531	913,81	18,599	62,863	281,22	0,24676	1,0568
22	5,0000	6,5815	5,7563	899,90	22,041	71,189	284,32	0,27660	1,0519
23	10,000	7,6112	6,7762	885,54	25,974	79,647	287,30	0,30632	1,0473
24	15,000	8,7574	7,9207	870,66	30,458	88,246	290,13	0,33597	1,0430
25	20,000	10,028	9,1975	855,18	35,561	96,999	292,81	0,36558	1,0389
26	25,000	11,433	10,615	839,04	41,364	105,92	295,31	0,39520	1,0349
27	30,000	12,979	12,181	822,12	47,970	115,04	297,61	0,42489	1,0308
28	35,000	14,677	13,904	804,30	55,505	124,36	299,67	0,45472	1,0266
29	40,000	16,537	15,794	785,40	64,135	133,93	301,45	0,48476	1,0222
30	45,000	18,567	17,861	765,20	74,077	143,77	302,89	0,51512	1,0173
31	50,000	20,781	20,116	743,40	85,633	153,95	303,92	0,54594	1,0116
32	55,000	23,190	22,572	719,56	99,238	164,53	304,43	0,57743	1,0050
33	60,000	25,809	25,244	692,98	115,56	175,64	304,23	0,60989	0,99885
34	65,000	28,652	28,147	662,51	135,69	187,45	303,05	0,64383	0,98643
35	70,000	31,739	31,305	625,94	161,75	200,32	300,37	0,68022	0,97230
36	75,000	35,095	34,751	577,88	198,83	215,14	294,94	0,72147	0,95104
37	80,000	38,749	38,554	491,90	271,18	236,28	281,05	0,77976	0,90671

R-134a 50%, R-290 50%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,034014	0,018337	902,65	0,078588	-100,03	248,32	-0,49416	1,5997
2	-95,000	0,051517	0,030680	894,80	0,12792	-92,017	252,68	-0,44854	1,5553
3	-90,000	0,076039	0,049603	886,89	0,20144	-83,958	257,08	-0,40394	1,5150
4	-85,000	0,10961	0,077714	878,93	0,30775	-75,850	261,50	-0,36028	1,4785
5	-80,000	0,15464	0,11828	870,90	0,45732	-67,688	265,93	-0,31750	1,4454
6	-75,000	0,21386	0,17526	862,79	0,66246	-59,470	270,36	-0,27553	1,4155
7	-70,000	0,29043	0,25328	854,61	0,93724	-51,191	274,78	-0,23431	1,3884
8	-65,000	0,38783	0,35753	846,34	1,2971	-42,847	279,18	-0,19379	1,3641
9	-60,000	0,50996	0,49347	837,98	1,7578	-34,434	283,54	-0,15392	1,3422
10	-55,000	0,66103	0,66081	829,51	2,3139	-25,947	287,89	-0,11465	1,3240
11	-50,000	0,84561	0,84470	820,94	2,9086	-17,382	292,31	-0,075931	1,3120
12	-45,000	1,0686	1,0664	812,23	3,6155	-8,7350	296,71	-0,037729	1,3013
13	-40,000	1,3352	1,3311	803,40	4,4487	0,00000	301,09	0,00000	1,2917
14	-35,000	1,6508	1,6440	794,42	5,4234	8,8276	305,43	0,037294	1,2831
15	-30,000	2,0213	2,0108	785,27	6,5559	17,753	309,73	0,074190	1,2755
16	-25,000	2,4526	2,4373	775,96	7,8639	26,783	313,98	0,11072	1,2686
17	-20,000	2,9508	2,9294	766,45	9,3666	35,923	318,17	0,14693	1,2625
18	-15,000	3,5224	3,4936	756,73	11,085	45,179	322,30	0,18284	1,2570
19	-10,000	4,1740	4,1362	746,78	13,042	54,560	326,36	0,21850	1,2521
20	-5,0000	4,9123	4,8638	736,57	15,265	64,073	330,33	0,25394	1,2477
21	0,00000	5,7443	5,6834	726,08	17,780	73,727	334,20	0,28919	1,2436
22	5,0000	6,6771	6,6018	715,28	20,623	83,533	337,97	0,32429	1,2399
23	10,000	7,7179	7,6264	704,13	23,829	93,500	341,61	0,35929	1,2364
24	15,000	8,8743	8,7646	692,58	27,444	103,64	345,11	0,39421	1,2331
25	20,000	10,154	10,024	680,59	31,519	113,98	348,44	0,42913	1,2298
26	25,000	11,564	11,413	668,10	36,115	124,52	351,59	0,46407	1,2266
27	30,000	13,114	12,939	655,02	41,310	135,29	354,52	0,49912	1,2232
28	35,000	14,811	14,611	641,27	47,196	146,31	357,19	0,53433	1,2195
29	40,000	16,665	16,439	626,72	53,895	157,63	359,55	0,56981	1,2155
30	45,000	18,685	18,432	611,21	61,563	169,27	361,55	0,60567	1,2108
31	50,000	20,880	20,601	594,52	70,416	181,31	363,09	0,64206	1,2054
32	55,000	23,262	22,958	576,34	80,757	193,81	364,05	0,67920	1,1987
33	60,000	25,843	25,516	556,21	93,040	206,90	364,26	0,71741	1,1904
34	65,000	28,635	28,292	533,34	108,00	220,77	363,42	0,75720	1,1797
35	70,000	31,654	31,306	506,35	126,95	235,77	361,04	0,79954	1,1651
36	75,000	34,919	34,586	472,14	152,84	252,68	356,03	0,84652	1,1438
37	80,000	38,451	38,184	419,93	195,62	274,21	344,75	0,90565	1,1057

R-134a 25%, R-290 75%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m³)	Vapor Phase Density (kg/m³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,033525	0,031706	750,53	0,11354	-114,34	297,77	-0,56479	1,8200
2	-95,000	0,050693	0,047879	744,24	0,16682	-105,18	302,85	-0,51268	1,7825
3	-90,000	0,074681	0,070463	737,91	0,23915	-95,973	307,97	-0,46173	1,7487
4	-85,000	0,10744	0,10129	731,54	0,33522	-86,709	313,13	-0,41185	1,7181
5	-80,000	0,15124	0,14251	725,11	0,46040	-77,383	318,31	-0,36296	1,6905
6	-75,000	0,20869	0,19658	718,63	0,62065	-67,991	323,51	-0,31500	1,6656
7	-70,000	0,28276	0,26631	712,09	0,82256	-58,529	328,73	-0,26789	1,6432
8	-65,000	0,37673	0,35482	705,48	1,0733	-48,992	333,97	-0,22158	1,6230
9	-60,000	0,49421	0,46555	698,81	1,3808	-39,374	339,20	-0,17600	1,6048
10	-55,000	0,63916	0,60225	692,05	1,7534	-29,672	344,43	-0,13110	1,5884
11	-50,000	0,81579	0,76899	685,21	2,2001	-19,879	349,66	-0,086836	1,5737
12	-45,000	1,0286	0,97010	678,28	2,7307	-9,9901	354,87	-0,043151	1,5605
13	-40,000	1,2824	1,2102	671,24	3,3553	0,00000	360,06	0,00000	1,5487
14	-35,000	1,5822	1,4941	664,10	4,0852	10,097	365,22	0,042660	1,5381
15	-30,000	1,9333	1,8269	656,84	4,9320	20,308	370,34	0,084870	1,5286
16	-25,000	2,3409	2,2139	649,45	5,9086	30,639	375,42	0,12667	1,5202
17	-20,000	2,8109	2,6607	641,92	7,0285	41,097	380,45	0,16810	1,5126
18	-15,000	3,3488	3,1728	634,24	8,3067	51,689	385,42	0,20921	1,5059
19	-10,000	3,9607	3,7562	626,38	9,7594	62,423	390,32	0,25001	1,4998
20	-5,0000	4,6526	4,4170	618,35	11,404	73,307	395,14	0,29057	1,4944
21	0,00000	5,4306	5,1612	610,11	13,262	84,351	399,87	0,33091	1,4896
22	5,0000	6,3011	5,9953	601,64	15,353	95,565	404,50	0,37107	1,4852
23	10,000	7,2705	6,9258	592,93	17,704	106,96	409,01	0,41109	1,4811
24	15,000	8,3452	7,9593	583,94	20,344	118,55	413,38	0,45102	1,4774
25	20,000	9,5320	9,1029	574,65	23,305	130,35	417,60	0,49090	1,4738
26	25,000	10,838	10,364	565,01	26,626	142,37	421,64	0,53079	1,4704
27	30,000	12,269	11,749	554,98	30,354	154,63	425,48	0,57074	1,4670
28	35,000	13,833	13,266	544,49	34,546	167,16	429,08	0,61081	1,4634
29	40,000	15,538	14,924	533,49	39,271	179,99	432,40	0,65108	1,4596
30	45,000	17,390	16,730	521,88	44,616	193,15	435,40	0,69166	1,4555
31	50,000	19,398	18,694	509,54	50,695	206,68	438,00	0,73265	1,4507
32	55,000	21,570	20,826	496,32	57,661	220,65	440,13	0,77422	1,4451
33	60,000	23,916	23,136	481,99	65,725	235,14	441,64	0,81658	1,4384
34	65,000	26,445	25,639	466,25	75,194	250,26	442,38	0,86004	1,4299
35	70,000	29,166	28,347	448,57	86,544	266,21	442,06	0,90510	1,4192
36	75,000	32,092	31,280	428,08	100,59	283,29	440,26	0,95259	1,4048
37	80,000	35,235	34,463	403,05	118,93	302,15	436,11	1,0042	1,3847
38	85,000	38,605	37,941	368,82	145,78	324,47	427,39	1,0645	1,3527
39	90,000	42,135	42,081	289,48	275,37	363,97	369,48	1,1710	1,1862

R-134a 10%, R-290 90%

	Temperature (°C)	Liquid Phase Pressure (bar)	Vapor Phase Pressure (bar)	Liquid Phase Density (kg/m ³)	Vapor Phase Density (kg/m ³)	Liquid Phase Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Phase Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Phase Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Phase Entropy (kJ/kg-K)
1	-100,00	0,031536	0,029959	682,45	0,097560	-122,94	329,79	-0,60735	2,0108
2	-95,000	0,047608	0,045248	676,86	0,14336	-113,10	335,32	-0,55133	1,9692
3	-90,000	0,070037	0,066604	671,24	0,20554	-103,20	340,90	-0,49655	1,9316
4	-85,000	0,10063	0,095764	665,58	0,28814	-93,239	346,51	-0,44291	1,8976
5	-80,000	0,14151	0,13476	659,87	0,39577	-83,210	352,15	-0,39034	1,8669
6	-75,000	0,19509	0,18594	654,12	0,53357	-73,110	357,81	-0,33875	1,8392
7	-70,000	0,26413	0,25196	648,31	0,70720	-62,935	363,50	-0,28809	1,8141
8	-65,000	0,35167	0,33578	642,45	0,92285	-52,679	369,20	-0,23829	1,7916
9	-60,000	0,46109	0,44067	636,53	1,1872	-42,338	374,90	-0,18927	1,7712
10	-55,000	0,59605	0,57020	630,54	1,5075	-31,904	380,61	-0,14099	1,7529
11	-50,000	0,76050	0,72822	624,48	1,8915	-21,374	386,31	-0,093386	1,7365
12	-45,000	0,95863	0,91886	618,34	2,3473	-10,742	392,00	-0,046406	1,7217
13	-40,000	1,1949	1,1465	612,12	2,8839	0,00000	397,68	0,00000	1,7084
14	-35,000	1,4740	1,4157	605,80	3,5105	10,857	403,32	0,045878	1,6965
15	-30,000	1,8008	1,7313	599,39	4,2371	21,835	408,94	0,091274	1,6859
16	-25,000	2,1804	2,0984	592,86	5,0744	32,942	414,51	0,13623	1,6764
17	-20,000	2,6181	2,5222	586,22	6,0340	44,185	420,03	0,18079	1,6679
18	-15,000	3,1192	3,0080	579,45	7,1283	55,571	425,50	0,22499	1,6604
19	-10,000	3,6893	3,5614	572,54	8,3706	67,108	430,90	0,26887	1,6536
20	-5,0000	4,3341	4,1880	565,47	9,7759	78,806	436,22	0,31248	1,6476
21	0,00000	5,0594	4,8938	558,23	11,360	90,673	441,46	0,35585	1,6422
22	5,0000	5,8711	5,6848	550,81	13,142	102,72	446,59	0,39902	1,6374
23	10,000	6,7752	6,5669	543,19	15,141	114,96	451,60	0,44204	1,6330
24	15,000	7,7779	7,5465	535,34	17,381	127,40	456,48	0,48494	1,6289
25	20,000	8,8854	8,6301	527,23	19,888	140,06	461,22	0,52778	1,6252
26	25,000	10,104	9,8241	518,85	22,693	152,95	465,77	0,57059	1,6216
27	30,000	11,441	11,135	510,15	25,833	166,09	470,14	0,61345	1,6181
28	35,000	12,902	12,571	501,09	29,349	179,51	474,27	0,65640	1,6146
29	40,000	14,495	14,138	491,62	33,296	193,22	478,13	0,69952	1,6109
30	45,000	16,226	15,844	481,67	37,738	207,27	481,69	0,74289	1,6069
31	50,000	18,103	17,698	471,16	42,758	221,69	484,88	0,78662	1,6024
32	55,000	20,135	19,707	459,98	48,465	236,53	487,62	0,83085	1,5973
33	60,000	22,329	21,882	447,98	55,003	251,86	489,81	0,87574	1,5912
34	65,000	24,694	24,231	434,96	62,578	267,77	491,30	0,92155	1,5837
35	70,000	27,241	26,768	420,61	71,489	284,40	491,89	0,96864	1,5743
36	75,000	29,981	29,506	404,43	82,207	301,98	491,25	1,0176	1,5621
37	80,000	32,925	32,462	385,57	95,556	320,88	488,85	1,0693	1,5458
38	85,000	36,089	35,658	362,23	113,23	341,88	483,58	1,1260	1,5223
39	90,000	39,489	39,134	329,27	140,10	367,28	472,34	1,1937	1,4835