



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS
1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA
FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

Carlos Alberto Gamero Tejeda

Asesorado por el Ing. Daniel Enrique Domínguez Hernández

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS
1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA
FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ALBERTO GAMERO TEJEDA
ASESORADO POR EL ING. DANIEL ENRIQUE DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxon
EXAMINADORA	Inga. Teresa Lisely de León Arana
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS
1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA
FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de noviembre 2013.

Carlos Alberto Gamero Tejeda

Guatemala, 27 de octubre del 2014.

Ingeniero
Víctor Monzón
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero **Monzón**:

Por medio de la presente hago constar que he aprobado que el estudiante de Ingeniería Química Carlos Alberto Gamero, quien se identifica con el número de carnet 199415548, realice su trabajo de graduación titulado **"IMPLEMENTACION DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS 1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACION COMERCIAL."**

En mi calidad de asesor, me permito comunicarle que el INFORME FINAL fue revisado y aprobado, por lo cual considero procedente someterlo a su aprobación.

Agradeciendo su atención,

Atentamente,


Ing.Qco. Daniel Enrique Domínguez Hernández

Colegiado 1344

DANIEL E. DOMÍNGUEZ H.
ING. QUÍMICO
COLEGIADO 1344



Guatemala, 15 de enero de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.002.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **281-2011** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Carlos Alberto Gamero Tejeda**.
Identificado con número de carné: **1994-15548**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

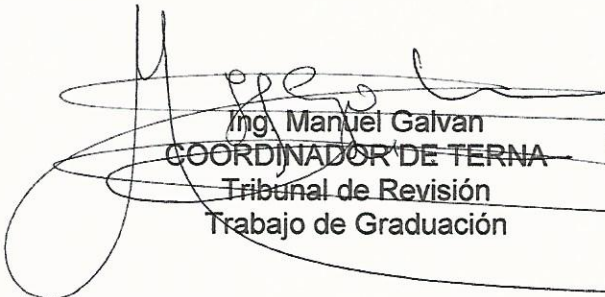
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS 1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Daniel Enrique Domínguez Hernández**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Manuel Galvan
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.031.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **CARLOS ALBERTO GAMERO TEJEDA** titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS 1,1,1,2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2015

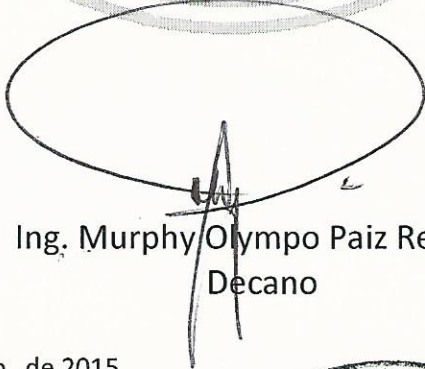
Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 100.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE REGENERADO DE GAS 1, 1, 1, 2 TETRAFLUOROETANO EN EQUIPOS CON DEFECTOS EN EL SISTEMA FRIGORÍFICO PARA UNA EMPRESA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alberto Gamero Tejeda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 10 de marzo de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría y la vida para alcanzar esta meta.
Mis padres (q.e.p.d.)	Arnulfo Gamero H. y María Guadalupe Tejeda R., por inculcarme el deseo de superación, responsabilidad y nunca desfallecer.
Mi esposa	Vivianne Angélica Baldizón García, por ser apoyo e inspiración en mi vida.
Mi hija	Camila de los Ángeles Gamero Baldizón, por ser mi inspiración, motivándome a alcanzar las metas de la vida.
Mis hermanos	William, Rodolfo, Flor y Lorena Gamero Tejeda por apoyarme.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Ayudarme a ser un profesional, ético y responsable
Facultad de Ingeniería	Por inculcarme conocimiento y enseñarme a aplicarlo al servicio de mí país.
Mis amigos de la Facultad	Carlos Gudiel, Marlon Santos, Pedro Balán y Sandra López.
Mis amigos de la Universidad	Amílcar Figueroa, Pablo Letona, Denis Lemus, Evelyn Nortón, Hilma Goshop, Wendy Rodas, Nery Orellana, Tisbe Orellana, Gabriela Álvarez, José Miguel Villacorta, Alejandro Méndez.
Mis tíos	Carlos, Federico, Julio y Hortensia Gamero Herrera, por su apoyo.
Señor	Mario Montenegro, por su apoyo,
Señor	Alejandro Barrilas, por su apoyo.
Señores	Ing. Daniel Domínguez, Ing. Pablo Letona, por su apoyo.

Familias

Nortón Mérida y Gudiel Sacarías, por apoyarme durante mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXXVII
OBJETIVOS.....	XLI
INTRODUCCIÓN	XLIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Fundamento legal	3
1.1.1. Convenio centroamericano para la protección del ambiente	4
1.1.2. Manual de legislación ambiental de Guatemala	4
1.1.3. Constitución Política de la República de Guatemala.....	5
1.1.3.1. Artículo 97 medio ambiente y equilibrio ecológico	5
1.1.3.2. Decreto 110-97	6
1.1.3.3. Política nacional de producción más limpia.....	6
1.1.3.4. Política marco de gestión ambiental Acuerdo Gubernativo 791-2003.....	7
1.2. Justificación	9
1.3. Definición del problema	11
1.4. Alcance y delimitación del problema.....	12
1.5. Marco histórico	13

1.6.	Fundamento teórico	14
1.6.1.	Sistema de refrigeración mecánica	14
1.6.2.	Leyes termodinámicas	14
1.6.3.	Propiedades termodinámicas	15
1.6.3.1.	Presión (P)	15
1.6.3.2.	Presión atmosférica	16
1.6.3.3.	Presión manométrica	17
1.6.3.4.	Presión absoluta	17
1.6.3.5.	El micrón	17
1.6.3.6.	Temperatura (T)	18
1.6.3.7.	Temperatura de ebullición (Te)	18
1.6.3.8.	Temperatura crítica (Tc)	18
1.6.3.9.	Temperatura de congelación (Tcg)	19
1.6.3.10.	Relación entre presión-temperatura.	19
1.6.3.11.	Volumen específico (V)	20
1.6.3.12.	Entalpía (h)	22
1.6.3.13.	Entalpía de líquido saturado (hf)	22
1.6.3.14.	Entalpía de evaporación (hfg)	22
1.6.3.15.	Entalpía de vapor saturado (hg)	23
1.6.3.16.	Densidad (ρ)	23
1.6.4.	Refrigeración por compresión	24
1.6.5.	Diagrama de Mollier	25
1.6.5.1.	Subenfriamiento	27
1.6.5.2.	Sobrecalentamiento	27
1.6.5.3.	Carga térmica (Q)	28
1.6.5.4.	Coeficiente de rendimiento (COP)	29
1.6.5.5.	Flujo de refrigerante ($\dot{m}$)	29
1.7.	Definición de una sustancia refrigerante	29

1.7.1.	Características y propiedades de una sustancia refrigerante	30
1.7.1.1.	Calor latente de evaporación	30
1.7.1.2.	Calor latente de condensación.....	30
1.7.1.3.	Presión de evaporación	30
1.7.1.4.	Punto de ebullición.....	31
1.7.1.5.	Temperaturas y presión de condensación bajas	31
1.7.1.6.	Volumen específico del vapor	31
1.7.1.7.	Presión y temperatura crítica	31
1.7.1.8.	Corrosión	31
1.7.1.9.	Temperaturas de descargas	32
1.7.1.10.	Temperatura de congelación.	32
1.7.1.11.	Inercia química.....	32
1.7.1.12.	Aspectos importantes de una sustancia refrigerante	32
1.7.1.13.	Propiedades fisiológicas de un refrigerante.....	33
1.8.	Gas refrigerante R-134a, 1, 1, 1,2 tetrafluoroetano, (C ₂ H ₂ F ₄) ...	33
1.8.1.1.	Propiedades físicas del gas R-134a	34
1.8.1.2.	Tabla ASHRAE STANDARD-34	35
1.8.1.3.	Método de identificación de los refrigerantes.....	37
1.8.2.	Parámetros de calidad del refrigerante R-134a	37
1.8.2.1.	Norma ARI-700-2006 para un gas virgen	38
1.8.2.2.	Norma ARI-740-93 parámetros de calidad para equipo de regeneración.....	38

1.8.2.3.	Norma ARI-700-2011 para un gas regenerado	39
1.8.3.	Compatibilidad del gas refrigerante con diferentes materiales.....	39
1.8.4.	Factores de seguridad para manejo de gas refrigerante	40
1.8.5.	Riesgos de explosión e incendios	41
1.8.6.	Medidas contra la liberación accidental de gas refrigerante	41
1.8.7.	Cilindros para almacenamiento de gas R-134a recuperado	42
1.8.7.1.	Identificación de cilindros para gas recuperado	43
1.8.8.	Cilindro para almacenaje de gas regenerado.....	44
1.8.8.1.	Identificación de cilindros para gas regenerado	45
1.8.8.2.	Seguridad para llenado de cilindros	46
1.8.8.3.	Aplicación de vacío a cilindros reutilizables.....	46
1.9.	Procesos previos a la carga de gas refrigerante a un sistema nuevo	47
1.9.1.	Ensamble de unidad condensadora.....	47
1.9.2.	Pruebas de fugas en unidad condensadora.....	48
1.9.3.	Operación en área de carga de gas refrigerante.....	48
1.9.4.	Operación de soldadura	48
1.9.5.	Operación de vacío	49
1.9.6.	Inyección de refrigerante	49
1.9.7.	Prueba de fugas con carga de refrigerante R-134a ...	50

1.10.	Recuperación de refrigerante de un sistema (método <i>push-pull</i>).....	50
2.	REGENERACIÓN DE GAS REFRIGERANTE.....	59
2.1.	Definición de operación de regeneración de gas refrigerante ...	59
2.2.	Contaminantes en el sistema de refrigeración.....	59
2.2.1.	Clasificación de los contaminantes.....	60
2.2.1.1.	Contaminantes orgánicos	61
2.2.1.2.	Contaminantes inorgánicos.....	61
2.2.1.3.	Composición del aire	61
2.2.1.4.	Gases no condensables.....	62
2.2.1.5.	Detección de gases no condensables ...	63
2.2.1.6.	Efectos producidos por gases no condensables.....	64
2.2.2.	Contaminación por sólidos	66
2.2.3.	Contaminación por ácidos	67
2.2.4.	Contaminación por humedad.....	67
2.2.4.1.	Efectos por humedad dentro de un sistema de refrigeración.....	68
2.2.4.2.	Solubilidad del agua en los refrigerantes.....	68
2.2.4.3.	Concentración relativa	70
2.2.5.	Contaminación producida por el aceite del compresor.....	71
2.2.5.1.	Aceites minerales y vegetales.....	72
2.2.5.1.1.	Aceites minerales	72
2.2.5.1.2.	Aceites sintéticos.....	73
2.2.5.2.	Relación concentración <i>versus</i> temperatura entre refrigerante-aceite ...	74

2.3.	Sistema de regeneración de gas refrigerante Van Steenburgh modelo JV-90-2.....	75
2.3.1.	Especificación técnica del equipo de regeneración....	77
2.3.2.	Procedimiento para utilización de unidad regeneradora nueva.....	77
2.3.2.1.	Carga de servicio.....	78
2.3.2.2.	Verificación de carga de servicio	79
2.3.3.	Componentes externos regeneradora.....	80
2.3.4.	Componentes internos de regeneradora.....	81
2.3.5.	Dirección de flujo en unidad de regeneración	82
2.3.6.	Distribución de componentes primarios y secundarios de unidad regeneradora.....	84
2.4.	Componentes primarios y secundarios unidad regeneradora	85
2.4.1.	Componentes principales.....	85
2.4.1.1.	Compresor (<i>compressor</i>).....	85
2.4.1.2.	Condensador (<i>air condenser</i>)	85
2.4.1.3.	Intercambiador de calor (<i>heat exchanger</i>).....	86
2.4.1.4.	Cámara de destilación (<i>separation chamber</i>)	86
2.4.1.5.	Cámaras de enfriamiento (<i>chill chamber</i>)	87
2.4.1.6.	Válvula de expansión (TXV)	87
2.4.2.	Componentes secundarios.....	88
2.4.2.1.	Válvula Solenoide (<i>solenoid valve</i>).....	88
2.4.2.2.	Switch flotador (<i>float switch</i>)	88
2.4.2.3.	Acumulador de succión (<i>succión accumulator</i>).....	89

2.4.2.4.	Separador de aceite del compresor (<i>compressor oil separator</i>)	89
2.4.2.5.	Visor de líquido (Inlet/outlet Sight glass)	90
2.4.2.6.	Indicador de líquido-humedad (<i>liquid / moisture indicator</i>)	90
2.4.2.7.	Interruptor liberador de alta presión (<i>hi press relief</i>)	90
2.4.2.8.	Válvula de liberación de aceite (<i>oil out access valve</i>)	91
2.4.2.9.	Manómetro de succión (<i>suction gauge</i>).....	91
2.4.2.10.	Manómetro de descarga (<i>discharge gauge</i>).....	92
2.4.2.11.	Termómetro (temperatura gauge).....	92
2.4.2.12.	Resistencias eléctricas internas (<i>electrical resistance</i>)	92
2.4.2.13.	Filtros deshidratadores (<i>drier</i>)	92
2.4.2.14.	Llave de bola de filtros (<i>drier ball valve</i>)	94
2.4.2.15.	Resistencias eléctricas.....	94
2.5.	Condiciones de operación	94
2.5.1.	Tiempo de operación	95
2.5.2.	Regeneración en fase vapor.....	95
2.5.3.	Regeneración en fase líquida	96
2.5.4.	Reducción del tiempo de carga de gas recuperado y descarga de gas regenerado	97
2.6.	Mantenimiento y cuidados del equipo regenerador	98
2.6.1.	Componentes y herramientas.....	99

2.6.1.1.	Verificación y preparación de componentes	99
2.6.1.2.	Selección de mangueras para succión	100
2.6.2.	Cambio de filtros deshidratadores	100
2.6.2.1.	Herramienta para cambio de filtros deshidratadores	102
2.6.2.2.	Procedimiento para cambio de filtros deshidratadores	103
2.6.2.3.	Adición de aceite a compresor	105
2.6.2.4.	Equipo de seguridad	107
2.6.3.	Operación en ambientes fríos	107
2.7.	Potencial de calentamiento atmosférico (PCA) del R-134a.....	108
3.	DELIMITACIÓN DEL CAMPO DE ESTUDIO.....	111
3.1.	Recursos	111
3.1.1.	Humanos.....	111
3.1.2.	Materiales.....	113
3.2.	Técnicas cualitativas y cuantitativas.....	115
3.2.1.	Técnica cualitativa.....	115
3.2.2.	Técnica cuantitativa.....	115
3.3.	Recolección y ordenamiento de la información	116
3.4.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	119
3.4.1.	Certificado de calidad de análisis de gas refrigerante sin regenerar	120
3.4.2.	Resultado de muestra de gas regenerado.	122
3.5.	Comparación de masas de gas R-134a inyectado y recuperado	123

3.5.1.	Eficiencia del proceso (Ef.)	123
3.6.	Potencial de calentamiento atmosférico (PCA).....	124
3.7.	Rentabilidad promedio (R _{enp})	124
3.8.	Tasa de retorno del proyecto	124
3.9.	Prueba de funcionamiento de equipos gráfica temperatura y corriente.....	125
3.10.	Certificado de calidad de equipo de refrigeración.....	125
3.11.	Análisis de resultados.....	125
3.12.	Software a utilizar para el análisis de datos.....	126
3.13.	Presupuesto	127
3.14.	Cronograma de actividades.....	128
4.	RESULTADOS	129
4.1.	Determinación del ciclo termodinámico para el sistema de regeneración Van Steenburgh JV-90.....	129
4.1.1.	Temperaturas, condiciones y estados del refrigerante en el proceso de regeneración	129
4.1.2.	Presiones dentro del sistema en el proceso de regeneración.....	131
4.2.	Datos termodinámicos del ciclo de regeneración	132
4.2.1.	Calor en el intercambiador de calor que efectúa la evaporación	132
4.2.2.	Calor de intercambiador de calor a contra corriente que realiza la condensación	133
4.2.3.	Flujo másico máximo de gas refrigerante del equipo.....	133
4.2.4.	Diagrama de Mollier para el proceso de regeneración.....	134
4.3.	Medición del potencial de calentamiento atmosférico (PCA) ...	147

4.3.1.	Cálculo de potencial de calentamiento atmosférico (PCA)	147
4.3.2.	Factor de recuperación de masa de gas refrigerante	147
4.4.	Recuperación económica al implementar el proceso de regeneración de gas refrigerante R-134 ^a	149
4.4.1.	Costo de operar la máquina regeneradora durante 1 hora.	149
4.4.2.	Beneficios económicos de regenerar gas R-134a durante 1 hora de operación	150
4.4.3.	Recuperación de inversión	150
4.5.	Resultado de laboratorio, muestras de gas virgen y regenerado	151
4.5.1.	Certificación de calidad, gas refrigerante sin regenerar.....	151
4.6.	Discusión de resultados	164
4.6.1.	Determinación del ciclo termodinámico para el sistema de regeneración Van Steenburgh JV-90	164
4.7.	Ciclo termodinámico del sistema de regeneración	166
4.7.1.1.	Comportamiento del gas refrigerante en Intercambiador de calor y cámara de separación	168
4.7.1.2.	Comportamiento del gas refrigerante en compresor y hacia el intercambiador de calor en contra corriente.....	169
4.7.1.3.	Comportamiento del gas refrigerante en intercambiador de calor a contra corriente hacia condensador	170

4.7.1.4.	Calor de evaporación y condensación del gas refrigerante R-134a en el proceso de regeneración	171
4.7.1.5.	Comportamiento del gas refrigerante en el condensador hacia los tanques de enfriamiento	172
4.7.1.6.	Tanques de enfriamiento a los filtros deshidratadores	173
4.7.1.7.	Comportamiento del gas refrigerante en filtros deshidratadores a tanque de almacenamiento de gas regenerado.....	174
4.7.1.8.	Diagrama de Mollier para el ciclo de regeneración	175
4.8.	Identificación de equipos con defecto.....	175
4.9.	Eficiencia del proceso de regeneración	176
4.9.1.	Recuperación de gas refrigerante	177
4.9.2.	Eficiencia del proceso de regeneración.....	179
4.10.	Velocidad de carga y descarga de regeneradora	179
4.10.1.	Tiempo de regeneración.....	180
4.11.	Medición del potencial de calentamiento atmosférico.....	180
4.11.1.	Cálculo de potencial de calentamiento atmosférico	181
4.12.	Resultado de muestra de gas regenerado.....	182
4.13.	Comparación de funcionamiento de equipos con gas R-134a virgen <i>versus</i> gas regenerado.....	183

CONCLUSIONES	185
RECOMENDACIONES	187
BIBLIOGRAFÍA.....	189
APÉNDICES.....	191
ANEXOS.....	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Efecto invernadero y calentamiento global.....	3
2.	Ciclo de refrigeración por compresión.....	24
3.	Diagrama de Mollier presión-entalpia (P-H)	25
4.	Ciclo de refrigeración por compresión.....	26
5.	Ciclo de refrigeración con subenfriamiento y sobrecalentamiento	28
6.	Valor de toxicidad e inflamabilidad de los gases refrigerantes.....	36
7.	Cilindros de recuperación.....	42
8.	Etiqueta de identificación de gas recuperado.....	43
9.	Cilindros para almacenar gases refrigerantes	44
10.	Etiqueta de identificación de gas regenerado o reclamado.....	45
11.	Ciclo de recuperación de refrigerantes (método Push-Pull)	51
12.	Procedimiento para recuperación de gas refrigerante R-134a.....	52
13.	Determinación de masa de gas refrigerante recuperado	57
14.	Gases no condensables dentro de un sistema	64
15.	Relación concentración y temperatura refrigerante-aceite	74
16.	Regeneradora Van Steenburgh JV-90-2	80
17.	Distribución de componentes de regeneradora.....	81
18.	Componentes internos de regeneradora.....	82
19.	Diagrama de dirección de flujo.....	83
20.	Diagrama de componentes	84
21.	Curvas de equilibrio de humedad para R-134a para tamiz molecular y sílica gel a 52 °C	93
22.	Filtro deshidratador y etiqueta de identificación	100

23.	Indicador líquido-humedad	101
24.	Filtros deshidratadores y componentes	102
25.	Utilización de herramienta para cambio de filtros	104
26.	Ilustración cambio de filtros	104
27.	Visor de aceite y válvula de carga	106
28.	Equipo de seguridad básica.....	107
29.	Impacto total equivalente. TEWI de un sistema frigorífico	109
30.	Ordenamiento del proceso.....	117
31.	Recolección de muestra de gas refrigerante regenerado parámetros Norma ARI-700-2011.....	118
32.	Recolección de muestra para análisis de laboratorio.....	119
33.	Certificación de calidad de gas refrigerante sin regeneración	121
34.	Certificación de calidad de gas refrigerante regenerado.....	122
35.	Temperatura condiciones y estados del refrigerante en proceso de regeneración.....	130
36.	Líneas de alta y baja presión en proceso de regeneración.....	131
37.	Ciclo termodinámico del proceso de regeneración	134
38.	Recomendaciones previas a realizar el proceso de regeneración de R-134a.....	135
39.	Procedimiento para regenerar gas refrigerante R-134a.....	136
40.	Certificación de calidad, gas refrigerante sin regenerar.....	152
41.	Certificación de calidad, gas refrigerante regenerado.....	153
42.	Gráfica de funcionamiento, con gas refrigerante virgen.....	154
43.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 1.....	155
44.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 2.....	156
45.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 3.....	157
46.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 4.....	158
47.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 5.....	159
48.	Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 6.....	160

49.	Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 1	161
50.	Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 2	162
51.	Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 3	163
52.	Sonda y termómetro AB	164

TABLAS

I.	Presiones de gas R-134a en evaporador y condensador	16
II.	Tabla de temperaturas para el R-134a a presión atmosférica	19
III.	Volumen específico para el R-134a. a -15 °C	21
IV.	Entalpía de líquido, evaporador y vapor saturado	23
V.	Código de R-134a según NFPA	34
VI.	Propiedades físicas del gas R-13a	35
VII.	Identificación ASHRAE	36
VIII.	Parámetros de calidad según Norma ARI-700-2006	38
IX.	Parámetros de certificación de equipos ARI-740-93	38
X.	Parámetros ARI-700-2011	39
XI.	Compatibilidad de materiales con el R-134a	40
XII.	Composición del aire	62
XIII.	Solubilidad del agua en fase líquida para el R-134a (ppm)	70
XIV.	Concentración relativa para el R-134a	71
XV.	Partes de regeneradora Van Steenburgh JV-90	81
XVI.	Componentes internos de regeneradora	82
XVII.	Comparación de masas de gas inyectado	123
XVIII.	Datos según variables	126
XIX.	Presupuesto para implementación de proceso	127
XX.	Cronograma de actividades	128
XXI.	Presión y entalpía del sistema de regeneración	132
XXII.	Presión-temperatura de saturación para gases	144

XXIII.	Costo de operar la máquina regeneradora durante 1 hora	149
XXIV.	Beneficio de regenerar gas durante 1 hora operación	150
XXV.	Retorno de inversión del proyecto	150
XXVI.	Resultados, muestras de gas virgen y regenerado.....	151
XXVII.	Temperaturas y estado del refrigerante según ubicación de sonda ..	165
XXVIII.	Parámetros para gas regenerado. Norma ARI-700-2011	166
XXIX.	Tabla de diagnóstico de equipos con defecto.....	176
XXX.	Masa inicial, recuperada y regenerada de gas R-134a.....	178
XXXI.	Velocidad de almacenaje, eficiencia y rentabilidad del proceso	180

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amps	Amperios
x	Calidad de vapor
Q	Calor
Δ	Cambio
CFC's	Cloroflorocarbonados
COP	Coeficiente de rendimiento
TWA	Concentración ponderada en el tiempo
ρ	Densidad
CO₂	Dióxido de carbono
U	Energía
H	Entalpía
H_{fg}	Entalpía de evaporación
H_g	Entalpía de vapor saturado
H_f	Entalpía líquido saturado
Rec_{Refrig}	Factor de recuperación de mas de gas refrigerante
<i>m</i>	Flujo másico
R-134a	Gas refrigerante
°C	Grados centígrados
g	Gramos
HFC's	Hidroflorocarbonados
hr	Hora
TEWI	Impacto total equivalente
ARI	Instituto de aire acondicionado y refrigeración

J	Joules
K	Kilo
psi	Libras por pulgada cuadrada
l	Litros
M_{gr}	Masa gas recuperado
M_{gR}	Masa gas regenerado
M_o	Masa inicial
μ	Micrón
min	Minutos
Pa	Pascales
PFC's	Perflorocarbonados
PCA	Potencial de calentamiento atmosférico
P	Presión
SAO	Sustancia agotadora de ozono
T	Temperatura
T_c	Temperatura critica
T_{cg}	Temperatura de congelación
T_e	Temperatura de ebullición
W	Trabajo
V	Volumen
TXV	Válvula de expansión térmica
w	Watts o vatios

GLOSARIO

Aceite para refrigeración	Aceite especialmente, para usarse en el mecanismo de los sistemas de refrigeración.
Acumulador	Tanque de almacenamiento, evitando que fluya refrigerante líquido hacia la línea de succión antes de evaporarse.
<i>Air condenser</i>	Condensador.
Aislamiento térmico	Superficie que retarda o disminuye el flujo de calor.
Ambiente	Condiciones circundantes.
ARI-700-2011	Norma para especificación de gases refrigerantes base flurocarbono.
ASHRAE	Asociación americana de refrigeración y aires acondicionados.
Bomba de vacío	Dispositivo utilizado para crear alto vacío para fines de pruebas y eliminación de gases no condensables de un sistema de refrigeración.

Caída de presión	Diferencia de presión en dos puntos de un circuito.
Calor	Forma de energía que actúa sobre las sustancias para elevar su temperatura.
Calor de compresión	Efecto de calefacción que se lleva a cabo cuando se comprime un gas.
Calor de condensación	Cantidad de calor liberada por un kilogramo de una sustancia para cambiar su estado de vapor a líquido.
Calor de evaporación	Cantidad de calor requerida por un kilogramo de sustancia, para cambiar su estado de líquido a vapor.
Calor de fusión	Calor requerido por una sustancia, para cambiar su estado sólido al estado líquido, a temperatura constante.
Calor específico	Cantidad de calor requerido, para aumentar o disminuir la temperatura de una sustancia en 1 °C.
Calor latente	Cantidad de energía calorífica requerida para efectuar un cambio de estado de una sustancia, sin que cambie de temperatura o presión.

Calor sensible	Calor que causa un cambio de temperatura en una sustancia, sin que cambie de estado.
Calor total	Suma del calor sensible y del calor latente.
Cámara de refrigeración	Espacio refrigerado comercial, que se mantiene a temperaturas abajo de la ambiental.
Cambio de estado	Condición en la cual, una sustancia cambia de estado debido a la aplicación de calor o a la remoción de calor.
Carga de refrigerante	Cantidad de refrigerante colocada en un sistema de refrigeración.
Carga térmica	Cantidad de calor medida en watts, Kcal o btu, la cual es removida durante un período de 24 horas.
<i>Chill chamber</i>	Cámaras de enfriamiento.
Chiller	Sistema por donde circula un flujo dentro varios serpentines de enfriamiento, enfriado por aire o agua.
Ciclo	Serie de eventos u operaciones, las cuales tienen una tendencia a repetirse en el mismo orden.

Cilindro	Contenedor cerrado para fluidos.
Cilindro para refrigerante	Cilindro en el que se almacena y distribuye el recipiente utilizado para almacenar refrigerante. Se clasifican en: recargables y desechables.
Coeficiente de rendimiento	Relación del trabajo realizado o completado, en comparación con la energía utilizada.
Compresión	Proceso de incrementar la presión, sobre un volumen dado de gas, usando energía mecánica.
Compresor	Máquina en sistemas de refrigeración, hecha para succionar vapor del lado de baja presión en el ciclo de refrigeración, y comprimirlo y descargarlo hacia el lado de alta presión del ciclo.
<i>Compressor</i>	Compresor.
<i>Compressor oil separator</i>	Separador de aceite del compresor.
Condensación	Proceso de cambiar de estado un vapor o un gas a líquido, al enfriarse por abajo de su temperatura de saturación o punto de rocío.

Condensado	Líquido que se forma cuando se condensa un vapor.
Condensador	Recibe vapor caliente a alta presión, enfriándolo, pasándolo luego en estado líquido.
Condensar	Acción de cambiar un gas o vapor a líquido.
Conducción	Flujo de calor entre sustancias, por medio de vibración de las moléculas.
Conductividad	Habilidad de una sustancia para conducir o transmitir calor y/o electricidad.
Conexión	Abertura o puerto, dispuesto para instalar un componente.
Congelación	Cambio de estado de líquido a sólido.
Contaminante	Sustancia, humedad o cualquier materia extraña al refrigerante o al aceite en un sistema.
Convección	Transferencia de calor por medio del movimiento o flujo de un fluido.

Convección forzada	Transferencia de calor que resulta del movimiento forzado de un líquido o un gas, por medio de una bomba o un ventilador.
Corrosión	Deterioro de materiales por acción química.
Densidad	Cantidad de masa en un volumen determinado.
Deshidratador	Sustancia o dispositivo que se utiliza, para remover la humedad.
Destilación	Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor, separando el componente más volátil de los más pesados enfriando el vapor para recuperar en forma líquida.
Detector de fugas	Dispositivo que se utiliza para detectar fugas,
Diagrama de Mollier	Gráfica de las propiedades de un refrigerante, tales como: presión, temperatura, calor, etc.
<i>Discharge gauge</i>	Manómetro de descarga.
<i>Drier</i>	Filtros deshidratadores.
Eficiencia	Capacidad de un dispositivo, sistema o actividad.

<i>Electrical resistance</i>	Resistencias eléctricas internas.
Energía	Habilidad real o potencial de efectuar trabajo.
Entalpía	Energía poseída por un sistema.
Evaporación	Término aplicado al cambio de estado de líquido a vapor. Donde el proceso absorbe calor.
Evaporador	Componente del mecanismo de un sistema de refrigeración, en el cual, el refrigerante se evapora y absorbe calor.
Fase	Distinta función operacional durante un ciclo.
Filtro	Dispositivo para remover partículas extrañas de un fluido.
Filtro deshidratador	Dispositivo empleado para la limpieza del refrigerante removiendo contaminantes del sistemas de refrigeración.
Flare conexión	Extremo de una conexión que recibe el " <i>flare</i> ", de un tubo con su tuerca respectiva.
<i>Float switch</i>	Switch flotador.

Fluido	Contiene partículas, las cuales se mueven y cambian de posición sin separación de la masa. Puede ser líquido o gaseoso.
Frío	Ausencia de calor.
Gas	Fase o estado de vapor de una sustancia.
Gas licuado	Gas abajo de cierta temperatura y arriba de cierta presión, que se vuelve líquido.
Gas no condensable	Gas que no se convierte en líquido a las temperaturas y presiones de operación.
Gravedad específica	Peso de un líquido comparado con el peso del agua.
<i>Heat Exchanger</i>	Intercambiador de calor.
<i>Hi press relief</i>	Interruptor liberador de alta presión.
Hidrocarburos	Compuestos orgánicos que contienen solamente hidrógeno y carbono, en varias combinaciones
Higroscópico	Habilidad de una sustancia para absorber y soltar humedad, y cambiar sus dimensiones físicas, conforme cambia su contenido de humedad.

Humedad	Vapor de agua presente en el aire atmosférico.
Humedad absoluta	Cantidad de humedad en el aire, indicada en g/m ³ de aire seco.
Humedad relativa	La cantidad de humedad en una muestra de aire.
Indicador líquido- humedad	Accesorio en la línea de líquido, contiene un elemento sensible a la humedad, cuyo color indica el contenido de humedad en el líquido.
Inlet/outlet sight glass	Indicador de líquido-humedad.
Intercambiador de calor	Dispositivo utilizado para transferir calor de una superficie caliente a una superficie menos caliente.
Isoterma	Nombre con el que se conoce a la línea en una gráfica, representa un cambio a temperatura constante.
Isotérmica	Acción que se lleva a cabo sin un cambio de temperatura.
Isotérmico	Cambio de volumen o presión bajo condiciones de temperatura constante.

Joule	Unidad de energía del sistema internacional. Equivale al trabajo realizado por la fuerza de un Newton, cuando el punto de aplicación se desplaza una distancia de un metro, en dirección de la fuerza.
Kilo pascal	Unidad de presión absoluta equivalente a mil Pascales. Ver Pascal.
Kilocaloría	Unidad de energía y trabajo, equivalente a mil calorías.
Kilowatt	Unidad de potencia equivalente a mil Watts.
<i>Liquid / moisture indicator</i>	Indicador de Líquido-humedad.
Líquido	Sustancia cuyas moléculas se mueven libremente entre sí, pero que no tienden a separarse como las de un gas.
Manómetro	Instrumento para medir presiones de gases y vapores.
Manómetro de alta	Instrumento para medir presiones en el rango de 0 a 500 psi (101.3 a 3,600 kPa).
Manómetro de baja	Instrumento para medir presiones en el rango de 0 a 50 psi (0 a 350 kPa).

Manómetro de compresión	Instrumento usado para medir presiones positivas arriba de la presión atmosférica.
Masa	Cantidad de materia mantenida junta, formando un cuerpo.
Micrómetro	Instrumento de medición, utilizado para hacer mediciones precisas hasta de 0,01 mm.
Micrón	Unidad de longitud en el sistema métrico, que equivale a la milésima parte (1/1000) de un milímetro.
Mirilla	Tubo o ventana de vidrio que permite observar el paso del refrigerante en el sistema.
Miscibilidad	La capacidad que tienen las sustancias para mezclarse.
Molécula	La parte más pequeña de un átomo o un compuesto
Motor	Máquina rotatoria que transforma energía en movimiento mecánico.
<i>Oil out access valve</i>	Válvula de liberación de aceite.
Ozono	Una forma de oxígeno, O ₃ . La capa de ozono, es la capa externa de la atmósfera de la Tierra, que absorbe la luz ultravioleta del sol.

Pascal	Unidad de presión absoluta en el sistema internacional (SI).
PH	Medición de la concentración de iones de hidrógeno libres en una solución acuosa.
Ppm	Unidad para medir la concentración de un elemento.
Presión	Fuerza impactada sobre una unidad de área.
Presión absoluta	Es la suma de la presión manométrica más la presión atmosférica.
Presión atmosférica	Presión que ejerce el aire atmosférico sobre la tierra.
Presión crítica	Condición comprimida del refrigerante, en la cual el líquido y el gas, tienen las mismas propiedades.
Presión de diseño	La más alta o más severa presión esperada, durante la operación más una tolerancia por seguridad.
Presión de operación	Presión real a la cual trabaja el sistema, bajo condiciones normales.

Presión de succión	En un sistema de refrigeración, se llama así a la presión a la entrada del compresor.
Presión de vapor	Presión ejercida por un vapor o un gas.
Psi	<i>Pounds per square inch</i> , expresión de la presiones en el sistema inglés.
Psia	<i>Pounds per square inch absolute</i> , expresión de la presiones absolutas en el sistema inglés.
Psig	<i>Pounds per square inch gauge</i> , expresión de la presiones manométricas en el sistema inglés.
<i>Pump down</i>	Condición donde se detiene el flujo de refrigerante líquido, hacia un recipiente (comúnmente el evaporador), y el vapor formado del líquido remanente en ese recipiente, es bombeado por el compresor.
Punto de congelación	Temperatura a la cual se solidifica un líquido al removerle calor a presión atmosférica.
Punto de ebullición	Temperatura a la que un líquido hierve, bajo la presión atmosférica.
Purgar	Liberar gas comprimido hacia la atmósfera, a través de una o varias partes, con el propósito de eliminar contaminantes.

Quemadura de componente	Condición en la cual el aislamiento del motor eléctrico se deteriora, debido a un sobrecalentamiento.
R-134a	Tetrafluoroetano. Sustancia refrigerante perteneciente a la familia de fluorocarbonados.
Refrigeración	Proceso donde se absorbe y libera calor al entorno utilizando una sustancia refrigerante.
Refrigerante	Sustancia utilizada en los mecanismos de refrigeración que tiene la capacidad de absorber calor. Refrigerante identificado por colores.
Regeneración	Reprocesar un gas refrigerante para devolverle sus condiciones de pureza iniciales.
Saturación	Condición de una sustancia que contiene la mayor cantidad que pueda retener, de otra sustancia a esa presión y temperatura.
Separador de aceite	Dispositivo utilizado para remover aceite del gas refrigerante.
<i>Separation chamber</i>	Cámara de destilación.

Sobrecalentamiento	Temperatura del vapor arriba de su temperatura de ebullición (saturación) a la misma presión.
Soldar	Unión de dos metales con material de aporte no ferroso, cuyo punto de fusión es menor al del metal base.
<i>Solenoid valve</i>	Válvula solenoide.
Subenfriamiento	Enfriamiento de refrigerante líquido, abajo de su temperatura de condensación.
Succión accumulator	Acumulador de succión.
<i>Suction gauge</i>	Manómetro de succión.
Sustancia	Cualquier forma de materia o material.
Temperatura	Medición de la velocidad del movimiento de las moléculas donde pierden o ganan energía (frio-calor).
Temperatura absoluta	Temperatura medida desde el cero absoluto.
Temperatura ambiente	Temperatura de un fluido (generalmente el aire), que rodea un objeto por todos lados.

Temperatura crítica	Temperatura a la cual el vapor y el líquido tienen las mismas propiedades.
Temperatura de ebullición	Temperatura a la cual un líquido cambia a gas.
Temperatura de condensación	Temperatura dentro de un condensador, en el que el vapor de refrigerante, cede su calor latente de evaporación y se vuelve líquido.
Temperatura gauge	Termómetro.
Termocople	Instrumento que utiliza la fuente de flujo eléctrico conectada a un miliamperímetro calibrado en grados.
Termómetro	Instrumento para medir temperaturas.
Transmisión	Pérdida o ganancia de calor de la fuente de mayor temperatura a la menor.
Tropósfera	Parte de la atmósfera inmediatamente arriba de la superficie de la tierra, en la cual, ocurren la mayoría de los disturbios meteorológicos.
Tubo capilar	Tubo de diámetro interior pequeño, que se utiliza para controlar el flujo de refrigerante que ingresa al evaporador tomando la función de una válvula expansora.

TXV	Válvula de expansión térmica.
Unidad condensadora	Parte de un mecanismo de refrigeración, la cual succiona vapor de refrigerante del evaporador, lo comprime, lo licúa en el condensador y lo regresa al control de refrigerante.
Vacío	Presión menor que la atmosférica.
Vacuómetro	Instrumento para medir vacío muy cercano al vacío perfecto.
Válvula	Accesorio utilizado para controlar el paso de un fluido.
Válvula de expansión	Válvula de control operada por la temperatura y presión dentro del evaporador. Controla el flujo de refrigerante hacia el evaporador.
Válvula de retención (check)	Válvula de globo accionada automáticamente permitiendo el flujo en un solo sentido.
Válvula de servicio	Dispositivo utilizado en cualquier parte del sistema donde se desea verificar presiones, cargar refrigerante, hacer vacío o dar servicio.

RESUMEN

La necesidad de preservar productos perecederos para el consumo humano, hace de los equipos de refrigeración una necesidad tecnológica. La industria de refrigeración comercial, utiliza gas R-134a como principal refrigerante. Este se agrupa dentro de las sustancias hidrofluorocarbonadas, que no agotan la capa de ozono, pero producen o incrementan el calentamiento atmosférico. El efecto producido por la liberación de gases al ambiente utiliza como factor de comparación el calor atrapado por 1Kg de CO₂, durante un tiempo determinado. Se utiliza este gas como parámetro, por ser el más abundante en la atmósfera, estableciendo una relación de 1300 u. equivalentes de CO₂ por cada unidad de R-134a liberada, efecto que tarda 13 años en el ambiente.

El uso de gases refrigerantes hidrofluorocarbonados se limitó mediante la suscripción del Tratado de Tokio en 1997, utilizando el año 1990 como base para comparar la reducción de estos gases entre los años 2008 al 2012, teniendo como objetivo reducir en un 5 por ciento las emisiones. De este porcentaje, el 79 por ciento de las emisiones es producido por la refrigeración comercial. Guatemala está suscrita a este tratado, aunque no cuenta con leyes específicas sobre el tema de regeneración, existen iniciativas y políticas que instan a la industria guatemalteca a implementar nueva tecnología para hacer sus procesos sostenibles.

En el proceso de fabricación de refrigeradores comerciales el 100 por ciento de los equipos nuevos son sometidos a pruebas para certificar el funcionamiento adecuado de cada unidad producida. Al detectar un equipo con

un problema mayor que requiera realizar una reparación o cambiar algún componente se tiene que extraer el gas refrigerante. Este no puede simplemente extraerse e inyectarlo nuevamente a otro equipo, debido a que pudiera haber entrado en contacto con agentes contaminantes dentro del sistema o durante el proceso de fabricación, poniendo en riesgo el funcionamiento del mismo, pudiendo dañar los componentes electromecánicos e incurrir en costo elevado para reemplazarlos, afectando la reputación del fabricante.

En la actualidad, los técnicos liberan el gas refrigerante R-134a, por falta de procedimientos, técnicas y herramientas adecuadas que permitan aplicar el uso de tecnología moderna para reutilizarlo. Por medio del proceso de regeneración, se devuelven las condiciones iniciales de pureza al gas refrigerante. Esta operación se puede realizar utilizando un equipo de regeneración marca Van Steenburgh serie JV-90-2. Por medio del método de llenado *Batch* o carga de lotes.

Tomando las temperaturas de entrada y de salida de los componentes primarios del equipo, por medio de sondas térmicas, permite determinar la termodinámica del sistema, identificando las diferentes operaciones unitarias que producen cambios de estado, temperatura, presión, velocidad y energía del gas regenerado.

Al ingresar gas recuperado al equipo de regeneración, se eleva la velocidad y temperatura del refrigerante, enviándolo por un intercambiador de calor, donde se lleva a cabo la mayor transferencia de energía, evaporando el gas entrante y sobrecalentándolo. Posteriormente pasa a una cámara de separación donde se lleva a cabo una destilación *flash*, separando los componentes de alto punto de ebullición, (como aceite y ácidos), del vapor a

alta temperatura que es enviado al compresor, donde se comprime y regresa nuevamente al intercambiador de calor a contra corriente. Utilizando la baja temperatura con el refrigerante recuperado ingresa se enfría el gas procedente del compresor y sobrecalentando el gas recuperado que sigue ingresando al sistema, aprovechando el calor de compresión.

El líquido es enviado al condensador y posteriormente a los tanques de almacenamiento donde se subenfía. En esta parte del proceso se retiran los gases no condensables, por medio de la liberación de presión del sistema, hasta igualar el valor especificado para el gas R-134a a la temperatura de operación de la tabla de presión-temperatura de vapor saturado. Para finalizar la operación de regeneración se deben retirar los contaminantes sólidos por medio de una purga de aceite, junto a la cual se extraen ácidos, partículas de cobre y carbón

Conociendo cómo, cuándo y por qué los contaminantes de un gas recuperado son eliminados, se puede establecer un procedimiento adecuado que asegura la obtención de gas refrigerante con parámetros de aceptación, para ser reutilizado. Para garantizar la calidad del gas regenerado se realiza una prueba de control y análisis, certificado bajo parámetros de la Norma ARI-700-2011 por un laboratorio en Estados Unidos, de ser positivo, se autoriza la inyección posterior del gas a equipos nuevos que serán respaldados por la aprobación del fabricante, mediante pruebas de funcionamiento de cada unidad.

Implementar el proceso de regeneración de gas refrigerante R-134a, permite a la empresa de refrigeración comercial guatemalteca recuperar materia prima, con una eficiencia del 100 por ciento, contribuyendo a reducir el

costo por unidad e impacto ambiental; haciendo a la organización más competitiva en el mercado mundial.

OBJETIVOS

General

Implementar el proceso de regeneración de gas 1, 1, 1,2-tetrafluoroetano en equipos con defecto en el sistema frigorífico para una empresa de refrigeración comercial guatemalteca.

Específicos

1. Determinar el ciclo termodinámico para el sistema de regeneración Van Steenburgh JV-90-2.
2. Implementar un procedimiento para regenerar gas refrigerante R-134a.
3. Establecer la eficiencia del proceso de regeneración de gas (1-RECreFri). partiendo de la cantidad de gas virgen (M_o) inyectado inicialmente y la carga de gas final obtenida del proceso de regeneración (M_{gR}).
4. Medir el potencial de calentamiento atmosférico (PCA) que se producirá al liberar el gas reciclado R-134a al ambiente, en un período de 30 días de aplicación del proyecto.
5. Evaluar la tasa de recuperación económica al implementar el proceso de reciclado de gas R-134a, utilizando como referencia 1 hora de operación.

6. Comparar el funcionamiento de 10 equipos inyectados con gas regenerado (M_{gR}) vs. 10 con gas virgen (M_o), del mismo modelo, comparando la temperatura y consumo energético.
7. Verificar si los parámetros de calidad del gas refrigerante R-134a obtenido del proceso de regeneración, cumplen con los parámetros de la Norma ARI-700-11.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, un tema de preocupación mundial. La región centroamericana no ha escapado de los impactos que genere. En Guatemala, los inviernos han sido más copiosos y los veranos más secos. Cambios drásticos que hacen un llamado a contribuir y mejorar la relación entre los procesos productivos y el medio ambiente, creando la necesidad de implementar procesos más limpios, económicamente viables y amigables al ambiente. Permitiendo a empresas guatemaltecas incorporar tecnología moderna, que contribuya con la reducción de: costos de operación, desperdicio de materia prima e índices de contaminación.

La reutilización o reciclaje de materiales es un tema por el cual se comprueba que, reciclar, no solo es bueno para el ambiente, también contribuye a mejorar la economía. Muchas personas han hecho de esto una forma de sustento, siendo esta, la principal causa por la cual se inician en este proceso, relegando a segundo plano el beneficio ambiental, que afecta directamente en su propio entorno.

En la actualidad, la industria de refrigeración guatemalteca no cuenta con un proceso de regeneración de gas refrigerante, que permita reciclarlo. Reutilizar un gas refrigerante contaminado, produce defectos y pérdida de eficiencia de los sistemas refrigeración. Contaminantes como: partículas sólidas, aceite, ácidos, ceras, lodos y el mayor enemigo de los sistemas de refrigeración. La humedad que combinada con altas temperaturas, da origen a fenómenos complejos como: formación de hielo en las válvulas de termo expansión o tubo capilar, formación de ácidos como el (HF) ácido fluorhídrico,

que produce daños en los componentes internos del sistema. Estos contaminantes pueden ser retirados de un gas refrigerante que ha estado dentro de un sistema de refrigeración, sometiéndolo a un proceso de regeneración.

Analizar la termodinámica de la unidad regeneradora, permite comprender, los cambios que sufre el refrigerante, el funcionamiento, forma de operación del sistemas, y cómo se retiran los contaminantes del gas recuperado, regresándondolo a sus condiciones físicas y químicas iniciales de pureza. Implementando a partir de dicho análisis un procedimiento adecuado para regenerar gas, capacitando al personal responsable para realizar la operación, eliminando malas prácticas operativas, permitiendo alcanzar un retorno económico del proyecto, por la optimización en el uso de materia prima y un beneficio ambiental.

Tomar conciencia del impacto que generan las operaciones industriales al ambiente, permite implementar procesos y estrategias organizacionales para alcanzar un equilibrio entre la productividad, aprovechamiento de los recursos y proteccion del planeta. Obteniendo equipos de alta calidad, que hagan a la empresa de refrigeración guatemalteca, competir en un mercado que cada día es más exigente, sobre los productos de consumo y el valor agregado que estos brindan.

1. MARCO TEÓRICO

En 1985, los científicos del Servicio Británico de Exploración de la Antártida hicieron un descubrimiento que cambiaría las teorías sobre los cambios climáticos que sufre la Tierra. En su publicación indicaron que entre 1977 a 1984, la cantidad de ozono en la Antártida (*halley bay*) había reducido su concentración en un 40 por ciento debido a la utilización de sustancias que agotaban dicha capa, especialmente las que contienen átomos de cloro, pesticidas, aerosoles, gases refrigerantes y otros. Según este grupo de científicos, esto desencadena cambios drásticos en el clima y la salud de los que lo habitan.

Hasta ese año no se tenía conocimiento alguno sobre este fenómeno, que desencadenó la preocupación en las naciones del mundo, quienes se reunieron en Viena, Austria donde se realizó la Convención para la protección de la capa de ozono en 1985, que fue el preámbulo para una serie de protocolos y tratados; iniciando, en 1987 con el Protocolo de Montreal, en el cual las naciones se comprometieron a eliminar para el 2012 la utilización de sustancias agotadoras del ozono (SAO), debido a que algunos componentes como el cloro (Cl) y bromo (Br) reaccionan con el mismo. Este protocolo entró en vigencia el 1 de enero de 1990, año que sería tomado como referencia para realizar las mediciones de dichos gases.

En 1997 se suscribe el Tratado de Kioto, Japón sobre el cambio climático. Un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que producen efecto invernadero, entre estos se encuentran: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), además de

tres gases industriales fluorados: perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC), entre los cuales se encuentra el gas refrigerante R-134a. En este tratado la naciones se comprometieron a reducir en un porcentaje de, al menos, un 5 por ciento, dentro del período del 2008 al 2012.

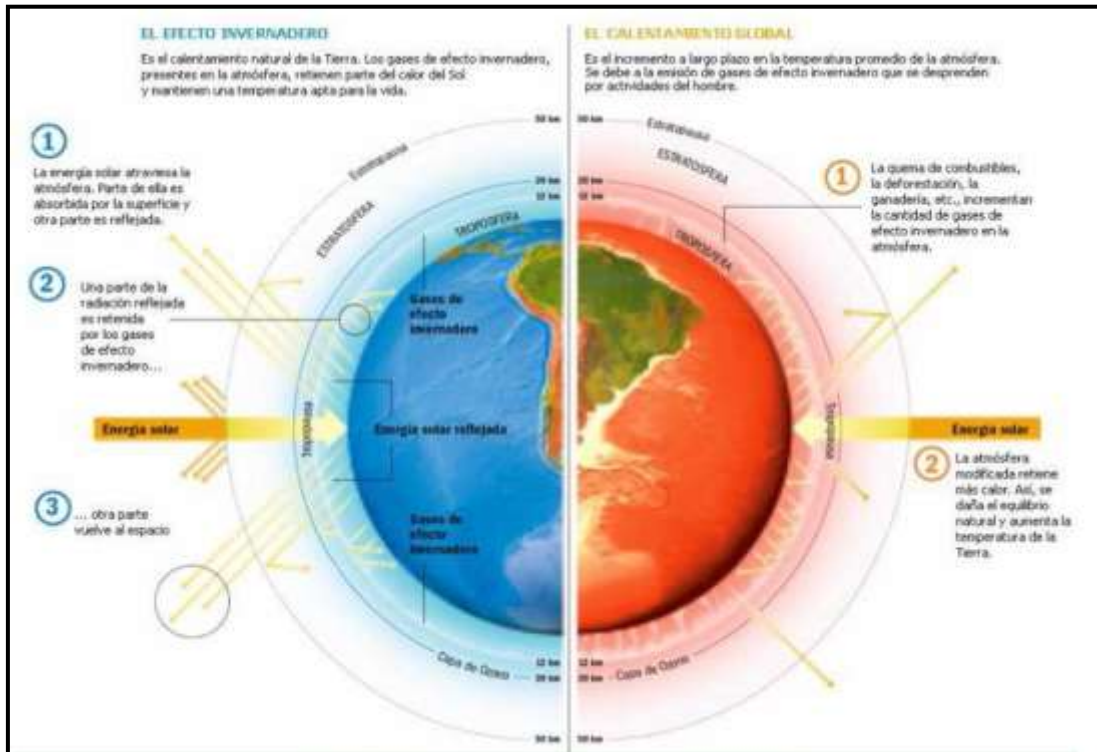
En América la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, define el cambio climático como:

“Todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo, resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas.” El calentamiento global, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales”¹.

Al sumar a la atmósfera las moléculas de R-134a, se produce un incremento en el efecto invernadero y un desequilibrio en el clima mundial que no se han hecho esperar, el aumento de la temperatura mundial en 2 °C e identificando al 2005, como el más caluroso registrado en la última década. Este incremento en la temperatura media de la Tierra ha producido el derretimiento en los cascos polares, originado de esto el aumento del nivel del mar y el cambio en la concentración salina de los océanos, fenómeno que puede alterar las corrientes marinas, cambiando con ellas las condiciones ambientales de regiones específicas.

¹YAÑEZ, Gildardo. Semarnat. *Cambio climático. ciencia, evidencia y acciones*. México 2009. p. 2.

Figura 1. Efecto invernadero y calentamiento global



Fuente: GONZÁLES, Jaime. *Estudio de impacto ambiental para centro de regeneración de refrigerantes*. Universidad Pontificia Bolivariana. p. 12.

En 2013 la (OMM) Organización Meteorológica Mundial publicó un informe donde indica que la concentración de CO₂ en el ambiente ha aumentado 141 por ciento durante 2012, acelerando el aumento de dicho gas en la atmósfera, superando en mucho las proyecciones científicas realizadas.

Diferentes organizaciones han puesto la voz de alarma haciendo un fuerte llamado para unir esfuerzos en reducir, controlar o eliminar las fuentes de contaminantes que contribuyen al aumento del efecto invernadero en el planeta.

1.1. Fundamento legal

Centroamérica es una de las regiones más afectadas por los cambios climáticos, a pesar de no ser una región que genere altos índices de gases de efecto invernadero. Aun así, la legislación en la región, sobre este tema sigue siendo pobre y, a pesar de que países del área centroamericana están suscritos al Tratado de Tokio, todos se limitán a convenios y acuerdos ministeriales y algunas otras iniciativas, que no son específicas para el tema de regeneración.

1.1.1. Convenio centroamericano para la protección del ambiente

En 1989 los presidentes de Centroamerica suscribieron el Convenio centroamericano para la protección del ambiente. El cual fue ratificado en agosto de 1990. Donde se cita en el artículo II, inciso c.

“Promover la acción coordinada de las entidades gubernamentales, no gubernamentales e internacionales para la utilización óptima y racional de los recursos naturales del área, el control de la contaminación, y el restablecimiento del equilibrio ecológico”².

1.1.2. Manual de legislación ambiental de Guatemala

En Guatemala surgen iniciativas, para contribuir con la protección del medio ambiente. El cual cita en el capítulo VII. Inciso C.

“Establecimiento de normas para la calidad del aire actualmente en Guatemala. La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, en su artículo14, establece,

² Centroamerica. *Convenio centroamericano para la protección del ambiente*. 13 de febrero de 1989. P. 1440.

en cuanto al sistema atmosférico, que se emitirán reglamentos para: promover el empleo de métodos adecuados para reducir las emisiones contaminantes.

- Promover en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para proteger la calidad de la atmósfera.
- Regular las sustancias contaminantes que provoquen alteraciones inconvenientes a la atmósfera “³.

1.1.3. Constitución Política de la República de Guatemala

Estipula dentro la legislación guatemalteca la protección del medio ambiente.

1.1.3.1. Artículo 97 medio ambiente y equilibrio ecológico

Este artículo hace referencia a entidades del Estado y habitantes en general del territorio nacional a implementar acciones que prevengan la contaminación ambiental.

“ El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a proporcionar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico ”⁴

³ Guatemala. *Manual de Legislación Ambiental de Guatemala*. (IDEADS). p. 28-29.

1.1.3.2. Decreto 110-97

El Congreso de la República, por medio del Decreto 110-97 se pronuncia sobre la problemática ambiental.

“Artículo 5: Recolección de gases. Cuando por cualquier circunstancia o desperfecto mecánico deba cambiarse gases, este será extraído y recolectado en envases adecuados y con válvulas de seguridad que no permitan la dispersión a través de la atmósfera, y se aprovechará para sustituirse por un gas que no sea dañino para el ambiente y la atmósfera”⁴.

1.1.3.3. Política nacional de producción más limpia

Las industrias han tomado medidas sobre el impacto producido al ambiente originado de sus procesos productivos, muchas veces adelantandose o con metas ambientales mayores a las exigidas por la poca legislación existente en el país. En Guatemala se promulga el Acuerdo Gubernativo Número 258-2010 Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Establece como:

- Objetivo general.

“Contribuir al bienestar social, el crecimiento económico, el aumento de la competitividad, el mejoramiento de la calidad del ambiente y el aprovechamiento racional de los bienes y servicios naturales, a través de la aplicación de Producción Más Limpia, como herramienta para la gestión ambiental”

⁴ Guatemala. Decreto 110-97 Congreso de la República de Guatemala. Guatemala 1997.

- Objetivos específicos.
 - Promover la aplicación de Producción más Limpia en la fabricación y generación de productos y la prestación de servicios, contribuyendo al uso integral de los bienes y servicios naturales, la disminución de la generación de desechos y emisiones, y el cumplimiento de la regulación ambiental.
 - Contribuir a mejorar la competitividad del sector productivo guatemalteco a través de la implementación de Producción más Limpia, mejorando su desempeño tecnológico, económico y socioambiental.
 - Promover la participación, integración y responsabilidad de los habitantes del territorio nacional, a través del consumo de productos y servicios generados con Producción más Limpia y la valoración de estos, más responsable con el ambiente”⁵.

1.1.3.4. Política marco de gestión ambiental Acuerdo Gubernativo 791-2003

Establece en el artículo 3, inciso 3.1.2:

“Fortalecer la gestión de la calidad ambiental, promoviendo el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad a escala nacional, regional y mundial a partir de la incorporación del concepto de producción más limpia en los procesos productivos. Fomentando el uso de prácticas innovadoras de gestión ambiental previniendo y minimizando los impactos y riesgos a los seres humanos y al ambiente”⁶.

⁵ Guatemala. *Política Nacional de Producción más Limpia*. Acuerdo Gubernativo 258-2010. Diciembre 2011. p. 16 Consulta: Diciembre 2013.

⁶ Guatemala. Acuerdo Gubernativo 791-2003. diciembre de 2003.

Diversos trabajos de graduación han hecho referencia a los gases refrigerantes y sus efectos. En 2005, en la Escuela de Mecánica Industrial USAC. Realizó un estudio en el cual se propone un método de mantenimiento para equipos de refrigeración comercial. titulado: *Propuesta de un plan de mantenimiento para equipos de refrigeracion comercial en la empresa la nueva era.*

Proponiendo un programa de mantenimiento para equipos comerciales donde se detallan los pasos a seguir y verificar para mantener a los sistemas de refrigeración en óptimas condiciones así como los componentes y sistemas.

En el 2009, se realiza un estudio titulado: Sistema de recuperacion de refrigerantes de la Escuela de Mecánica Industrial USAC, donde se detalla el proceso de recuperación de gas refrigerante tanto en fase gaseosa como fase líquida. Este estudio hace referencia al reciclado de gas refrigerante R-22 perteneciente a las sustancias agotadoras del ozono (SAO) o clorofluorocarbonadas CFC´.

Estos estudios presentan una referencia que hace principal mención en el mantenimiento, recuperación de gases refrigerantes que en la industria de refrigeración moderna, no de utilización refrigerantes agotadores de la capa de ozono se transforma en un requisito internacional a cumplir. Migrando a la utilización de refrigerantes alternos como el R-134a que ya no agota la capa de ozono, pero si produce un efecto invernadero, por lo cual se presenta la necesidad de implementar el proceso de regeneración de gas en la fabricación de equipos comerciales.

1.2. Justificación

La necesidad de preservar productos perecederos para el consumo humano, hace de los equipos de refrigeración una necesidad tecnológica en cada uno de los hogares y negocios, siendo este último el principal campo de trabajo de las empresas de refrigeración comercial. Los equipos fabricados por este tipo de industria, utilizan gas R-134a (tetrafluoroetano $C_2H_2F_4$), como principal refrigerante en su sistema, este gas no agota la capa de ozono pero pertenece a las sustancias que tienen un potencial de calentamiento atmosférico (PCA), agrupado dentro de la categoría de sustancia Hidrofluocarbonados HFC's.

Al efectuar una reparación en el sistema de refrigeración en equipos con algún defecto en el mismo, como: cambio de condensador, compresor, evaporador, tubo de succión, tubo capilar, posibles fugas. El técnico de refrigeración, debe retirar el gas refrigerante R-134a del sistema para proceder al cambio del componente. Debido a la falta de procedimientos y equipo adecuado para recuperar y regenerar el gas, es liberado al ambiente debido a que no se puede inyectar a un sistema nuevo, por haber entrado en contacto con el aceite del compresor y alguno otros agentes contaminantes durante la fabricación de equipos, como: humedad, polvo, ceras, carbón y aceites los cuales combinados con cambios de temperatura, producen desperfectos y pérdida de eficiencia dentro del sistema frigorífico, por la formación de sustancias perjudiciales dando paso a la formación de ácido fluorhídrico (HF), hielo, agua libre.

La liberación de gases refrigerantes al ambiente ha originando un incremento en el índice de calentamiento global, debido a que los gases refrigerantes generan el 5 por ciento de emisiones totales al ambiente, donde

el 79 por ciento de las emisiones son producidas por la refrigeración comercial. Liberar 1 lb. de R-134a equivale a liberar 1300 lb equivalentes de CO₂. Esto sería igual a recorrer una distancia de 3 689 Km en un vehículo de modelo reciente o en buenas condiciones de funcionamiento; debido a que producen 160 g CO₂ Km recorrido.

Recuperar y almacenar el gas no es suficiente para reducir el riesgo ambiental por fugas en los cilindros y el aumento de inventario sin poder reutilizarlo desperdiciando materia prima, surgiendo la necesidad de implementar procesos que permitan reducirlos o controlarlos. Procesos como la regeneración de gases refrigerantes, aunque es un tema relativamente nuevo en la industria de refrigeración, no se implementa con facilidad, debido a la limitación de tecnología, costo y poco conocimiento sobre el tema.

Regenerar un gas refrigerante es: reprocesarlo, para regresarlo a sus condiciones originales de pureza. El Implementar este proceso en la industria de refrigeración comercial guatemalteca permite eliminar el desperdicio de materia prima con alto costo económico, a través de la utilización de un sistema de regeneración de gas refrigerante. Van Steenburgh JV-90-2. Unidad certificada bajo parámetros de la Norma ARI-700-93. Norma que certifica los equipos de regeneración.

El gas regenerado resultante será analizado en un laboratorio, el cual certifica los parámetros de calidad obtenidos de la operación de regeneración, comprobando que sean adecuados para su reutilización, basados en parámetros de la Norma ARI-700-2011. Implementar este proceso; reduce el costo por unidad producida, haciendo a la industria de refrigeración guatemalteca más competitiva a nivel mundial, contribuyendo con la reducción de impactos negativos al medio ambiente.

1.3. Definición del problema

El problema principal en la industria de refrigeración guatemalteca es la liberación y almacenamiento de gas R-134a, debido a la falta de métodos adecuados para regenerarlo y reutilizarlo. Esta liberación se produce al realizar una reparación mayor en el sistema de frigorífico, en equipos con algún defecto en el mismo, cuando se requiere cambio de: condensador, compresor, evaporador, tubo de succión, tubo capilar o por alguna fuga en el sistema de refrigeración.

Este gas se puede recuperar y almacenar, pero no se puede reutilizarse sin un proceso adecuado de regeneración, debido a que se ha utilizado dentro del sistema de refrigeración adquiriendo agentes contaminantes como: humedad (H_2O) que al reaccionar con el flúor del gas ($C_2H_2F_4$) genera ácido fluorhídrico (HF) y más agua libre, además de carbón, aceite, ácido y gases no condensables, que combinados con cambios de temperatura causan fenómenos complejos que pueden traer serios daños al sistema.

Implementar procedimientos y prácticas de manufactura adecuadas, permitan incorporar tecnología que contribuya a recuperar y regenerar dicho gas, haciendo el proceso más rentable para la organización y amigable con el medio ambiente. El gas refrigerante R-134a no agota la capa de ozono, posee un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) equivalente a 1300 unidades de CO_2 por cada unidad de refrigerante R-134a liberado; debido a que el tiempo de vida en el ambiente, causando efecto invernadero es de 13 años lo convierte en un agente altamente contaminante para el ambiente.

1.4. Alcance y delimitación del problema

Cuando un equipo no funciona correctamente en el área de prueba, requiere diagnosticar el problema, al detectarlo, en algunos casos requiere realizar una reparación mayor. Donde, se procede a retirar el gas refrigerante del sistema. El proceso de recuperación y regeneración se delimita al área de reparaciones de equipos con defecto en el sistema de refrigeración, esto debido a que el gas virgen inyectado inicialmente puede entrar en contacto con agentes contaminantes que pudiera estar presente en el sistema como: humedad, carbón, aceite, agua y gases no condensables dentro del sistema. El gas no puede simplemente tomarse e introducirlo a un sistema nuevo o reparado, requiere de un proceso que permita regresarlo a sus características originales, certificando su calidad a través de una certificación en un laboratorio en Estado Unidos, basada en la Norma ARI-700-2011.

En el área de reparación de equipos se debe recuperar el gas (M_g) equivalente a la masa inicial de gas virgen (M_o) inyectado, por medio de una estación de recuperación *yellow-jacket* y almacenado en cilindros especiales para gas recuperado. Ya recuperado, se procede a regenerarlo utilizando una estación Van Steenburg, modelo JV-90-2, usando el método de carga (*bach*). El gas es sometido a cambios de temperatura, velocidad y presión dentro de intercambiadores de calor, debido a estos cambios los agentes contaminantes son separadas, permitiéndolos recuperar una masa de gas regenerado (M_{gR}). Este gas será analizado, aprobado e inyectado nuevamente al sistema de refrigeración nuevo o reparado, para ser sometido a pruebas de funcionamiento estipuladas en el proceso de fabricación estándar; verificando su correcto funcionamiento, comparándolo mediante los parámetros de temperatura en ($^{\circ}\text{C}$) *versus* tiempo (h) y corriente (amperios) *versus* tiempo (h). Esto se realizara para certificar su correcto funcionamiento.

1.5. Marco histórico

La historia de los equipos de refrigeración se remonta a 1824, donde la necesidad de preservar productos perecederos, para cubrir las necesidades del ser humano, motivó a buscar y fabricar contenedores que permitieran aumentar el tiempo de vida de los alimentos y productos. Era de suma importancia sustituir otros medios de preservación como la salinización o ahumado que hasta entonces eran los más utilizados. Diversas propuestas iniciaron la carrera para crear el primer refrigerador, que hasta entonces se limitaba a contenedores de madera, hielo y sal, pero nada que pudiera industrializarse o preservar cantidades considerables de alimentos.

“ La primera máquina de refrigeración se patentó en 1834 por Jacob Perkins. Se trataba de una máquina de absorción que utilizaba éter. Así pues, esta sustancia tendría el privilegio de ser el primer refrigerante industrial, que luego migraría a la utilización del amoníaco. Charles Kettering de la General Motors Corporation, impulsó la investigación de nuevos compuestos que fueran menos tóxicos que el amoníaco. Se encargó de este trabajo Thomas Midgley que trabajaba en la Kinetic Chemical Company de DuPont (más tarde llamada Freon Products División). En 1928 Midgley junto a Henne y McNary identificaron y sintetizaron el diclorodifluorometano, $\text{Cl}_2\text{F}_2\text{C}$ (R-12), el cual no era tóxico, al uso de la época, ni inflamable. La producción comercial del R-12 empezó en 1931”⁷.

Estos serían los primeros refrigerantes utilizados en los equipos comerciales. En los años 90 en que se inventó el gas R-134a, que sustituiría posteriormente al R-22 debido a que se identificó que este agotaba la capa de ozono.

⁷ JUTGLAR. Luis. Angel. L. Miranda. *Técnicas de refrigeración. Colección técnicas de climatización*. Tomo 2. 2008 MARCOBO. Barcelona . España. ISBN 978-84-267-1644-6.

1.6. Fundamento teórico

A continuación se describe las bases que fundamentan el presente estudio.

1.6.1. Sistema de refrigeración mecánica

La refrigeración mecánica: es el proceso de reducir y mantener la temperatura de un producto, sustancia u objeto, cuyo valor sera menor a la temperatura del medio ambiente. El sistema de refrigeración se define como: un sistema cerrado, el cual extrae el calor a través de un proceso donde se absorbe y libera energia (en forma de calor) al entorno utilizando una sustancia refrigerante. Este gas cambia de estado líquido a vapor mediante cambios de presión y temperatura en su paso por una serie de componentes mecánicos. La reducción de temperatura se realiza extrayendo energía termica de los cuerpos y disipandola al ambiente.

1.6.2. Leyes termodinámicas

La refrigeración se basa en la primera y segunda Ley de la Termodinámica.

Primera ley de la termodinámica: lenergia no se crea ni se destruye, si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus formas.

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad (1)$$

En términos de termodinámica es:

$$\Delta U = Q - W \quad (2)$$

Segunda ley de la termodinámica: ningún sistema puede recibir calor a una temperatura dada y rechazarlo o emitirlo a una temperatura superior, sin que el medio que lo rodea efectúe un trabajo en el mismo. El calor siempre fluye del cuerpo más caliente al más frío. El ciclo de refrigeración ideal será el inverso del llamado ciclo de Carnot.

El coeficiente de eficiencia o rendimiento COP de un ciclo de Carnot depende de las temperaturas a las que se agrega o rechaza el calor. Por tanto⁸.

$$\text{COP} = T_1 / (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Donde T_1 = temperatura del evaporador, absoluta.

T_2 = temperatura del condensador, absoluta.

1.6.3. Propiedades termodinámicas

1.6.3.1. Presión (P)

La presión a la que opera un sistema de refrigeración, es un factor determinante para un correcto funcionamiento. Todo equipo debe operar con presiones positivas; es decir la presión en el condensador y evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica. ¿Qué pasaría si la presión en el evaporador es negativa?. Se produciría un vacío en el sistema, incrementando el riesgo de que por una fuga ingrese aire y humedad al sistema. Por esta

⁸ PERRY, H. Green. W. Moleney. O. James. *Manual del ingeniero químico*. p. 59 Mexico 1995. Tomo I

razón, el refrigerante debe tener una presión de evaporación con un valor lo más baja posible, pero ligeramente superior a la presión atmosférica.

La presión de condensación del refrigerante debe ser lo suficientemente baja, determinando así la robustez del compresor y del condensador. Si esta presión posee un valor elevado, se requiere un compresor más robusto, incrementando el consumo energético. El R-134a es el refrigerante más utilizados en equipos de refrigeración comercial y doméstica debido a que posee dichas características.

La presión de un gas se expresa comúnmente en kPa y psig.

Tabla I. **Presiones de gas R-134a en evaporador y condensador**

REFRIGERANTE	EVAPORADOR A $T = -15^{\circ}\text{C}$		CONDENSADOR A $T = 30^{\circ}\text{C}$	
	kPa	psig	kPa	psig
R-134a	164,00	9,10	767,00	96,60

Fuente: elaboración propia.

1.6.3.2. Presión atmosférica

La atmósfera está compuesta de gases (como: oxígeno, nitrógeno y otros), el peso que estos gases ejercen sobre la superficie de Tierra crea la presión atmosférica. La presión atmosférica al nivel del mar se ha establecido en $1,03 \text{ kg/cm}^2$ (14,7 libras sobre pulgada cuadrada), cuyo equivalente es la presión causada por una columna de mercurio de: 759 968,0 micrones (μ) Hg = 760 mm Hg = 29,92 plg. Hg A otras elevaciones mayores del nivel del mar la presión va disminuyendo de acuerdo a la altitud. En la ciudad de Guatemala se

tienen 641 mm Hg. Esta condición puede hacer variar los tiempos de regeneración.

1.6.3.3. Presión manométrica

Un manómetro es un instrumento que cuando no está conectado a un recipiente presurizado, está calibrado para medir un valor de 0 (cero) psi, Un manómetro para refrigerante está calibrado a partir de cero, en sus valores positivos en libras sobre pulgada cuadrada (manométrica) psi, o en kilogramos sobre centímetro cuadrado kg/cm^2 gramos Para lecturas o valores negativos conocido como vacío, está calibrado en pulgadas y milímetros de mercurio. Esta presión puede afectar significativamente los tiempos de operación, factores como el cilindro de almacenaje con alta presión podría reducir el tiempo de inyección del gas recuperado al equipo de regeneración, pero aumentar el tiempo de evacuación del gas regenerado al cilindro de almacenamiento.

1.6.3.4. Presión absoluta

Es todo valor de presión que existente arriba del vacío. Se expresa en kg/cm^2 o en lb/pg^2 (psi), para propósitos de efectuar dicha operación es conveniente y práctico expresarla en micrones de mercurio (μ), unidades que son comunes en los equipos de medición de dicha fuerza. Es igual al la presión atmosférica más la presión manométrica.

1.6.3.5. El micrón

Es la millonésima parte del metro (m). Se abrevia con la letra griega Mu (μ). Como la pulgada es 25,4 mm, será igual a 25 400,0 micrones o 0,07896 pulgadas de Hg. Se utiliza para medir el vacío en los sistemas de refrigeración

donde las condiciones ideales de vacío tienen que oscilar en valores menores a 200 μ .

1.6.3.6. Temperatura (T)

Una característica importante para una sustancia refrigerante es la temperatura. Esta propiedad es determinante dentro de los sistemas de refrigeración, tanto en su fase de desarrollo como de funcionamiento. Existen tres temperaturas a considerar para una selección correcta de un refrigerante: temperatura de ebullición, crítica y congelación. Las unidades a utilizar para la medición de la temperatura son: $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{R}$.

1.6.3.7. Temperatura de ebullición (T_e)

El punto de ebullición de cualquier líquido, es la temperatura a la cual la presión de vapor es igual a la atmosférica, cuando dichas presiones igualan sus valores se produce la ebullición. Para un gas refrigerante, el punto de ebullición debe ser bajo para que aun operando a presiones bajas, la temperatura del evaporador sea baja. Esta temperatura es determinante en el diseño y selección de componentes como el evaporador y compresor de un sistema de refrigeración. Para el R-134a la temperatura de ebullición es de -26.2°C .

1.6.3.8. Temperatura crítica (T_c)

Es determinante en el diseño o selección de un condensador. Ningún vapor se condensa a una temperatura mayor de la temperatura crítica. Es en esta fase donde se lleva a cabo la transferencia de calor con el entorno retirando el calor de los materiales, medio de la interacción del refrigerante en diferentes fases y los productos, en la mayoría de los equipos de

refrigeración utilizan enfriamiento por aire forzado para sus condensadores quienes disipan el calor extraído al entorno. Por esta razón es conveniente que el refrigerante tenga una temperatura crítica mayor a 55 °C.

1.6.3.9. Temperatura de congelación (T_{cg})

El valor de esta temperatura debe ser más bajo que la temperatura en el evaporador. No se debe utilizar un refrigerante posea un valor de temperatura de congelación cercana a la temperatura a la que trabaja el evaporador, produciría un congelamiento del mismo donde necesita estar ya en fase de evaporación. El mayor problema presentaría cuando tuviera que subenfriarse en la salida del condesandor.

Tabla II. **Tabla de temperaturas para el R-134a a presión atmosférica**

REFRIGERANTE	TEMPERATURA EN °C		
	EBULLICIÓN (T _e)	CRITICA (T _c)	CONGELACIÓN (T _{cg})
R-134a	-26,50	101,10	-103,00

Fuente: elaboración propia

1.6.3.10. Relación entre presión-temperatura

En los sistemas de refrigeración se utiliza refrigerantes que sufre cambios de estado mientras recorren el sistema de refrigeración, que se define como un sistema cerrado a presiones variables. Dado que la presión y la temperatura tienen una relación directamente proporcional. Al controlar la presión se puede controlar la temperatura del refrigerante o viceversa. Al bajar

la presión del sistema en un punto, se puede logra que el refrigerante hierva a una baja temperatura para condensarse a alta temperatura en otro punto al aumentar su presión.

Para cualquier líquido, la temperatura a la que se alcanza la ebullición es conocida como temperatura de saturación y la presión a la que se alcance esta temperatura se define como presión de saturación. Estas serán determinadas por el lugar geografico donde se mida. dichos valores pueden obtenerse de las curvas de saturación o tablas de presión-temperatura de saturación para cada uno de los gases.

Dado que un líquido no puede sobre-calentarse ni subenfriarse por si solo, se necesita manipular la presión. Esta relación entre presión-temperatura de saturación es válida, únicamente cuando existe un contacto entre líquido y el vapor en la región comprendida entre el evaporar y en el condesar. La temperaturas de operación dentro de un sistema de refrigeración es determinate para que el mismo sea funcional, donde el sobrecalentamiento contribuye a facilitar el trabajo del gas en la evaporación, mientras que el súb enfriamiento contribuye a mejorar la condensación. La temperatura del gas en la descarga del compresor, tiene un valor elevado debido al sobrecalentamiento para evitar la migración de líquido al mismo y que se pueda mezclar con el aceite.

1.6.3.11. Volumen específico (V)

El volumen específico de un refrigerante en fase de vapor se define como el volumen que ocupara 1 Kg de gas por metro cúbico (m^3) o litros (l), a condiciones normales de temperatura $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1 atm de presión (101,1 kPa o 14,7 psig).

En un sistema de refrigeración, al añadirle calor al refrigerante, este aumentara su temperatura y volumen específico, pero la presión permanece constante. La temperatura de saturación de un gas refrigerante dentro de un sistema, controla la presión de vapor sobrecalentado, en el evaporador, línea de succión y condensador. Inversamente si disminuye la temperatura del refrigerante disminuye tambien su volumen.

Tabla III. **Volumen específico para el R-134a. a -15 °C**

REFRIGERANTE	VOLUMEN ESPECÍFICO Kg/l	
	LÍQUIDO v_f	VAPOR v_g
R-134a	0,73	120,00

Fuente: elaboración propia.

El volumen especifico de un refrigerante, es equivalente al valor de la densidad y se obtienen de:

$$V = 1/\rho \quad (4)$$

De no controlarse el volumen específico, se puede sobrellenar un contenedor que sometido a condiciones de temperatura podria aumentar el volumen vertiginosamente aumentando la presión interna y produciendo un riesgo latente en el manejo de los mismos.

1.6.3.12. Entalpia (h)

Esta es una propiedad termodinámica, representa la cantidad total de energía térmica o contenido de calor, en un fluido. El calor adicionado o sustraído de un refrigerante se considera la entalpia total del sistema. Para la mayoría de refrigerantes se considera una entalpia con valor cero a una temperatura de saturación de - 40 °C se expresa en Kcal/Kg.

1.6.3.13. Entalpia de líquido saturado (hf)

Este valor es la cantidad de kilocalorías (Kcal) por cada kilogramo (Kg) de refrigerante líquido que se encuentra a temperatura de saturación.

1.6.3.14. Entalpia de evaporación (hfg)

Se define como la cantidad necesaria de calor para que 1 kilogramo de líquido, pase a fase de vapor (1 Kg de vapor) a temperatura constante. Este valor se define como calor latente de evaporación. Dentro de un sistema de refrigeración este cambio de estado se lleva a cabo en el evaporador, siendo este valor, el que determina la cantidad de energía en forma de calor, que el refrigerante puede extraer hacia el entorno. Por esta razón es determinante en la selección de un refrigerante y es conocido en el medio como efecto de refrigeración. Se define como: el trabajo real que produce el refrigerante dentro del sistema, el calor absorbido por el mismo da como resultado un enfriamiento útil del producto. Este valor está determinado por el valor de la entalpia del refrigerante en estado líquido cuando ingresa al evaporador menos el valor de la entalpia del vapor cuando sale del mismo.

$$\text{Efecto de refrigeración} \quad h_{fg} = h_g - h_f \quad (5)$$

1.6.3.15. Entalpía de vapor saturado (hg)

Cuando un líquido está a punto de hervir, presenta calor sensible. Cuando inicia la ebullición adquiere además, calor latente, entonces, el calor total de vapor de saturado, debe ser igual a la suma de calor sensible del líquido, más el calor latente de evaporación. La entalpía de vapor saturado (h_g) representa el contenido de calor del vapor saturado del refrigerante en el evaporador, antes de ser calentado por encima del valor de su temperatura de evaporación.

$$\text{Entalpía de vapor saturado} \quad h_g = h_{fg} + h_f \quad (6)$$

Tabla IV. Entalpía de líquido, evaporador y vapor saturado

REFRIGERANTE	ENTALPIA A -15 °C (Kcal/Kg)		
	LIQUIDO (hf)	LATENTE (hfg)	VAPOR (hg)
R-134a	7,55	49,06	56,61

Fuente: elaboración propia.

1.6.3.16. Densidad (ρ)

La densidad de un fluido se define como: el peso dividido por unidad de volumen su dimensionales están dadas por Kg/m³, Kg/l, lb/pie³. La densidad de cada refrigerante varía respecto a la temperatura, mostrando un comportamiento inversamente proporcional debido a que los líquidos se expanden al calentarse, la densidad a altas temperaturas es menor que a bajas.

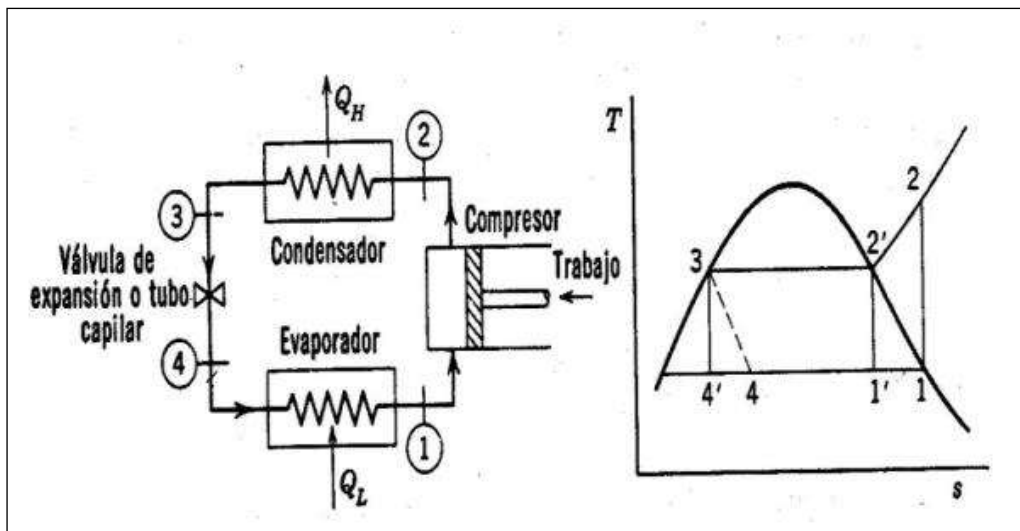
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

1.6.4. Refrigeración por compresión

Consiste hacer circular un fluido con propiedades refrigerantes dentro de un circuito, de una forma continua, utilizando medios mecánicos, creando zonas de alta y baja presión, en su paso por el sistema, con el propósito de que el refrigerante absorba calor en un lugar determinado y lo disipe en el otro normalmente al ambiente, impulsado por medios electromecánicos.

Este proceso se basa en cambios de estado (líquido-vapor y vapor-líquido) que se llevan a cabo durante el recorrido por el interior del sistema de refrigeración. Se utiliza un agente refrigerante líquido que posea bajos valores de presión y temperatura para evaporarlo.

Figura 2. Ciclo de refrigeración por compresión



Fuente: <http://oropezatermo.wikispaces.com/Sistema+de+refrigeracion>.

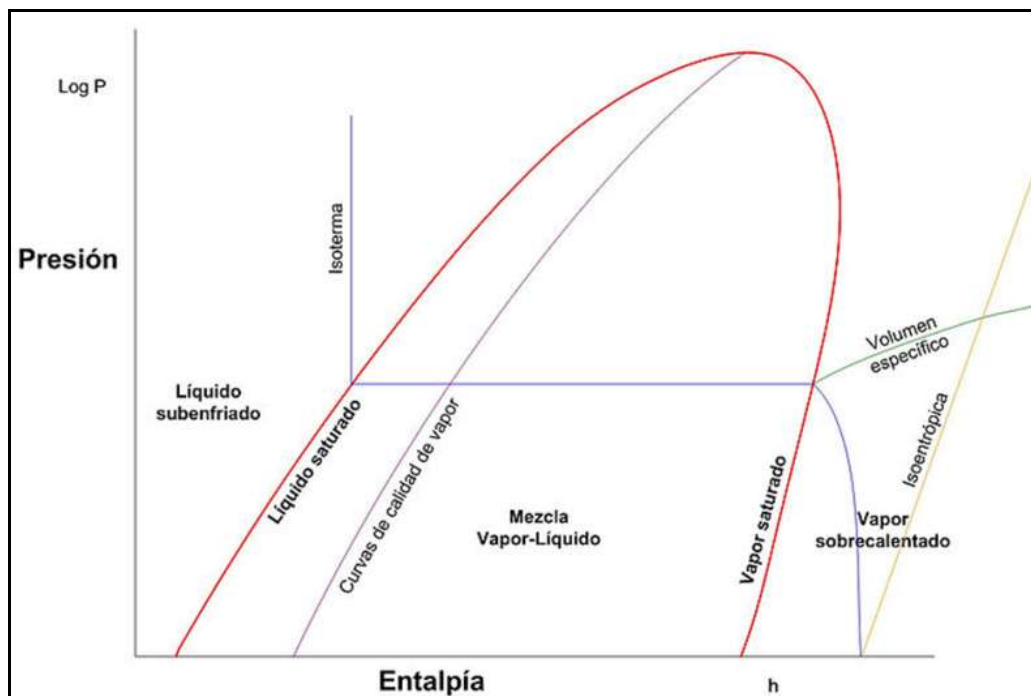
Consulta: diciembre de 2013.

En el diagrama P-H se ilustra como el refrigerante sufre cambios de fase para obtener como resultado el enfriamiento del producto, derivado de cambios de presión y entalpía. Todo esto realizado dentro del área presente en la curva de saturación del refrigerante analizado. Es por esta razón que existe el diagrama de presión-temperatura de saturación para refrigerante.

1.6.5. Diagrama de Mollier

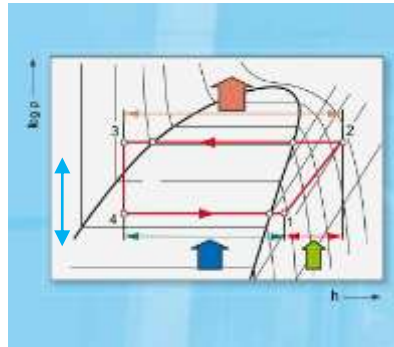
El más utilizado es el Diagrama de Mollier (P-h), el cual permite hacer una análisis grafico del comportamiento de determinado refrigerante. Delimitado por las curvas de saturacion cuyos valores son especificos para cada sustancia refrigerante.

Figura 3. Diagrama de Mollier presión-entalpía (P-H)



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_P. Consulta: 15 de mayo de 2014.

Figura 4. **Ciclo de refrigeración por compresión**



Fuente: http://www.gunt.de/download/thermodynamics%20of%20refrigeration_spanish.pdf

Consulta: noviembre de 2013.

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--------------------------------|
|  | Área de frigorífica absorbida |  | Área de compresión |
|  | Área de térmica emitida |  | Área de expansión isoentálpica |

Al describir la termodinámica del ciclo frigorífico, este se observa en la figura 5.

- 4 – 1 Corresponde a la potencia frigorífica donde se da una evaporación Isobárica y en la parte de baja presión del sistema y región Vapor-líquido.
- 1 - 2 Corresponde a la potencia empleada mediante el compresor. Dándose una compresión isentrópica.
- 2 – 3 Corresponde a la potencia térmica emitida mediante el condensador, cediendo al entorno el calor absorbido en el proceso de evaporación por una condensación isobárica.
- 3 – 4 Corresponde a la válvula de expansión donde se da el proceso isoentálpico”⁹

⁹ Termodinámica del ciclo frigorífico. 15 de mayo de 2014. p. 29.

http://www.gunt.de/download/thermodynamics%20of%20refrigeration_spanish.pdf. Consulta 15 de mayo de 2014

Ciclos de refrigeración con subenfriamiento y sobrecalentamiento

Los sistemas de refrigeración por compresión se han hecho en la actualidad más eficiente, requiriendo menos consumo de energía, compresores más pequeños y con menos potencia requerida. Esto se debe a varios factores, entre estos, dos puntos de análisis termodinámico donde se produce subenfriamiento y un sobrecalentamiento.

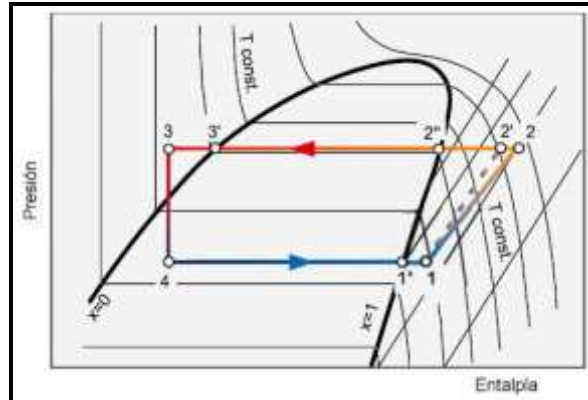
1.6.5.1. Subenfriamiento

Se lleva a cabo en la salida del condensador antes de la válvula de expansión en la zona de alta presión (isobárico). Esto asegura que al evaporador ingrese únicamente refrigerante líquido a la válvula de expansión. Este componente cumple la función de aspersor del mismo para aumentar el área de contacto entre el refrigerante y el evaporador.

1.6.5.2. Sobrecalentamiento

Se realiza en la salida del evaporador en la zona de baja presión. Prevé el ingreso de moléculas de refrigerante en forma líquida al compresor evitando, así que se de el golpe de líquido dentro del mismo, la formación de espumas, que reducirían la eficiencia del compresor y por ende la vida útil del sistema mismo.

Figura 5. **Ciclo de refrigeración con subenfriamiento y sobrecalentamiento**



Fuente: http://www.gunt.de/download/thermodynamics%20of%20refrigeration_spanish.pdf

Consulta: 15 de noviembre de 2013.

1 - 2	Trabajo útil del compresor. (KJ/Hg)	$h_2 - h_1$	(7)
1 - 2'	Compresión isentrópica.		
2 - 2''	Refrigeración isobárica, enfriamiento del vapor sobrecalentado.		
2'' - 3'	Condensación isobárica.		
2 - 3'	Calor cedido al exterior. (KJ/Kg)	$h_2 - h_3$	(8)
3' - 3	Subenfriamiento.		
3 - 4	Trabajo de expansión.		
4 - 1'	Calor extraído del sistema. (Kj/Kg)	$h_1 - h_4$	(9)
1' - 1	Sobrecalentamiento.		

1.6.5.3. Carga térmica (Q)

Es la cantidad de calor extraída del espacio por refrigerar. Se realiza de una forma controlada por componentes electromecánicos, liberándolo al

entorno por medio del condensar y a través de un flujo de aire que es producido por las aspas del ventilador.

$$Q = h_2 - h_{3'} \quad (10)$$

1.6.5.4. Coeficiente de rendimiento (COP)

Conocido como índice de rendimiento térmico, es comparable con el rendimiento de una máquina.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (11)$$

1.6.5.5. Flujo de refrigerante (m)

La masa de refrigerante que circula en un ciclo se expresa:

$$m = \frac{Q}{(h_1 - h_4)} = \frac{h_2 - h_{3'}}{h_{1'} - h_4} \quad (12)$$

El flujo de refrigerante, también puede definirse por las hojas de funcionamiento del compresor, las cuales las proporciona el fabricante.

1.7. Definición de una sustancia refrigerante

Se define como una sustancia refrigerante a cualquier fluido que actúa como agente de enfriamiento, estas sustancias absorben el calor de los productos y alimentos que se encuentran contenidos dentro del gabinete del refrigerado, permitiendo extraer el calor de los productos en el interior y hacia el

entorno, por medio de los cambios de estado del refrigerante. En la fase de vapor es donde se retira el calor de los cuerpos, llevándose a cabo en el evaporador, la energía de los cuerpos es retirada y transportada por el refrigerante liberándola hacia el entorno donde se disipa, por medio del condensador que a través de un motor eléctrico ventila.

1.7.1. Características y propiedades de una sustancia refrigerante

Toda sustancia refrigerante debe poseer las siguientes propiedades.

1.7.1.1. Calor latente de evaporación

Esta definido como la cantidad de calor requerida para que 1 kilogramo de refrigerante cambie de estado líquido a vapor. Cuánto mayor sea dicho valor, menor cantidad de refrigerante hay que cargar al sistema para obtener una temperatura determina.

1.7.1.2. Calor latente de condensación

Es la cantidad de calor liberada para que 1 Kg de refrigerante cuando cambia su estado de vapor a líquido.

1.7.1.3. Presión de evaporación

Debe ser superior a la atmosférica: para evitar que se forme un vacío por presión negativa permitiendo la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.

1.7.1.4. Punto de ebullición

Debe ser lo suficientemente bajo para que sea inferior a la temperatura de trabajo del evaporador y por debajo de la temperatura ambiente a presión atmosférica.

1.7.1.5. Temperaturas y presión de condensación bajas

Son necesarias para trabajar con presiones de condensación altas en el compresor lo que se traduce en un considerable ahorro energético como en el costo de la instalación de las unidades.

1.7.1.6. Volumen específico del vapor

Este volumen debe ser bajo para reducir el desplazamiento requerido del compresor y el diámetro de las tuberías.

1.7.1.7. Presión y temperatura crítica

Estos valores deben ser lo más elevados posibles para que el refrigerante sea más estable.

1.7.1.8. Corrosión

El refrigerante no debe ser corrosivo para asegurar que la construcción del sistema se realiza con materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.

1.7.1.9. Temperaturas de descargas

El refrigerante debe tener temperaturas de descarga no muy elevadas para evitar la descomposición o disolución del aceite lubricante para evitar daños en el compresor.

1.7.1.10. Temperatura de congelación.

Debe ser menor a la temperatura a la cual opera el evaporador.

1.7.1.11. Inercia química

Se refiere a que el refrigerante no debe reaccionar con otros materiales, potenciales componentes de un sistema de refrigeración.

1.7.1.12. Aspectos importantes de una sustancia refrigerante

- Debe ser fácil de detectar para localización de fugas, por cualquier medio de prueba, ya sea empírico o por medios tecnológicos.
- Debe tener un impacto ambiental bajo o nulo en el caso de que el mismo sea liberado por posibles fugas, debe ser barato, bajo riesgo de almacenaje.
- Debe poder ser recuperado o regenerado.

1.7.1.13. Propiedades fisiológicas de un refrigerante

Los fluidos frigorígenos están agrupados en algunas de las siguientes familias: derivados halogenados: son procedentes del metano, etano y propano por sustitución parcial de los átomos de hidrógeno por átomos de Cl, F y Br, dentro de este grupo podemos encontrar los halogenuros saturados (CFC, HCFC, HFC, PFC y halones). HFC: hidrofluorcarburos que contienen H, F y C en su molécula. (Por ejemplo, el R-134a)¹⁰.

1.8. Gas refrigerante R-134a, 1, 1, 1,2 tetrafluoroetano, (C₂H₂F₄)

Es un refrigerante que se presenta en forma líquida como gaseosa, dependiendo de condiciones ambientales. En la actualidad es el refrigerante más utilizado en la refrigeración doméstica, comercial y en aires acondicionados. El refrigerante R-134a sustituye a refrigerantes como R-22, pero pertenece al grupo de hidrofluorocarbonados, este no contiene átomos de cloros (Cl) en su estructura química, por lo que no agota la capa de ozono (SAO), pero posee un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) agrupado dentro de los de los hidrofluorocarbonadas al ser liberados al ambiente producen incremento en el efecto invernadero o calentamiento atmosférico. Las sustancias que aumentan el efecto invernadero fueron normadas en el Tratado de Kioto en 1997. Donde todas las naciones se comprometieron a reducir el consumo y utilización de sustancias que producen efecto invernadero.

Este gas refrigerante es utilizado en la fabricación de equipos de refrigeración comercial, debido a mantiene temperaturas de operación de 0 a -7 °C y propiedades de bajo riesgo humano. La NFPA (National Fire Protection Association) Es una organización formada en 1896, en Quincy Massachusetts.

¹⁰ SEMANART. *Buenas prácticas en refrigeración y sistemas de aire acondicionado*. México. p. 50.

Estados Unidos. Una iniciativa, que surge de un grupo de representantes de compañías de seguros, su principal función es mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención de incendios y riesgos a la salud.

Tabla V. **Código de R-134a según NFPA**

CÓDIGO DE PELIGRO NFPA	SISTEMA DE EVALUACIÓN
Salud: 1	0 = sin peligro
Inflamabilidad: 2	1 = peligro leve
Reactividad: 3	2 = peligro moderado
	3 = peligro serio
	4 = peligro severo

Fuente: Sistemas de gestión INDURA. http://www.indura.net/_file/file_1808_gas_refrigerante_r-134a.pdf. Consulta: 15 de noviembre de 2013.

1.8.1.1. Propiedades físicas del gas R-134a

Estas propiedades se conservan sin importar la cantidad de masa que se posea, pero son determinantes para entender el comportamiento del refrigerante R-134a dentro de un sistema.

Tabla VI. **Propiedades físicas del gas R-13a**

PROPIEDADES FÍSICAS		R-134A
Peso molecular	(g/mol)	102
Punto de ebullición (a 1,013 bar)	(°C)	-26.1
Punto de congelación	(°C)	-103
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar abs)	40.67
Densidad crítica	(Kg/m³)	508
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1.206
Densidad del líquido (0°C)	(Kg/m³)	1.293
Densidad del vapor saturado (a punto ebul.)	(Kg/m³)	5.28
Presión de vapor (25°C)	(bar abs)	6.657
Presión de vapor (0°C)	(bar abs)	2.92
Calor de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	217.2
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.44
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.85
Viscosidad del líquido (25°C)	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	8.09
Solubilidad del R134a en agua (25°C a 1,013 bar)	(wt%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C)	(Kg/m³)	1192.11
Inflamabilidad		No
ODP	-	0
GWP	-	1300

Fuente: <http://www.gas-servei.com/docs/tecnicas/ref/R134A.pdf>

Consulta: noviembre de 2013.

1.8.1.2. **Tabla ASHRAE STANDARD-34**

La American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ha elaborado una tabla de seguridad para los gases refrigerantes, basada en la toxicidad y la inflamabilidad del gas.

La clasificación de la toxicidad de los gases está basada en los índices TLV/TWA. "TLV" (Threshold Limit Value).- Concentración máxima permisible, expresada en la exposición al gas en el orden de 8 a 12 hrs. por día, cinco días a la semana, durante 40 años, y el TWA (Time-Weighted Average).- Concentración ponderada en el tiempo, expresada en horas por día. Los gases refrigerantes están clasificados en dos clases, dependiendo del tiempo máximo permisible en que una persona puede estar expuesta a éstos ¹¹.

¹¹ SEMANART. *Buenas prácticas en refrigeración y sistemas de aire acondicionado*. México. p. 55

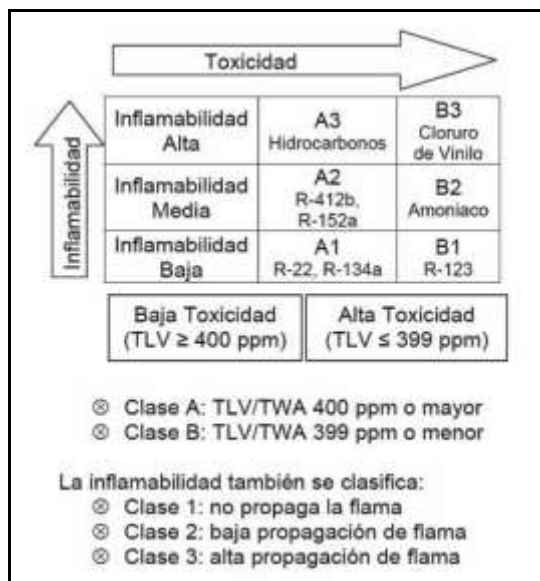
La intención de este estándar proporcionar un método simple, a los refrigerantes con números y letras, en vez de utilizar el nombre químico del gas, fórmula o marca.

Tabla VII. **Identificación ASHRAE**

SERIE	NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	GAS	TEMPERATURA OPERACIÓN
100	ETANO	CF ₃ -CH ₂ F	R-134a	0 A -7 °C

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Valor de toxicidad e inflamabilidad de los gases refrigerantes**



Fuente: SEMANART. *Buenas prácticas en refrigeración y sistemas de aire acondicionado*. p. 57.

1.8.1.3. Método de identificación de los refrigerantes

- La letra R significa gas refrigerante. R-134a
- La letra a minúscula denota un gas isómero. R-134a
- Primer dígito, de derecha a izquierda = número de átomos de flúor en el compuesto.

R-134a, número de átomos de flúor = 4

- Siguiendo dígito hacia la izquierda = número de átomos de hidrógeno más 1.

R-134a, número de átomos de hidrógeno $2 + 1 = 3$

- Tercer dígito hacia la izquierda = número de átomos de carbono menos 1 (no se usa cuando es igual a

R-134a, número de átomos de carbono $2 - 1 = 1$

1.8.2. Parámetros de calidad del refrigerante R-134a

Establece los parámetros del gas refrigerante en diferentes condiciones. Basados en una serie de normas establecidas por Instituto de Aire acondicionado y refrigeración ARI.

1.8.2.1. Norma ARI-700-2006 para un gas virgen

Los parámetros son controlados por la Norma ARI-700-2006. Esta Norma regula los parámetros para gas refrigerante nuevo.

Tabla VIII. **Parámetros de calidad según Norma ARI-700-2006**

ASPECTOS	UNIDADES	VALOR
Agua	ppm	10
Impurezas volátiles	% en peso	0.5
Residuos que hierven a altas temperaturas	% en volumen	0,01
Cloruros	ninguna turbiedad visible	pass
Acidez	ppm en peso	1
Partículas solidas	inspección visual	pass
Otros refrigerantes	% en peso	NA

Fuente: elaboración propia.

1.8.2.2. Norma ARI-740-93 parámetros de calidad para equipo de regeneración

El estándar de la Norma ARI-740-93, la cual certifica la calidad del funcionamiento de equipos de regeneración de gases refrigerantes.

Tabla IX. **Parámetros de certificación de equipos ARI-740-93**

ASPECTOS	UNIDADES	VALOR
Agua	ppm	1.8
Impurezas volátiles	% en peso	0,26
Residuos que hierven a altas temperaturas	% en volumen	< 0,1
Cloruros	ninguna turbiedad visible	pass
Acidez	ppm en peso	< 0,1
Partículas solidas	inspección visual	pass
Otros refrigerantes	% en peso	1,0

Fuente: elaboración propia.

1.8.2.3. Norma ARI-700-2011 para un gas regenerado

Asegura la calidad del los fluidos refrigerantes a través de certificar los principales parámetros de los gases refrigerantes R-134a, controlados dentro de los análisis de laboratorio para certificar la calidad del gas regenerado.

Tabla X. Parámetros ARI-700-2011

ASPECTOS	UNIDADES	VALOR
Agua	ppm	10
Impurezas volátiles	% en peso	0,02
Residuos que hierven a altas temperaturas	% en volumen	0,88
Cloruros	ninguna turbiedad visible	pass
Acidez	ppm en peso	< 0,1
Partículas solidas	inspección visual	pass
Otros refrigerantes	% en peso	< 0,05

Fuente: elaboración propia.

1.8.3. Compatibilidad del gas refrigerante con diferentes materiales

Una de las propiedades del refrigerante R-134a es su afinidad con otros materiales, esta característica permite que puedan utilizarse otros tipos de materiales en la fabricación de equipos de refrigeración, esto sin correr el riesgo de que sufran algún daño o alteración de propiedades, debido al contacto con el gas refrigerante.

Compatible = **C**

Poco compatible = **PC**

No compatible= **NC**

Tabla XI. **Compatibilidad de materiales con el R-134a**

ELASTOMEROS				PLASTOMEROS			
	C	PC	NC		C	PC	NC
Goma Butílica	X			Propileno	X		
Neopreno	X			PVC	X		
Buna N	X			Poliétileno	X		
Buna S		X		Nylon	X		
Goma fluorada			X	Poliestireno		X	
Goma natural	X			PTFE	X		
Goma siliconada		X		Poliacetileno	X		
Goma EPDM	X			Resina epoxi	X		
Polisulfúrica	X			ABS		X	

Fuente: Emerson Manual técnico de refrigeración climate.

1.8.4. Factores de seguridad para manejo de gas refrigerante

Es un gas licuado, con leve olor a éter e incoloro. Si es inhalado en altas concentraciones puede ser fatal, debido al desplazamiento del aire. Se debe evitar el contacto con ojos, en la piel produce quemaduras.

- Efectos en los ojos: el contacto de líquido sobre los ojos causa congelamiento y quemaduras.
- Efectos sobre la piel: el contacto excesivo puede causar congelación, producir quemaduras o irritación en la piel.
- Efectos de ingestión: ninguno conocido ingestión improbable.
- Efectos de inhalación:

Presenta bajos índices de toxicidad según pruebas realizadas en animales. pueden presentar síntomas de asfixia, pérdida de coordinación, incremento en la velocidad del pulso, depresión respiratoria y hasta llegar a la muerte. En niveles por encima de los mencionados, puede presentar arritmia cardíaca. Puede producir quemaduras en la mucosa nasal.

LA PRONTA ATENCIÓN MÉDICA ES OBLIGATORIA EN TODOS LOS CASOS DE SOBRE-EXPOSICIÓN. EL PERSONAL DE RESCATE DEBERÍA ESTAR EQUIPADO CON APARATOS RESPIRATORIOS INDEPENDIENTES. Las víctimas deben ser removidas a un área ventilada. La rápida remoción del área contaminada es de la mayor importancia. Si la respiración se ha detenido, debe dárseles resucitación artificial y oxígeno suplementario ¹².

1.8.5. Riesgos de explosión e incendios

El compuesto es no inflamable, por lo que se puede usar cualquier agente extintor. Se recomienda elegir el más apropiado dependiendo de los materiales que estén cerca del área y sean inflamables.

1.8.6. Medidas contra la liberación accidental de gas refrigerante

En caso de un escape se debe despejar el área afectada, evacuando hacia un lugar contrario a la dirección del viento que cubra, por lo menos 100 metros a la redonda. Si es posible, cerrar la válvula del cilindro para detener el escape. Si no se logra detener (o si no es posible llegar a la válvula), permitir que el gas se escape en su lugar o mover el cilindro a un sitio seguro, alejado de fuentes de ignición.

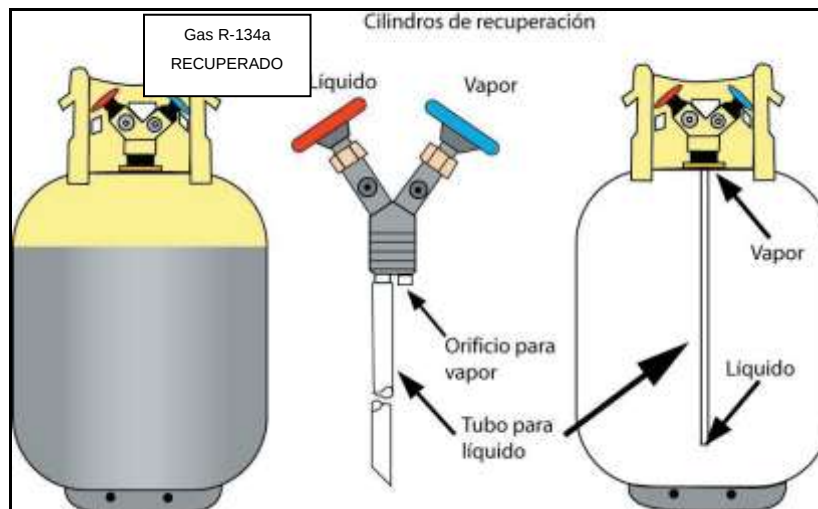
¹² W. PÉREZ. / R. Keller. W. INDURA. *Hoja de seguridad de materiales*. N Ch. 2245 of. 03. p. 7

Se debe tener mucha precaución cuando mueva un cilindro de gas refrigerante con escape. Monitorear el nivel de oxígeno presente en el área con el fin de detectar posibles mezclas explosivas, teniendo en cuenta que el contenido de oxígeno debe estar por encima del 19,5 por ciento.

1.8.7. Cilindros para almacenamiento de gas R-134a recuperado

Los cilindros para recuperar refrigerante deben de cumplir con las especificaciones DOT. Los pequeños (22. kilogramos) están pintados de amarillo en el área del hombro del tanque (guarda de la válvula "Y"). El resto del cilindro debe ser de color gris. Solo los cilindros para recuperar gas están identificados para utilizar refrigerantes usados. No utilizar cilindros diseñados para refrigerantes nuevos.

Figura 7. Cilindros de recuperación



Fuente: <http://profedaza.wordpress.com/refrigerantes/recuperacion-de-refrigerantes/>

Consulta fecha: 12 de diciembre de 2013.

1.8.7.1. Identificación de cilindros para gas recuperado

Los cilindros de recuperación de gas refrigerante deben ser identificados no solo por el color del cilindro sino también, por una etiqueta especial, que permita que cualquier persona los identifique fácilmente. Esta etiqueta debe cumplir con normas como: el color azul en fondo blanco que identifica que es un gas recuperado, y aspectos importantes como:

Nombre comercial: nombre con el que se identifica en el mercado.
Nombre químico: nombre de identificación química.
No. ASHRAE: nombre más común de identificación del gas.
No. NU. código de transporte ONU. Usado para identificar sustancia con algún riesgo.

Figura 8. Etiqueta de identificación de gas recuperado

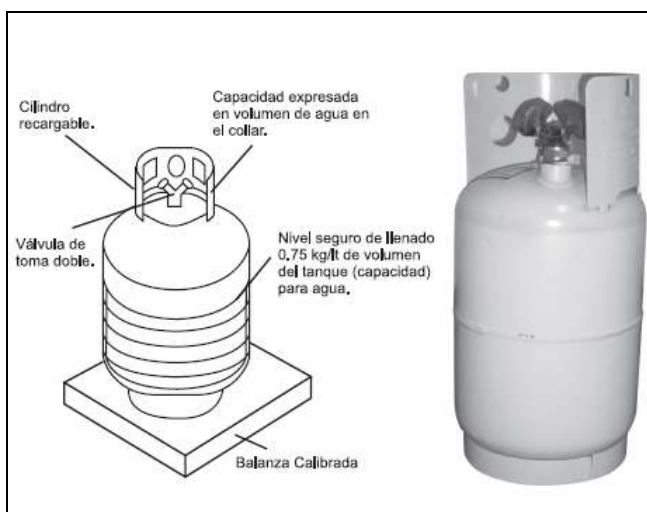
 GAS REFRIGERANTE RECUPERADO		
		R-DP-00-28
NOMBRE COMERCIAL Genetron 134a	NOMBRE QUÍMICO 1,1,1,2-TETRAFLUOROETANO	CÓDIGO ASHRAE R-134-a
No. CILINDRO No. NU 3159	FÓRMULA QUÍMICA $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	TARA
En caso de emergencia dirigirse a la hoja de seguridad: No MSDS: 2187FR		

Fuente: Fogel de Centroamerica.

1.8.8. Cilindro para almacenaje de gas regenerado

El gas regenerado será almacenado en un cilindro de color: naranja en el hombro del cilindro y color gris en el cuerpo identificado por una etiqueta de color blanco/naranja que indica que es gas regenerado y el tipo de gas que se opera (R-134a). Presenta los mismo mecanismos que los cilindros de almacenamiento para gas virgen y recuperada con la variación de la capacidad y el color de identificación, estos tienen mayor volumen 2 000 libras. El un factor de seguridad de para rellenar un cilindro recargable es de 15 por ciento. Esto permitirá almacenar una cantidad mayor de gas regenerando, de una forma segura, posteriormente al análisis químico, según Norma ARI-740, puede ser cargado al sistema de carga de gas refrigerante.

Figura 9. Cilindros para almacenar gases refrigerantes



Fuente: *Manual buenas prácticas PNUMA*. Unidad Técnica Ozono. Capítulo 4. http://www.minambiente.gov.co/documentos/04Capitulo_4.pdf p. 57 Consulta: febrero de 2014.

1.8.8.1. Identificación de cilindros para gas regenerado

Los cilindros de regeneración de gas refrigerante deben ser identificados, no solo por el color del cilindro sino también por una etiqueta especial, que permita que cualquier persona los identifique fácilmente. Esta etiqueta debe cumplir con normas como: el color, naranja en fondo blanco que identifica que es un gas regenerado y aspectos importantes como:

Nombre comercial: nombre con el que se identifica en el mercado.

Nombre químico: nombre de identificación química.

No. ASHRAE: nombre mas común de identificación del gas.

No. NU. código de transporte ONU. Usado para identificar sustancia con algún riesgo.

Figura 10. Etiqueta de identificación de gas regenerado o reclamado

GAS REFRIGERANTE		
REGENERADO		R-DP-00-29
NOMBRE COMERCIAL Genetron 134a	NOMBRE QUÍMICO 1,1,1,2- TETRAFLUOROETANO	CÓDIGO ASHRAE R-134-a
No. CILINDRO No. NU 3159	FÓRMULA QUÍMICA $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	TARA
En caso de emergencia dirigirse a la hoja de seguridad: No MSDS: 2187FR		

Fuente: Fogel de Centroamerica.

1.8.8.2. Seguridad para llenado de cilindros

La densidad en fase líquida, determina la capacidad de los cilindros de almacenaje, debido a que un gas puede tener presente las dos fases líquido-vapor en un cilindro de almacenaje. Esto explica el porqué los cilindros de almacenaje no deben llenarse al 100 por ciento de su capacidad pues los gases se expanden con la temperatura. Al aumentar la temperatura el gas se expandirá produciendo un aumento de la presión interna. De aquí se deriva el factor de seguridad de llenado en un 85 por ciento máximo. Este factor, también determina el porqué el proceso de recuperación y regeneración es en fase líquida y no en fase vapor, pues no solo sería menos eficiente sino que se necesitaría un compresor más robusto para transportar grandes cantidades de gas en fase de vapor y el recipiente almacenaría una elevada presión y poca masa de gas.

1.8.8.3. Aplicación de vacío a cilindros reutilizables

Es importante la aplicación correcta de vacío a los cilindros reutilizables de recuperación y regeneración, cada vez que estos son vaciados del gas contenido. Esta es una práctica que contribuirá a disminuir posibles riesgos de contaminación de gases almacenados. Debido a que los contaminantes presentes en el gas pueden depositar agentes contaminantes en los cilindros.

Es importante mencionar que cuando se habla de micrones, se entienden como presión absoluta total. El micrón es una dimensión muy pequeña y, por lo tanto usada cuando se desea mucha precisión, lo que no es posible hacer con un manómetro normal (del tipo de Bourdon), que usa la presión atmosférica como punto de referencia, la que constantemente está cambiando durante el

día, la presión barométrica cambia con la temperatura ambiente. Se requiere un instrumento que mida en la última pulgada más baja de presión (en el rango 28,9 pg. a 29,92 pg de vacío).”

1.9. Procesos previos a la carga de gas refrigerante a un sistema nuevo

El proceso de refrigeración requiere procedimientos y operaciones sistemáticas, controladas que permitan asegura que los sistemas de enfriamiento reúnan las condiciones para un óptimo funcionamiento. Dichos procedimientos deben seguir un orden y parámetros de operación.

1.9.1. Ensamble de unidad condensadora

En esta operación se colocan todos los componentes eléctricos, así como los componentes del sistema de refrigeración como: compresor, evaporador, motores de ventilación, acumuladores, capacitores de arranque, relé, rieles de unidad y arnés eléctrico. Es importante asegurar durante este tarea que no exista entrada al sistema de humedad u otro tipo de contaminantes, por medio de la colocación de tapones que sellen las posibles entradas al sistema.

Una fase muy importante de esta operación es la soldadura de las tuberías de cobre que conectaran el sistema, limpiando las partes del tubo que serán los puntos donde se aplicará las soldadura, utilizando plata al 5 por ciento cuando es cobre/cobre y al 30 por ciento cuando es cobre/galvanizado. Para esta operación se debe realizar la soldadura con una llama neutra (50 por ciento oxígeno 50 por ciento acetileno) y con una barrida continua de nitrógeno seco a 2,5 psi. Esta operación se debe a que hay que dejar abierta la tubería en un punto para que escapen los gases de combustión y el nitrógeno arrastrará

todos los sólidos que pudieran ingresar al sistema o ser producidos por la misma soldadura y absorbiendo gran parte de la humedad que pudiera ingresar.

1.9.2. Pruebas de fugas en unidad condensadora

Esta operación es la última en la fase de ensamble de la unidad condensadora, donde la unidad ya posee todos los componentes electromecánicos del sistema y viene previamente sellado. Al retirar estos sellos se procede a conectar unos acoples rápidos tipo Hansen que mantienen el sello necesario del sistema impidiendo el ingreso de sustancias dañinas, como: la humedad, partículas sólidas u otros gases no condensables. Colocado este acople y un mano metro, se presurizan las unidades hasta alcanzar 250 psi, se realiza posteriormente una prueba con agua y jabón, aplicándolo en todas las soldaduras y verificando que no se produzcan burbujas las cuales indicarían que existe una fuga. Al finalizar esta operación se retiran los acoples Hansen y se colocan nuevamente los tapones para sellar la unidad condensadora y enviarla a la línea de ensamble.

1.9.3. Operación en área de carga de gas refrigerante

Esta operación comprende varias etapas que se realizan en la planta de producción, las cuales están divididas por departamentos, que hacen operaciones específicas de ensamble y aseguramiento de calidad.

1.9.4. Operación de soldadura

Esta comprende la soldadura de la unidad al tubo de succión y tubo capilar esta operación completa el sistema de refrigeración. Se debe realizar aplicando un barrido de nitrógeno al sistema a 2,5 psi de presión. Esta

operación ayudará a extraer del sistema las partículas sólidas como carbón, resultado de la operación de soldadura. Posteriormente el sistema se envía al paso siguiente con una carga de nitrógeno de 250 psi, monitoreando los manómetros para observar si hay pérdida de presión en el sistema que pueda indicar una posible fuga.

1.9.5. Operación de vacío

Es una de las operaciones más importantes para que el sistema de refrigeración, no presente problemas posteriores, de esta operación dependerá que tanta humedad pueda quedar dentro del sistema

Esta operación se aplica debido a que el agua hierve y se evapora a 100 °C a una presión de 1,03 Kg/cm², al aplicar el vacío al sistema, la presión interna del mismo comienza a bajar al punto de que se modifica el punto de ebullición del agua, permitiendo evaporarla a temperatura ambiente, la bomba se encarga de succionar los gases al exterior. Esto debe realizarse con equipo adecuado bombas de acuerdo a la los requerimientos del sistema que permitan alcanzar valores entre los 200 micrones para asegurar la evaporación de todos los gases no condensables que pudieran ingresar al sistema durante el ensamblaje de los componentes. Se realiza un barrido con nitrógeno para arrastrar las partículas sólidas que puedan haber quedado dentro del sistema.

1.9.6. Inyección de refrigerante

Esta operación se realiza cargando el gas refrigerante R-134a de acuerdo a la capacidad del sistema y los componentes que el mismo posea. Este dato se obtendrá a partir de una tabla previamente establecida según el modelo, proporcionando la cantidad exacta de refrigerante a inyectar en onzas.

(Dato confidencial de la organización). Para la inyección se utiliza una máquina marca Galileo que mide la masa de gas a inyectar y lo realiza a través de una descarga.

1.9.7. Prueba de fugas con carga de refrigerante R-134a

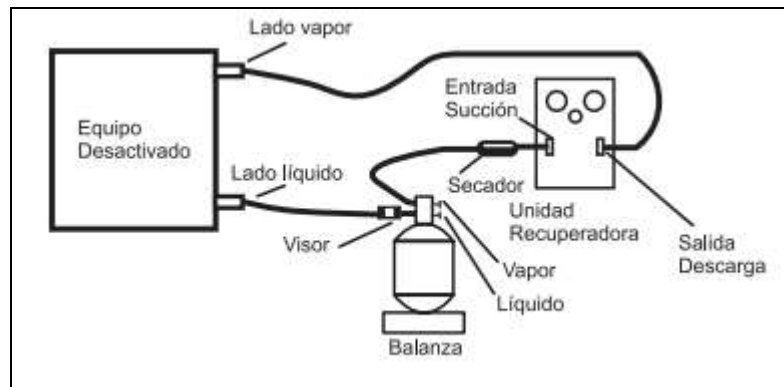
Esta prueba se realiza finalizado el proceso de carga de refrigerante al sistema, se procede a la detección de fugas de gas refrigerante mediante la utilización de un detector electrónico de gas R-134a, el cual detecta las trazas del refrigerante. Esto debido a que su molécula de refrigerante es de mayor tamaño. Teniendo el peso molecular del refrigerante R-134a ($C_2H_2F_4$) P.M. 102 se puede determinar la tendencia a fugarse debido al tamaño de la molécula. Tamaño de molécula.

1.10. Recuperación de refrigerante de un sistema (método *push-pull*)

Este metodo consiste en aspirar con el equipo de recuperación el refrigerante en fase de liquida, se conecta, toma líquido del recipiente con la botella y con ello se obtienen rendimientos de hasta 500 kg/m (335.4 lb/ft) con tubo de $\frac{1}{4}$ ", dependiendo lógicamente del desplazamiento volumétrico de la máquina de recuperación. En este caso, una vez trasvasado el refrigerante en estado líquido, hay que aspirar la fase vapor con el equipo de recuperación licuando.

Para una mayor eficiencia en el proceso de recuperación, puede desender la temperatura del cilindro, sumergiendolo en hielo. El decenso en la temperatura, permitiran tener más gas refrigerante condensado dentro del cilindro, permitiendo que la recuperadora realice la operación en menor tiempo y haciendo que la recuperacion en fase de vapor sea mas corta.

Figura 11. **Ciclo de recuperación de refrigerantes (método Push-Pull)**



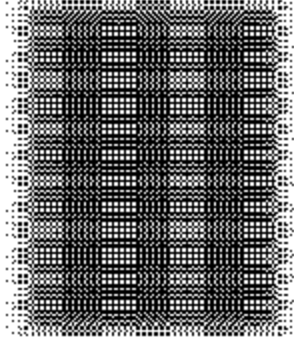
Fuente: *Manual buenas prácticas PNUMA*. Unidad Técnica Ozono.

http://www.minambiente.gov.co/documentos/04Capitulo_4.pdf p. 60 Consulta: febrero de 2014

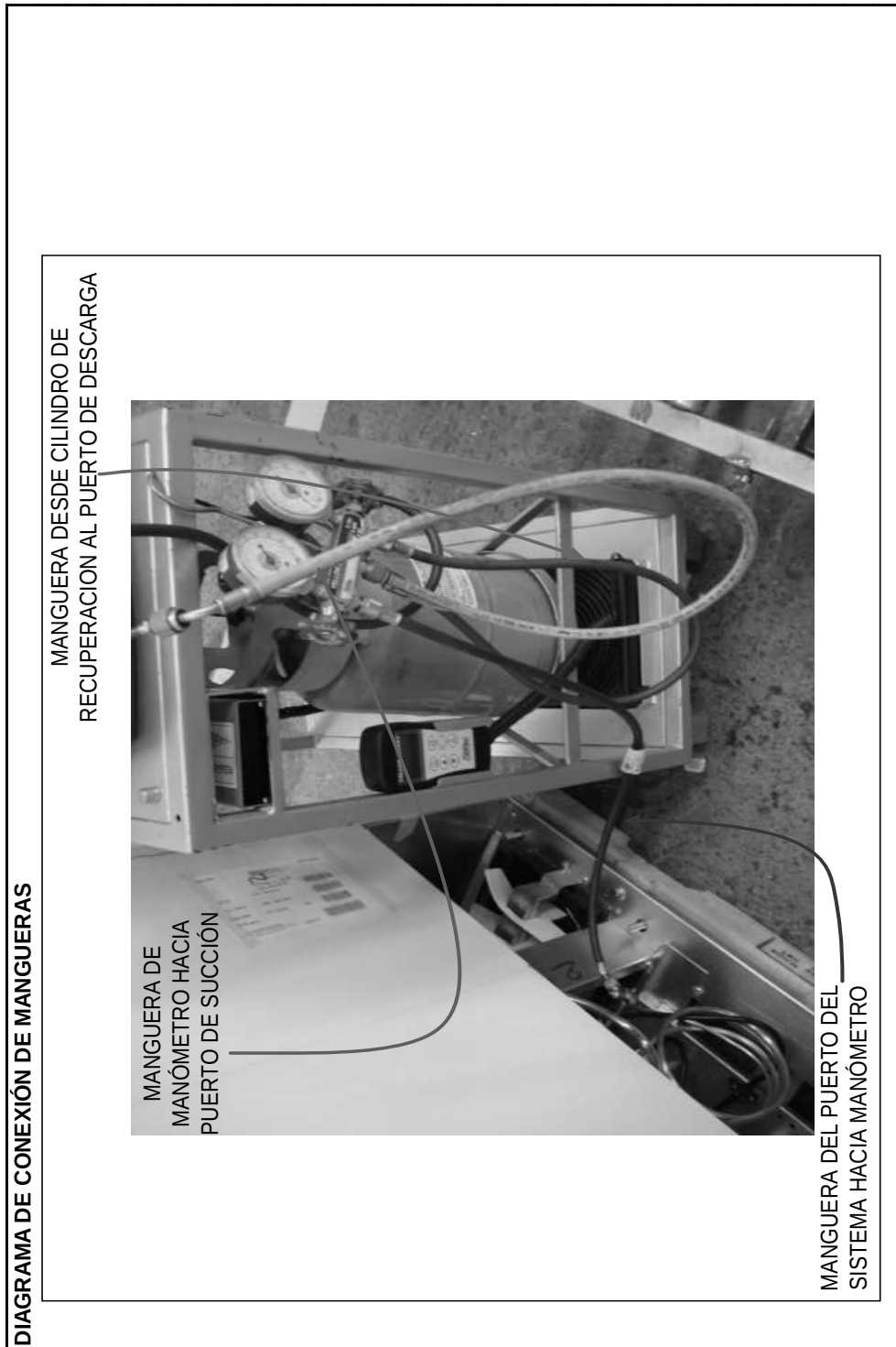
Figura 12. Procedimiento para recuperación de gas refrigerante R-134a

PROCEDIMIENTO PARA RECUPERACIÓN DE GAS REFRIGERANTE R-134a		
El Recuperador (RecoverX) es utilizado para expulsar líquido o vapor de refrigerante directamente fuera del sistema y trasladarlo a un cilindro de recuperación. La recuperación del líquido se realiza mediante la conexión de un puerto de servicio de descarga de alta presión (puerto de líquido) que se encuentra a un lado del sistema que está siendo asistido. La recuperación del líquido puede efectuarse conectando la manguera de succión al tubo de succión del compresor (baja presión). Nota: El procedimiento para la recuperación de gas refrigerante es el mismo para Refrigerante R-134a y para Refrigerante R-404A con la salvedad que se utiliza diferente cilindro de recuperación para cada uno. Tenga en cuenta las siguientes instrucciones:		
1) Verifique el tipo y la cantidad de refrigerante presente antes de realizar el mantenimiento de cualquier sistema. Esta información se encuentra en la etiqueta de serie del equipo. Parte interna de la tina, en el altar izquierdo 	2) Apague y desconecte de la alimentación eléctrica el equipo que va a ser reparado. Ponga el indicador del selector en off. 	3) Realizar las conexiones de mangueras incluyendo los manómetros A continuación se muestra la forma de conexión de las mangueras.

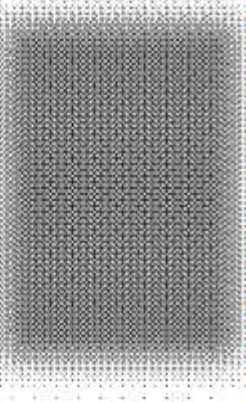
Continuación de la figura 12.

4) Conecte una manguera desde el cilindro de recuperación (lado del líquido identificado de color rojo) al puerto de DESCARGA del recuperador.	Nota: El paso 5. Se aplica solo en caso de comprobar que el refrigerante posee niveles de humedad y gases no condensables fuera del estándar permitido. (Identificación por medio de analisis de laboratorio) En caso contrario pasar a paso 6. 5) Proceder a Purgar: Endeda el sistema. Gire la válvula selectora hasta la posición de purga (PURGE). La maquina realizara una purga automática. 
5.1) Purga en cilindro La purga consiste en abrir la llave un poco nada más para que salgan los gases no condensables. 	6) Conecte una segunda manguera desde el puerto del sistema que está siendo reparado hacia el puerto de SUCCIÓN del RecoverX.  7) Para recuperar refrigerante de un equipo de refrigeración se debe de colocar una válvula pinchadora al compresor en la tubería de baja presión.

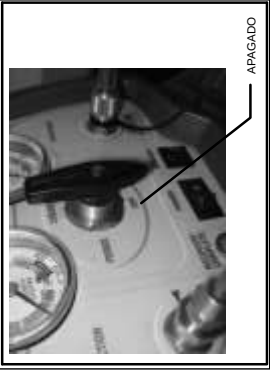
Continuación de la figura 12.



Continuación de la figura 12.

8) Abra la válvula de líquido del tanque de recuperación. La manguera debe estar conectada a este puerto conforme a las instrucciones anteriores.  La válvula de líquido está identificada de color rojo y dice "líquido" (líquido)	9) Encienda el RecoverX. 	10) Gire la VÁLVULA del selector del equipo a la posición Líquido RECOVERX (recuperación de líquido). Mayor eficiencia.  10.1 Para asegurar la recuperación del total gas refrigerante, gire el selector a vapor antes de que el manómetro que se inicio el vacío.
11) El Recoverx realizará un vacío hasta que el INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN cierre la unidad y la luz del emisor indique RecoverX Complete (Recuperación completada). 	12) Ubique el interruptor en la posición de apagado. Gire la válvula selectora en el sentido de las agujas del reloj para ponerla en "off". 	13) Si la unidad se cierra de nuevo y la luz del emisor indica RecoverX Complete (Recuperación completada), el ciclo de recuperación está completo. Nota: Si la máquina no está recuperando, deberá realizar el procedimiento de reencendido que se indica en este mismo documento.

Continuación de la figura 12.

Procedimiento de Reencendido		
Si la unidad de recuperación se detuvo durante el funcionamiento, puede ser necesario equilibrar las presiones internas antes de que arranque.		
Para equilibrar las presiones internas:		
1) Apague el sistema.	2) Gire la válvula selectora en el sentido de las agujas del reloj para ponerla en "off."	3) Encienda la máquina de recuperación
Apague el sistema presionando el botón poder mostrado en la figura.		La máquina se enciende presionando el botón power mostrado en la figura
4) Gire la válvula de nuevo a la posición de recuperación que se tenía antes de utilizar el reencendido. (líquido)		

Fuente: Fogel de Centroamerica. Área de Refrigeración. Consulta Febrero 2014.

Figura 13. **Determinación de masa de gas refrigerante recuperado**

Procedimiento para determinar la cantidad de refrigerante recuperado		
Colocar el cilindro sobre la báscula para conocer el peso, automáticamente la pantalla de la báscula dará a conocer el dato buscado.	Previamente se conoce la tara del cilindro por lo que al peso que marque la báscula se debe de restar el peso de la tara para conocer la información final. La tara se encuentra señalada en el cilindro	La diferencia de pesos Peso final menos tara proporcionara la masa de gas recuperado M_{gr}. El valor de M_{gr} debe ser igual a la masa inicial inyectada al equipo M_o. Ver paso 1 de Procedimiento para recuperación de gas refrigerante R-134a.

Fuente: Fogel de Centroamerica. Área de Refrigeración. Consulta Febrero 2014.

2. REGENERACIÓN DE GAS REFRIGERANTE

Esta operación comprende el proceso de regeneración de gas refrigerante R-134a y la descripción del equipo necesario para realizarlo.

2.1. Definición de operación de regeneración de gas refrigerante

Regenerar un gas refrigerante es devolverle sus condiciones de pureza iniciales al retirar los contaminantes, por medios electromecánicos que pueden ser adquiridos durante la operación o circulación dentro de un sistema de refrigeración. Estos contaminantes alteran las propiedades físicas y químicas del gas, por lo que el proceso de regeneración devuelve nuevamente las características de un gas nuevo o virgen.

Este proceso permite retirar agentes contaminantes sólidos, humedad ácidos y gases no condensables enemigos del sistema de refrigeración. Esta operación se complementa con el análisis de la Norma ARI-700-2011, en un laboratorio que certifique los parámetros de calidad del gas obtenido y un correcto procedimiento de reutilización del gas refrigerante regenerado a un sistema de refrigeración nuevamente.

2.2. Contaminantes en el sistema de refrigeración

Los sistemas modernos de refrigeración están diseñados para trabajar a temperaturas más altas, en espacios más reducidos y con componentes eficientes que trabajan a velocidades altas, de estas características se originan las condiciones de prevenir los contaminantes de un sistema de refrigeración.

Un contaminante se define como: cualquier sustancia o componente ajeno al sistema de refrigeración; que no tiene ninguna función útil y que producen daños en el sistema de refrigeración. Uno o varios contaminantes pueden introducirse a un sistema de refrigeración, aunque el mismo sea nuevo, a pesar de que se tomen las precauciones necesarias. Algunos contaminantes se forman dentro de un sistema originados de otros contaminantes en los equipos nuevos durante la manufactura o ensamble, debido a una limpieza ineficiente de los agentes presentes en el aire.

Cuando un equipo es nuevo o durante su fabricación pueden correrse riesgos de contaminación, desde operaciones como la soldadura de los tubos, si no se realiza con cuidado pueden contaminar con óxidos, rebabas, pastas, fundentes y humedad. La calidad del refrigerante y aceite son determinantes para evitar la contaminación del sistema de refrigeración, sea por baja calidad o mala manipulación de estos se pueden introducir contaminantes como: humedad, aire y otros gases no condensables al mismo. Esto se puede originar incluso durante el ensamble o mantenimientos.

Una de las partes más complejas y determinantes en la contaminación de sistemas de refrigeración es la propia operación de ensamble, que debido a métodos incorrectos, malas técnicas, componentes y materiales de baja calidad pueden producir una contaminación que desembocaría en una falla de todo el sistema de refrigeración a lo largo del tiempo.

2.2.1. Clasificación de los contaminantes

Según su naturaleza, los contaminantes se pueden clasificar en: orgánicos e inorgánicos. Que pueden existir en tres estados: sólido, líquidos y

gaseoso y pueden ser solubles e insolubles en el refrigerante, en el aceite o una mezcla de ambos. Según su origen los contaminantes se clasifican en:

2.2.1.1. Contaminantes orgánicos

En los sistemas de refrigeración se definen a estos contaminantes como aquellos que en su mayoría son: aire, carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H); entre estos las resinas, ceras, fundentes, lodos solventes. Estos agentes pueden obstruir parte del sistema o crear incrustaciones, corrosión que con el tiempo pueden reducir la eficiencia del sistema.

2.2.1.2. Contaminantes inorgánicos

Estos son agentes sólidos como partículas metálicas, óxidos, arenas, sales ácidos y gases no condensables que pueden introducirse por mala operación o desprendimiento de piezas de hule de rebabas de la misma tubería e incluso segmentos de mismo fundente o un sobrecalentamiento a la hora de soldar. Con este tipo de contaminantes el riesgo de obstrucción siempre es latente, pudiendo generar reacciones con algún otro componente interno del sistema de refrigeración.

2.2.1.3. Composición del aire

El aire que se respira no está libre de agentes contaminantes, debido a diferentes factores. Al igual que en los humanos, un aire contaminado puede producir problemas dentro de un sistema de refrigeración, variando así su composición por condiciones naturales o por alteración producidas por el hombre. El aire debido a su composición química contiene a elementos y componentes que causan serios problemas a los sistemas de refrigeración y

debido a que no puede eliminarse de los entornos en la operación y ensamble de sistemas de refrigeración, sumado a estos factores se encuentra los poco cuidados y malos procedimientos en la operación de los mismos.

Tabla XII. **Composición del aire**

Componente		Concentración aproximada
1. Nitrógeno	(N)	78.03% en volumen
2. Oxígeno	(O)	20.99% en volumen
3. Dióxido de Carbono	(CO ₂)	0.03% en volumen
4. Argón	(Ar)	0.94% en volumen
5. Neón	(Ne)	0.00123% en volumen
6. Helio	(He)	0.0004% en volumen
7. Criptón	(Kr)	0.00005% en volumen
8. Xenón	(Xe)	0.000006% en volumen
9. Hidrógeno	(H)	0.01% en volumen
10. Metano	(CH ₄)	0.0002% en volumen
11. Óxido nitroso	(N ₂ O)	0.00005% en volumen
12. Vapor de Agua	(H ₂ O)	Variable
13. Ozono	(O ₃)	Variable
14. Partículas		Variable

Fuente: <http://www.salonhogar.com/ciencias/naturaleza/aire/composiciondelairepuro.htm>.

Consulta: diciembre de 2013.

Elementos como el nitrógeno, argón, helio, dióxido de carbono, vapor de agua conocidos en el medio como gases no condensables y partículas sólidas, se convierten en los principales agentes contaminantes en los sistemas de refrigeración.

2.2.1.4. Gases no condensables

Los gases no condensables, a diferencia de los refrigerantes, no pueden condensarse dentro del sistema de refrigeración, causando problemas en el mismo, como pérdidas de eficiencia energética y daños en el compresor.

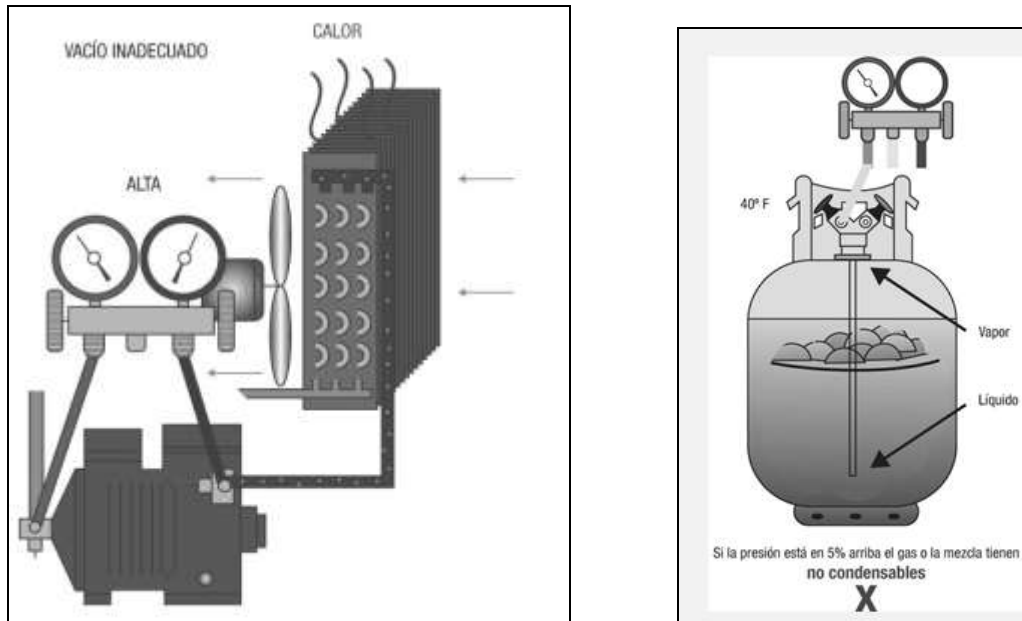
Estos gases ingresan al sistema debido a una mala manipulación de los componentes y tuberías, por haberlas dejado destapadas mientras se realizan otra operación. La forma de evitar gases condensables en un sistema es aplicando una correcta operación de vacío hasta 200 micrones, a esta presión se evaporan los gases no condensables, evitando dejar los tubos destapados.

2.2.1.5. Detección de gases no condensables

Para detectar presencia de gases no condensables en un sistema de refrigeración se deben cumplir con los siguientes pasos.

- Acumular y aislar el refrigerante en el condensador.
- Apagar el compresor.
- Encender el ventilador del condensador.
- Esperar a que el refrigerante en el serpentín se haya igualado a temperatura ambiente. Si la presión medida coincide con la presión indicada en la tabla presión/temperatura, entonces no hay gases no condensables en el serpentín.
- Si la presión es mayor a un cinco por ciento a la esperada, entonces se tiene que la presencia de gases no condensables.

Figura 14. **Gases no condensables dentro de un sistema**



Fuente: *Buenas prácticas de refrigeración*. <http://0grados.com/los-gases-no-condensables/> Consulta: 12 de diciembre de 2013.

2.2.1.6. Efectos producidos por gases no condensables

El refrigerante en estado de vapor debe de condensarse en su totalidad requiere que el refrigerante entre en contacto con las paredes de la tubería para poder transferir el calor al cobre, que luego fluya hacia las aletas y este sea disipado con la corriente de aire forzado hacia el entorno. La ecuación básica de transferencia de calor es:

$$Q = UA \Delta T \quad (13)$$

Donde:

Q = calor

U = coeficiente de transferencia de calor del refrigerante

A = area de condesador

ΔT = diferencia entre temperatura del entorno y el refrigerante.

“Un gas no condensable se mantendrá en forma de vapor. No fluirá a la salida como refrigerante líquido, en vez de eso permanecerá atrapado dentro de la tubería del condensador. Esta situación provocará dos cosas:

- El área de la superficie ocupada por el gases no condesables no estará disponible para que el refrigerante la use para completar la transferencia de calor (el área “A” del condensador se reduce).
- El aire reducirá el coeficiente de transferencia de calor total del vapor en el interior del tubo (U se reduce) . Regresando a la ecuación de transferencia de calor se demuestra que si A y U se reducen, entonces ΔT sube. En otras palabras: La temperatura del refrigerante tendrá que ser mayor en comparación con la del aire, lo cual significa que tendremos mayores presiones de descarga
- Con el sistema operando a una presión mayor, el trabajo adicional realizado por el compresor provocará que la eficiencia energética del sistema disminuya las temperaturas de la descarga, por consiguiente, también subirán, lo que conducirá a la descomposición del lubricante”¹³.

Los gases no condesables afecta seriamente al sistema de refrigeración condicion por, la cual se debe asegurar que los niveles presentes de este contaminante este dentro de parámetros de aceptacion.

¹³ YAÑEZ. Giraldo. *Buenas prácticas de refrigeración. Gases no condensables. Cero grados celsius*. <http://0grados.com/los-gases-no-condensables/> Consulta: agosto de 2014

2.2.2. Contaminación por sólidos

Según su estado, los contaminantes pueden producir diferentes problemas dentro del sistema de refrigeración siendo el principal la pérdida de eficiencia del propio sistema por obstrucción de algún paso o problemas de funcionamiento. Dentro de estos se encuentran las partículas como:

- Carbón: puede producirse por un mal procedimiento en la aplicación de soldadura oxiacetilénica (autógena). Para lo cual se debe aplicar una barrida de 3 psi con nitrógeno para arrastrar el carbón producto de la combustión de grasas, ceras o fundentes.
- Cobre y galvanizado: puede introducirse por un inadecuado procedimiento de ensamble o por el desgaste o daño de piezas de la tubería, dependiendo del tipo de material para la fabricación de tubería. Estas partículas por ser pesadas suelen acumularse normalmente en el filtro deshidratador o acumuladores.

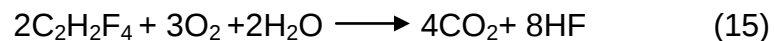
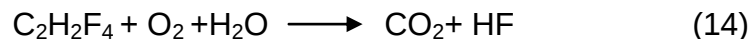
Qué problemas pueden causar la presencia de partículas sólidas dentro de un sistema de refrigeración:

- Rayar las paredes de los cilindros y los cojinetes del compresor.
- Alojarse en el cedazo de la válvula de expansión o entrada del tubo capilar.
- Alojarse en el devanado del motocompresor y producir un corto circuito al actuar como un conductor o funcionar como un abrasivo.
- Sirven como catalizadores de la descomposición química del refrigerante y aceite.

- Acumulación en los orificios de circulación del aceite en partes móviles del compresor, produciendo problemas de lubricación.
- Crean depósitos en los asientos de las válvulas de succión o descarga, reduciendo significativamente la eficiencia del compresor.

2.2.3. Contaminación por ácidos

Los ácidos, especialmente los inorgánicos, producen corrosión en el sistema debido a la presencia de humedad. Atacando, principalmente las partes metálicas: acero, cobre, afectando los barnices aislantes del embobinado, motocompresor, disolviéndolos y aumentando la posibilidad de corto circuito. Ejemplo: ácido fluorhídrico (HF), esto debido a la interacción del flúor contenido en la molécula de gas R-134a y el agua.



2.2.4. Contaminación por humedad

El contaminante que más afecta a los sistemas de refrigeración, es la humedad, esta, combinada con temperaturas muy bajas puede originar la formación de cristales de hielo. Los cuales pueden acumular en las válvulas de termo expansión o en el tubo capilar, que son las áreas de menor diámetro dentro de un sistema de refrigeración. Puede conducir a formación de ácidos refrigerante, lodos y hasta quemaduras en el motocompresor. Las principales fuentes de humedad dentro de un sistema son:

- Producto de la combustión de flamas durante el proceso de soldadura.

- Mal proceso de secado (purga) durante la fabricación de los equipos.
- Fugas en el lado de baja cuando la presión es menor que la atmosférica (vacío)
- Fugas en el condesando.

2.2.4.1. Efectos por humedad dentro de un sistema de refrigeración

Los efectos de la humedad dentro de un sistema de refrigeración pueden causar reacciones químicas (oxidación). Es por eso, que los parámetros de agentes contaminantes de refrigerantes tienen rangos permitidos. Estos parámetros se estandarizan en la Norma ARI-700-2011, hasta un 10 ppm de humedad presente en el refrigerante y en el aceite pueden tener entre 20-30 ppm de humedad. Mientras más bajos sean los valores presentes de humedad se evitarán problemas posteriores como:

- Óxido y corrosión de partes metálicas
- Cobrizado
- Hidrólisis del refrigerante formando ácidos y más agua
- Polimerización del aceite descomponiéndolo en otros refrigerantes

2.2.4.2. Solubilidad del agua en los refrigerantes

La humedad es el peor enemigo de los sistemas de refrigeración, esto se debe a la solubilidad del agua con el refrigerante y las reacciones químicas que esta mezcla pueda originar. ¿Qué es la solubilidad? En términos de agua y refrigerante, se define como: la mayor cantidad de agua que se puede disolver en un refrigerante. El valor de la solubilidad del agua en R-134a es mayor a altas temperaturas y disminuyendo a bajas. Los fabricantes de refrigerantes

tratan de hacer productos con menos humedad. El valor máximo de humedad permitido, según estándares, no deben sobrepasar un valor de 10 ppm según la Norma ARI-700-2011.

Si los valores de humedad dentro del sistema son altos y la temperatura suficientemente bajas, el agua forma hielo y si existe un exceso de la misma, como agua líquida esta incrementará la posibilidad de congelación de esta pudiendo arrastrarla a lugares no deseados. Si la temperatura es arriba de lo requerido, hidratos sólidos que es una molécula compleja de refrigerante y agua que puede separarse posteriormente y acumularse, produciendo problemas en los sistemas.

La solubilidad del agua como líquido o sólido, está relacionada con la solubilidad del agua en el refrigerante, estos tienen cierta afinidad es decir se pueden mezclar en fase líquida o gaseoso. La humedad requerida para que ocurra un taponamiento con hielo, es en función a la cantidad de vapor que se forme durante la expansión, y de la distribución del agua entre las fases líquida y vapor a la salida de la válvula de termo expansión o el tubo capilar. La solubilidad se expresa en partes por millón (ppm) en peso. Una parte por millón es equivalente a 1 miligramo de agua disuelta en 1 kilogramo de refrigerante. Mientras mayor sea la solubilidad del agua en un refrigerante, menor será la posibilidad de que se separe el hielo o el agua en un sistema de refrigeración.

Tabla XIII. **Solubilidad del agua en fase líquida para el R-134a (ppm)**

Temperatura °C	Solubilidad H ₂ O en R-134a
50	1,716
45	1,611
40	1,478
35	1,359
30	1,226
25	1,100
20	978
15	857
10	783
5	680
0	591
-5	531
-10	470
-15	407
-20	341
-25	300
-30	252
-35	214
-40	183
-45	158
-50	132

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.3. **Concentración relativa**

La condición de saturación es la máxima cantidad de agua que el refrigerante puede aceptar en fase líquida a una temperatura dada. Si el refrigerante contiene más humedad que los valores indicados en la tabla de solubilidad a la misma temperatura se tiene un líquido sobresaturado de humedad. Si la presencia de humedad excede los parámetros aceptables debe ser sometido a un proceso que permita regresarlo a sus condiciones óptimas.

Tabla XIV. **Concentración relativa para el R-134a**

TEMPERATURA °C	CONCENTRACIÓN REALATIVA R-134a
35	0.36
30	0.39
25	0.42
20	0.45
15	0.48
10	0.5
5	0.53
0	0.57
-5	---
-10	---
-15	---
-20	---
-25	---
-30	---
-35	---

Fuente: elaboracion propia.

La tabla de concentración muestra la distribución de humedad para varios refrigerantes. Los valores de esta tabla indican la concentración relativa de agua en el vapor comparada con la concentración en el líquido. Las relaciones de distribución para el R-134a son menores de 1, lo que significa que la concentración de agua en el equilibrio, es mayor en la fase líquida que en la fase vapor.

2.2.5. Contaminación producida por el aceite del compresor

El compresor es la parte electromecánica dentro de un sistema de refrigeración, este debe ser lubricado para reducir la fricción y el desgaste de los componentes mecánicos. El aceite dentro de estos componentes juega un papel muy importante y debe cumplir con requerimientos especiales que

permitan lubricar las partes del mismo sin alterar las propiedades del refrigerante. El aceite debe resistir variaciones de temperatura y presión del sistema. Tiene otras funciones como:

- Remover el calor de cojinetes y lo transfiere al exterior.
- Formación de sello positivo cuando las válvulas de succión y descarga se encuentran cerradas.
- Disminución de los niveles de ruido de las partes móviles del compresor.

El aceite para compresores de refrigeración es un producto que requiere una clasificación especial. Existen cuatro grupos de aceites: animal, vegetal, mineral y sintético.

2.2.5.1. Aceites minerales y vegetales

Estos aceites se conocen también como aceites fijos; debido a que no pueden ser refinados, ya que se descomponen, presentando inestabilidad, formando ácidos, gomas y se congelan a temperaturas cercanas al cero. Por dichas características, estos aceites no son adecuados para los sistemas de refrigeración.

2.2.5.1.1. Aceites minerales

Son aceites derivados del petróleo y se clasifican en:

- Base parafínica
- Base nafténica
- Base aromática

Los aceites más utilizados en la refrigeración son los nafténica por sus propiedades y debido a que:

- Conservan mejor su viscosidad.
- Fluyen mejor a bajas temperaturas, requeridas para los distintos sistemas de refrigeración.
- Menos depósitos de ceras a bajas temperaturas, debido a su bajo contenido de parafinas.
- Los depósitos de carbón que forman son más ligeros y fácilmente eliminables del sistema.
- Presenta mayor estabilidad térmica y química.
- Tiene excelente capacidad dieléctrica.

2.2.5.1.2. Aceites sintéticos

Tienen características superiores a los aceites minerales y se obtienen a partir de reacciones químicas específicas, posee mejor calidad y propiedades, proporcionando una consistencia estable a lo largo del tiempo. Los aceites más utilizados son los polialquilenglicol (PAG) y los poliol éster (POE). Siendo estos últimos los más utilizados en la fabricación de equipos de refrigeración.

Los aceites sintéticos para la refrigeración se fabrican enfatizando propiedades particulares como:

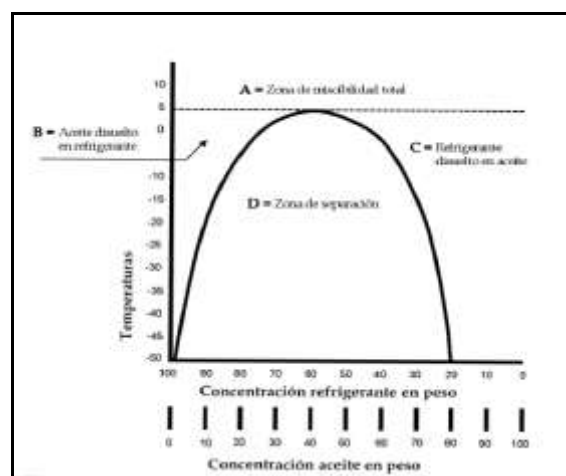
- Miscible con el refrigerante.
- Resistencia a cambios bruscos de temperatura. Tener una buena estabilidad térmica.
- Ser un material libre de ceras para evitar la floculación a bajas temperaturas y formación de espumas.

- Excelente poder de lubricación.
- Buena capacidad dieléctrica.
- No generar carbón al entrar en contacto con superficies calientes.

2.2.5.2. Relación concentración versus temperatura entre refrigerante-aceite

La interacción entre el refrigerante y el aceite dentro de un sistema de refrigeración mantiene una relación de concentración respecto a la temperatura, manteniéndose constante debido a que es un sistema cerrado, donde a ciertos valores, el aceite se disuelve en el refrigerante. Existen zonas donde hay separación total y otra donde el refrigerante se disuelve en el aceite, por lo que esto puede mantener un ciclo de contaminación que irá mermando la eficiencia del sistema de refrigeración. La siguiente gráfica permite observar la miscibilidad del aceite y el refrigerante.

Figura 15. Relación concentración y temperatura refrigerante-aceite



Fuente: http://www.marcombo.com/Descargas/8426714153-friolI/primer_capitulo_frio2.pdf. p. 13.

Consulta: 14 de enero 2014.

2.3. Sistema de regeneración de gas refrigerante Van Steenburgh modelo JV-90-2

Es un equipo de pasos múltiples donde el refrigerante recorre los componentes del equipo de regeneración hasta llegar alcanzar las condiciones de pureza deseadas.

“El sistema Van Steenburgh puede usarse para transferir el refrigerante a cilindros o guardarlo dentro de su cámara de almacenamiento que está diseñado especialmente para soportar alta presión. La tubería que transporta el refrigerante posee un aislamiento que mantiene una temperatura por debajo de la temperatura de condensación, haciendo el proceso más eficiencia. El sistema permite tomar refrigerante automáticamente en estado de vapor o líquido, siendo más eficiente en fase líquida. Este es enviado mediante el uso de tubos dentro de tubos al intercambiador de calor donde se eleva la temperatura y velocidad, usando el calor de compresión, la fricción y la resistencia eléctrica del motor entra en una única cámara de separación donde la velocidad es reducida radicalmente, permitiendo al vapor desprender los contaminantes, como: partículas de cobre, carbón, aceite y todos los otros contaminantes caen al fondo del separador donde pueden ser removidos durante "la operación de purga de aceite" .Precipitados los contaminantes y aceite.

El vapor destilado a alta temperatura se eleva y pasa de la cámara de separación, al compresor, al intercambiador de calor tipo tubo en tubo y luego al condensador enfriado por aire donde es convertido a líquido, condesandolo y volviéndolo líquido, pasando dentro de la cámara de almacenaje, que posee un ensamble de evaporadores que incluye una válvula termostática de expansión que corresponde al tipo de refrigerante, este subenfía el líquido de 20 a 40 grados F [-

6,7 a 4,4 grados C]. Un par de filtros/secadores reemplazables remueven cualquier humedad, lo cual finaliza el proceso de limpieza”¹⁴

El equipo de regeneración Van Steenburgh JV-90-2 combina una serie de operaciones para regenerar el gas refrigerante, empleando procesos como: evaporación, destilación, compresión, condensación. Cuando dicha diferencia es grande, se puede realizar la separación completa fácilmente o en una destilación individual, pero si los componentes poseen diferencias de volatilidad muy similares, el proceso de separación se vuelve más complejo y para conseguirlo hay que hacer una destilación en varias etapas.

En el caso de la regeneradora JV-90-2, el gas refrigerante se inicia aumentando su temperatura y velocidad en el intercambiador de calor pasando a una cámara de separación donde se produce una destilación *flash*, elevando la temperatura del gas refrigerante hasta que sus componentes más volátiles sean separados en fase de vapor y los más pesados precipitan al fondo de la cámara (partículas sólidas, aceites), debido a que tienen temperaturas muy altas de ebullición. Ejemplo: el aceite lubricante que puede alcanzar temperaturas hasta de 200 °C, mientras que el gas refrigerante R-134a (– 26,2 °C) a 10 °C de temperatura ambiente, esto permite que los contaminantes pesados precipiten al fondo del tanque.

Esto se realiza aprovechando el cambio de presión, el calor generado por la compresión, la fricción en tuberías y resistencias que generan un calor adicional, el gas entra a una cámara de separación donde los contaminantes pesados son separados retirándolos por medio de la purga de contaminantes o aceite, en esta parte se separan los gases no condensables, lo cuales se

¹⁴ Van Steenburgh. *Folleto informativo para uso de equipo*. Proporcionado por Fogel de Centroamérica 2013. p. 6. Consultado: 30 de junio 2014.

acumulan en la parte superior del tanque y son retirados posteriormente. El gas refrigerante en fase de vapor arrastra contaminantes como humedad debido a la solubilidad que el refrigerante posee, es significa que al pasar por el condensador lleva humedad, por lo que posterior a la operación de condensación, donde primero es enfriado hasta saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido a 4,44 °C, enviándolo por los filtros deshidratadores, donde se retira la humedad, ácidos y ceras presentes, enviando el gas resultante a los tanques de almacenamiento.

2.3.1. Especificación técnica del equipo de regeneración

La unidad de regeneración Van Steenburgh cuenta con las siguientes características.

Capacidad del compresor:	2h
Electrónico:	208/230 vac 60 hz. 1 hp
Tipo de gas a regenerar:	r-134a y r-404a
Capacidad de regeneración:	1.5 lb/min fase líquida, depende de condiciones.
Capacidad de almacenamiento:	90 lb / 41 kg.
Filtros deshidratadores:	2 unidades cambio cada 3,2 hrs De operación.
Peso:	468 lb

2.3.2. Procedimiento para utilización de unidad regeneradora nueva

“Cada sistema es cuidadosamente probado antes de que abandone la fábrica. Como parte del procedimiento de prueba cada unidad es presurizada con nitrógeno

para protegerla durante su transportación y embarque. Su unidad debe tener una etiqueta en el frente indicando esto.

- Verifique el voltaje y amperaje en la etiqueta de serie en la parte trasera de la unidad.
- Coloque los interruptores de palanca ENTRADA [*INLET*] y SALIDA [*OUTLET*] en posición encendido [*ON*] (Esto con la unidad previamente conectada a la fuente de alimentación), esto liberará la carga protección de nitrógeno y permitirá al sistema nivelarse a la presión atmosférica.
- Coloque componentes autorizados para operar bajo condiciones del equipo.
- Revise los manómetros de succión para asegurar un nivel adecuado de vacío. Coloque los interruptores de ENTRADA [*INLET*] Y SALIDA [*OUTLET*] en posición apagado [*OFF*]¹⁵.

NOTA: para una buena operación de la unidad, no se debe regenerar mezclas de gases. Diferentes a los que los selectores de la máquina permitan.

2.3.2.1. Carga de servicio

Según el proveedor del equipo, cada vez que se utiliza el equipo para regenerar se debe cargar una de servicio 7 a 9 libras de refrigerante. Esto evitará que el equipo funcione sin fluido alguno, el cual tiene como función lubricar los componentes y facilitar el alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento.

¹⁵ VAN STEENBURGH. Folleto informativo. Manual de uso rápido. Fogel de Centroamérica 2013. P. 3

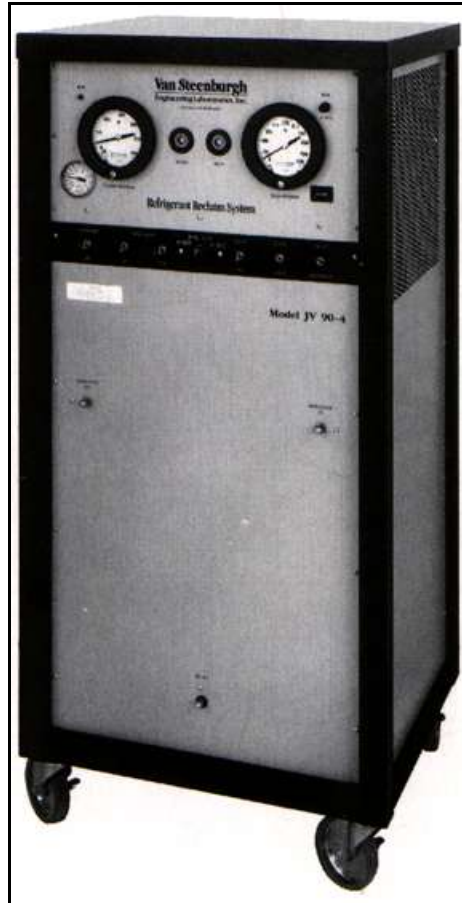
Para determinar la carga de servicio se toma el peso de la máquina regeneradora 468 libras mas las 7 libras de gas de servicio para obtener el total de 475 libras peso total de la máquina con la carga de servicio. Establecido este peso, se puede continuar con la determinación de masas de gas regenerado por medio del peso de los cilindros de regeneración al final del proceso. Controlando periódicamente este valor se puede asegurar del valor de la masa de gas en la carga de servicio.

2.3.2.2. Verificación de carga de servicio

Para evitar estar pesando el equipo cada vez que este descargue el gas regenerado al recipiente de almacenaje se debe observa el visor frontal identificado como OUTLET y el visor posterior indicador del nivel de humedad de los filtros estén inundados con gas refrigerante líquido, se debe evitar que este visor quede seco. Pues al quedar sin refrigerante indica que se extrajo también el gas de carga de servicio.

Para asegurar la cantidad de gas de servicio se debe monitorear que el peso del cilindro de gas regenerado sea igual al peso extraído del cilindro de gas recuperado.

Figura 16. **Regeneradora Van Steenburgh JV-90-2**

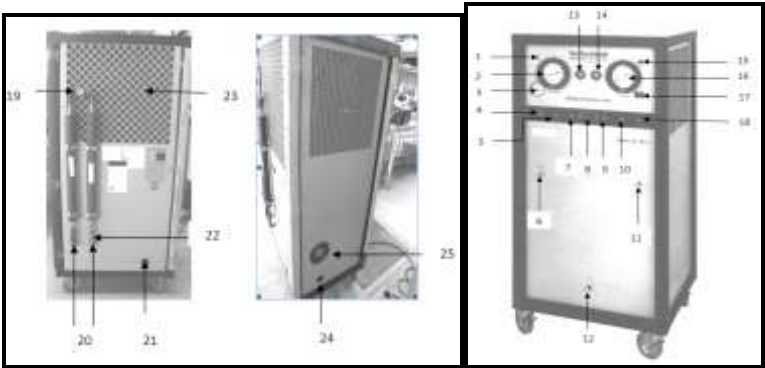


Fuente: Fogel de Centroamérica.

2.3.3. Componentes externos regeneradora

En la figura 15 se presentan componentes externos de una regeneradora.

Figura 17. **Distribución de componentes de regeneradora**



Fuente. Fogel de Centroamérica.

Tabla XV. **Partes de regeneradora Van Steenburgh JV-90**

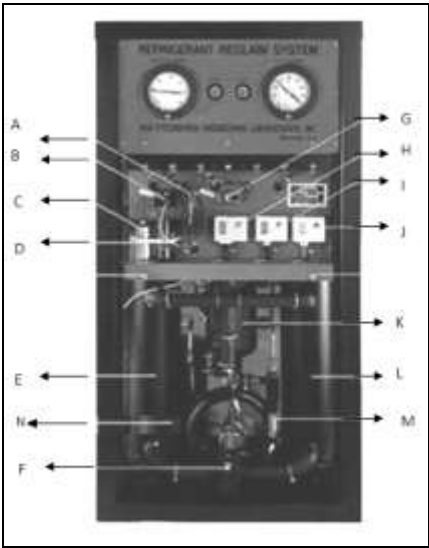
No.	Nombre
1	Indicador de cilindros de almacenaje lleno (full).
2	Manómetro de presión de succión.
3	Termómetro de temperatura ambiente.
4	Switch de encendido y apagado de compresor.
5	Switch de carga de gas refrigerante (IN).
6	Válvula de descarga de gas refrigerante.
7	Switch de descarga de gas refrigerante (OUT).
8	Selector de gas refrigerante.
9	Switch de encendido y apagado de CHILLER.
10	Switch de descarga de aceite (UP) o vapor (DOWN).
11	Válvula carga de gas refrigerante.
12	Válvula de salida de aceite (purga).
13	Visor de descarga de gas refrigerante.
14	Visor de carga de gas refrigerante.
15	Fusible.
16	Manómetro de presión de cabeza (descarga).
17	Contador de horas de operación.
18	Switch de descarga de aire (UP) encendido de comprero (DOW).
19	Indicador liquido-humedad.
20	Filtros deshidratadores.
21	Visor de compresor.
22	Llave de bola paso de gas refrigerante.
23	Ventila de Chiller.
24	Visor de nivel y purga de aceite del compresor.
25	Ventilador de compresor.

Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Componentes internos de regeneradora

A continuación, en la figura 16 se muestran los componentes internos de una regeneradora.

Figura 18. Componentes internos de regeneradora



Fuente: Fogel de Centroamérica.

Tabla XVI. Componentes internos de regeneradora

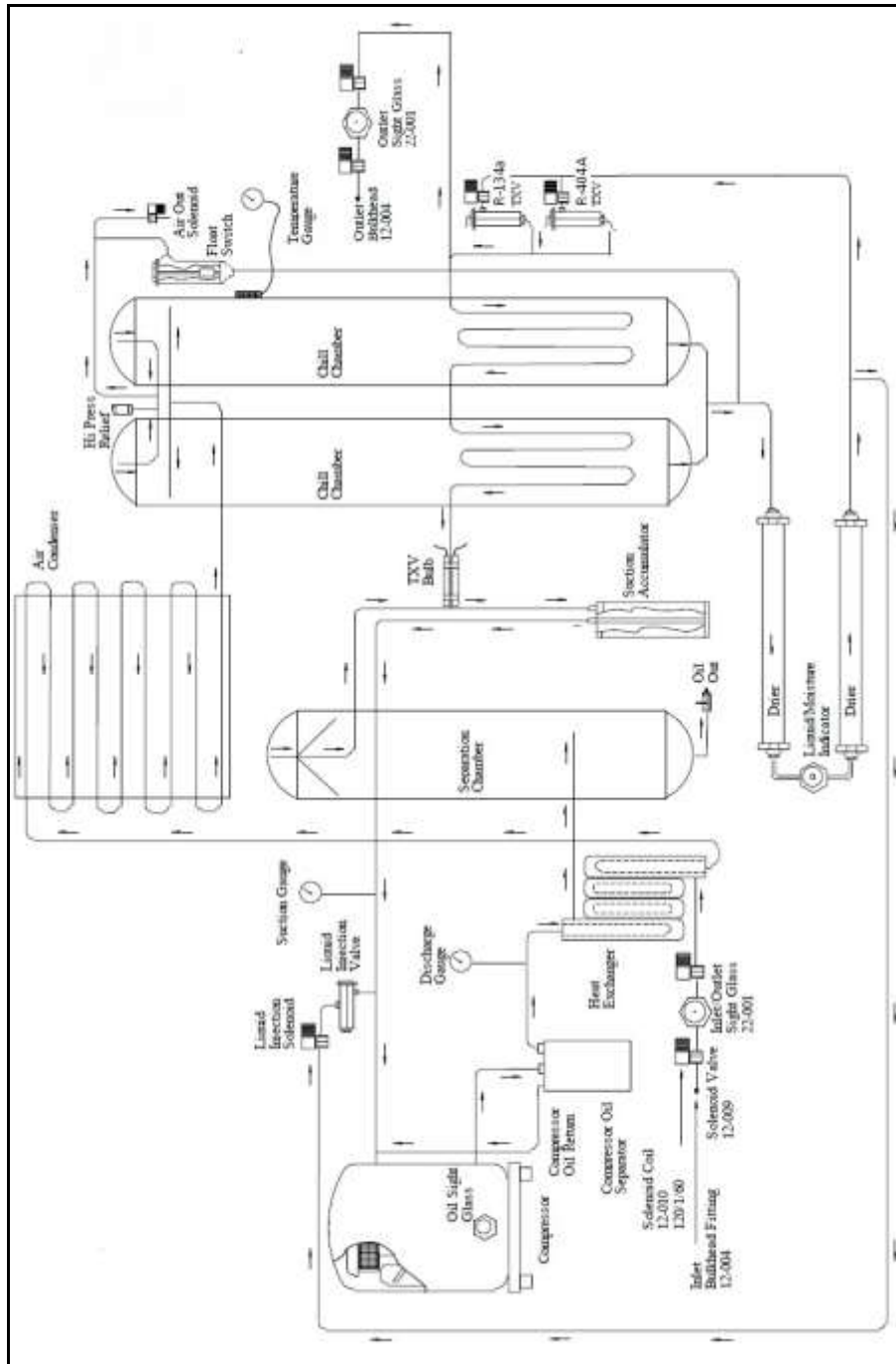
Orden	NOMBRE
A	Contactor
B	Relay Compresor
C	Capacitor de marcha de compresor
D	Capacitor de arranque de compresor
E	Tanque de almacenamiento 1
F	Válvula para descarga de aceite
G	Relay de inyección
H	Control de baja presión
I	Control de ventilación
J	Control de alta presión
K	Separador
L	Tanque de almacenamiento 2
M	Intercambiador de calor
N	Compresor

Fuente: elaboración propia.

2.3.5. Dirección de flujo en unidad de regeneración

En la figura 17 se representa el diagrama de dirección de flujo de un regenerador.

Figura 19. Diagrama de dirección de flujo

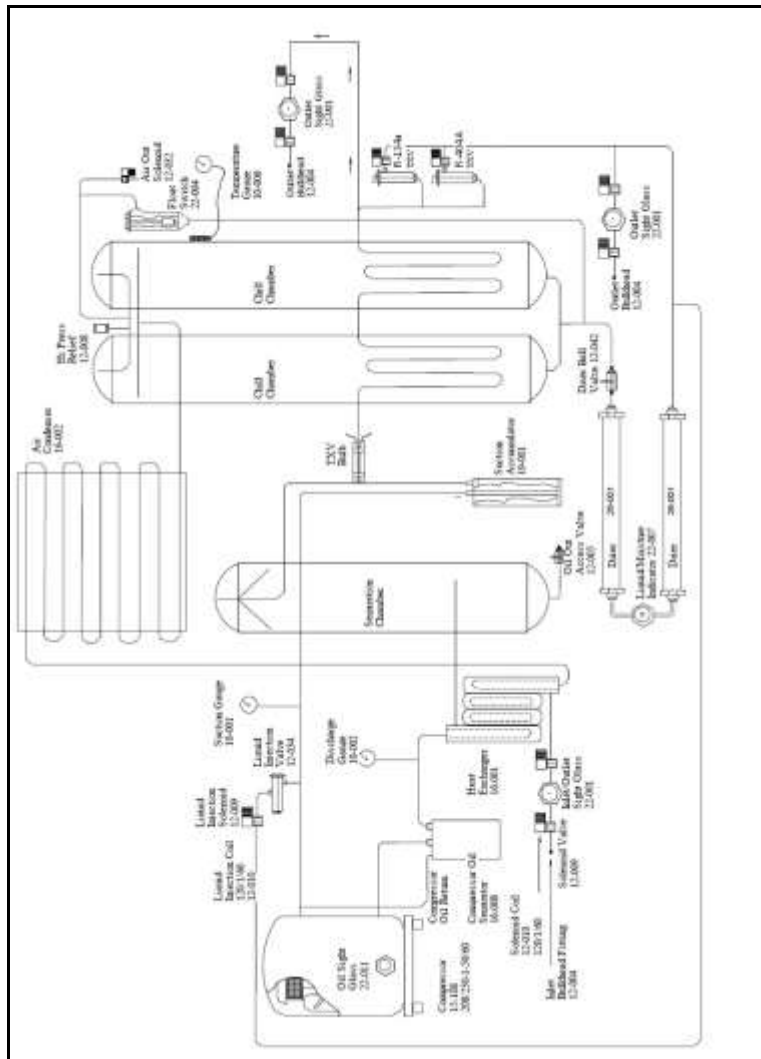


Fuente: Manual de referencia rápida equipo Van Steenburgh JV-90-2. p. 15.

2.3.6. Distribución de componentes primarios y secundarios de unidad regeneradora

A continuación en la figura 18 se representa el diagrama de componentes primarios y secundarios de un regenerador.

Figura 20. Diagrama de componentes



Fuente: Manual de referencia rápida equipo Van Steenburgh JV-90-2. p. 18.

2.4. Componentes primarios y secundarios unidad regeneradora

El equipo divide los componentes en elementos principales y secundarios.

2.4.1. Componentes principales

A continuación se describen los componentes principales de una unidad regeneradora.

2.4.1.1. Compresor (*compressor*)

Es el corazón del sistema, ya que mueve el flujo refrigerante, fundamentalmente se utiliza para elevar la presión de un gas pasando de presión baja a otra más alta; por medio de la utilización de un pistón dentro de un cilindro, a este tipo de compresor se le conoce como reciprocante. La máquina regeneradora tiene un compresor con capacidad de 2 HP. 220 v.

2.4.1.2. Condensador (*air condenser*)

La función del condensador es absorbe el calor que trae el vapor de refrigerante a alta presión y la transfiere al medio a través del flujo de aire forzado generado por el ventilador. Debido a esta entrega o pérdida de calor y a la elevada presión a que se lo somete, el gas se condensa y constituye una fuente de agente refrigerante en estado líquido en condiciones de ser entregado repetidamente en el interior de un equipo de refrigeración, para producir el efecto de enfriamiento buscado.

La condensación se lleva a cabo la condensación a partir de $\frac{3}{4}$ del área del mismo es decir en un 25 por ciento. Es aquí donde solamente hay líquido al

igual que en la línea de líquido. Si la temperatura media en la salida del condensador es un poco menor a la indicada por las tablas de presión-temperatura, existe un subenfriamiento del líquido, que puede ir de 4 a 7 grados C.

2.4.1.3. Intercambiador de calor (*heat exchanger*)

Equipo donde concluye la evaporación de la mezcla de refrigerante líquido-gas, absorbiendo calor del medio que está siendo enfriado. Todo el refrigerante debe pasar al estado vapor. Saliendo del evaporador, ya en forma de vapor, con una presión y temperatura baja, el refrigerante regresa a la succión del compresor para nuevamente ser comprimido y recalentado. El intercambiador utilizado en la regeneradora es de tubo dentro de tubo en contra corriente, utilizando resistencias eléctricas para alcanzar una evaporación instantánea del refrigerante y por el factor económico, debido a que tiene un menor costo de operación.

El sobrecalentamiento es la diferencia entre la temperatura media del evaporador respecto a la tabla de presión-temperatura de saturación puede encontrarse entre 4 a 7 °C.

2.4.1.4. Cámara de destilación (*separation chamber*)

La cámara de destilación o separador es un tanque el refrigerante sufre un cambio de fase desde líquido saturado a vapor ligeramente sobrecalentado, a través de un proceso de calentamiento instantáneo, aquí se lleva a cabo la destilación o separación de la mezcla refrigerante, lubricante y otros agentes

contaminantes, como partículas pesadas o con alto punto de evaporación que pueden estar presentes en el gas contaminado.

Este proceso se conoce como destilación individual o destilación *flash*, debido a la diferencia entre los puntos de ebullición del aceite que puede llegar hasta 200 °C y el refrigerante que puede estar a -26,1 °C siendo esta diferencia de temperaturas evaporación las que permiten realizar la separación de una forma eficiente. El proceso de calentamiento es determinante para que el equipo pueda evaporar el flujo del gas inyectado eficientemente, por lo cual el intercambiador de calor a contracorriente realiza la evaporación primaria y es complementado por una serie de resistencias eléctricas para alcanzar las temperaturas de operación requeridas.

2.4.1.5. Cámaras de enfriamiento (*chill chamber*)

Estas cámaras tienen como función almacenar el gas refrigerante que en forma líquida, proveniente del condensador, en esta etapa del proceso se retiran los gases no condensables, activando la válvula de liberación de aire, antes de enviarlo al tanque de almacenamiento de gas regenerado. El gas almacenado en estos tanque es enviado a los filtros deshidratadores y posteriormente al tanque de almacenamiento del gas regenerado.

2.4.1.6. Válvula de expansión (TXV)

Este elemento está localizado cerca del evaporador; la misión de este es de controlar la cantidad de refrigerante hacia el evaporado y separar la parte de alta presión con la de la baja presión permitiendo que el proceso opere en las presiones adecuadas. Esta válvula controla el flujo de refrigerante líquido a

través de un bulbo sensor, manteniendo condiciones de sobrecalentamiento del refrigerante a la entrada del evaporador.

2.4.2. Componentes secundarios

A continuación se describen los procedimientos de los componentes secundarios.

2.4.2.1. Válvula Solenoide (*solenoid valve*)

La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, tomando en consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula. Puede estar en posición completamente abierta o completamente cerrada.

2.4.2.2. Switch flotador (*float switch*)

La línea de líquido conduce a un recipiente de almacenaje o tambor, en el cual el nivel de refrigerante líquido está controlado por un interruptor de flotador que evita sobrellenar los cilindros con gas líquido y que, por el volumen específico, pueda llegar a ser un peligro.

La válvula de solenoide para líquido es accionada por el interruptor del flotador. Cuando el nivel del líquido baja a un nivel predeterminado, el interruptor abre la válvula. Al alcanzarse el nivel deseado, el interruptor cierra la válvula, al estar los tanques en máxima capacidad enciende una luz indicadora.

2.4.2.3. Acumulador de succión (*succión accumulator*)

Es un recipiente a presión. Los acumuladores de succión están diseñados para retener temporalmente la mezcla de aceite y refrigerante líquido y posteriormente enviarlo en forma de gas, evitando además, el golpe de líquido y una dilución excesiva del aceite del compresor.

2.4.2.4. Separador de aceite del compresor (*compressor oil separator*)

Su función principal es separar el aceite lubricante del gas refrigerante, y regresarlo al cárter del compresor antes que llegue a otros componentes del sistema. Evitando el arrastre de aceite dentro del sistema. El separador de aceite se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador. El aceite y el refrigerante en un sistema de refrigeración, forman lo que se conoce como mezcla, por ser una unión física de componentes, puede separarse por medios físicos, tal y como sucede mediante un separador de aceite.

Un separador de aceite depende de tres factores básicos para su operación:

- Reducción de la velocidad del gas refrigerante
- Cambio de dirección del flujo del gas
- Superficie de choque a la cual se va a adherir el aceite

2.4.2.5. Visor de líquido (Inlet/outlet Sight glass)

Es un dispositivo de metal con una mirilla de vidrio, que permite observar la condición del refrigerante en el ingreso y descarga. Posee un indicador de humedad, el cual está en color verde si el gas no posee humedad y rosa si hay humedad presente.

2.4.2.6. Indicador de líquido-humedad (*liquid / moisture indicator*)

Su primera función es indicar la presencia de humedad en el refrigerante, cuentan con un elemento indicador. Este elemento sensor de humedad, consiste generalmente de un papel filtro poroso, impregnado con una sal anhidra de cobalto. Esta sal es única, en que tiene la capacidad de cambiar de color en presencia o ausencia de pequeñas cantidades de humedad.

La temperatura es importante para determinar si el color del indicador líquido humedad es confiable, mientras más alto el valor de la temperatura del líquido, más alto es el contenido de humedad que se necesita para producir el cambio de color. Si un indicador está caliente arriba 35 °C, puede mostrar un color de seco, aunque el sistema contenga mucha más agua; quizá de dos a tres veces más de la indicada. Para una indicación precisa y confiable, el refrigerante de la línea de líquido debe estar cercano a los 25 °C.

2.4.2.7. Interruptor liberador de alta presión (*hi press relief*)

Esta válvula tiene la función de liberar los gases no condensables extraídos en el proceso de regeneración y liberar presión de los tanques de

almacenamiento; para retirar los gases no condensables del refrigerante regenerado, se debe tomar la lectura del termómetro ubicado en la parte izquierda del equipo, este instrumento proporciona el valor de la temperatura ambiente a la que se realiza la operación y, por ende, el valor de la temperatura del gas refrigerante. Posterior a este paso se debe tomar la lectura del manómetro (*heat press*), en bares o psi.

Si los valores de la tabla de saturación y el manómetro no coinciden, debe activarse el interruptor de (*Hi press relief*) o liberación de alta presión hasta que ambos valores coincidan. El equipo JV-90 presenta un mecanismo que, aunque se reduce el valor de la presión de saturación a un valor mínimo al del brindado por la tabla, el equipo lo compensará automáticamente hasta el valor que debe poseer el gas refrigerante según las condiciones ambientales donde se realice la operación.

2.4.2.8. Válvula de liberación de aceite (*oil out access valve*)

Tiene como función la descarga del sistema el aceite contaminante del refrigerante y las partículas sólidas como: carbón u otros sedimentos.

2.4.2.9. Manómetro de succión (*suction gauge*)

Indica la presión del compresor, se encuentra en la línea de alimentación de vapor sobrecalentado del evaporador hacia el compresor. Indica el valor del lado de baja presión.

2.4.2.10. Manómetro de descarga (*discharge gauge*)

En el caso del manómetro de descarga, proporciona la lectura de la presión de saturación del gas, la cual debe ser comparada con la tabla de presión-temperatura de saturación del gas y su posterior eliminación de gases no condensables y mantener el subenfriamiento de líquido para prevenir su evaporación y evitar que llegue gas a la válvula de expansión.

- Proveer suficiente caída de presión a través de la válvula de expansión.
- Que los sistemas con descongelamiento por gas caliente, derivación de gas caliente, y reclamos de calor, operen adecuadamente.

2.4.2.11. Termómetro (*temperatura gauge*)

Este componente permite medir la temperatura del refrigerante dentro de los tanques, se utiliza para relacionar la temperatura con la presión de saturación del gas a través de las tablas de presión-temperatura de saturación.

2.4.2.12. Resistencias eléctricas internas (*electrical resistance*)

Tiene como función transferir calor adicional al refrigerante para alcanzar la evaporación del gas con mayor eficiencia, produciendo calor adicional a menor costo de operación e implementación en el diseño del equipo.

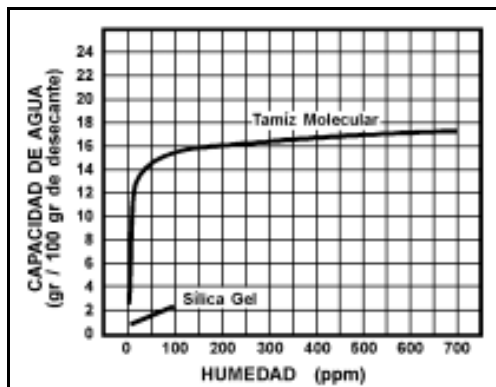
2.4.2.13. Filtros deshidratadores (*drier*)

Un filtro deshidratador por definición, es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para removerla humedad y otros

contaminantes de un sistema de refrigeración. En este caso, el agente desecante es tamiz molecular el cual tiene forma esférica y una excelente remoción de las moléculas de agua, en el caso de las ceras y ácidos arrastrados en el refrigerante líquido este tamiz tiene un nivel de retención aceptable.

El contenido de agua presente en un refrigerante que se conoce como sequedad en el punto de equilibrio (EPD) y al agua retenida por el desecante se le conoce como capacidad de agua. Las unidades en que se miden estos dos valores son partes por millón para el EPD y por ciento en peso para la capacidad de agua (o bien, gramos de agua por 100 gramos de desecante).

Figura 21. **Curvas de equilibrio de humedad para R-134a para tamiz molecular y sílica gel a 52 °C**



Fuente: Emerson Climate Technologies. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 8.

Estos filtros finalizan el proceso de regeneración del gas refrigerante, siendo la última etapa por donde pasa el refrigerante antes de llegar a los tanques de almacenamiento de gas regenerado.

2.4.2.14. Llave de bola de filtros (*drier ball valve*)

Este accesorio permite bloquear el paso de refrigerante de la línea de líquido hacia los filtros deshidratadores. Su uso principal es bloquear el paso del refrigerante al momento de cambiar los filtros deshidratadores.

2.4.2.15. Resistencias eléctricas

El equipo de regeneración Van Steenburgh JV-90 utiliza resistencias eléctricas para generar calor de evaporación adicional, que junto al calor de compresión, fricción de tuberías e intercambiadores de calor, producen la evaporación del gas refrigerante. Este calor adicional es útil debido a que el proceso de regeneración en una etapa debe evaporar la masa de gas refrigerante que es inyectada al equipo, previo a su paso a la cámara de separación, cuyo caudal es controlado por solenoides que regulan al mismo.

Las resistencias eléctricas están distribuidas en puntos clave para suministrar el calor adicional permitiendo al equipo de regeneración realizar el proceso en un tiempo menor y de una forma más eficiente por medio del aprovechamiento de la energía.

2.5. Condiciones de operación

Las condiciones de operación del equipo de regeneración Van Steenburgh JV-90 pueden variar de acuerdo a las condiciones ambientales que pueden afectar directamente a la operación. La presión atmosférica, la temperatura, tamaño de cilindros y dimensiones de accesorios pueden ser determinantes en la velocidad de la operación de regeneración.

2.5.1. Tiempo de operación

El tiempo de carga de gas recuperado y descarga de gas regenerado pueden variar de 1 a 1,5 horas. Esto en fase líquida, en fase gaseosa los tiempos pueden aumentar significativamente el proceso de regeneración. Los factores determinantes en la velocidad de regeneración son: presión, temperatura, tamaño de cilindros, largo de mangueras para operación, volumen de gas a regenerar. Este factor puede alterarse también, por las condiciones climáticas del área donde se opere, aumentando significativamente los tiempos de operación tanto en la carga como en descarga.

Si estos factores no se controlan se producen cambios significativos en el tiempo de operación y rentabilidad. Por lo cual se debe buscar las condiciones idóneas, de acuerdo a la región donde se realice la operación.

2.5.2. Regeneración en fase vapor

Para determinar la fase óptima para regenerar el gas refrigerante, debe ser fundamental en diversos factores. Para temperaturas muy bajas o volúmenes muy pequeños de gas se puede regenerar en fase de vapor, pero realizar la operación de regeneración bajo esta condición sería improductivo. Se pensaría que esta sería la fase ideal para realizar la regeneración, debido a que si el refrigerante ingresa en vapor, podría facilitarse el llevar dicho gas a una fase de vapor sobrecalentado, contribuyendo a que la unidad regeneradora optimice el proceso de evaporación del refrigerante.

Regenerar en fase de vapor facilita la extracción de gases no condensables del contenedor de gas recuperado, pero presenta más desventajas que ventajas no extrayendo partículas más pesadas como

carbón, ceras o aceite, además del incremento el tiempo de operación significativamente. No se debe trabajar la regeneración en fase de vapor, debido a que dentro del cilindro se centra gran parte del refrigerante en fase líquida, pero sí se debe finalizar la operación de extracción de gas refrigerante en fase de vapor, para asegurar retirar todo el volumen de gas, asegurando así un correcto procedimiento de regeneración y evitando la pérdida de materia prima que podría hacer variar las masas de gas regenerado M_{gR}

2.5.3. Regeneración en fase líquida

El proceso de regeneración es más eficiente al realizarse en fase líquida, debido a que en condiciones normales el refrigerante se encuentra contenido en una mayor proporción en fase líquida; la fase de vapor de menor cantidad produce un empuje extra para que el equipo pueda extraer el refrigerante líquido, razón por la cual el tiempo de operación se reduce considerablemente. Para regenerar 90 libras se puede emplear un tiempo de 1 hora, sin contar con el tiempo de conexiones y purgas. Este tiempo se refiere exclusivamente al tiempo que toma la operación de regeneración. El tiempo puede variar dependiendo de las condiciones de presión y temperaturas del lugar donde se realice la operación.

Aunque se realice la operación de regeneración en fase líquida, se debe considerar también, el tamaño del cilindro de alimentación y el de disposición final (almacenaje de gas regenerado) pues estos recipientes influyen directamente en la operación. Para cilindros pequeños, extraer el gas en fase líquida es beneficioso, en lo que a tiempo de operación se refiere, pero poca eficiencia del proceso. Regenerar cilindros que superen las 100 libras puede ser beneficioso en velocidad y eficiencia, considerando que la máquina

regeneradora puede almacenar 90 libras máximo contando 7 libras de gas de servicio.

Extraer el gas en fase líquida presenta beneficios no solo en velocidad de proceso y eficiencia, también la extracción de aceites, ácidos y partículas pesadas, finalizando el proceso con una extracción de gas en fase de vapor para optimizar la extracción de gas refrigerante y gases no condensables, razón por la cual la extracción se debe finalizar siempre en fase de vapor.

2.5.4. Reducción del tiempo de carga de gas recuperado y descarga de gas regenerado

El tiempo de descarga de gas refrigerante regenerado hacia el cilindro que lo almacenará, está determinado por dos factores importantes: las condiciones ambientales y tamaño del cilindro de almacenaje. Se debe mantener una relación donde se sostenga la velocidad de descarga y la eficiencia del proceso.

Para mejorar la carga de gas recuperado y descarga de gas regenerado se deben considerar los siguientes aspectos.

- Para descargar o cargar gas refrigerante, realícese en fase líquida, finalizando con la extracción en fase gaseosa.
- El tamaño del cilindro en la carga de gas recuperado contribuye a reducir, considerablemente el tiempo de regeneración, si el cilindro está como mínimo en 100 libras o más de capacidad. A mayor capacidad de almacenaje menos tiempo de descarga.

- La descarga de gas regenerado puede afectarse, considerablemente, dependiendo del tamaño del cilindro, en esta parte de la operación a mayor capacidad de almacenaje del cilindro aumentará el tiempo de descarga desde la regeneradora hacia el mismo.

Para reducir el tiempo de descarga hacia cilindros de almacenaje de gas refrigerante regenerado, es necesario reducir la temperatura y presión de los mismo, esto se puede lograr con la colocación de un recipiente con hielo en donde se sumergirá el cilindro o la elaboración de un sistema básico de refrigeración tipo chaqueta, que se puede colocar alrededor de los cilindros. Esto facilitará notablemente la descarga de gas regenerado, aumentando la rentabilidad del proceso, pero incrementará el costo de operación debido al consumo de energía.

2.6. Mantenimiento y cuidados del equipo regenerador

Para el cuidado del sistema de regeneración es de suma importancia la manipulación del equipo por personal capacitado para evitar daños en componentes o en la unidad en general, esto permitirá alargar el tiempo de vida de la máquina y un producto dentro de parámetros, mediante una correcta utilización. Antes de iniciar la operación de regeneración, se debe dejar encendida durante 5 a 10 minutos con los interruptores de ON del compresor y de enfriamiento accionados, esto permitirá que el compresor caliente, alcanzando la temperatura que hará eficiente el proceso.

Se debe verificar que la regeneradora cuente con la carga de mantenimiento que va en un intervalo de 7 a 9 libras, esta carga evitará que la máquina funcione, en un principio, sin lubricar los componentes y evitando que el refrigerante pueda migrar al compresor, la unidad arrancará y bombeará

hasta que el control de baja presión apague el sistema se mantendrá el aceite del compresor a una temperatura constante, esto expulsará cualquier refrigerante fuera del aceite del compresor.

Utilizar mangueras con el mayor diámetro y la menor longitud posible, esto evitará que existan pérdidas o caídas de presión reduciendo la eficiencia de operación. Recomendando un diámetro de 3/8" y un largo no mayor de 4 metros.

Para asegurar el funcionamiento correcto y la durabilidad del equipo se recomienda ubicarla en un lugar con ventilación para no permitir el sobrealimento de componentes, evitar el contacto con agua o polvo excesivo, limpiándola periódicamente por personal capacitado.

2.6.1. Componentes y herramientas

A continuación se describen los componentes y herramientas del equipo regenerador.

2.6.1.1. Verificación y preparación de componentes

Verificar que los filtros sean los autorizados por el fabricante según: (Código del fabricante 26-001) 24" Van Steenburgh DRIER/FILTER. Observe que el filtro esté adecuadamente sellado y posea la identificación de fábrica, dicha etiqueta posee información de la pieza, dirección del flujo (FLOW) para la colocación del filtro; estos filtros pueden colocarse en cualquiera de las direcciones de flujo necesarias para el proceso. Peso por unidad 285 gramos por dos filtros se tiene 570 gramos de sílica gel.

Figura 22. **Filtro deshidratador y etiqueta de identificación**



Fuente: Fogel de Centroamérica.

2.6.1.2. Selección de mangueras para succión

En el caso de requerir una manguera larga, cuando no sea posible tener el regenerador de gas cerca de la fuente de refrigerante, en estos casos es importante recordar lo siguiente:

- Usar el mayor diámetro posible para la mangueras de refrigerante al menos 3/8 (0,925 cm) y el menor largo posible. La pérdida de presión en la línea empezara a tener efecto notable después de los 25 pies o 7,62 metros. Mermando la capacidad de bombeo hasta 25 por ciento al exceder los 50 pie o 15,2 m. de largo.

2.6.2. Cambio de filtros deshidratadores

El fabricante recomienda cambio de filtros deshidratadores cada 3,5 horas de funcionamiento, esto dependerá del nivel de contaminación del gas refrigerante. Es importante observar después de cada *bach*, el indicador de humedad que se encuentra en la parte superior de los filtros. Se recomienda el cambio de filtros deshidratadores cuando el indicador esté en *Caution* (precaución). Por pruebas realizadas y de acuerdo a parámetros de contaminación hasta de 24 ppm. Cuando el gas refrigerante es recuperado de

sistemas que han funcionado por menos de 6 meses se puede utilizar el mismo filtro por 20 horas de operación sin requerir cambio. Esto cumpliendo y verificando la observación de los visores de humedad y de *Inlet* y *outlet*. En la regeneración de equipos de refrigeración comercial de reciente fabricación e determina que el indicador de líquido-humedad, indica *Caution* hasta las 30 horas de operación de uso continuo sin alterar los parámetros de calidad de la Norma ARI-700-11. Este valor de penderá de los valores de humedad que posea el gas.

Figura 23. **Indicador líquido-humedad**



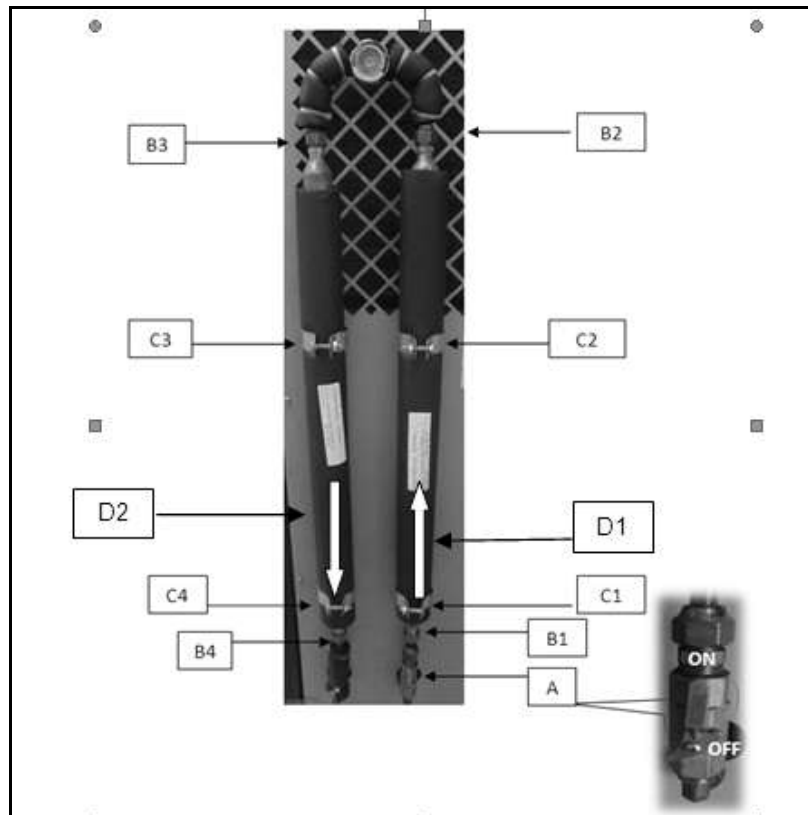
Fuente: Fogel de Centroamérica.

2.6.2.1. Herramienta para cambio de filtros deshidratadores

Para el cambio de los filtros se requieren 3 herramientas.

- Llave cola corona de 1/2".
- Llave cola corona de 5/8"
- Una Llave cola corona de 13/16"

Figura 24. Filtros deshidratadores y componentes



Fuente: Fogel de Centroamérica.

2.6.2.2. Procedimiento para cambio de filtros deshidratadores

Para cumplir con los siguientes pasos usar de base la figura 13, p. 76.

- Conecte mangueras y manómetros a la válvula de descarga de gas refrigerante, dejando funcionar la unidad por 5 minutos.
- Con el equipo funcionando y con refrigerante en su interior, accione el switch de descarga de refrigerante (7), (indicaciones en el procedimiento de descarga de gas refrigerante regenerado).
- Cierre la válvula de bola en el fondo del filtro (A), permitir que la unidad bombee hasta que detenga su funcionamiento.
- Apague los componentes que están funcionando, accionando (OFF) el switch de compresor (4) chiller (9) y descarga de gas refrigerante (7). El manómetro de succión de presión (2) debe indicar 0 psi.
- En caso de que el manómetro de succión (2) no indique 0 psi, accione el switch de descarga de aire (18), hasta alcanzar 0 psi.

Para cumplir con los siguientes pasos usar de base la figura 25,

- Con una llave cola corona de 3/8" y 13/16" retire las tuercas (B1, B2, figura 22 como se muestra a continuación, para retirar el filtro 1.

Figura 25. **Utilización de herramienta para cambio de filtros**



Fuente: Fogel de Centroamérica.

- Con la llave cola corona de ½" proceda a retirar las abrazaderas (C1, C2, que sostienen el filtro y retírelo.

Figura 26. **Ilustración cambio de filtros**



Fuente: Fogel de Centroamérica.

- Sustituya y coloque el nuevo filtro, retire los tapones de los extremos, verifique la dirección del flujo. El filtro uno tiene la dirección de flujo (flecha en etiqueta) hacia arriba. Coloque nuevamente las tuercas (B1, B2 figura 22) retiradas en el paso 6 y las tuercas (C1, C2 figura 22).

- Para sustituir el filtro 2, con una llave cola corona de 3/8" y 13/16" retire las tuercas (B3, B4, figura 10).
- Con la llave cola corona de 1/2" proceda a retirar las abrazaderas (C3, C4, ver figura 10) que sostienen el filtro y retírelo.
- Sustituya y coloque el nuevo filtro, retire los tapones de los extremos, verifique la dirección del flujo. El filtro dos tiene la dirección de flujo (flecha en etiqueta D1, D2) hacia abajo. Coloque nuevamente las tuercas (B3, B4 figura 10) retiradas en el paso 6 y las tuercas (C3, C4 figura 10).
- Abrir la válvula de bola (A figura X) en la parte inferior y comprobar la correcta colocación de tuercas, revisando fugas.
- Encienda el compresor nuevamente y deje funcionar el equipo durante 5 minutos, antes de volver a realizar la operación de regeneración.

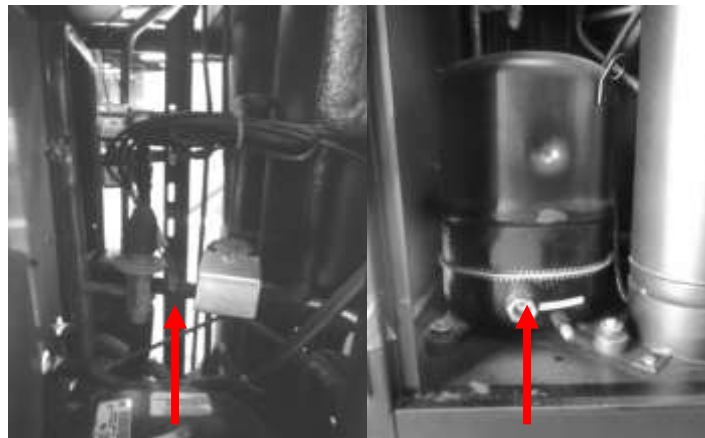
2.6.2.3. Adición de aceite a compresor

Para el cambio o nivelado de aceite se recomienda utilizar: aceite POE Mobil Artic EAL-22. No exceder el nivel medio del visor de aceite.

- Localice el conector de la válvula de la línea de succión del compresor y retire la tapadera.
- Instale los componentes: manguera con acople, al conector de la válvula y en el otro extremo la manguera está con acceso libre.

- Introduzca el extremo de succión de aceite al recipiente de aceite protegiendo la boquilla para evitar un ingreso de humedad hacia el aceite.
- Accione el interruptor del compresor y actívelo momentáneamente hasta que el manómetro de succión indique un pequeño vacío.
- Esto succionará el aceite a través de la manguera para cargar el sistema con aceite.
- Verifique el nivel del aceite observando en el visor del compresor. (24) descripción de partes de regeneradora.

Figura 27. **Visor de aceite y válvula de carga**



Fuente Fogel de Centroamérica.

2.6.2.4. Equipo de seguridad

Debido a que el equipo es herético no requiere implementos de seguridad adicionales a los básicos requeridos para cambio de componentes o realizar el mantenimiento preventivo, debe ser realizado por personal capacitado y/o autorizado: guantes de látex, lentes protectores.

Figura 28. **Equipo de seguridad básica**



Fuente: Implementos de seguridad industrial.

2.6.3. Operación en ambientes fríos

El reclamador no es diferente de ningún otro tipo de aparato que dependa de un compresor.

- Es recomendable que reclamador realice una operación de precalentamiento del compresor antes de iniciar las operaciones de reclamo. Permitiendo así, alcanzar la temperatura óptima de operación. (5 a 10 min)

- Los ambientes fríos pueden aumentar significativamente tiempos de reclamado del gas. Se recomienda en dicho caso, conectar al lado del líquido y realizar el proceso de reclamado de gas refrigerante.

2.7. Potencial de calentamiento atmosférico (PCA) del R-134a

El gas R-134a, por ser un refrigerante que pertenece a los HFC, ya no agota la capa de ozono. Este gas se utiliza como parámetro de Calentamiento atmosférico debido a que es el gas con mayor presencia en la atmósfera y junto al vapor de agua, producen el efecto invernadero natural. Regulando la temperatura media del planeta y evitando un enfriamiento extremo del mismo.

Las plantas, por medio de la utilización de la fotosíntesis producen oxígeno y absorben CO_2 . Se conoce como fijación de CO_2 . Este proceso es parte del ciclo normal de efecto invernadero, sumando a esto la producción de CO_2 por la respiración humana, animal, junto a los océanos y mares que son las mayores fuentes de neutralización natural del dióxido de carbono, proporcionando un equilibrio natural del efecto invernadero.

El CO_2 producido de una forma natural es absorbido por las plantas como alimento y otra gran parte es absorbida por el agua de mar. Pero al agregar CO_2 antropogénico, que es el producido por actividades humanas; el equilibrio natural se rompe. Este gas, en cambio, posee un alto valor de efecto invernadero o potencial de calentamiento atmosférico. (PCA).

En inglés *GWP Global Warming Potencial*, según la literatura, este valor se encuentra definido en un intervalo de 1 300 u. de CO_2 por cada unidad de R-134a liberado al ambiente. Refiriéndose a una sustancia propia, es decir solo el valor PCA del refrigerante R-134a como sustancia. Para la realización de este

estudio, se utilizará como base 1 300 u. ¹⁶. Para calcular el efecto total producido por un sistema de refrigeración se utiliza el índice **TEWI** : (*Total Equivalent Warning Impact*) o Impacto total equivalente producido por todo el sistema de refrigeración. Es determinante conocer (1- **Rec_{Refrig}**) y el valor **GWP_{Refrig}** para calcular el beneficio ambiental del proceso de regeneracion.

Figura 29. **Impacto total equivalente. TEWI de un sistema frigorífico**

TEWI = Efecto Directo + Efecto Indirecto

$$TEWI = GWP \left[Per_{Refrig} V_u + M_{Refrig} (1 - Rec_{Refrig}) \right] + \alpha E V_u$$

- Directo (fugas de refrigerante)
- Indirecto (la energía consumida)

GWP_{Refrig}: valor del GWP asignado al refrigerante
Per_{Refrig}: pérdidas anuales medias de refrigerante por fugas del sistema en kg/año
V_u: vida útil de la instalación en años
M_{Refrig}: kg de refrigerante liberados a la atmósfera durante el funcionamiento de la instalación en toda su vida
Rec_{Refrig}: es el factor de recuperación del refrigerante al final de la vida útil, es decir, la fracción de m que se puede recuperar
α: factor de conversión para determinar el CO₂ por kWh eléctrico en función de las fuentes energéticas primarias
E_{Anuual}: kWh consumidos al año por la instalación

Fuente: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/frio-industrial-y-aire-acondicionado/material-de-clase-2/006%20Refrig%20y%20Salm.pdf>. Consulta: 30 de marzo de 2014.

Cálcular el gas regenerado que se liberaría al ambiente y el factor de recuperación al final de la vida útil de un equipo, permite el calculo de TEIW. Toda masa debe estar en Kg.

$$(1 - Rec_{Refrig}) \quad (17)$$

$$Rec_{Refrig} = M_o - M_{gR} \quad (18)$$

¹⁶ ESCUDERO Cristina; FERNÁNDEZ Pablo. *Máquinas y equipos térmicos*. p. 89

Donde:

M_0 = masa inicial de gas R-134a inyectado

M_{gR} = masa de gas R-134a regenerado

3. DELIMITACIÓN DEL CAMPO DE ESTUDIO

3.1. Recursos

A continuación se describen los recursos, tanto humano como natural utilizado en el presente estudio.

3.1.1. Humanos

- Investigador: responsable de la realización, implementación y desarrollo del trabajo. Estudiante Carlos Alberto Gamero Tejeda.
- Asesor: profesional que apoyará con la validación y aprobación del desarrollo del trabajo. Ing. Daniel Dominguez
- Facilitador: brinda las directrices para el correcto desarrollo del trabajo. Inga. Lisely de León.
- Personal en planta: esta operación será realizada por personal operativo.
 - Área de Refrigeración: se define como el área responsable de realizar la carga del refrigerante, la cual es consultada en la tabla de refrigeración que indica la carga de gas según la necesidad de enfriamiento, determinado por la capacidad del sistema. El número de operarios en esta área: son dos quienes ejecutan las pruebas.

- Área de Prueba de Equipos: responsable de la prueba y validación del funcionamiento de los equipos donde se emite el certificado de calidad que valida el correcto funcionamiento de los equipos. Así mismo hace la detección de los defectos en los equipos de refrigeración a los cuales hay que hacer cambio de componentes. El número de operarios que realizarán las pruebas son dos.

- Área de Reparación: es la encargada del diagnóstico y reparación de los equipos, también se realizar el cambio de componentes posterior al diagnóstico. Esta área será sujeta al monitoreo y estudio de la implementación del proyecto, debido a que, aquí se ubicará la implementación del mismo, que comprende de la recuperación del gas refrigerante utilizando el método Push-pull y operando la máquina Yellow-jacket, previo a realizar la operación de cambio de componentes.
El número que realizarán las pruebas son dos.

- Área de Regeneración: es la encargada de realizar el proceso de regeneración de gas refrigerante R-134a, a través de la utilización de la máquina de regeneración de gas refrigerante Refrigerant Reclaim System. Pesarán el gas recibido y obtenido después del proceso, así como la correcta identificación del gas reciclado mediante el color del cilindro.

Asimismo, se llevará un registro que permita darle trazabilidad al proceso de reciclaje de gas, donde la cantidad de gas refrigerante regenerado o reciclado será llevado nuevamente al Área de Refrigeración o reparación según se requiera. Luego los equipos

cargados con dicho gas serán pasados nuevamente al área de prueba. Un operario realizará las pruebas en esta área.

- Área de Control y Análisis de gas regenerado: es la encargada de la verificación y comprobación de la calidad gas refrigerante R-134a regenerando. Utilizando un equipo de análisis de gas refrigerante, aplicando el método de Karl Fisher; Permite obtener los parámetros de pureza del gas refrigerante los cuales están regidos por la Norma ARI-740-93. Un técnico operario es el encargado.

3.1.2. Materiales

- Válvula pinchadora o *pinch*: válvula que se conecta a la tubería de servicio de gas refrigerante por medio de un arpón que pincha la misma, esta permite conectar la manguera que drena el gas refrigerante hacia la unidad recoverXLT Yellow-jacket.
- Mangueras: transportan el flujo de gas refrigerante, conectada al manómetro en el puerto de alta presión. Esta produce la succión del gas refrigerante desde el equipo al que se le recuperará el gas hacia el manómetro y posteriormente hacia la unidad.
- Cronómetros: este dispositivo de medición permitirá recolecciones de datos.
- Máquina recuperadora de gas: marca Yellow-jacket modelo recoberXLT. Este dispositivo permite la recuperación de gases refrigerantes para la

aplicación del trabajo de campo, se procederá con el gas R-134a (incluye balanza).

- Máquina regeneradora de gas: marca Van Steenburgh serie JV-90.
- Software de prueba de equipos: este software permite revisar el funcionamiento de un equipo de refrigeración durante un tiempo determinado comparando temperatura (°C) *versus* tiempo (s) y corriente (amperios) *versus* tiempo.
- NIST Referencia Fluid, propiedades termodinámicas y de transporte de base de datos REFPROP 9.1, programa de datos de referencia estándar, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología 100 oficina, *Stop* 2300 *Gaithersburg*, MD 20899.
- Termometro AB: para lectura de termo pares.
- Cilindros
 - Cilindro de almacenaje de gas recuperado: donde se deposita todo el gas R-134a recuperado de los equipos con defecto.
 - Cilindro de almacenaje de gas regenerado: donde se deposita el gas R-134a regenerado.

3.2. Técnicas cualitativas y cuantitativas

A continuación se describen las dos técnicas que se utilizarán en el presente trabajo de graduación.

3.2.1. Técnica cualitativa

La fase experimental se llevar a cabo mediante el diagnóstico que se realiza en el Área de Prueba, donde los equipos con gas virgen ingresan para ser probados; es aquí donde se verifica a través de la prueba de funcionamiento que un equipo tiene problemas con alguno de los componentes primarios: evaporador, condensador, compresor, succión. En esta prueba no se realiza el diagnóstico de cuál es el problema o componente que lo origina. El software de prueba de equipos detecta que el funcionamiento no es correcto y lanza una alarma, rechazando el equipo que luego será bajado al área de reparaciones.

3.2.2. Técnica cuantitativa

Detectado el equipo, cuyo funcionamiento no es adecuado para su aprobación, debido a la detección de un posible defecto, se bajará al Área de Reparación donde se hará el diagnóstico del tipo de problema o componente que originará la faya y la reparación que requiere. Se procederá a consultar la tabla de refrigeración para verificar la carga de gas inyectado inicialmente (M_0) en onzas, cargado en el Área de Refrigeración.

Se procederá a realizar el proceso de recuperación de gas refrigerante (ver procedimiento). Del proceso de recuperación se obtendrá la masa de gas recuperado (M_{gr}), esta masa será almacenada en el cilindro de gas recuperado.

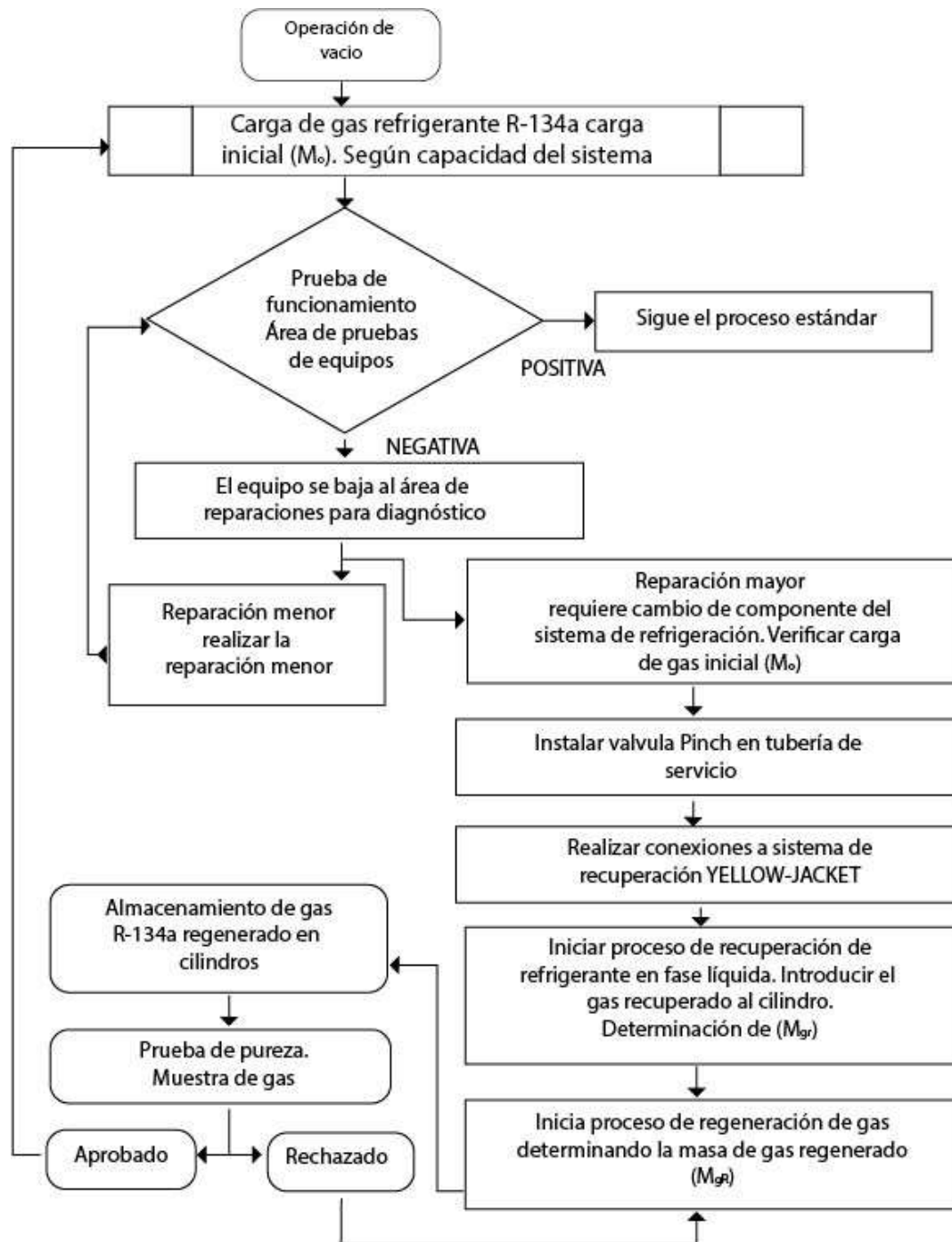
Al llegar al límite de 20 kilogramos, el cual no debe sobrepasarse por seguridad, debido a la presión que el gas genera. Se procederá a realizar el proceso de regeneración de gas refrigerante recuperado para optimizar el proceso, obteniendo la masa de gas regenerado o reciclaje (M_{gR}). Donde ambas masas son iguales $M_{gr} = M_{gR}$. Por lo tanto, la masa de gas regenerado dependerá de la eficiencia con que se recupere el gas refrigerante.

Realizado este proceso se obtendrán los resultados de las variables propuestas y se concluirá según el cumplimiento de los objetivos.

3.3. Recolección y ordenamiento de la información

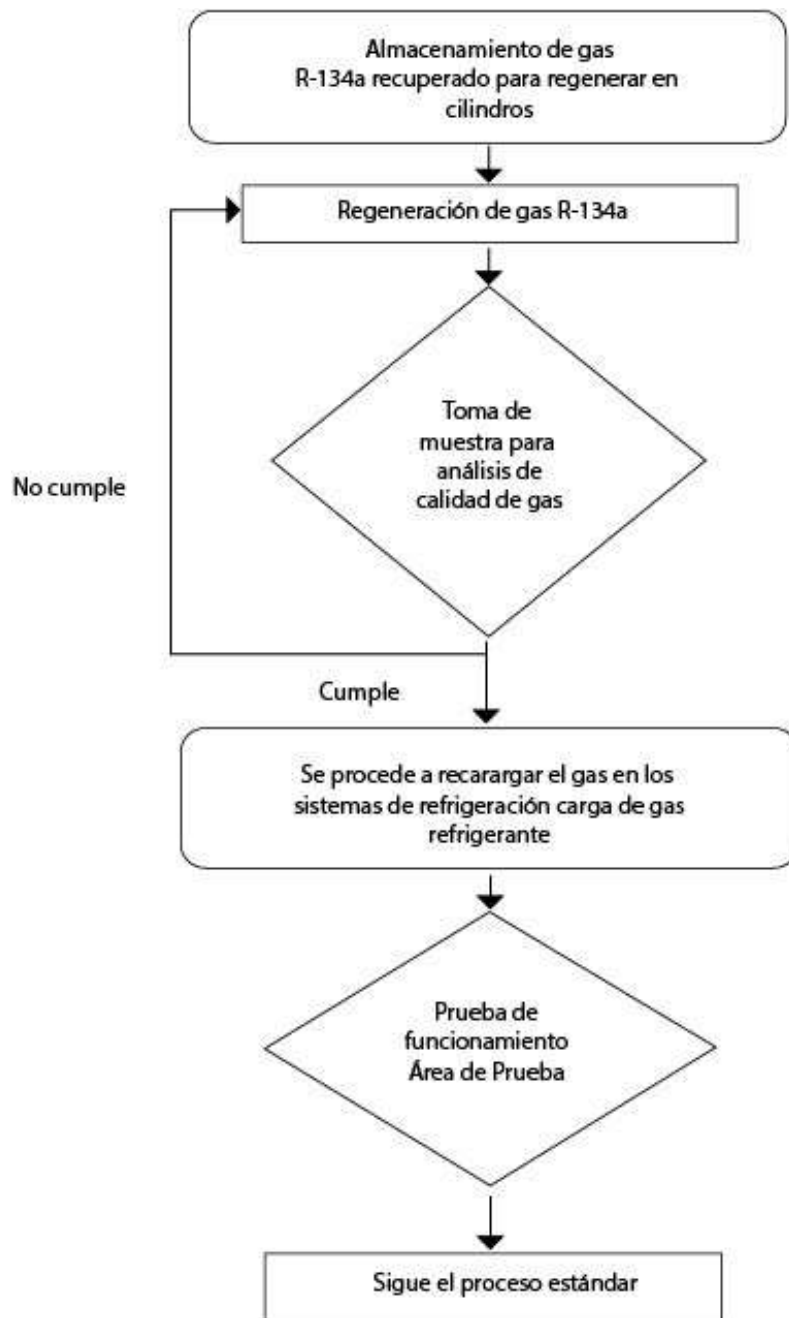
En la figura se muestra el ordenamiento del proceso de la información.

Figura 30. Ordenamiento del proceso



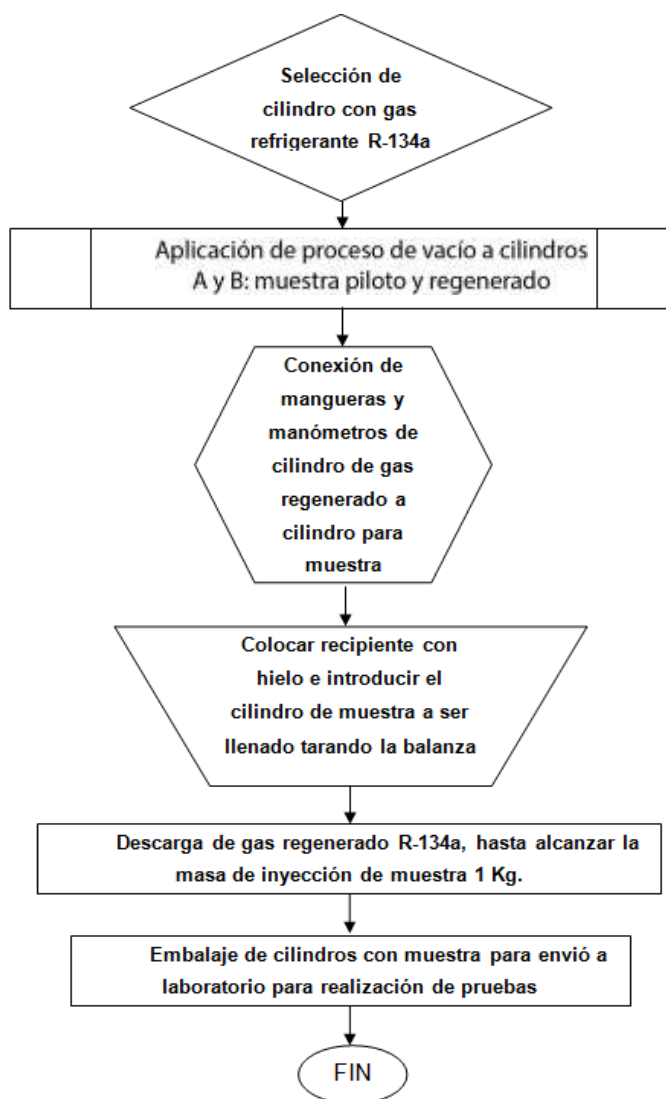
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Recolección de muestra de gas refrigerante regenerado parámetros Norma ARI-700-2011**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Recolección de muestra para análisis de laboratorio**



Fuente: elaboración propia.

3.4. **Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A continuación se describe el proceso de tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información del equipo regenerador .

3.4.1. Certificado de calidad de análisis de gas refrigerante sin regenerar

En la figura 28 se observa el certificado que respalda el análisis químico de la muestra de gas refrigerante R-134a, resultados de muestra de gas sin regenerar.

Figura 33. Certificación de calidad de gas refrigerante sin regeneración





AAHL
ACCREDITED
CHEMICAL
0847-01
THERMAL
0847-02

American Association for Laboratory Accreditation
Accredited to ISO/IEC Guide 17025 for Thermal and Chemical Testing

FOGEL DE CENTROAMERICA
Attn: CARLOS VITOLA, LUIS MIRON
3A AV 8-92; ZONA 3 DE MIXCO
LOTIFICACION EL ROSARIO: GUATEMALA

Intertek Report No:	051281183	Revised Report No:	N/A
Report Date:	5/7/2012	Revision Date:	N/A
Customer Reference No:		Cylinder No:	1
Date Received:	5/7/2012	Condition as Received:	Proper
Purchase Order No:		Date of Analysis:	5/7/2012
Test Desired:	*Modified AHRI 700-2011		
Product Tested:	R-134a (Tetrafluoroethane)		

Certificate of Analysis

	<u>Requirement</u>	<u>Result</u>
Acidity (ppm by weight as HCL)	1.0	<0.1
Chloride (pass/fail)	pass	Pass
High Boiling Residue (% by volume)	.01	0.02
Non-condensables (% by volume)	1.5	0.88
Other Refrigerants (% by weight)	.5	<0.05*
Particulates / Solids (pass/fail)	pass	Pass
Water (ppm by weight)	10	24

Comments/Revision History:
 *Total unsaturates = 105ppm.

*Non-condensable gas (NCG) has been analyzed from the head space of a single 80% to 80% full cylinder. This is an acceptable deviation to Refrigerant Sampling Procedure Sec. 6.2.3 of ARI 700-06 per Appendix D-08 Section 9.3.3 Note #1, and has been validated to give equivalent results.
 **Measurement Uncertainty - Since this test was conducted in compliance with a standard that sets limits on the source of uncertainty and specifies the form of reported results, no measurement uncertainty evaluation has been included in this report.

Analysis By: 

Tyler Eaton, Lab Technician III

Approved By: 

Marissa Parker, Technician Team Lead

This report is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this report. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this report and then only in its entirety. Any use of the Intertek name or one of its marks for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. The observations and test results in this report are relevant only to the sample tested. This report by itself does not imply that the material, product, or service is or has ever been under an Intertek certification program.

Intertek
 1717 Arlinggate Lane, Columbus, OH 43228
 Toll-free 800-745-8091 614-279-8090 Fax 614-279-4642

Version 7.0 (09/01/2010)

Page 1 of 1

Fuente: laboratorio Intertek. Columbus OH.

3.4.2. Resultado de muestra de gas regenerado

A continuación se muestra en la figura 29 el resultado de muestra del gas regenerado.

Figura 34. Certificación de calidad de gas refrigerante regenerado


American Association for Laboratory Accreditation
Accredited to ISO/IEC Guide 17025 for Thermal and Chemical Testing


AACT
CHEMICAL
Cert. No. 0847-01


AACT
THERMAL
Cert. No. 0847-02

FOGEL DE CENTROAMERICA
Attn: CARLOS VITOLA, LUIS MIRON
3A AV 8-92: ZONA 3 DE MIXCO
LOTIFICACION EL ROSARIO: GUATEMALA

Intertek Report No:	051281184	Revised Report No:	N/A
Report Date:	5/7/2012	Revision Date:	N/A
Customer Reference No:		Cylinder No:	2
Date Received:	5/7/2012	Condition as Received:	Proper
Purchase Order No:		Date of Analysis:	5/7/2012
Test Desired:	*Modified AHRI 700-2011		
Product Tested:	R-134a (Tetrafluoroethane)		

Certificate of Analysis

	<u>Requirement</u>	<u>Result</u>
Acidity (ppm by weight as HCL)	1.0	<0.1
Chloride (pass/fail)	pass	Pass
High Boiling Residue (% by volume)	.01	<0.01
Non-condensables (% by volume)	1.5	0.24
Other Refrigerants (% by weight)	.5	<0.05*
Particulates / Solids (pass/fail)	pass	Pass
Water (ppm by weight)	10	8

Comments/Revision History:
*Total unsaturates = 120ppm.


Analysis By:
Tyler Eaton, Lab Technician III


Approved By:
Marissa Parker, Technician Team Lead

This report is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this report. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this report and then only in its entirety. Any use of the Intertek name or one of its marks for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. The observations and test results in this report are relevant only to the sample tested. This report by itself does not imply that the material, product, or service is or has ever been under an Intertek certification program.

Intertek
1717 Arlington Lane, Columbus, OH 43228
Toll-free 800-745-8091 614-279-8090 Fax 614-279-4642

Version 7.0 (09/01/2010)Page 1 of 1

Fuente: laboratorio Intertek. Columbus OH.

3.5. Comparación de masas de gas R-134a inyectado y recuperado

A continuación se da un modelo de comparación de masas de gas de regenerador.

Tabla XVII. Comparación de masas de gas inyectado

ORDEN	MODELO	NUMERO DE SERIE	CARGA DE GAS INICIAL (Mo) en (onz.)	CARGA DE GAS RECUPERADO (Mr) en (onz)	GAS REGENERADO REGENERADO (M _{gr}) en (lbs)	GAS REGENERADO Mo-MgR (lbs)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Eficiencia del proceso (Ef.)

Se calcula con base a la carga del gas refrigerante inyectado inicialmente (M_o), para hacer eficiente el proceso de regeneración se debe almacenar una masa considerable de gas recuperado M_{gr}. Entonces:

$$M_{gr} = \sum M_o \quad (19)$$

Obtenido la M_{grmax} se procede y la regenerada (M_{gR}). Según ecuación No. 1

$$Ef, \% = \frac{M_{gR}}{M_{gr}} \times 100 \quad (19)$$

3.6. Potencial de calentamiento atmosférico (PCA)

Se calcula de la masa total de gas regenerado (M_{gR}), por el factor de calentamiento atmosférico comparado con el CO_2 . Según ecuación No. 20

1300 unidades CO_2 por unidad de gas R-134a liberada al ambiente

$$1 \text{ u R-134a} = 1300 \text{ u } CO_2$$

Potencial de calentamiento atmosférico.

$$PCA = \text{masa total (lb)} M_{gR} \times 1300 \quad (20)$$

3.7. Rentabilidad promedio ($Renp$)

Se obtiene de la masa total de gas regenerado (M_{gR}) por el valor del gas en el mercado \$ 4.13. Según ecuación No. 3

$$Renp = M_{gR} \times \$ 4.13 \quad (21)$$

Nota: se puede agregar M_{gR} de otro procesos

3.8. Tasa de retorno del proyecto

Se obtiene de la inversión inicial total del proyecto en libras de gas regenerado. Debido a que la regeneración de gas depende de la cantidad de gas recuperado y no se cuenta periodos determinados de almacenamiento.

3.9. Prueba de funcionamiento de equipos gráfica temperatura y corriente

La temperatura y funcionamiento de los 10 equipos cargados con refrigerante regenerados o reciclados será validado por la comparación de las gráficas del mismo modelo cargados con gas virgen. El cual se obtendrá de subiendo al Area de Prueba los 10 equipos cargados con gas regenerado y sometiéndolos a prueba de funcionamiento de donde se obtendrán las 10 gráficas de funcionamiento para compararlas con gráficas del mismo modelo aprobadas en operación normal. De ser positivo el resultado seguirá el proceso estándar.

3.10. Certificado de calidad de equipo de refrigeración

La prueba consiste en comparar los parámetros de corriente en (Amps) y temperatura (°C) en tiempo real, en el Area de Prueba de funcionamiento. Comparado contra un patron establecido. (ver anexo 3)

3.11. Análisis de resultados

Los métodos y modelos de análisis de datos según tipo de variables se describen en la tabla XVIII

Tabla XVIII. **Datos según variables**

Total de quipos	unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Numero de serie	numeros										
Masa inyectada inicialmente (Mo)	libras (lbs)										
Masa de gas recuperado (Mr)	libras (lbs)										
Masa inyectada reciclada (Mg _R)	libras (lbs)										
Eficiencia	%										
Potencial de Calentamiento Atmosférico	libras (lbs)										
Rentabilidad	\$ dólares										
Presión del gas	psi										
Temperatura de funcionamiento del equipo	°C										
Consumo energético	Amperios (A)										

Fuente: elaboración propia.

3.12. **Software a utilizar para el análisis de datos**

Los programas a utilizar para la elaboración del plan de análisis de resultados son:

Programa No. 1

Microsoft Office Excel 2007: será utilizado para la tabulación de datos y la elaboración de gráficas.

Programa No. 2

Programa para prueba de equipo software prueba uno: permitirá la comparación del correcto funcionamiento del equipo, comparando temperatura *versus* tiempo y corriente *versus* tiempo. Originando la gráfica que certifica el correcto funcionamiento del equipo.

Programa No. 3

Programa para determinación de propiedades termodinámicas. REFPROP. National Institute of Standards and Technology. NIST. Drs. E. Lemmon.- M. McLinden- Marcia Huber. 325 Broadway. Boulder, CO 80305, USA.

3.13. Presupuesto

El presupuesto para la compra de equipo de regeneración se detalla en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Presupuesto para implementación de proceso**

Descripción	Tipo	Cantidad	Unidad	Valor x Unidad en (Q.)	Costo total en (Q.)
Manómetros para refrigerante	Activo	1	juego	480,00	480,00
Filtros deshidratadores	Consumible	2	unidad	600,00	1 200,00
Aceite para compresor	Consumible	1	lata	720,00	720,00
Maquina regenerador de gas JV-90	Activo	1	unidad	96 000,00	96 000,00
COSTO TOTAL DE EQUIPO EN Q.					98 400,00

Fuente: elaboración propia

3.14. Cronograma de actividades

A continuación en la tabla XX se detalla el cronograma de actividades.

Tabla XX. Cronograma de actividades

[illegible]

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Determinación del ciclo termodinámico para el sistema de regeneración Van Steenburgh JV-90

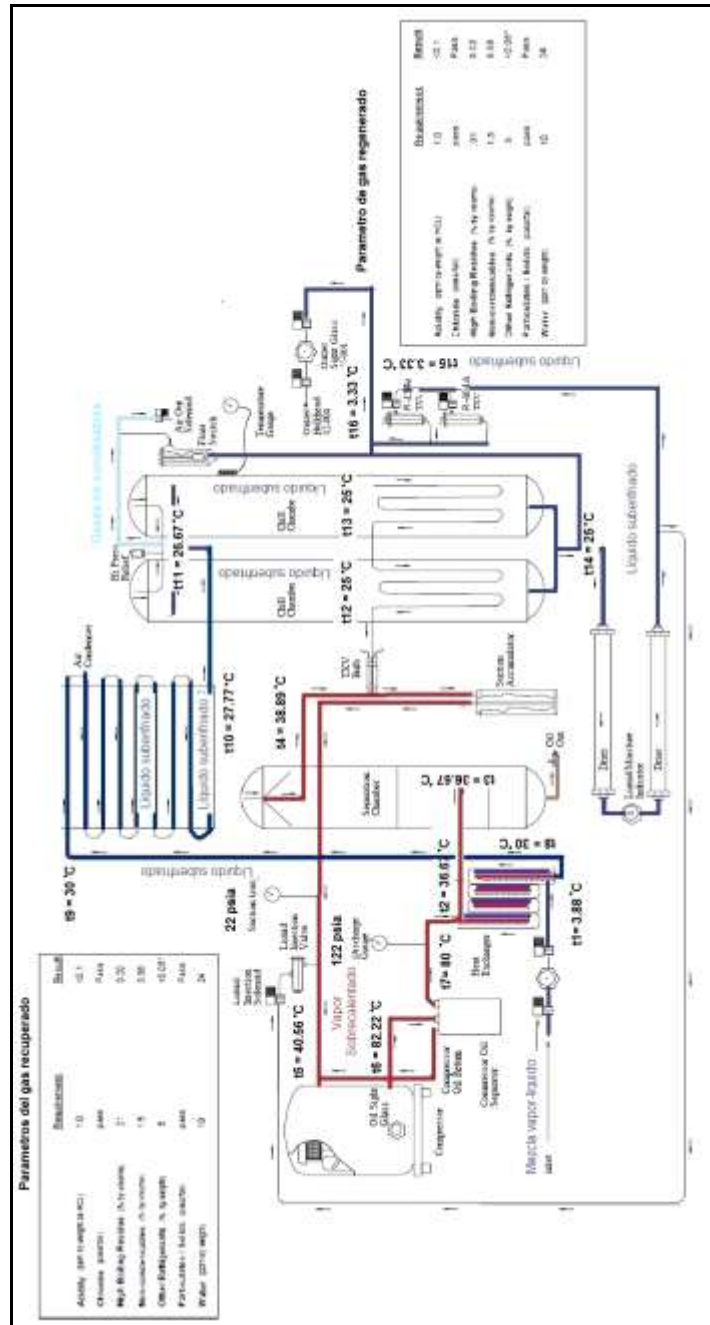
La termodinámica del proceso de regeneración permite comprender el comportamiento y cambios de estado que sufre el gas refrigerante R-134a dentro del equipo de regeneración. Establecer las condiciones de presión, temperatura en las cuales opera el equipo y en qué etapas se llevan a cabo la evaporación, destilación, sobrecalentamiento, compresión, condensación y subenfriamiento del gas, permitiendo retirar en una forma correcta y eficiente los agentes contaminantes que pudieran estar presentes, asegurando que el gas resultante cumpla con especificaciones de calidad.

Conociendo la termodinámica del equipo de regeneración, se implementa un procedimiento adecuado, para capacitar al personal involucrado en el funcionamiento y correcta utilización del equipo. Mostrando porqué su aplicación debe tener condiciones específicas de operación con un orden determinado.

4.1.1. Temperaturas, condiciones y estados del refrigerante en el proceso de regeneración

En la figura 30 se muestra la temperatura, condiciones y estados del refrigerante en el proceso de regeneración.

Figura 35. Temperatura condiciones y estados del refrigerante en proceso de regeneración

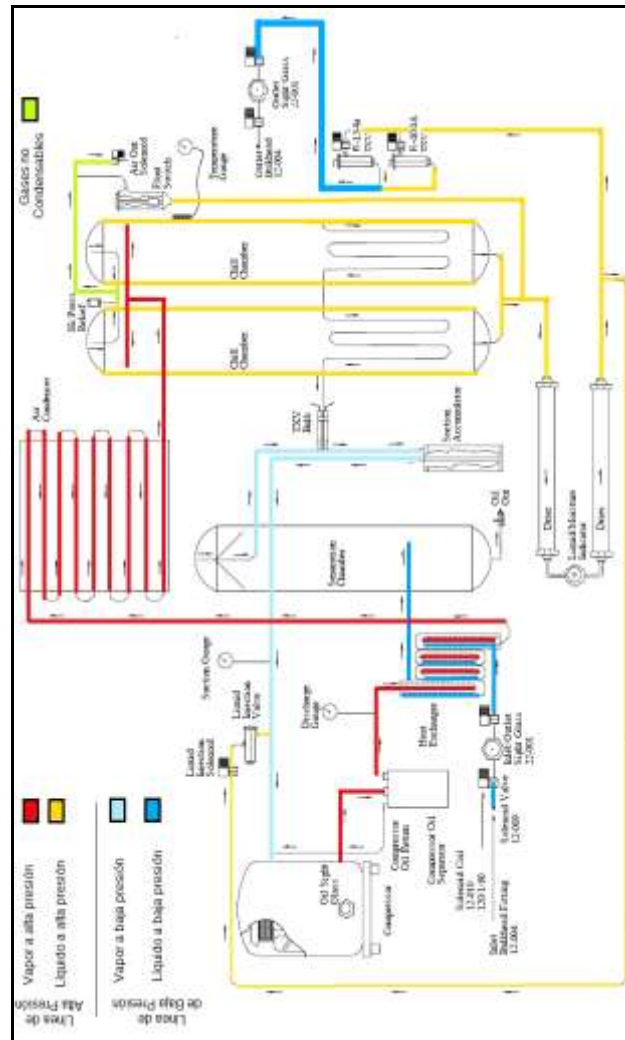


Fuente: elaboracion propia, con programa AutoCAD.

4.1.2. Presiones dentro del sistema en el proceso de regeneración

En el proceso de regeneración se presentan líneas de alta y baja presión, las cuales se muestran en la figura 31.

Figura 36. Líneas de alta y baja presión en proceso de regeneración



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

4.2. Datos termodinámicos del ciclo de regeneración

Se obtienen los valores termodinámicos del sistema de regeneración, utilizando el programas NISTPRO. Este cálcula los valores de calidad de vapor, entalpías, estado del refrigerante según ubicación y valores de temperaturas y presión en el sistema, según se describen en la tabla XXI.

Tabla XXI. **Presión y entalpia del sistema de regeneración**

Temperatura		Entalpía (H)	PRESION		ENTALPIA		Estado del refrigerante en punto de sonda	Componente del sistema
° C	°F		psia	Mpa	BTU/Lm	KJ/Kg		
3.88	38.98	1	37.36	0.26	89.95	209.23	Vapor-Líquido Saturado	Entrada al Intercambiador
36.70	98.06	2	37.36	0.26	185.85	432.28	Vapor sobrecalentado	Salida Intercambiador
38.90	102.02	3	37.36	0.26	186.70	434.26	Vapor sobrecalentado	Salida Cámara destilación
40.50	104.90	4	37.36	0.26	187.31	435.69	Vapor sobrecalentado	Succión
82.20	179.96	5	122.39	0.84	200.82	467.12	Vapor sobrecalentado	Descarga
80.00	176.00	6	122.39	0.84	199.86	464.88	Vapor sobrecalentado	Entrada intercambiador contra corriente
30.00	86.00	7	122.39	0.84	103.99	241.88	Líquido subenfriado	Salida intercambiador contra corriente
30.00	86.00	8	122.39	0.84	103.99	241.88	Líquido subenfriado	Entrada Condensador
27.70	81.86	9	122.39	0.84	102.57	238.57	Líquido subenfriado	Salida Condensador
26.70	80.06	10	122.39	0.84	101.95	237.14	Líquido subenfriado	Entrada tanque de enfriamiento
25.00	77.00	11	122.39	0.84	100.91	234.71	Líquido subenfriado	Salida tanque de enfriamiento
3.30	37.94	12	73.36	0.53	87.97	204.63	Líquido subenfriado	Salida válvula de termo expansión

Fuente: elaboración propia, con programa NISTPRO.

4.2.1. Calor en el intercambiador de calor que efectúa la evaporación

Para determinar el calor de evaporación en el intercambiador y la cámara de destilación, se utiliza la siguiente fórmula.

$$Q_{\text{evaporacióninter}} = H_3 - H_1 = 434,26 - 209,23 = 225,03 \text{ KJ/Kg}$$

4.2.2. Calor de intercambiador de calor a contra corriente que realiza la condensación

Para determinar el calor de condensación en intercambiador de calor a contra corriente, condensador y tanques de almacenamiento, se utiliza la siguiente fórmula.

$$Q_{\text{interccorriente}} = H_9 - H_6 = 238,57 - 464,88 = - 226,31 \text{ KJ/Kg}$$

4.2.3. Flujo másico máximo de gas refrigerante del equipo

Se calcula a partir de los datos obtenidos de la hoja de funcionamiento del compresor, (anexo 1).

Temperatura de evaporación °F = 30

Temperatura de condesación °F = 90

Flujo másico en lb/h = 579

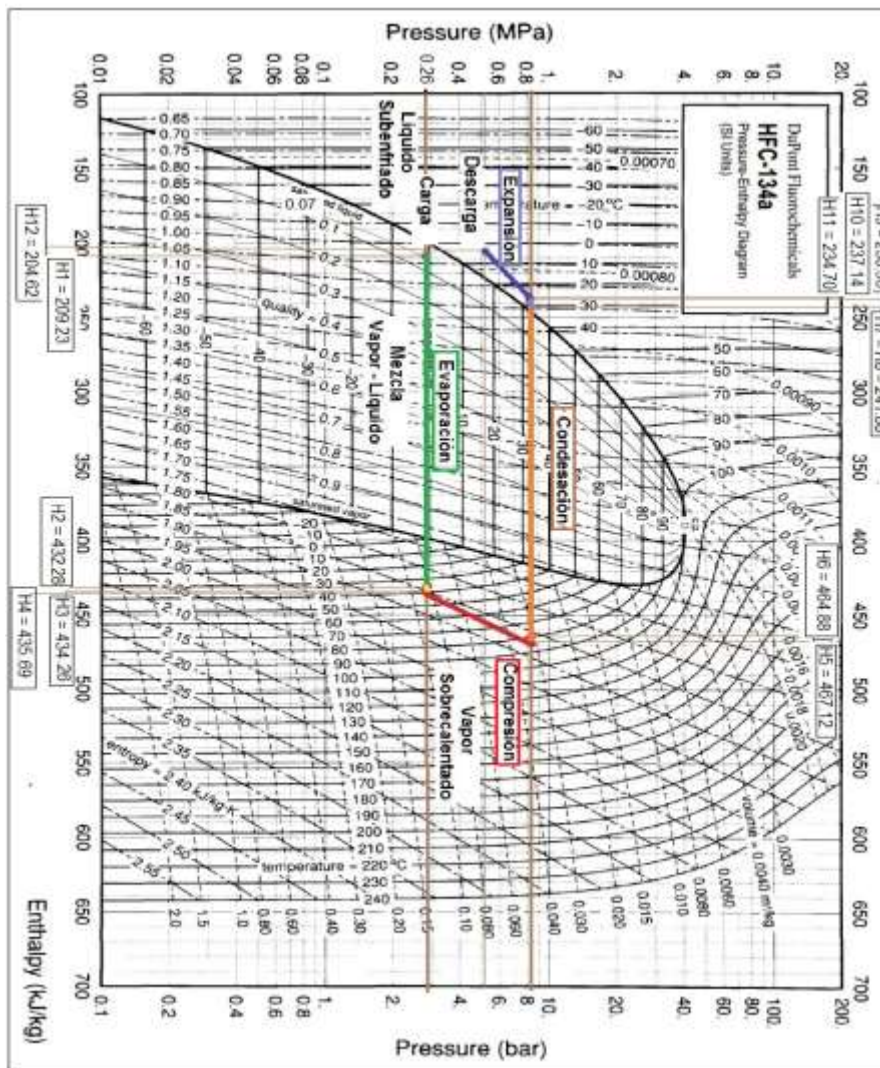
Flujo másico por hora para

Condiciones de operación lb/h = 1,17

4.2.4. Diagrama de Mollier para el proceso de regeneración

En la figura 32 se muestra el ciclo termodinámico del proceso de regeneración.

Figura 37. Ciclo termodinámico del proceso de regeneración



Fuente: Diagrama de Mollier.

Figura 38. **Recomendaciones previas a realizar el proceso de regeneración de R-134a**

Recomendaciones previas a realizar la operación de regeneración de R-134a en unidad Van Steenburg JV-90 método Batch 1. Operar el equipo solamente por Personal capacitado, que cuente con los implementos básicos de seguridad personal. 2. Asegure que la unidad regeneradora tenga el nivel adecuado de aceite en el compresor y revise el indicador de humedad de los filtros deshidratadores. 3. Para ejecutar el procedimiento adecuadamente, tome en cuenta los siguientes pasos. Aseguran en cada paso que: 3.1 La unidad tenga la carga de servicio 7 lb. Del gas refrigerante seleccionado. 3.2 El cilindro de gas recuperado, este identificado y que no contenga mezcla de otros gases diferente al seleccionado. 3.3 El volumen de gas recuperado tenga max a 90 lbs. Para que la operación de regeneración sea eficiente y no sobrepasar el volumen del equipo. 3.4 Al cilindro de almacenaje de gas regenerado se le aplique vacío, este identificado y sean utilizados exclusivamente para dicha tarea. 3.5 Los cilindros, tanto de gas recuperado como regenerado, se encuentren en un lugar adecuado, seguro, identificado correctamente para evitar accidentes ambientales o relacionados con la seguridad del personal. 3.6 El equipo de regeneración sea conectado adecuadamente y puesto en marcha de 5 a 10 min antes de iniciar la operación. 4. Pesado de cilindros. 4.1 Pese el cilindro con gas recuperado para determinar la eficiencia del proceso de regeneración. 5. Crear un registro de gas recuperado. Para tener el registro de los equipos que originan el gas recuperado a regenerar. NOTA: Los tiempos de regeneración (carga y descarga) pueden variar en tiempo, según las condiciones de operación.

Fuente: elaboración propia.

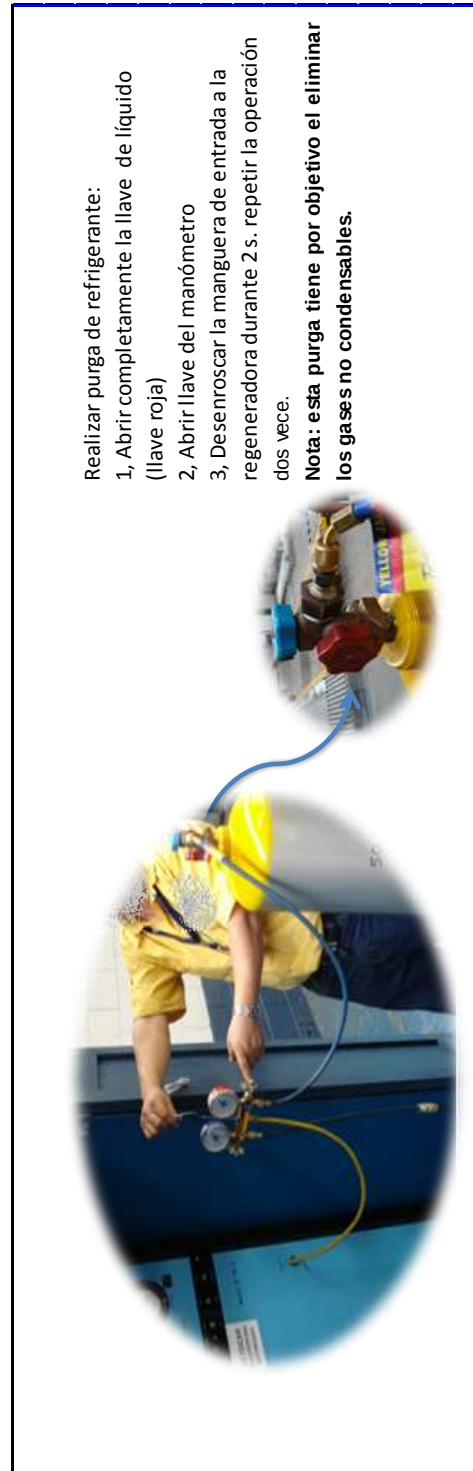
Figura 39. **Procedimiento para regenerar gas refrigerante R-134a**

4.6.4 PROCEDIMIENTO REGENERACION DE GAS REFRIGERANTE R-134a	
1) Se debe de indicar el tipo de refrigerante con el cual se trabajará.	
2) Antes de iniciar las operaciones de rescatao o restaurado, coloque el interruptor del compresor en Encendido [ON] y el interruptor de enfriamiento (Chiller) en ON. Deje la máquina operando por aproximadamente 5 a 10 minutos. Esto calentará el compresor y asegurará la máxima eficiencia en la cámara de separación. Esta simple actividad de calentamiento ayudará considerablemente para asegurar una operación adecuada y un refrigerante limpio por que el intercambiador de calor estará en alta temperatura y esto asegurara una buena separación en cuanto el refrigerante entre en la cámara de separación.	

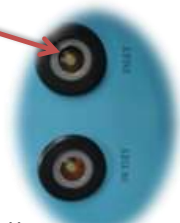
Continuación de la figura 39.

Nota: Evite utilizar cables de extensión. Este puede sobrecalentarse. Si es necesario usar un cordón, úselo del largo menor posible y del calibre mínimo 12 AWG. 	3) Conecte la manguera de 1/4" en el conector tipo "flare" marcado REFRIGERANT IN. [ENTRADA DE REFRIGERANTE] 	4) Coloque la otra punta de la manguera a la fuente de rescatado o reclamado. Utilice un manómetro en la fuente a redamar. Esto le ayudará a identificar cuando la fuente esté vacía. El manómetro que se debe utilizar es de alta presión. 
La manguera de alta presión se conecta a la salida del cilindro. La manguera de servicio va conectada al reclamador.		

Continuación de la figura 39.



Continuación de la figura 39.

Enrosca la manguera de entrada a la restauradora. Enciende el interruptor de la salida de refrigerante REFRIGERANT OUT. El rescataador o reclamador empezará a bombear. Mantener una presión de succión de 50 psi o 3.4 Bar durante la operación de reclamado dará los mejores resultados.	 Si la presión de succión tiene un valor de más de 50 psi o 3.4 bar. Se debe liberar la presión, activando el interruptor de aire hasta llegar a la presión deseada.  Al momento de ir ingresando el refrigerante, se observa como pasa a través de ducto mostrado en la imagen:	Esperar a que todo el refrigerante ingrese a la restauradora. Esto se determina por medio de las presiones mostradas en los manómetros. Cuando ya no exista presión en éstos significa que todo el refrigerante ha pasado. 
---	---	--

Continuación de la figura 39.

Antes de iniciar el proceso de descarga del gas regenerado. Se debe verificar la presión de descarga, este valor debe compararse con el de la tabla de Presión vs. Temperatura de saturación del gas refrigerante R-134a. Si el manómetro de la maquina indica una presión de descarga (presion de cabeza). Mayor al valor que indica la tabla a una temperatura debe bajarse la presión de cabeza hasta el valor indicado en la tabla Presion-temperatura de saturacion del R-134a. Esto se realiza subiendo el interruptor de aire, hasta alcanzar el valor deseado. (Ver tabal Presion vs. Temperatura para el R-134a)	Conecte la manguera de 1/4" en el conector tipo "flare" marcado REFRIGERANT OUT. [SALIDA DE REFRIGERANTE]	Coloque la otra punta de la manguera a la fuente de rescatado o regenerado. Utilice un manómetro en la fuente a restaurar. Esto le ayudara a identificar cuando la fuente esté vacía. El manómetro que se debe de utilizar es de alta presión.
		
		La manguera de alta presión se conecta a la salida del cilindro. La manguera de servicio va conectada al restaurador. Esperar a que todo el refrigerante restaurado ingrese al cilindro.

Continuación de la figura 39.

Realizar Purga de aceite: La operación de PURGA DE ACEITE es especialmente importante para una operación libre de fallas. Para realizar la Purga de aceite se debe de encender el switch que lleva por nombre: OIL OUT (salida de aceite). 	El aceite saldrá por el siguiente compartimiento: Asiganando un recipiente apropiado para almacenarlo, identificado para una adecuada disposición. 	Encienda el interruptor de la entrada de refrigerante REFRIGERANT IN. El rescataador o restaurador empezará a bombear. Mantener una presión máxima de 50 psig ó 3.4 Bar durante la operación de restaurado dará los mejores resultados. 
--	---	--

Continuación de la tabla 39.

Cuando los cilindros (dos) de almacenaje esten llenos en su totalidad se encera una luz naranja. Al momento de ir saliendo el refrigerante. Se observa como pasa a través de visor que posee un indicador verde si el gas no tiene humedad y si la posee.		Esto se determina por medio de las presiones mostradas en los manómetros. Cuando ya no exista presión en éstos significa que todo el refrigerante restaurado ha pasado.		Una vez terminado el proceso de restaurado proceder a apagar la restauradora por medio del switch del compresor.	
--	--	---	---	---	---

Continuación de la tabla 39.

Los filtros deshidratadores se cambiarán, según el código de colores del indicador de líquido - humedad. DRY = SECOS. FILTROS SECOS  CAUTION = PRECUASION. PROCEDER A CAMBIO DE FILTROS  WET = MOJADO. EL SISTEMA ESTA SATURADO. 	filtros deshidratadores.  	El refrigerante restaurado será utilizado en el proceso de Producción. Previamente llenado el registro y autorización del Supervisor, quien recibirá el certificado del laboratorio que analizó las muestras.
---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XXII. Presión-temperatura de saturación para gases

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-170	R-404A	R-500	R-502	R-717
0	(29.9)	-102	-104	-73	---	---	---	---	---	---
17	(25)	-65	-73	-15	---	---	---	-68	---	-64
34	(20)	-53	-62	0.5	-47	---	---	-57	-67	-53
52	(15)	-45	-55	10	-40	-101	---	-48	-59	-46
69	(10)	-39	-49	17	-34	-96	---	-42	-54	-41
86	(5)	-34	-45	22	-29	-92	-49.4	-38	-49	-37
101.3	0	-29.8	-40.7	27.8	-26.1	-88.6	-46.1	-33.5	-45.4	-33.3
115	2	-26.7	-38	29.4	-22.8	-85.5	-43.3	-30.3	-42.6	-30.8
129	4	-23.9	-35.5	33.3	-20	-84	-40.5	-28.3	-40.1	-28.4
143	5	-22.8	-33.2	36.6	-17.8	-82	-39.4	-25.5	-37.8	-26.3
156	8	-19.0	-31.1	40.5	-15.5	-80.5	-36.1	-23	-35.6	-24.4
170	10	-16.8	-29	42.8	-13.8	-78.3	-34.4	-20.8	-33.6	-22.5
184	12	-14.7	-27.2	45.5	-11.6	-76.6	-32.8	-19.2	-31.8	-20.7
198	14	-12.8	-25.4	47.8	-10	-75	-30.6	-17.2	-30	-19.2
212	16	-10.9	-23.6	50	-8.3	-73.8	-28.9	-15.1	-28.3	-17.6
225	18	-9.2	-22.1	51.7	-6.6	-72.2	-27.8	-13.3	-26.6	-16.1
239	20	-7.5	-20.5	53.3	-5.5	-70.5	-26.1	-11.9	-25.1	-14.7
253	22	-5.9	-19	55.4	-3.9	-69.4	-24.4	-10.3	-23.7	-13.4
267	24	-4.2	-17.8	57.2	-2.2	-68.3	-23.3	-9	-22.3	-12.2
281	26	-3.1	-16.4	59	-1.1	-67.2	-22.2	-7.4	-21	-10.8
294	28	-1.3	-15	60.5	0.5	-66.1	-20.6	-5.9	-19.7	-9.7
308	30	0	-13.8	62	1.6	-64.8	-19.4	-4.6	-18.2	-8.6
322	32	1.3	-12.7	63.6	2.7	-64.1	-18.3	-3.3	-17.2	-7.5
336	34	2.5	-11.5	65.2	3.9	-63	-17.2	-2.2	-16.1	-6.4
350	36	3.9	-10.3	66.6	5	-62.2	-16.1	-1.1	-14.7	-5.3
363	38	5.3	-9.2	67.3	6.1	-60.9	-15	0	-13.6	-4.4
377	40	6.4	-8	69.4	7.2	-60.2	-13.9	1.4	-12.7	-3.4
391	42	7.5	-7.1	70.7	8.3	-58.9	-13.3	2.2	-11.7	-2.5
404	44	8.6	-5.8	72	9.4	-58.3	-12.2	3.3	-10.8	-1.6
418	46	9.7	-4.7	73.3	10.5	-57.5	-11.1	4.4	-9.8	-0.6
432	48	10.8	-4.2	74.5	11.6	-56.2	-10	5.6	-8.6	0.2
446	50	11.9	-3.3	75.7	12.2	-55.6	-8.9	6.8	-7.8	1
460	52	12.8	-2.3	77.2	13.1	-55	-8.3	7.4	-7	1.9
474	54	13.6	-1.4	78.6	14	-54.2	-7.2	8.4	-5.9	2.7
487	56	14.7	-0.8	80.0	14.8	-53.3	-6.7	9.6	-5.3	3.4
501	58	15.8	0.3	---	15.8	-52.3	-5.6	10.3	-4.2	4.3
515	60	16.6	1.2	---	16.6	-21.9	-5	11.1	-3.6	5
529	62	17.5	1.8	---	17.5	-51.1	-3.9	11.9	-2.5	5.7
543	64	18.5	2.5	---	18.4	-50.5	-3.3	12.8	-1.9	6.4
556	66	19.4	3.4	---	19.2	-49.8	-2.8	14.3	-0.9	6.9
570	68	20.2	4.2	---	19.8	-48.8	-1.7	14.5	-0.2	7.8
584	70	20.7	5	---	20.5	-48.2	-1.1	15.4	0.6	8.5

Continuación de la tabla XXII.

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
598	72	21.9	5.7	88	21.4	0	-47.7	16.1	1.4	9.2
612	74	22.6	6.2	89	22.3	0.6	-46.7	17.2	2.1	9.8
625	76	23.5	7.2	90	23.1	0.8	-46.3	17.7	2.9	10.4
639	78	24.3	7.9	91	23.7	1.4	-45.7	18.4	3.5	11.1
653	80	25	8.6	92	24.4	2.8	-45	19.1	4.3	11.8
687	85	27	10	94	26	4	-44	21	6	13
722	90	29	12	---	28	6	-43	23	8	15
756	95	31	14	---	29	7	-41	24	9	16
791	100	32	15	---	31	9	-40	26	11	18
825	105	34	17	---	33	10	-38	28	13	19
860	110	36	18	---	34	11	-37	29	14	20
894	115	37	19	---	36	13	-35	31	15	21
929	120	39	21	---	37	14	-34	32	17	23
963	125	40	22	---	38	15	-33	34	18	24
998	130	42	23	---	39	16	-32	35	19	25
1,032	135	43	25	---	41	18	-31	36	20	26
1,067	140	44	26	---	42	19	-30	37	22	27
1,101	145	46	27	---	43	20	-39	39	23	28
1,136	150	47	28	---	44	21	-28	40	24	29
1,170	155	48	29	---	46	22	-27	41	25	30
1,204	160	50	30	---	47	23	-26	42	26	31
1,239	165	51	32	---	48	24	-25	44	27	32
1,273	170	52	33	---	49	26	-24	45	28	33
1,308	175	53	34	---	50	27	-23	46	30	34
1,342	180	54	35	---	51	28	-22	47	31	35
1,377	185	55	36	---	52	28	-21	49	32	36
1,411	190	57	37	---	53	29	-20	49	33	37
1,446	195	58	38	---	54	31	-19	50	34	37
1,480	200	59	39	---	55	31	-18	51	35	38
1,515	205	60	40	---	56	32	-18	52	36	39
1,549	210	61	40	---	56	33	-17	53	37	40
1,584	215	62	41	---	57	34	-16	54	38	41
1,618	220	63	42	---	58	35	-15	55	39	41
1,653	225	64	43	---	59	36	-14	56	39	42
1,687	230	65	44	---	60	37	-13	57	40	43
1,722	235	66	45	---	61	37	-13	58	41	44
1,756	240	67	46	---	62	38	-12	59	42	45
1,790	245	68	47	---	63	39	-11	60	43	45
1,825	250	69	47	---	64	40	-11	60	44	46
1,859	255	70	48	---	65	41	-10	61	45	47

Continuación de la tabla XXII.

PRESION DE SATURACION		TEMPERATURA DE SATURACION (°C)								
kPa	psig	R-12	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-170	R-500	R-502	R-717
1,894	260	72	49	---	66	42	-9	62	46	48
1,963	270	74	51	---	67	43	-8	63	47	49
2,032	280	75	52	---	68	44	-6	65	49	50
2,100	290	77	53	---	70	46	-5	67	50	51
2,170	300	79	55	---	71	47	-4	69	51	52
2,239	310	80	56	---	73	49	-3	70	53	54
2,308	320	82	58	---	74	50	-1	---	54	55
2,377	330	---	59	---	76	51	0	---	56	57
2,446	340	---	60	---	77	52	1	---	57	58
2,514	350	---	62	---	78	54	2	---	58	---
2,583	360	---	63	---	79	55	3	---	60	---
2,652	370	---	64	---	80	57	4	---	61	---
2,721	380	---	65	---	81	---	5	---	62	---
2,790	390	---	67	---	82	---	7	---	63	---
2,859	400	---	68	---	83	---	8	---	65	---

Fuente: Emerson Climate. Consulta: Septiembre 2014.

Eficiencia del proceso de regeneración

Masa de gas recuperado $M_{gRmax} = 7,69$ lb de gas refrigerante.

M_{gRmax} esta dada por: ΣM_o total de los equipos con defecto.

Masa de gas regenerado $M_{gR} = 7,69$ lb = ΣM_{gr} de gas recuperado.

Sustituyendo valores en ecuación 17

$$Ef. \% = \frac{M_{gR}}{M_{gr}} \times 100 = \frac{7,69}{7.69} \times 100 = 100 \%$$

Eficiencia = 100 por ciento

4.3. Medición del potencial de calentamiento atmosférico (PCA)

Este se producirá si el gas refrigerante que se ha regenerado R-134a es liberado al ambiente en un periodo de 30 días de aplicación del proyecto.

4.3.1. Cálculo de potencial de calentamiento atmosférico (PCA)

Para determinar el potencial de calentamiento atmosférico que generaría la liberación de la M_{gR} se sustituye este valor en la ecuación. No. 20

1300 unidades CO_2 por unidad de gas R-134a liberada al ambiente.

1 u. R-134a = 1300 u. CO_2

Potencial de calentamiento atmosférico que se emitiría al ambiente

$$PCA = M_{gR} \times 1300 \quad (20)$$

Sustituyendo valores.

$$PCA = 7,69 \text{ lb} \times 1300 = 9,997 \text{ lb de equivalentes } CO_2$$

Este valor equivale a: 4 598,638 gramos y 4,99 toneladas equivalente 5,00 toneladas equivalentes de CO_2 que serían liberadas al ambiente.

4.3.2. Factor de recuperación de masa de gas refrigerante

Con valor de M_{gR} se obtiene el Rec_{Refrig} factor de recuperación de gas refrigerante al final de la vida útil o reparación, necesario para el cálculo del

impacto total equivalente. Para el caso de estudio se toma el total de gas R-134a recuperado de los 10 equipos analizados, para evaluar el impacto total.

$$(1 - \text{Rec}_{\text{Refrig}})$$

Masa de gas recuperado $M_o = 7,69$ lb de gas R-134a

Masa de gas regenerado $M_{gR} = 7,69$ lb de gas R-134a

Factor de recuperación de gas refrigerante.

$$\text{Rec}_{\text{Refrig}} = M_o - M_{gR} \quad (18)$$

M_o = masa inicial de gas R-134a inyectado.

M_{gR} = masa de gas R-134a regenerado.

Sustituyendo los valores en la ecuación 18.

$$\text{Rec}_{\text{Refrig}} (\text{lb}) = 7.69 - 7.69$$

Se detiene.

$$\text{Rec}_{\text{Refrig}} (\text{lb}) = 0$$

Sustituyendo valores en ecuación 17.

$$1 - \text{Rec}_{\text{Refrig}} \quad (17)$$

Se obtiene:

$$(1 - 0) = 1 \quad (18)$$

4.4. Recuperación económica al implementar el proceso de regeneración de gas refrigerante R-134^a

A continuación se presenta el costo económico al implementar el proceso de regeneración.

4.4.1. Costo de operar la máquina regeneradora durante 1 hora

Operar la máquina regeneradora durante 1 hora permite regenerar 70 libras de gas R-134a por bach como se describe en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Costo de operar la máquina regeneradora durante 1 hora

COSTO POR HORA DE OPERACIÓN	
RUBROS	VALOR
HUMANOS	
No. De operarios	1
Costo promedio de hora extra (Q)	25,00
Total a pagar a operario por operación de 1 hr. (Q)	25,00
EQUIPO	
Consumo electrico promedio de operación de regeneradora (Kw/hr)	3,52
Costo de Filtros deshidrataodres (unidad/hora)	117,14
Valor promedio Kw/hr. (Q)	5,43
Valor de Kw/hr de operación (Q)	19,11
Depresiación de activos (Q/h de operación)	2,33
Costo promedio de operación de regenerar gas R-134a durante 1 hr. (Q)	158,92
Costo promedio de regenerar 1 libra de gas R-134a (Q/lb)	2,27
Costo de libra de gas refrigerante en el mercado local. (Q/lb)	33,04

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Beneficios económicos de regenerar gas R-134a durante 1 hora de operación

A continuación se presenta el beneficio económico de regeneración.

Tabla XXIV. Beneficio de regenerar gas durante 1 hora operación

BENEFICIOS	
RUBROS	VALOR
Costo de lb. De gas R-134a en dolares USA. \$	4,13
Costo de lb. De gas R-134a virgen (Q) en el mercado local	33,04
libras de gas regenerado por 1 h. de operación (lb)	70,00
Beneficio total de regenerar gas R-134a durante 1 hr. 70 lb. (Q)	2 153,88

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Recuperación de inversión

A continuación se presenta el retorno de inversión de regeneración en la tabla XXV.

Tabla XXV. Retorno de inversión del proyecto

RETORNO DE INVERSION DEL PROYECTO	
Costo de equipo (activos) en (Q)	98 400,00
Costo por operación de equipo (Q)	158,92
Beneficios (Q/h)	2 153,88
Costo de libra de gas regenerado al mercado (Q/lb)	30,77
Lb de gas a regenerar para calcular recuperar la inversión	3 197,96
Horas de operación para recuperar la inversión.	46,00

Fuente: elaboración propia.

4.5. Resultado de laboratorio, muestras de gas virgen y regenerado

A continuación se presentan muestras de resultado de laboratorio de regeneración.

Tabla XXVI. Resultados, muestras de gas virgen y regenerado

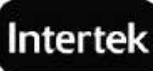
ASPECTO	UNIDADES	VALOR REQUERIDO	RESULTADO MUESTRA 1 (VIRGEN)	RESULTADO MUESTRA 2 (REGENRADO)
Acidez	ppm HCl		<0,1	< 0,1
Cloruros	pass/fall		pass	pass
Residuos que hierven a altas temperatu	% volumen		0,02	< 0,01
Gases no condensables	% volumen		0,88	0,24
Otros refrigerantes	% en peso		< 0,05	< 0,05
Particulas solidas	pass/fall		pass	pass
Agua presetne	ppm	10	24,00	8,00

Fuente: elaboración propia.

4.5.1. Certificación de calidad, gas refrigerante sin regenerar

En la figura 33 se muestra la certificación de calidad.

Figura 40. Certificación de calidad, gas refrigerante sin regenerar





ACCREDITED
CHEMICAL
Cert. No.
0847-01

ACCREDITED
THERMAL
Cert. No.
0847-02

American Association for Laboratory Accreditation
Accredited to ISO/IEC Guide 17025 for Thermal and Chemical Testing

FOGEL DE CENTROAMERICA
Attn: CARLOS VITOLA, LUIS MIRON
3A AV 8-92: ZONA 3 DE MIXCO
LOTIFICACION EL ROSARIO: GUATEMALA

Intertek Report No:	051281183	Revised Report No:	N/A
Report Date:	5/7/2012	Revision Date:	N/A
Customer Reference No:		Cylinder No:	1
Date Received:	5/7/2012	Condition as Received:	Proper
Purchase Order No:		Date of Analysis:	5/7/2012
Test Desired:	*Modified AHRI 700-2011		
Product Tested:	R-134a (Tetrafluoroethane)		

Certificate of Analysis

	<u>Requirement</u>	<u>Result</u>
Acidity (ppm by weight as HCL)	1.0	<0.1
Chloride (pass/fail)	pass	Pass
High Boiling Residue (% by volume)	.01	0.02
Non-condensables (% by volume)	1.5	0.88
Other Refrigerants (% by weight)	.5	<0.05*
Particulates / Solids (pass/fail)	pass	Pass
Water (ppm by weight)	10	24

Comments/Revision History:
 *Total unsaturates = 105ppm.

*Non-condensable gas (NCG) has been analyzed from the head space of a single 60% to 80% full cylinder. This is an acceptable deviation to Refrigerant Sampling Procedure Sec. 6.2.3 of AHRI 700-06 per Appendix C-08 Section 9.3.3 Note #1, and has been validated to give equivalent results.

**Measurement Uncertainty - Since this test was conducted in compliance with a standard that sets limits on the source of uncertainty and specifies the form of reported results, no measurement uncertainty evaluation has been included in this report.

Analysis By: 

Tyler Eaton, Lab Technician III

Approved By: 

Mariasa Parker, Technician Team Lead

This report is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this report. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this report and then only in its entirety. Any use of the Intertek name or one of its marks for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. The observations and test results in this report are relevant only to the sample tested. This report by itself does not imply that the material, product, or service is or has ever been under an Intertek certification program.

Intertek
 1717 Arlinggate Lane, Columbus, OH 43228
 Toll-free 800-745-8091 614-279-6090 Fax 614-279-4642

Version 7.0 (09/01/2010)

Page 1 of 1

Fuente: Fogel de Centroamerica, Intertek.

Figura 41. Certificación de calidad, gas refrigerante regenerado





ACCREDITED
CHEMICAL
Cert No.
0847-01



ACCREDITED
THERMAL
Cert No.
0847-02

American Association for Laboratory Accreditation
Accredited to ISO/IEC Guide 17025 for Thermal and Chemical Testing

FOGEL DE CENTROAMERICA
Attn: CARLOS VITOLA, LUIS MIRON
3A AV 8-92; ZONA 3 DE MIXCO
LOTIFICACION EL ROSARIO: GUATEMALA

Intertek Report No:	051281184	Revised Report No:	N/A
Report Date:	5/7/2012	Revision Date:	N/A
Customer Reference No:		Cylinder No:	2
Date Received:	5/7/2012	Condition as Received:	Proper
Purchase Order No:		Date of Analysis:	5/7/2012
Test Desired:	*Modified AHRI 700-2011		
Product Tested:	R-134a (Tetrafluoroethane)		

Certificate of Analysis

	<u>Requirement</u>	<u>Result</u>
Acidity (ppm by weight as HCL)	1.0	<0.1
Chloride (pass/fail)	pass	Pass
High Boiling Residue (% by volume)	.01	<0.01
Non-condensables (% by volume)	1.5	0.24
Other Refrigerants (% by weight)	.5	<0.05*
Particulates / Solids (pass/fail)	pass	Pass
Water (ppm by weight)	10	8

Comments/Revision History:
 *Total unsaturates = 120ppm.

*Non-condensable gas (NCG) has been analyzed from the head space of a single 60% to 80% full cylinder. This is an acceptable deviation to Refrigerant Sampling Procedure Sec. 6.2.3 of ARI 700-06 per Appendix C-06 Section 9.3.3 Note #1, and has been validated to give equivalent results.
 **Measurement Uncertainty - Since this test was conducted in compliance with a standard that sets limits on the source of uncertainty and specifies the form of reported results, no measurement uncertainty evaluation has been included in this report.

Analysis By: 

Tyler Eaton, Lab Technician III

Approved By: 

Marissa Parker, Technician Team Lead

This report is for the exclusive use of Intertek's Client and is provided pursuant to the agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this report. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this report and then only in its entirety. Any use of the Intertek name or one of its marks for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. The observations and test results in this report are relevant only to the sample tested. This report by itself does not imply that the material, product, or service is or has ever been under an Intertek certification program.

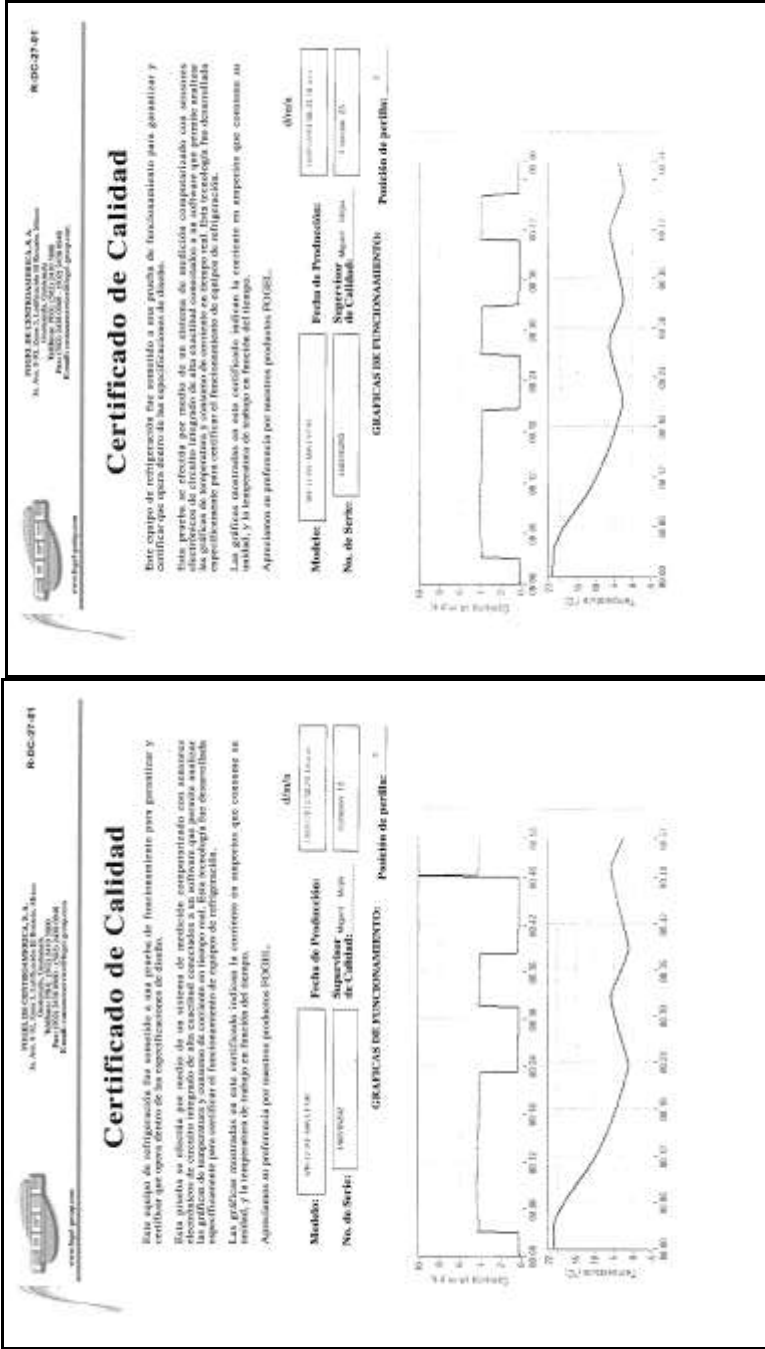
Intertek
 1717 Arlinggate Lane, Columbus, OH 43228
 Toll-free 800-745-8091 614-279-8090 Fax 614-279-4642

Version 7.0 (09/01/2010)

Page 1 of 1

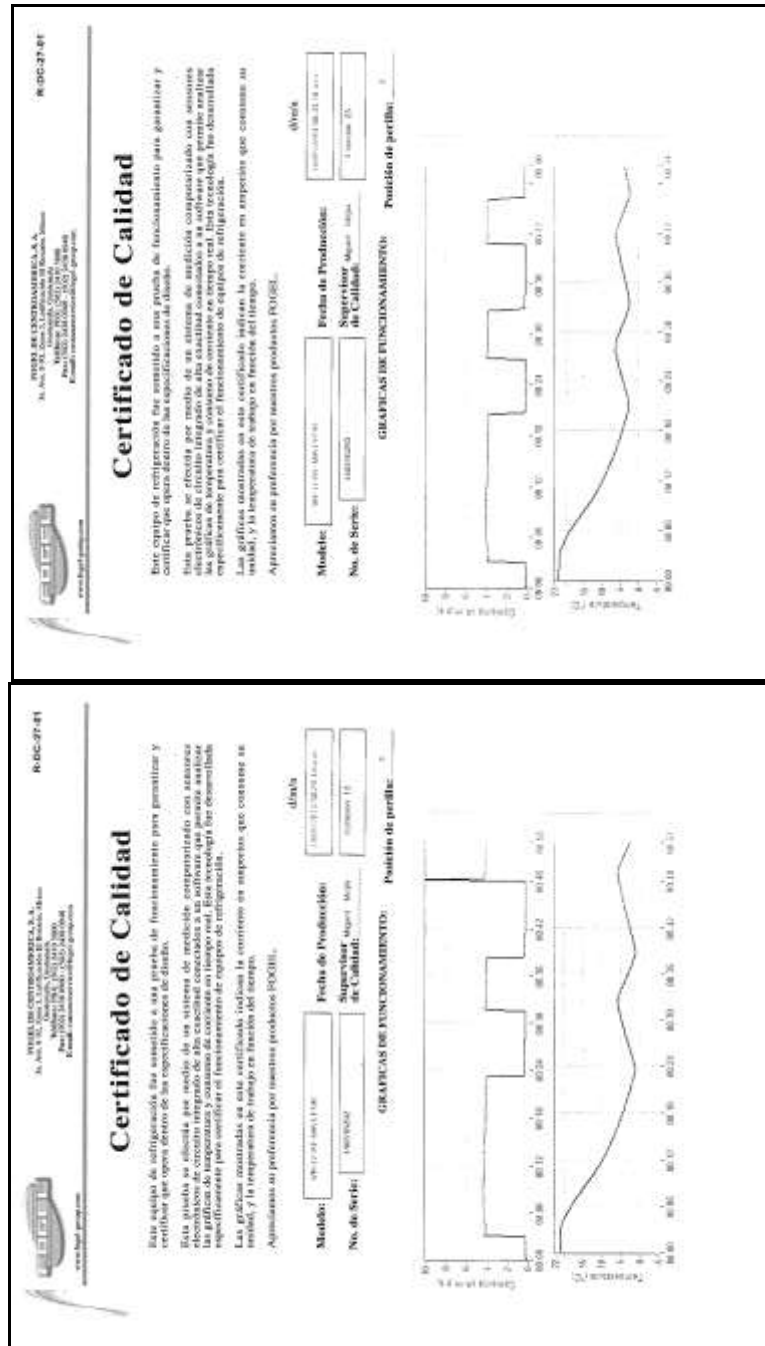
Fuente: Fogel de Centroamerica, Intertek.

Figura 42. Gráfica de funcionamiento, con gas refrigerante virgen



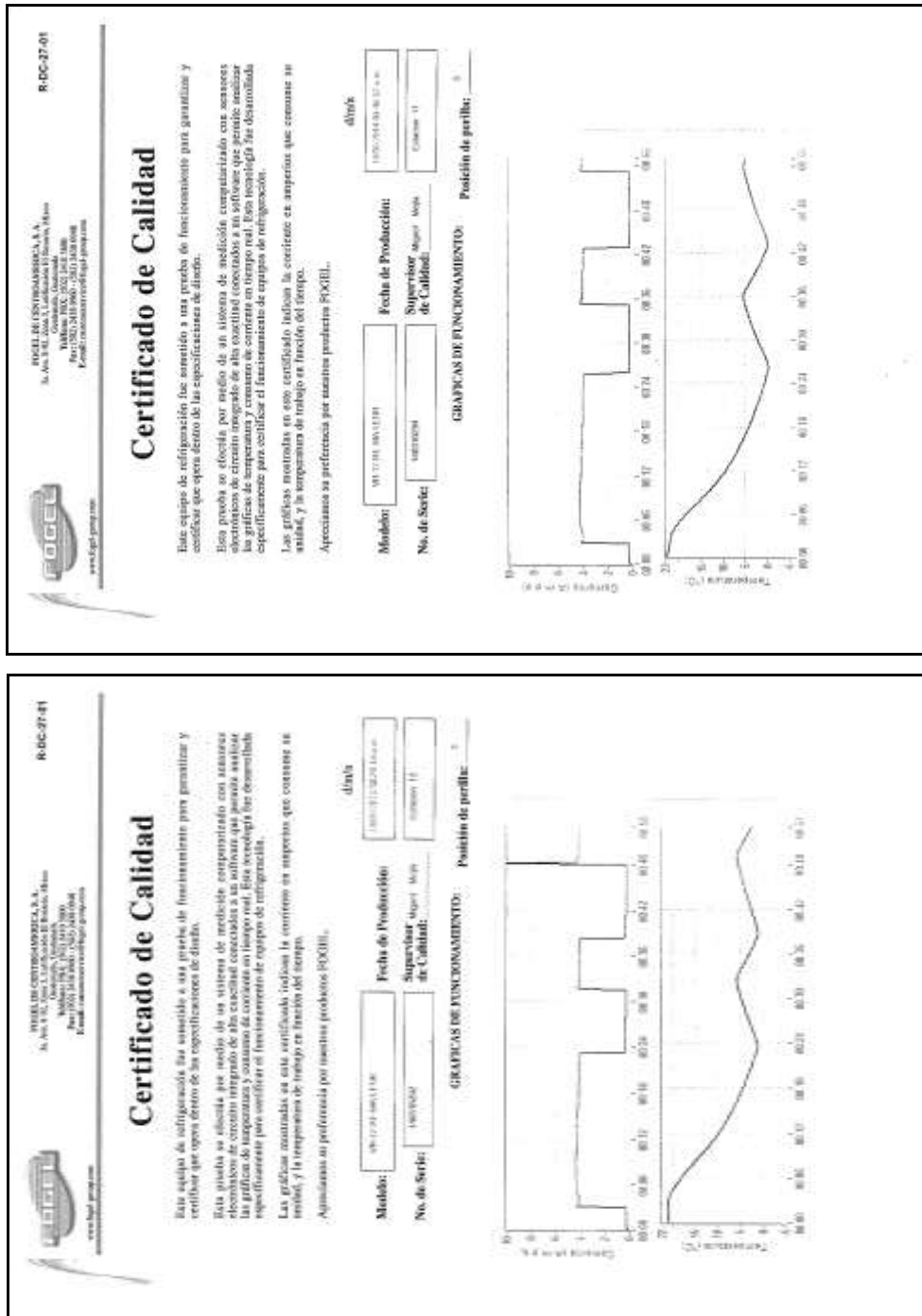
Fuente: Departamento de Calidad. Fogel de Centroamerica.

Figura 43. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 1



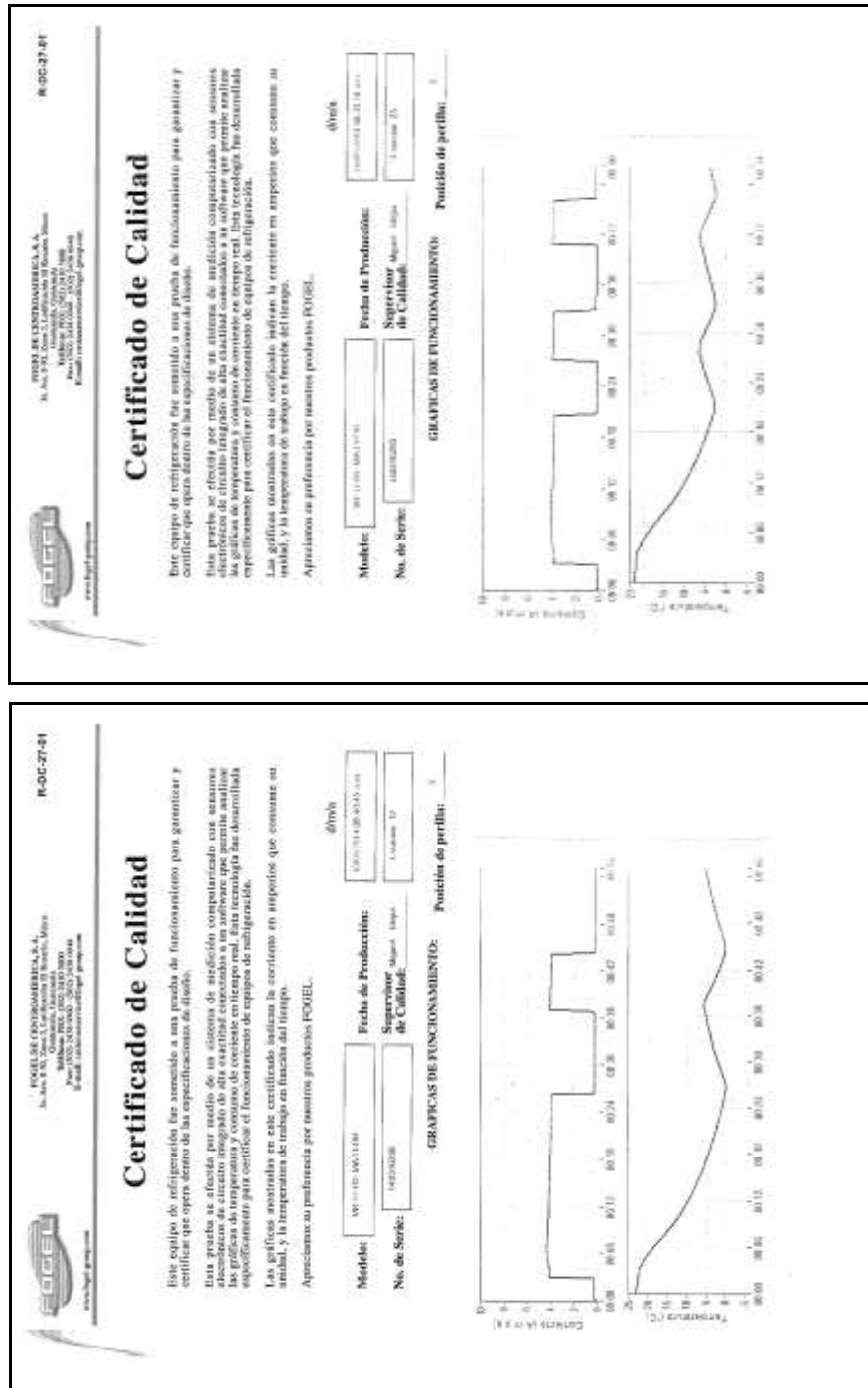
Fuente: Departamento de Calidad. Fogel de Centroamérica.

Figura 44. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 2



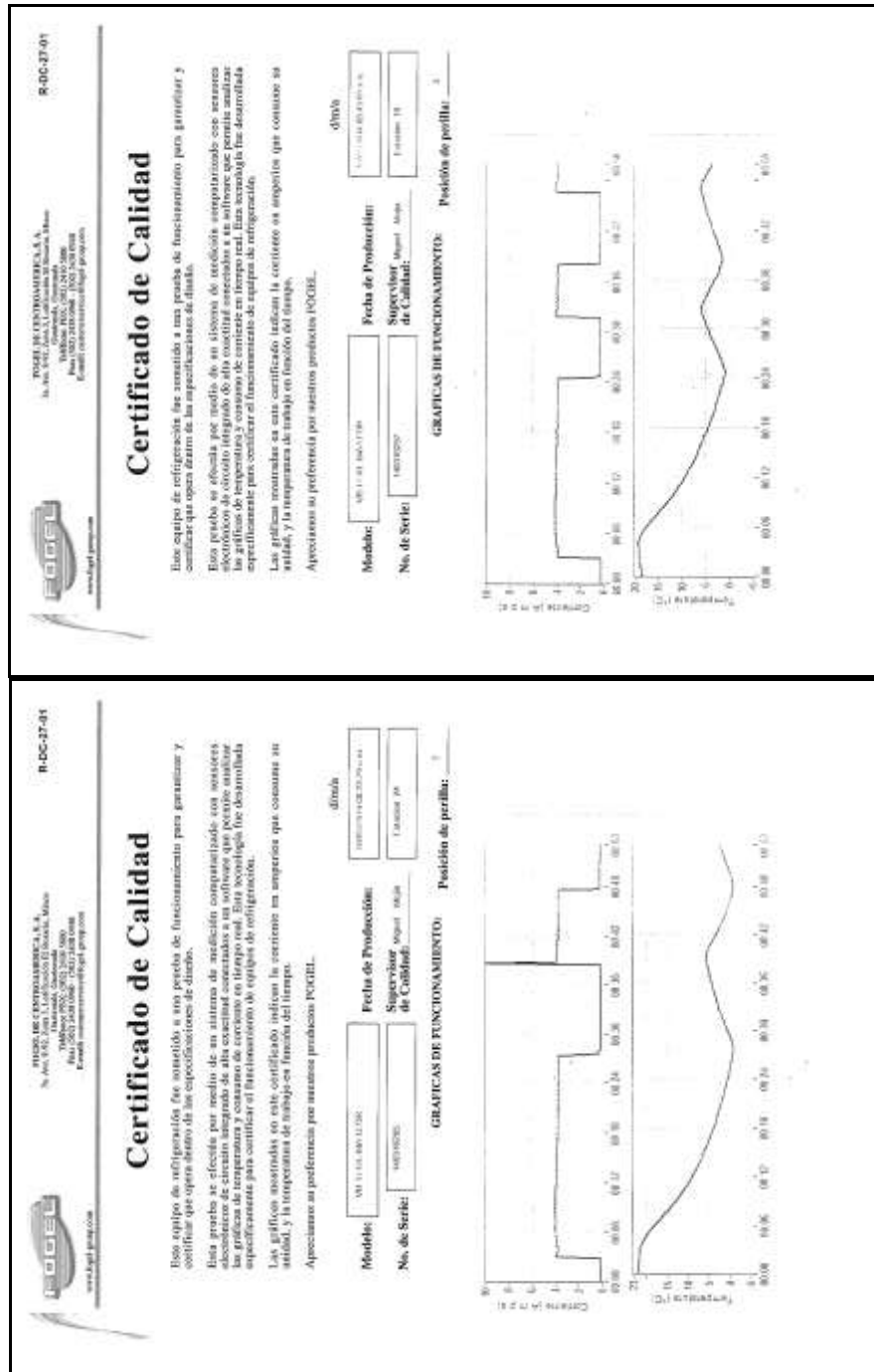
Fuente: Departamento de Calidad. Fogel de Centroamérica.

Figura 45. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 3



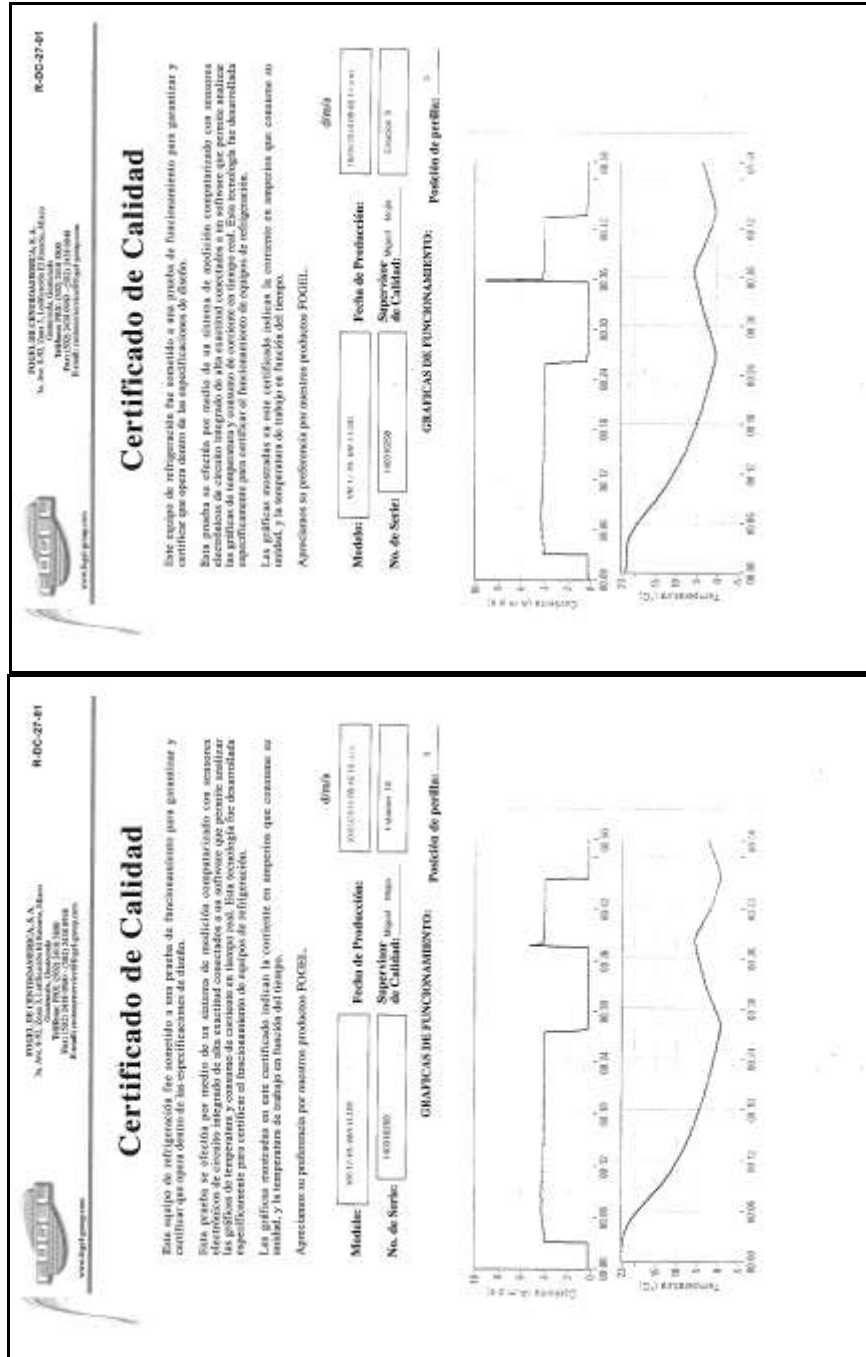
Fuente: Departamento de Calidad. Fogel de Centroamérica.

Figura 46. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 4



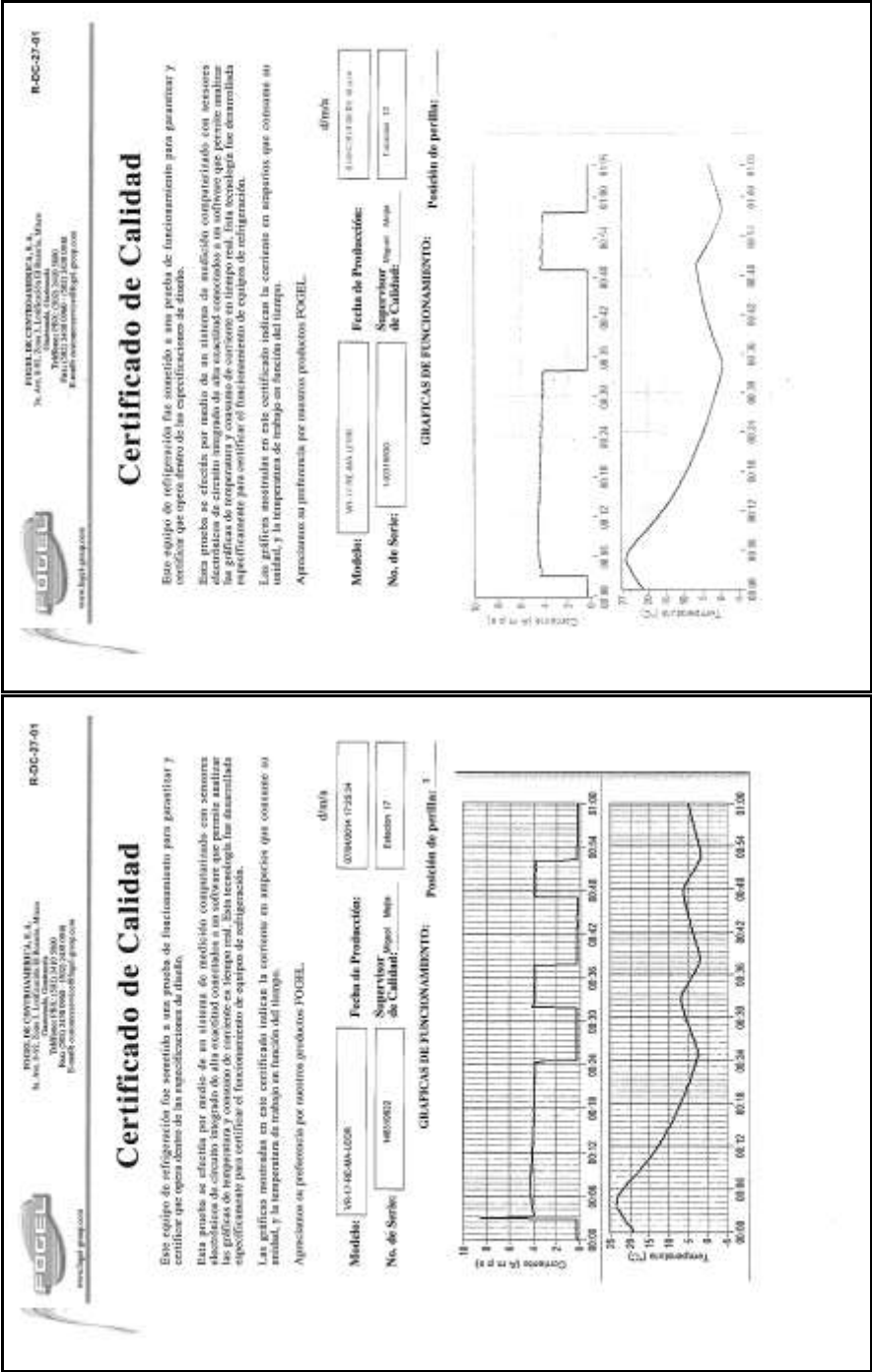
Fuente: Departamento de Calidad. Fogel de Centroamerica.

Figura 47. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 5



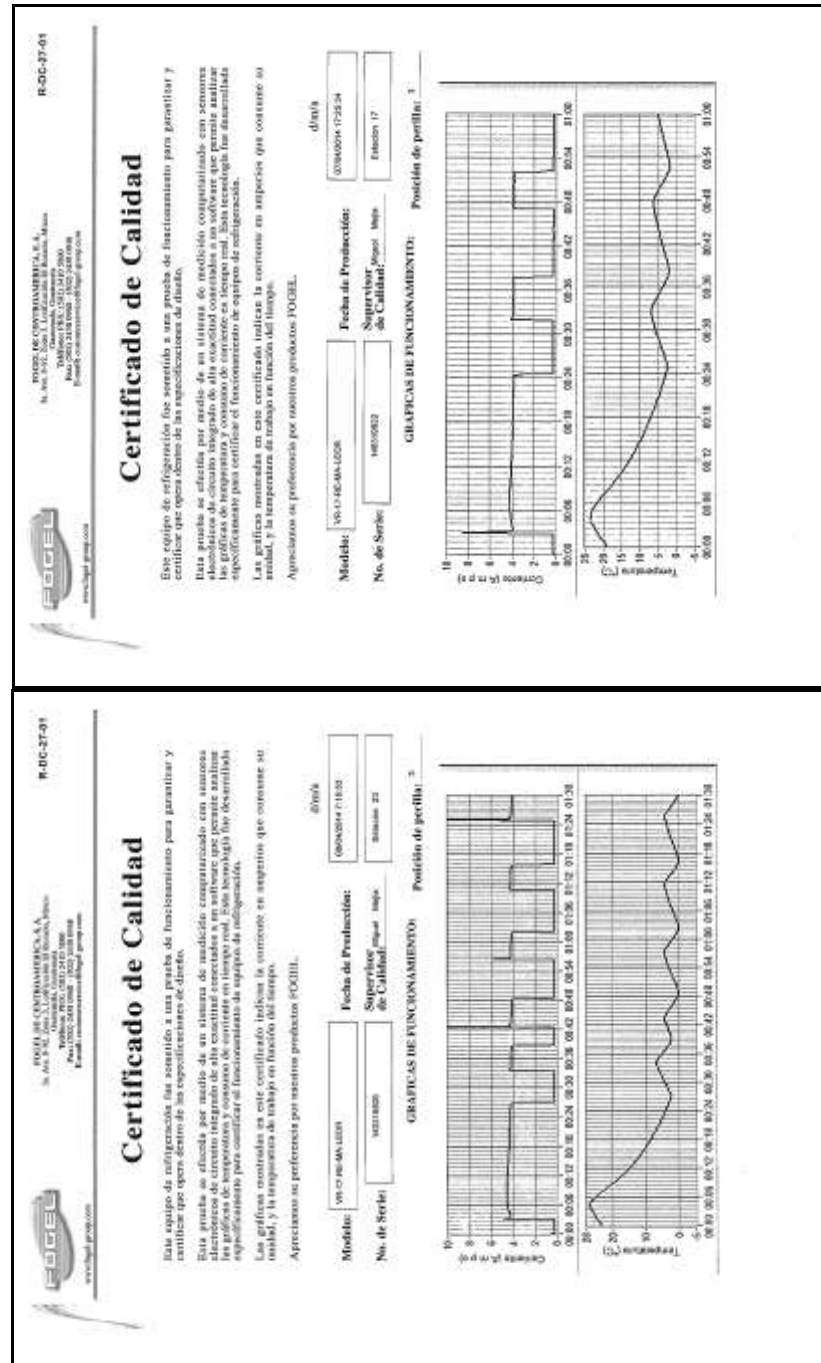
Fuente: Departamento de Calidad. Prueba de equipos.

Figura 48. Funcionamiento, con gas refrigerante virgen 6



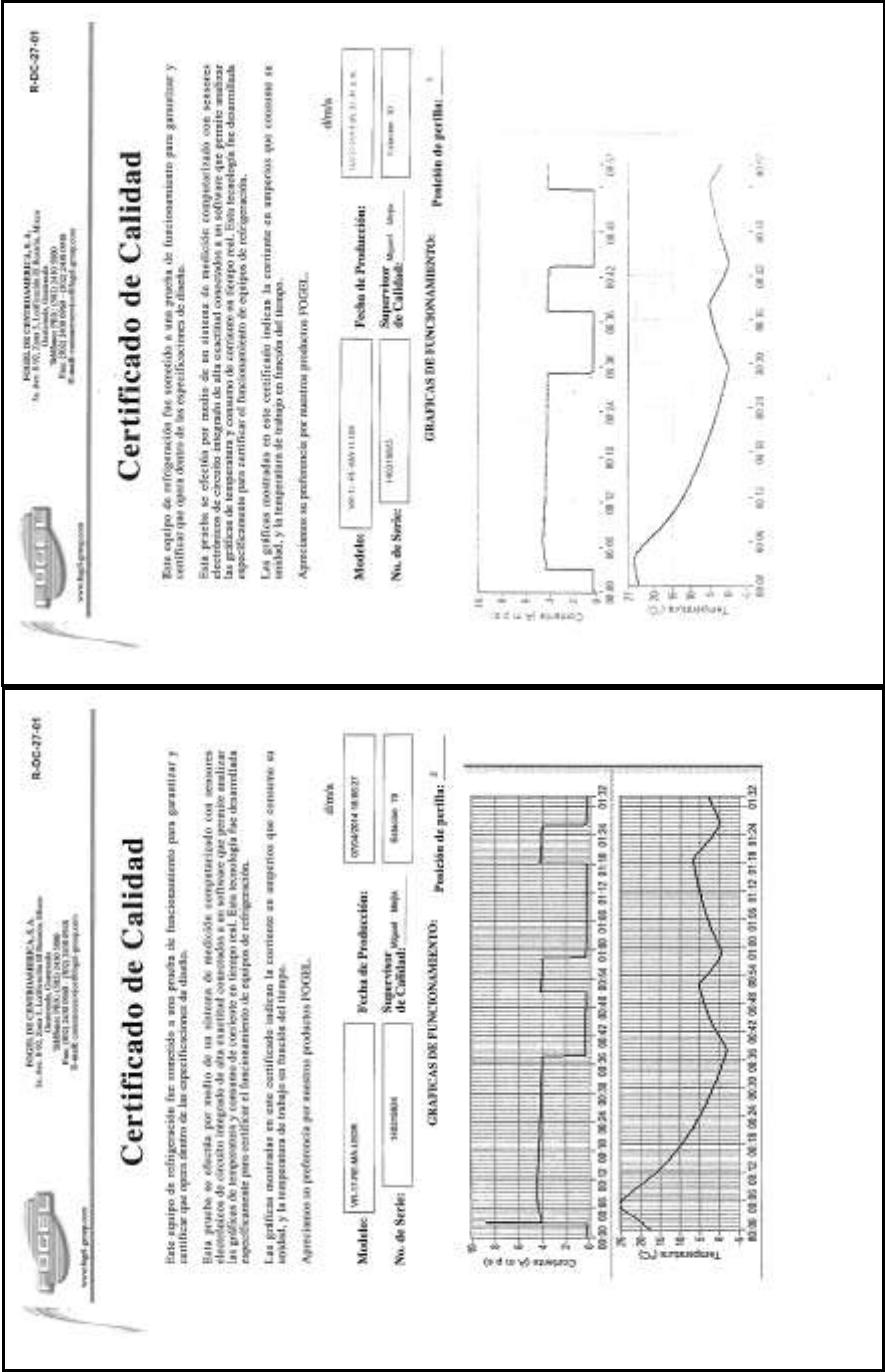
Fuente: Departamento de Calidad. Prueba de equipos.

Figura 49. Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 1



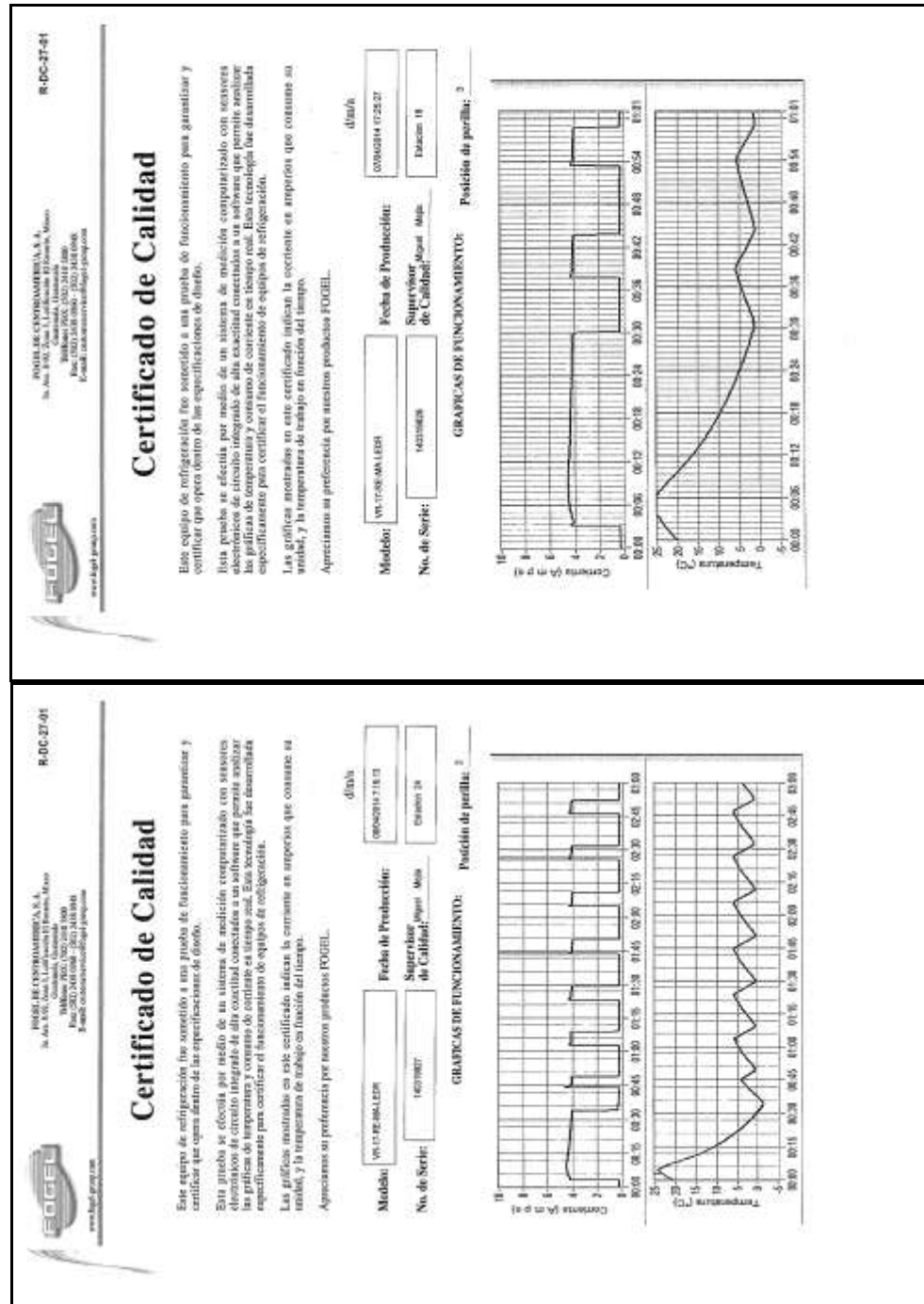
Fuente: Departamento de Calidad. Prueba de equipos.

Figura 50. Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 2



Fuente: Departamento de Calidad. Prueba de equipos

Figura 51. Funcionamiento, con gas refrigerante regenerador 3



Fuente: Departamento de Calidad. Prueba de equipos.

4.6. Discusión de resultados

En los siguientes puntos se presentan los resultados discutidos durante la investigación.

4.6.1. Determinación del ciclo termodinámico para el sistema de regeneración Van Steenburgh JV-90

Para determinar el ciclo termodinámico del proceso de regeneración se instalan sondas tipo “Y” que registran las temperaturas en puntos específicos, entrada y salida de los principales componentes del sistema de regeneración, esto consiste en cables conductores conectados a un termómetro AB marca Sipco, serie PT200, el cual permite la lectura de dos valores de temperatura °F simultáneamente. El cual según datos del fabricante tienen una incertesa de $\pm 0,01$ °C.

Figura 52. Sonda y termómetro AB



Fuente: Fogel de Centroamérica.

Al alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento 5 minutos se procede a tomar las lecturas de temperatura en grados Fahrenheit, en la entrada y salida de componentes simultáneamente.

Otro factor a considerar son los valores de presión manométrica de succión y descarga tomados de los manómetros del equipo cuyos valores son 25 psi y 110 psi respectivamente. A la presión manométrica se suma la presión atmosférica de la ciudad de Guatemala que tiene un valor de 12,39 psi. Los valores de presión absoluta de succión y descarga de 37,36 psia y 122,39 psia respectivamente, a una temperatura ambiente de 25 °C.

Tabla XXVII. Temperaturas y estado del refrigerante según ubicación de sonda

Entalpía (H)	Temperatura		Componente del sistema
	° C	° F	
1	3,88	38,98	Entrada al intercambiador
2	36,70	98,06	Salida intercambiador
3	38,90	102,02	Salida Cámara destilación
4	40,50	104,90	Succión
5	82,20	179,96	Descarga
6	80,00	176,00	Entrada intercambiador contra corriente
7	30,00	86,00	Salida intercambiador contra corriente
8	30,00	86,00	Entrada condensador
9	27,70	81,86	Salida condensador
10	26,70	80,06	Entrada tanque de enfriamiento
11	25,00	77,00	Salida tanque de enfriamiento
12	3,30	37,94	Salida válvula de termo expansión

Fuente: elaboración propia.

Con los valores de temperatura y presión se procede a determinar los estados que el gas refrigerante posee en un determinado punto del proceso.

4.7. Ciclo termodinámico del sistema de regeneración

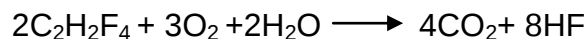
Determinadas las temperaturas en las diferentes etapas del proceso de regeneración, se deben establecer en qué condiciones ingresa el gas recuperado y las características que el mismo debe cumplir según los parámetros de la Norma ARI-700-2011 para gas regenerado.

Tabla XXVIII. Parámetros para gas regenerado. Norma ARI-700-2011

Estado a analizar	Gas sin regenerar	Norma ARI-700-2011
Humedad (ppm)	24,00	10,00
Residuos de alta volatilidad (% en volumen)	0,08	0,01
Gases no condensables (% en volumen)	0,08	1,50

Fuente: Laboratorio Intertek. 1717 Arilingate lane, Columbus OH. USA 43228.

El gas recuperado o sin regenerar presenta las características antes mencionadas, como se evidencia, no cumple en dos parámetros, por lo cual debe someterse a un proceso de regeneración para alcanzar parámetros de aceptación. Los sistemas de refrigeración pueden funcionar correctamente si el gas refrigerante posee características iguales o menores a las de la Norma ARI-700-2011. Si estos valores de humedad exceden lo establecido, puede provocar la formación de hielo en el tubo capilar o en las válvulas de expansión, o la formación de ácido fluorídrico HF, dañando los componentes internos del compresor.



El contaminante de alto punto de volatilidad (aceite del compresor), que debido a su misibilidad con el gas refrigerante es arrastrado durante la circulación del mismo dentro del sistema, provocando acumulación en el capilar o adhiriéndose a las paredes del evaporador. Este aceite en el evaporador puede obstruir el flujo de refrigerante y reducir la transferencia de calor dentro del equipo, haciendo que este consuma mayor energía debido a que tendrá que funcionar un periodo mayor para obtener las condiciones de temperatura interna deseada. El efecto producido en el compresor será la pérdida de niveles de aceite provocando el sobrecalentamiento del mismo y reduciendo su tiempo de vida útil.

Dentro de un sistema de refrigeración, el refrigerante debe condensarse en su totalidad. La presencia de gases no condensables dentro del sistema pueden interferir con esta y causar variaciones entre la presión de operación, provocando que el equipo de refrigeración sea reduzca significativamente su eficiencia, consumiendo mayor energía y reduciendo su tiempo de vida útil. El gas refrigerante recuperado posee valores de humedad y residuos de alto punto de volatilidad fuera de los parámetros requeridos por la Norma ARI-700-2001, para que un gas sea apto y poder utilizarlo.

El proceso de regeneración opera en un rango de presión absoluta de 0,26 a 0,84 MPa. El gas refrigerante no ingresa al sistema en forma líquida, debido a que la temperatura de ebullición del R-134a es de $t_{\text{evapR-134a}} = -26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ el gas ya está evaporándose al ingresar al sistema a una temperatura de $T_1 = 3,88\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que el gas es enviado al sistema de regeneración en una mezcla vapor-líquido, es necesario determinar la calidad con que la mezcla ingresa al sistema.

Para determinar la calidad del vapor se tiene el valores de presión absoluta, es necesario contar con otro valor para determinar la calidad del vapor x , como no se conoce el valor de la entalpia en la entrada se hace un balance de energía en la salida del intercambiadora asi como en la entrada y salida de la cámara de sepración, $H_1 = H_2 - (H_6 - H_7) = H_1 = 432.28 - (464,88 - 241,88) = 209,23 \text{ KJ/Kg}$, con los valores de entalpia y presión absoluta se verifica la calidad de vapor existente para lo cual se utiliza el Diagrama de Mollier y se determina que para el valor de $H_1 = 209,23 \text{ KJ/Kg}$ y $P_a = 37,36 \text{ psia}$ la calidad de vapor existente para las condición de entrada al intercambiador es de $x = 0,07$.

4.7.1.1. Comportamiento del gas refrigerante en Intercambiador de calor y cámara de separación

Las condiciones de entrada al intercambiador de calor el gas tiene un valor energético de $H_1 = 209,23 \text{ KJ/Kg}$ y una $t_1 = 3,88 \text{ }^\circ\text{C}$ en una mezcla vapor-líquido con una calidad de vapor $x = 0,07$. Utilizando la carga de servicio de 7 libras dentro del equipo, que al alcanzar la temperatura óptima de operación, s incia a evaporar el gas que entra al sistema.

En su recorrido por el intercambiador el gas cambia su estado de mezcla vapor-líquido a vapor sobrecalentado, debido a un incremento en el valor de energía a $H_2 = 432,28 \text{ KJ/Kg}$, y una $t_2 = 36,67 \text{ }^\circ\text{C}$ en la salida del mismo. El aumento de energía en el proceso de evaporación se debe a un cambio drástico en la temperatura, con un valor de $\Delta t_{2-1} = 32,79 \text{ }^\circ\text{C}$.

El gas refrigerante resultantante del proceso de evaporación ingresa a la cámara de separación con un valor de $t_3 = 36,67 \text{ }^\circ\text{C}$ ($t_2 = t_3$); con el mismo valor de entalpia de la salida del intercaiador de calor $H_2 = 432,28 \text{ KJ/Kg}$.

Dentro, se produce una destilación *flash* que permite separar el componente más volátil, en este caso el refrigerante que se encuentra en estado de vapor sobrecalentado a $t_4 = 38,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un valor de entalpía de $H_3 = 434,26\text{ KJ/Kg}$ de los residuos de alta punto de ebullición como: aceite que puede estar presente en el refrigerante y que evapora a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, los ácidos y partículas sólidas son separados y precipitan al fondo de la cámara de separación, extrayéndolos en el proceso de purga.

El gas resultante será enviado al compresor, en este punto el gas transporta gases no condensables y vapor de agua. Para asegurar que al compresor ingrese solamente vapor sobrecalentado se lleva a cabo un sobrecalentamiento entre la salida de la cámara de destilación y la succión del compresor $t_{\text{sobrecalentamiento}} = 1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el intercambiado de calor se lleva a cabo la mayor transferencia de energía. El calor total en el intercambiador que efectúa la evaporación del gas refrigerante es:

$$Q_{\text{evaporacióninter}} = \Delta H_3 - H_1 = 434,26 - 209,23 = 225,03\text{ KJ/Kg}$$

Que comprende la energía necesaria para evaporar el gas recuperado que ingresa al sistema.

4.7.1.2. Comportamiento del gas refrigerante en compresor y hacia el intercambiador de calor en contra corriente

De la cámara de separación hacia el compresor se da un sobrecalentamiento extra de $t_{\text{sobrecalentamiento}} = 1,67\text{ }^{\circ}$, el cual asegura que al compresor llegue solamente vapor sobrecalentado.

Al compresor ingresa vapor sobrecalentado a $t_5 = 40,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,26\text{ MPa}$, con un valor de energía de $H_4 = 435,69\text{ KJ/Kg}$ y sale a $T_6 = 82,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,84\text{ MPa}$ con un valor energético de $H_5 = 467,12\text{ KJ/Kg}$. El cambio de energía ganado en este proceso es de $\Delta H_{5-4} = 31,43\text{ KJ/Kg}$ este valor proporciona el trabajo útil realizado en el proceso de compresión.

En esta etapa del proceso, el gas se encuentra en fase de vapor sobrecalentado, pudiendo haber arrastrado moléculas de aceite del compresor, por lo que existe un separador de aceite en la descarga del mismo. El refrigerante continúa su paso hacia el intercambiador de calor y, a su ingreso al mismo, tiene las siguientes, $t_7 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H_6 = 464,88\text{ KJ/Kg}$ y $p = 0.84\text{ MPa}$. En este punto el vapor sobrecalentado posee vapor de agua y gases no condensables, pero se termina de eliminar las moléculas de aceite que pudieran llegar hasta esta etapa del proceso, redirigiéndolo al intercambiador de calor a contracorriente.

4.7.1.3. Comportamiento del gas refrigerante en intercambiador de calor a contra corriente hacia condensador

El vapor sobrecalentado que sale del compresor a $T_6 = 82,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ pasando por el acumulador de aceite adquiere valores de $T_7 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $H_5 = 467,12\text{ KJ/Kg}$ listo para ser condensado, proceso que se lleva a cabo enviándolo nuevamente al intercambiador de calor. El equipo aprovecha la temperatura con la que ingresa el gas refrigerante desde el tanque de recuperación al sistema a $T_1 = 3,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,26\text{ MPa}$, para enfriar el gas refrigerante procedente de la descarga compresor hasta alcanzar un valor $T_8 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $H_8 = 241,88\text{ KJ/Kg}$ con dirección al condensador. El intercambio de temperatura producido tiene un valor de $\Delta t_{\text{condensación}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El calor de compresión a su vez, es aprovechado para aumentar la temperatura del gas que ingresa al sistema y alcanzar el valor de $t_2 = 36,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ y produciendo $\Delta t_{\text{evaporación}} = 32,79\text{ }^{\circ}\text{C}$. El calor necesario para evaporar el gas refrigerante recuperado y que ingresa al sistemas es:

$$Q_{\text{interccorriente}} = H_9 - H_6 = 238,57 - 464,88 = - 226,31 \text{ KJ/Kg}$$

En este punto del proceso el gas refrigerante se encuentra ya como líquido su enfriado que debe pasar aun por el condesador. En esta etapa el gas contienen agua y gases no condesables.

4.7.1.4. Calor de evaporación y condensación del gas refrigerante R-134a en el proceso de regeneración

El calor producido en el intercambiador y el liberado al ambiente en el intercambiador a contra corriente posee valores

$$\begin{aligned} Q_{\text{evaporacióninter}} &= 225,03 \text{ KJ/Kg} \\ Q_{\text{total de condesación}} &= - 243,97 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

La diferencia entre el calor de evaporación y condesación = - 1,08 Kj/Kg indicando que la cantidad de calor aplicada en el intercambiador y cámara de separación para evaporar el gas refrigerante, es neutralizado por la cantidad de calor retirado en el intercambiador a contracorriente en el intercambiador a contracorriente y condesador. El valor negativo del calor para condensar el refrigerante indica que el gas pierde energía (se enfría), para facilitar su descarga al los cilindros de almacenaje de gas regenerado, comprobándolo al

comparar la temperatura de entrada de gas recuperado y la salida de gas regenerado. $t_1 = 3.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{16} = 3.33\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.7.1.5. Comportamiento del gas refrigerante en el condensador hacia los tanques de enfriamiento

El vapor saliente del intercambiador de calor hacia el condensador, ingresa a alta presión 0,84 MPa y a $T_9 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H_8 = 241,88\text{ KJ/Kg}$ en estado de líquido subenfriado, saliendo de este último con un valor de $T_{10} = 27,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una entalpía igual a $H_9 = 238,56\text{ KJ/kg}$ a la misma presión. En esta parte del proceso el líquido se subenfía hasta alcanzar un valor $T_{\text{subenfriamiento}} = 3.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una entalpía de $H_{10} = 237,14$ ingresando a los tanques de enfriamiento a $T_{11} = 26,67\text{ }^{\circ}\text{C}$, aquí la temperatura desciende aún más, debido a una reducción del gas dentro de los mismos, hasta alcanzar los $t_{13} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 0,84 MPa y $H_{11} = 234,70\text{ KJ/Kg}$. El cambio de energía no es significativo, pero el subenfriamiento permite cumplir con las condiciones necesarias que debe tener el gas refrigerante en su almacenamiento para poder extraerle la humedad posteriormente.

$$Q_{\text{condensador}} = H_8 - H_9 = 241.88 - 238,57 = - 3,31\text{ KJ/Kg}$$

En los tanques de enfriamiento se lleva a cabo la separación de los gases no condensables. Con el líquido subenfriado a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ expulsa los gases no condensables al ambiente que se han acumulado en la parte superior de los tanques. Para realizar la extracción del sistema de estos gases, se debe comparar la presión del manómetro de descarga del equipo con el valor en la tabla de saturación para el gas R-134a a una temperatura ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. La presión manométrica de descarga indicada en el equipo es $P_{\text{descarga}} =$

110 psi. Los valores de saturación para el R-134a a esta temperatura debe ser 82,5 psig. Al activar la válvula de liberación de aire, los gases condensables serán evacuados hasta que la presión del manómetro de la máquina iguale el valor de la presión de la tabla de saturación para el R-134a. Cuando ambos valores sean iguales los gases no condensables se retiraron en su totalidad del sistema.

Cuando no se cuenta con tabla de saturación para el R-134a se puede activar el interruptor de liberación de aire hasta que la aguja del manómetro se mantenga estable, aunque se quiera extraer más aire del sistema, el mismo ya no lo permitira, debido a que se alcanzó la presión de saturación a la temperatura donde se realiza la operación, para este caso el manómetro no bajaría de 82,5 psig. Al finalizar el proceso se esperan 5 minutos y se verifica nuevamente el valor de la presión de descarga con el de la tabla, si no ha cambiado se da por finalizado el proceso de extracción de gases no condensables. En esta parte del proceso el refrigerante contiene agua, la cual será retirada en su paso por los filtros deshidratadores.

4.7.1.6. Tanques de enfriamiento a los filtros deshidratadores

Estos tanques almacenan el gas refrigerante, ingresa en estado de líquido subenfriado a $t_{11} = 26,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un valor de entalpía de $H_{10} = 237,14\text{ KJ/Kg}$ saliendo de los mismos a $t_{13} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una entalpía de $H_{11} = 234,71\text{ KJ/Kg}$. En esta parte del proceso el gas en forma de líquido subenfriado, ya no posee aceite, ácidos ni gases no condensables, pero persisten los niveles de humedad 24 ppm, los cuales serán retirados en su paso por los filtros deshidratadores último paso en el proceso de regeneración. En esta parte del proceso se tiene un valor de calor disipado equivalente a:

$$Q_{\text{tanquesalmacenamiento}} = H_{10} - H_{11} = 237.14 - 234.71 = - 2,43 \text{ KJ/Kg}$$

Los indicadores de humedad en los filtros deshidratadores proporcionan un valor real de la humedad por medio. del cambio de color en el indicador. Para asegurar que la lectura del indicador es correcta la temperatura de ingreso del gas refrigerante a los filtros debe ser a 25 °C, mientras más alejado sea el valor de la temperatura del gas de los requerido los valores de humedad pueden ser errones.

Antes de enviar el gas regenerado a los tanques de almacenamiento, se procede a extraer los gases no condensables y la purga de aceite, finalizando el proceso de regeneración.

4.7.1.7. Comportamiento del gas refrigerante en filtros deshidratadores a tanque de almacenamiento de gas regenerado

Al pasar el gas refrigerante por los filtros deshidratadores se retira la humedad de 24 ppm presentes en el gas recuperado, reduciéndola a un valor certificado por un laboratorio con un valor de 8 ppm de en el gas regenerado. Esto indica que los filtros retienen 16 ppm de humedad antes de enviar el gas a través de la válvula de termo expansión hacia el cilindro de almacenaje de gas regenerado M_{gR} . El gas refrigerante saliente tiene una $T_{13} = 3,33 \text{ °C}$ una variación de 0,50 °C respecto a la temperatura de entrada, entalpía $H_{12} = 204,62$ y presión = 0,86 MPa esta condición de salida permiten descargarlo hacia el tanque de almacenamiento.

4.7.1.8. Diagrama de Mollier para el ciclo de regeneración

El Diagrama de Mollier presión (MPa) *versus* entalpía (KJ/Kg) permite observar gráficamente el comportamiento termodinámico del sistema de regeneración, cambios de energía y estado que sufre el gas refrigerante en las diferentes etapas del proceso, así como la parte del mismo donde son retirados los agentes contaminantes.

El gas refrigerante recuperado, ingresa al sistema como una mezcla de vapor-líquido, para establecer la calidad de vapor con que ingresa el gas, se cuenta con los valores de presión de baja del sistema 0,26 MPa y el valor de la entalpía en la entrada al intercambiador de calor $H_1 = 209.23$ KJ/Kg, obtenido del balance de energía. Entre la curva de líquido y vapor saturado se lleva a cabo una evaporación isobárica del gas refrigerante con un cambio significativo de temperatura y entalpía al finalizar el proceso de evaporación se observa que se produce un sobrecalentamiento, para asegurar que al compresor maneje únicamente vapor sobrecalentado. Aquí se lleva a cabo una compresión isoentrópica del gas realizando el cambio de baja a alta presión. Al observar la etapa de condensación isobárica, que para este sistema es a contracorriente y donde se da al entorno el calor proveniente de los pasos anteriores, para asegurar que el gas se convierta totalmente líquido se da un subenfriamiento para que el gas en estado líquido sea enviado a los tanques de almacenamiento y facilitando su descarga a los cilindros.

4.8. Identificación de equipos con defecto

Se tomaron 10 equipos de los modelos en fabricación y que fueron reportados con algún defecto mayor en el sistema de refrigeración, identificados

en el Área de Prueba de equipos (Departamento de Calidad), enviados al Área de Reparación para su diagnóstico y reparación.

Estos equipos son identificados con una tarjeta de producto no conforme, que requieren cambio de algún componente dañado, se debe retirar el gas refrigerante inyectado inicialmente (M_o) en el Área de Refrigeración de equipos, realizando esta operación por medio del equipo de recuperación de gas refrigerante durante el mes de aplicado el estudio.

Tabla XXIX. **Tabla de diagnóstico de equipos con defecto**

ORDEN	MODELO	NUMERO DE SERIE	PROBLEMA DETECTADO	REPARACION
1	VR-17-RE	144286	Enfría lento. Refrigerar de nuevo	Refrigerar de nuevo
2	VR-17-RE	144119	Enfría lento. Refrigerar de nuevo	Refrigerar de nuevo
3	VR-17-RE	144206	Enfría lento. Refrigerar de nuevo	Refrigerar de nuevo
4	VR-35-RE	144395	Condensador dañado	Cambiar componente dañado
5	CR-49	141198	Compresor con daño interno de origen	Cambiar componente dañado
6	FR-126-CF-LEDR	144192	Tamponamiento en capilar	Refrigerar de nuevo
7	FR-126-CF-LEDR	144196	Enfría lento. Refrigerar de nuevo	Refrigerar de nuevo
8	FR-126-CF-LEDR	144092	Enfría lento. Refrigerar de nuevo	Refrigerar de nuevo
9	MIRAGE-6	132345	Tubería con quiebre en succión	Cambiar componente dañado
10	ELITE-6	134157	Condensador con tubo dañado	Cambiar componente dañado

Fuente: elaboración propia.

4.9. Eficiencia del proceso de regeneración

Este proceso está determinado por la masa de gas recuperado (M_{gr}) y esta, por la masa de gas inyectada inicialmente (ΣM_o) a cada uno de los equipos. La cual está en función de los componentes del sistema de refrigeración, el tipo de equipo a fabricar y las temperaturas de operación requeridas.

Para que la operación de regeneración sea eficiente, se almacenan en un recipiente adecuadamente identificando la masa inicial de refrigerante de varios equipos (ΣM_o) con el objetivo de alcanzar la mayor cantidad de masa de gas recuperado (M_{gr}). La eficiencia del proceso de regeneración está dada por:

Ecuación No. 19.

$$\text{Ef. \%} = \frac{M_{gR}}{M_{gr}} \times 100 \quad (19)$$

Donde:

M_{gR} = masa de gas regenerado

M_{gr} = masa de gas recuperado

Esta carga de gas refrigerante se encuentra registrada en la etiqueta de número de serie de los equipos, que aparece en la parte interna del refrigerador en el dado izquierdo. Donde se especifica el tipo de refrigerante y la cantidad en onzas.

4.9.1. Recuperación de gas refrigerante

Se recupera el gas refrigerante R-134a (ver procedimiento 4.6.3), por cada uno de los equipos diagnosticados con defectos en el sistema de refrigeración durante la fase de fabricación. Estos equipos han funcionado durante 2 horas, tiempo que dura la prueba de equipos. Lo cual impide tomar el gas refrigerante e inyectarlo nuevamente a otros sistemas, debido a su contacto con posibles agentes contaminantes. Para determinar la masa de gas recuperado se deben obtener dos valores: uno de ellos la tara del cilindro de almacenaje, identificado con la etiqueta de gas recuperado. La tara del cilindro es de 6,81 kilogramos

equivalente a 17,30 libras, la masa de gas recuperado se obtiene por diferencia de peso.

$$M_{gr} = \text{peso total} - \text{tara inicial}$$

Y el valor de la masa inicial de gas inyectada a cada unidad, con los valores de M_o de los diez equipos detectados con problema; en el sistema de refrigeración se procede a determinar la masa total de gas recuperado M_{gr} .

Tabla XXX. **Masa inicial, recuperada y regenerada de gas R-134a**

ORDEN	MODELO	NÚMERO DE SERIE	CARGA DE GAS INICIAL (M_o) EN onza	MASA DE GAS RECUPERADA (M_{gr}) EN onza	MASA DE GAS REGENERADO ($M_{gr} = M_{grR}$) EN onza
1	VR-17-RE	144286	10	10	10
2	VR-17-RE	144119	10	10	10
3	VR-17-RE	144206	10	10	10
4	VR-35-RE	144395	16	16	16
5	CR-49	141198	18	18	18
6	FR-126-CF-LEDR	144192	6	6	6
7	FR-126-CF-LEDR	144196	6	6	6
8	FR-126-CF-LEDR	144092	6	6	6
9	MIRAGE-6	132345	21	21	21
10	ELITE-6	134157	20	20	20
Totale en onzas			123	123	123
Totales en lb.			7.69	7.69	7.69

Fuente: elaboración propia.

De los equipos reparados son un total de 123 onzas = 7,69 libras. Dato obtenido de la sumatoria de masas M_o de cada equipo, según la tabla de inyección de gas refrigerante. El peso total del cilindro de almacenaje de gas recuperado fue de 24,99 libras. – 17,30 libras de tara del cilindro de almacenaje da como resultado 7,69 libras. de gas refrigerante recuperado, esta operación permite determinar la eficiencia de recuperación de gas refrigerante, siendo esta del 100 por ciento. Esto indica que de ser aplicado correctamente el proceso de recuperación la eficiencia es del 100 por ciento.

4.9.2. Eficiencia del proceso de regeneración

Será determinada por la cantidad de gas recuperado M_{gr} . La máquina regeneradora debe tener 7 libras de gas refrigerante como carga de servicio; para determinar la masa de gas regenerado M_{gR} se coloca al cilindro de gas recuperado manómetros de presión para observar en ellos, cuando los valores de presión indiquen que se ha pasado a realizar vacío, al alcanzar un valor de -10 psi la máquina se detendrá.

El peso del cilindro de gas regenerado M_{gR} debe ser igual al peso extraído del cilindro de gas recuperado M_{gr} . Si el valor del cilindro de gas regenerado es mayor que el de recuperado, significa que se extrajo parte de la carga de servicio. Si es menor significa que aún queda gas por extraer en los tanques. La presión que posean los cilindros de almacenaje serán determinantes para el tiempo de carga y descarga del gas refrigerante de la regeneradora.

4.10. Velocidad de carga y descarga de regeneradora

La velocidad de carga y descarga del gas refrigerante en el sistema regeneración, es determinada por el tamaño del cilindro de almacenaje de gas recuperado y regenerado. El volumen y la presión que estos poseen influirán directamente en la velocidad con que se lleve a cabo el proceso.

Tabla XXXI. **Velocidad de almacenaje, eficiencia y rentabilidad del proceso**

CILINDRO lb.	VELOCIDAD DE DESCARGA lb/min.	VELOCIDAD DE CARGA lb/min.	EFICIENCIA DEL PROCESO %	RENTABILIDAD \$
<25	ALTA	ALTA	BAJA	BAJA
25 a 100	ALTA	BAJA	ALTA	ALTA
> 100	ALTA	MUY BAJA	ALTA	ALTA

Fuente: elaboracion propia.

Se determina que es más eficiente para el proceso trabajar con cilindros de 100 libras, para alcanzar la mayor velocidad y rentabilidad del proceso.

4.10.1. Tiempo de regeneración

El tiempo de regeneración utilizando un cilindro de 100 libras de gas recuperado, se cuantifica en 25 minutos de descarga del cilindro hacia la máquina regenerador y 35 minutos, en la descarga hacia el cilindro de regeneración es equivalente a 1.16 lb/ min de refrigerante, equivale a 70 lb/h. Mientras mayor sea el cilindro de carga de gas recuperado y descarga de gas regenerado mayor será el tiempo de operación.

4.11. Medición del potencial de calentamiento atmosférico

Este se producirá si el gas refrigerante de regeneración R-134a es liberado al ambiente en un periodo de 30 días de aplicación del proyecto. Durante este periodo de tiempo se medirá la cantidad de gas regenerado de todos los equipos a los que se tenga que hacer una reparación mayor, posteriormente a la identificación y diagnóstico del problema reportado, en el Area de Reparación se procede a recuperar el gas según carga M_o .

4.11.1. Cálculo de potencial de calentamiento atmosférico

La determinación el potencial de calentamiento atmosférico que generaría el no implementar dicho procedimiento es de 500 toneladas de CO₂ equivalentes. Esta masa se obtienen de multiplicar las 7,69 libras de gas refrigerante R-134a recuperado y multiplicarlo por el factor de 1 300 libras equivalentes de CO₂.

Según la Norma EURO 2000, un vehiculo de reciente modelo genera 165g CO₂/km recorrido. Para hacer una analogía 5,00 toneldas serían equivalente a 4 598,638 gramos, dividiéndolo entre los gramos de CO₂ generados por el vehículo sería como recorrer 27 506,90 km recorridos o 17 191,81 millas, si de Guatemala a Canadá hay 3 237 millas. Sería como viajar 5,31 veces en vehiculo hacia Canadá o que 100 vehículos recorieran un equivalente a 270 km cada uno.

El resultado de liberar 4,44 toneldas equivalentes de CO₂ impactaría considerable al ambiente, justificando con esto la implementación del proyecto de regeneración de gas refrigerante R-134a. Produciendo rentabilidad economicamente, pero produce una gran contribución a reducir los indices de calentamiento atmosférico.

La verificación de los parámetros de calidad del gas refrigerante R-134a obtenido de la operación y proceso de regeneración según Norma ARI-700-11, se realiza en un laboratorio en INTERTEK Columbus, Ohaio, Estados Unidos. Siendo este laboratorio certificado para dicha prueba.

La prueba consiste en tomar dos muestras 1 y 2 de gas refrigerante. La del cilindro 1 contiene gas sin regenerar y la muestra del cilindro 2 contiene gas

regenerado. Esto se lleva a cabo con la presencia de un aditor que INTERTEK envía. Este laboratorio designa el procedimiento a seguir en la toma de muestras de gas refrigerante. Al tener las muestras, se envían al laboratorio para su posterior análisis y certificación de parámetros de calidad.

Los resultados son recibidos en un periodo no mayor a 20 días hábiles, por medio de un certificado membretado y debidamente autorizado con los resultados obtenidos de las muestras enviadas.

4.12. Resultado de muestra de gas regenerado

Se observa en el certificado extendido por el laboratorio que el resultado, obtenido por la muestra de gas sin regenerar y regenerado 1 y 2 respectivamente, evidencian que el proceso de regeneración es funcional y aplicado correctamente, permitiendo que la unidad *Van Steenburg* JV-90-2 proporcione gas regenerador bajo los parámetros de calidad y aceptación de la Norma ARI-700-2011. Obteniendo valores superiores a los que se encuentran en el mercado, permitiendo a través de los resultados de dichas pruebas, autorizar su inyección a equipos nuevos, que será certificado mediante las pruebas de funcionamiento de equipos por el fabricante.

Si se tiene una saturación relativa del gas R-134a 25 °C con contenido de humedad de 24 ppm, entonces $(24/1100) \times 100 = 2,18 \%$ de saturación relativa. El valor en que se divide el contenido de humedad es el de la solubilidad del agua en el R-134a para esa temperatura, que es igual a 1100 ppm. Según la Norma ARI-700-2011 el parámetro aceptable de humedad en el gas refrigerante R-134a es de 10 ppm. Tomando dicho valor para los mismos valores de temperatura se obtendría una saturación relativa de $(10/1100) \times 100 = 0,91$ por ciento que sería el valor máximo. El análisis de la muestra de gas

regenerado da como resultado 8 ppm, donde se tendría una saturación relativa a las mismas condiciones de $(8/1100) \times 100 = 0,73 \%$. Los residuos de alto punto de volatilidad que se muestra en el gas sin regenerar es de 0,02 por ciento de volumen como el aceite son retirados en la purga de aceite al final de proceso la norma requiere 0,01 por ciento en volumen y el valor obtenido después de la regeneración es de 0,01 por ciento en volumen, por lo que los valores de gases no condensables y este valor indica que el gas sobrepasa los requerimientos de la Norma. Aunque en la muestra de gas recuperado el valor de gases no condensables es aceptable según la Norma, no se puede dejar de evacuarlos del sistema debido a que no se debe cumplir con el aseguramiento en la aplicación del procedimiento.

4.13. Comparación de funcionamiento de equipos con gas R-134a virgen *versus* gas regenerado

Para comparar el funcionamiento de equipos que han sido cargados con gas refrigerante virgen *versus* gas regenerado, se toman 10 equipos cargados con gas virgen; se compara en el Área de Prueba el funcionamiento de dichos equipos contra 10 equipos del mismo modelo y mismas características cargados con gas regenerado. Los equipos muestra con gas virgen fueron probados durante el mes de abril de 2014 y con gas regenerado, fueron probados durante el mes de mayo. Las gráficas de prueba de funcionamiento de equipos (certificado de Calidad), demuestra que el equipo opera dentro de las especificaciones de diseño. El método de análisis consiste en un sistema de medición computarizado con sensor electrónico de circuitos integrados conectados a un software que permite un analizar gráficamente la temperatura y el consumo energético en tiempo real.

Los parámetros de temperatura de una cámara infriadora está entre los 5 a 0 °C promedio, temperatura requerida para el enfriamiento de gaseosas, jugos, entre otros. Para medir la el consumo energético se tienen patrones establecidos en laboratorio, midiendo la corriente en amperios, según estándares de operación, un equipo debe operar en 4 amperios +/- 15 por ciento de variación. Para determinar que un equipo funciona correctamente debe realizar el primer corte de ciclo durante los primeros 30 minutos de su puesta en marcha, para este modelo en particular. El ciclo establecido para emitir el certificado de calidad puede variar en escala de tiempo, es decir puede medirse en intervalos hasta de 30 o hasta 120 minutos, dependiendo del tipo de refrigerado, vitrina o congelador. Si no cumple con los parámetros el equipo es rechazado nuevamente, identificando el equipo como no conforme para su posterior revisión.

Comparando las gráficas de los 10 equipos con gas virgen y 10 equipos con gas regenerado se observa que los ciclos, temperaturas alcanzadas y consumos energéticos se encuentran dentro de los parámetros de diseño y fabricación, por lo cual se otorga el certificado de calida para respaldar el buen funcionamiento y sirve como certificado de garantía del equipo de refrigeración.

CONCLUSIONES

1. Determinar la termodinámica del proceso, permite conocer cómo, cuándo y dónde se retiran los agentes contaminantes del gas R-134a, implementando un procedimiento adecuado para regenerarlo, basado en el conocimiento de los estados del gas dentro del sistema.
2. La implementación del proceso de regeneración, da como resultado gas refrigerante R-134a, que cumple con los parámetros de calidad, basado en la Norma ARI-700-2011, por lo que es apto para reutilizarse.
3. La eficiencia del proceso de regeneración M_{gR} es de 100 por ciento.
4. El potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) que se produce en el ambiente de liberar las 7,69 libras de gas regenerado R-134a en el período de 30 días en la que se aplica el proyecto es de 9,997 libras de equivalentes CO₂.
5. El retorno de inversión del proyecto dependerá de la masa de gas recuperado M_{gr} , de los equipos con defecto en el sistema de refrigeración.
6. El tiempo de regeneración de gas refrigerante es determinado por volumen de los cilindros, utilizados para almacenar el gas recuperado y el gas regenerado.

7. La prueba de funcionamiento de equipos que utilizan gas R-134a regenerado, cumple con los parámetros de temperatura y consumo energético requeridos.

RECOMENDACIONES

1. Almacenar de 70 a 90 libras de gas refrigerante R-134a hace el proceso de regeneración más rentable.
2. Identificar correctamente los cilindros para evitar la mezcla de gas recuperado y regenerado.
3. No utilizar el equipo de regeneración para dejar almacenado gas refrigerante regenerado, debido a que se congelan las válvulas de termo expansión.
4. Tomar y analizar muestras de gas regenerado cada seis meses como mínimo, para asegurar el correcto funcionamiento del equipo y aplicación correcta del procedimiento.
5. Para reducir el tiempo de carga de cilindros con gas regenerado se recomienda, instalar una carcasa con sistema de refrigeración, para bajar la temperatura del gas y su presión o sumergir el cilindro de almacenaje de gas regenerado en un tanque con agua y hielo.

BIBLIOGRAFÍA

1. GREEN. W. Maloney; PERRY, H.. O. James. Manual del ingeniero químico. 6a ed. McGraw-Hill México 1995. 450 p.
2. GUERRA, Fernando. *Manual técnico valycontrol. Manual técnico de tefrigeración y aire acondicionado*. Certificado de reserva de derechos 1996. México: Nicolas Romero. ISBN 968-7669-04-7. 271 p.
3. JUTGLAR, Luis. MIRANDA Angel. L. *Técnicas de refrigeración*. Colección Técnicas de climatización. 2008 MARCOBO. Barcelona: ISBN 978-84-267-1644-6. 2008. 130 p.
4. YÁÑEZ, Gildardo. *Buenas prácticas en sistema de refrigeración y aire acondicionado*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Unidad de Protección de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Trasferencia de Contaminantes. México: SERMANAT 2005. 100 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos

El campo de estudio del presente trabajado de graduación es:

ÁREA: Ingeniería y Tecnología

ÁREA TEMÁTICA PRINCIPAL: Fisicoquímica, Operaciones Unitarias, Química

ÁREA TEMÁTICA SECUNDARIA: Ingeniería y Tecnología Química

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Procesos químicos.

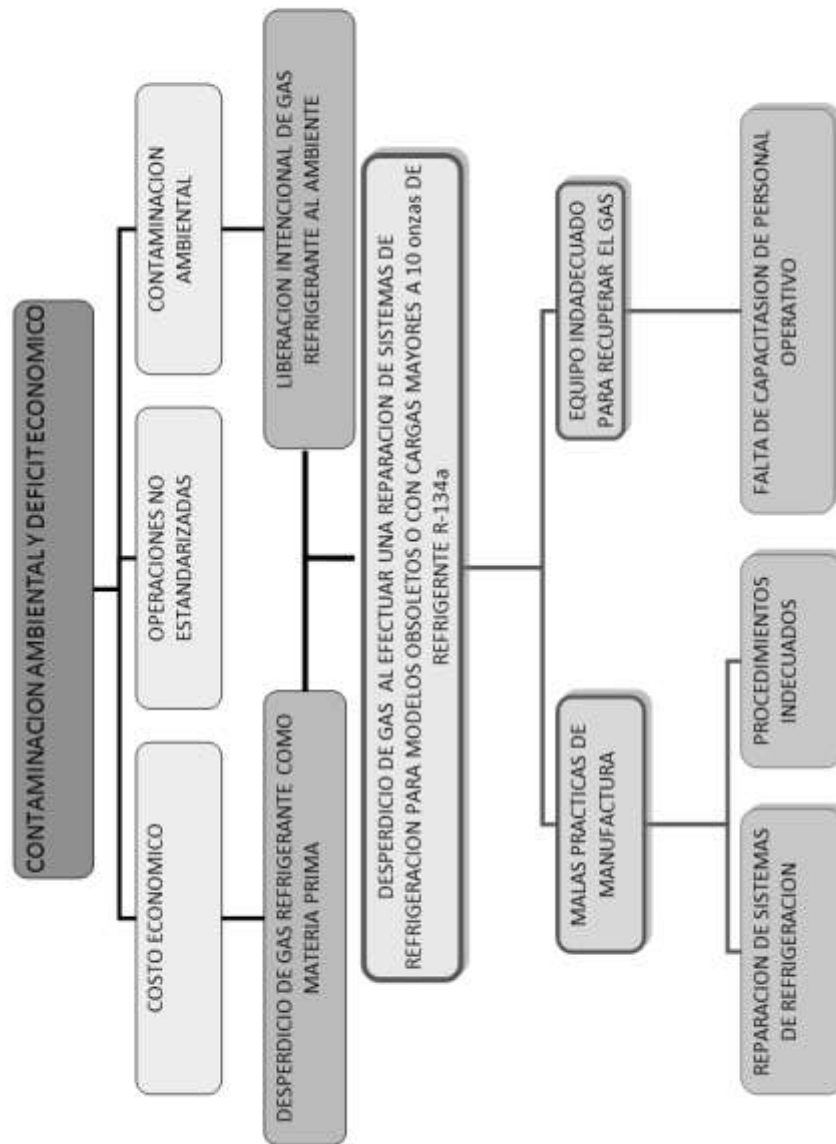
Termodinámica.

Operaciones unitarias.

Química ambiental.

EJE TEMÁTICO DE INVESTIGACIÓN: Procesos químicos Industriales.

Apéndice 2. árbol de problemas



Fuente: elaboración propia

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de capacidad de compresor



Tecumseh

Performance Data Sheet

AWA7515ZXD

General Information

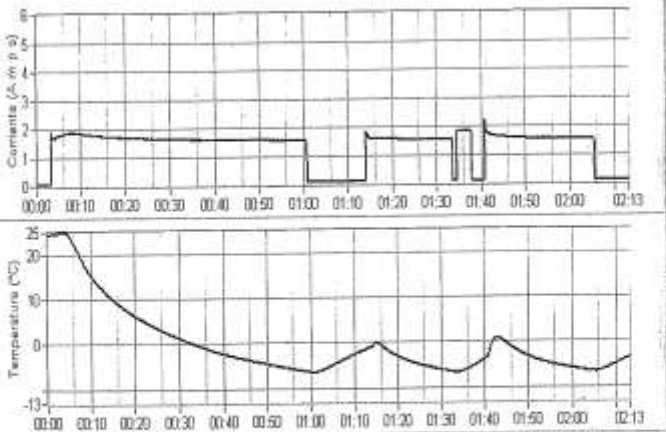
Model	AWA7515ZXD	Refrigerant	R404A
Test Condition	ARI	Test Voltage	230V ~ 60HZ
Return Gas	4.4°C (40°F) RETURN GAS	Motor Type	CSR

Performance Information

Evap Temp (°F)	Condensing Temperature (°F)								
		80	90	100	110	120	130	140	150
-10	Btu/h	12900	10100	8430	7440	6710	5810	4310	1770
	Watts	1840	1820	1810	1800	1800	1790	1780	1750
	Amps	8.75	8.71	8.72	8.72	8.65	8.44	8.03	7.36
	Lb/h	226	184	166	162	162	158	140	99.5
-5	Btu/h	15100	11900	9850	8560	7560	6430	4730	2030
	Watts	1860	1870	1880	1900	1910	1920	1910	1900
	Amps	8.92	8.98	9.09	9.20	9.23	9.13	8.83	8.26
	Lb/h	266	219	196	186	183	175	156	114
0	Btu/h	17500	13900	11600	9950	8690	7320	5420	2560
	Watts	1920	1960	1990	2020	2050	2070	2080	2070
	Amps	9.19	9.34	9.55	9.75	9.87	9.87	9.66	9.20
	Lb/h	312	259	230	217	210	201	179	137
5	Btu/h	20200	16200	13500	11600	10100	8450	6340	3300
	Watts	2000	2060	2110	2170	2210	2240	2250	2250
	Amps	9.53	9.77	10.1	10.3	10.6	10.6	10.5	10.1
	Lb/h	362	304	271	254	245	234	211	168
10	Btu/h	23100	18800	15700	13500	11600	9780	7460	4250
	Watts	2090	2170	2250	2320	2380	2420	2440	2440
	Amps	9.93	10.2	10.6	11.0	11.2	11.4	11.4	11.1
	Lb/h	416	353	316	297	286	273	250	207
15	Btu/h	26200	21500	18100	15500	13400	11300	8750	5350
	Watts	2180	2290	2380	2470	2540	2600	2620	2630
	Amps	10.3	10.7	11.1	11.6	11.9	12.1	12.2	12.0
	Lb/h	473	406	366	344	331	318	295	252
20	Btu/h	29500	24400	20600	17700	15300	12900	10200	6580
	Watts	2260	2390	2510	2620	2700	2760	2800	2800
	Amps	10.8	11.2	11.7	12.1	12.5	12.8	12.9	12.8
	Lb/h	532	462	419	396	382	368	345	304
25	Btu/h	33000	27400	23300	20000	17300	14700	11700	7900
	Watts	2330	2490	2620	2740	2840	2910	2950	2960
	Amps	11.1	11.6	12.1	12.7	13.1	13.5	13.6	13.5
	Lb/h	593	520	475	450	436	422	401	362
30	Btu/h	36500	30500	26000	22400	19400	16500	13300	9280
	Watts	2380	2550	2710	2840	2950	3030	3070	3080
	Amps	11.5	12.0	12.5	13.1	13.6	14.0	14.2	14.1
	Lb/h	655	579	533	508	493	481	461	424

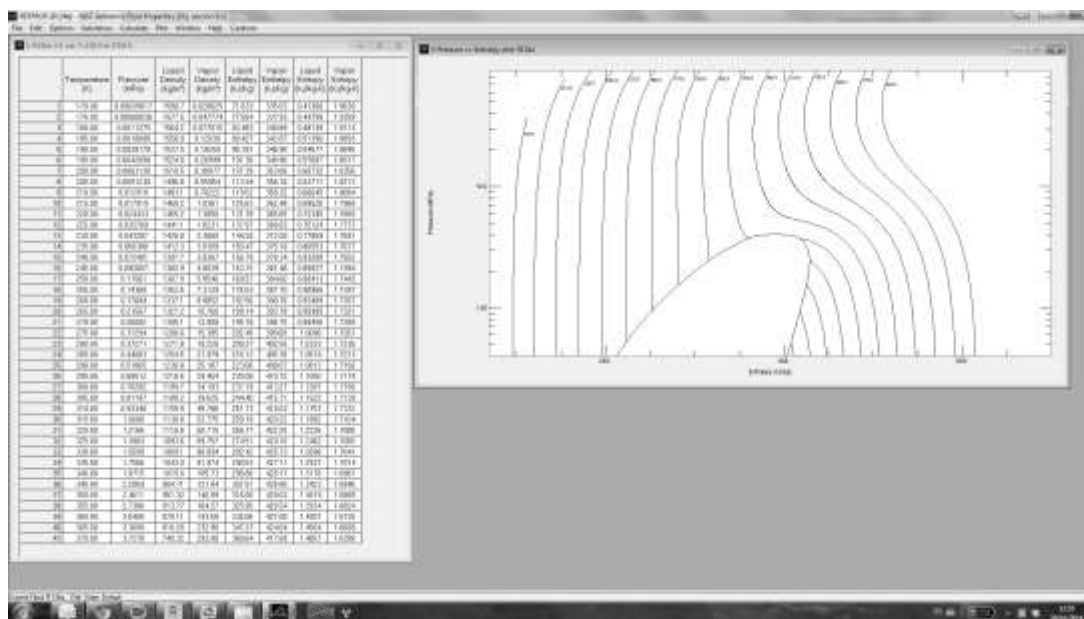
Fuente: empresa Tecumseh

Anexo 2. Certificado de Calidad, emitido por el fabricante

Certificado de Calidad	
Este equipo de refrigeración fue sometido a una prueba de funcionamiento para garantizar y certificar que opera dentro de las especificaciones de diseño. Esta prueba se efectúa por medio de un sistema de medición computarizado con sensores electrónicos de circuito integrado de alta exactitud conectados a un software que permite analizar las gráficas de temperatura y consumo de corriente en tiempo real. Esta tecnología fue desarrollada específicamente para certificar el funcionamiento de equipos de refrigeración. Las gráficas mostradas en este certificado indican la corriente en amperios que consume su unidad, y la temperatura de trabajo en función del tiempo.	
d/m/a	
Modelo:	Fecha de Producción:
No. de Serie:	Supervisor de Calidad:
GRAFICAS DE FUNCIONAMIENTO: Posición de perilla: _____	
 The figure contains two line graphs. The top graph plots 'Corriente (A. v. p. a.)' (Current in Amperes, Volts, Phase) on the y-axis (0 to 5) against time on the x-axis (00:00 to 02:13). The current starts at approximately 1.5A, rises to 2.0A at 00:10, and remains relatively stable until 01:00. It then drops to about 1.0A, rises to 1.5A at 01:20, and shows several small fluctuations between 1.0A and 2.0A until 02:13. The bottom graph plots 'Temperatura (°C)' (Temperature in degrees Celsius) on the y-axis (-13 to 25) against the same time axis. The temperature starts at 25°C, drops sharply to about 10°C by 00:30, and then continues to decrease to a minimum of about -5°C at 01:00. It then fluctuates between -5°C and 0°C until 02:13.	

Fuente: Fogel de Centroamérica.

Anexo 3. Programa : REFPROP (R-134a)-NISTPRO Reference fluid properties (DLL versión 9.1)



Fuente: Licencia Fogel de Centroamérica. Laboratorio de pruebas.

