

Universidad de La Laguna

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

**Trabajo de Fin de Grado
de Tecnologías Marinas**

**Estudio sobre la modificación de una instalación
de climatización de un buque de pasaje por
cambio del fluido frigorífico**

Presentado por

Alejandro Senén Pérez García

Santa Cruz de Tenerife, 8 de Junio de 2019

Autorización

Pedro Rivero Rodríguez, Profesor Titular de Universidad perteneciente al área de conocimiento de Construcciones Navales del Departamento de *Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima* de la Universidad de La Laguna hace constar que:

Alejandro Senén Pérez García, ha realizado bajo mi dirección el trabajo de fin de grado titulado: Estudio sobre la modificación de una instalación de climatización de un buque de pasaje por cambio del fluido frigorífico.

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que le sea designado.

Para que conste a los efectos oportunos, firmo el presente documento en Santa Cruz de Tenerife, a 8 de Junio de 2019.

Fdo.: Pedro Rivero Rodríguez
-Tutor del trabajo-

Resumen

El buque de pasaje Volcán de Tamadaba tiene una instalación de aire acondicionado que utiliza un refrigerante no apropiado para el medio ambiente, por lo que se realiza este estudio durante el cambio de dicho refrigerante. Para ello se estudia el conjunto de la instalación detalladamente, su funcionamiento y riesgos que se pueden presentar con el refrigerante actual. Tras el estudio y comparación de los refrigerantes actuales del mercado, se determina el refrigerante que, después de analizar sus características, no requiere hacer grandes modificaciones en la instalación. Además es la mejor opción para cumplir con la normativa vigente sobre sustitución de refrigerantes, así como para disminuir el coste de reposición de refrigerante en esta instalación. También se estudian los aspectos relativos a las propiedades termodinámicas relacionadas con la sustitución de fluidos frigoríficos.

Abstract

The passenger ship Volcán de Tamadaba has an air conditioning installation that uses a refrigerant not suitable for the environment, so this study is carried out during the change of said refrigerant. To do this, the whole of the installation is studied in detail, its operation and risks that may arise with the current refrigerant. After the study and comparison of the current refrigerants in the market, the refrigerant is determined which, after analyzing its characteristics, does not require major modifications to the installation. It is also the best option to comply with current regulations on refrigerant substitution, as well as to reduce the replacement cost of refrigerant in this installation. The aspects related to the thermodynamic properties related to the replacement of refrigerating fluids are also studied.

Índice general

Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIII
1. Introducción	1
2. Objetivos generales	3
3. Metodología	5
3.1. Chemours refrigerant expert	5
3.2. Coolselector 2	7
4. Descripción de la instalación	9
4.1. Objeto del estudio de sustitución de refrigerantes para climatización frigorífica	9
4.2. La instalación frigorífica	10
4.2.1. Funcionamiento	12
4.2.2. Circuito de agua salada	14
4.2.3. Circuito de agua dulce	14
4.2.4. Planta de refrigeración	17
4.2.5. Protección de la instalación contra congelación	18
5. Estudio de los refrigerantes alternativos al R-507	19
5.1. Refrigerante previo: R-507	19
5.2. Legislación relativa al R-507	19
5.2.1. Impuesto sobre los Gases Fluorados	20
5.2.2. Divergencias en los valores PCA	21
5.3. Alternativas: R-449a y otros	22
5.3.1. R-449a	24
5.3.2. Otros	25
5.4. Elección y ventajas del R-449a frente al R-507	26
5.4.1. Aspectos medioambientales	26
5.4.2. Seguridad e inflamabilidad	27
5.4.3. Aceptación y homologación por los fabricantes de equipos y componentes	27
5.4.4. Modificaciones escasas en el sistema	27

6. Resultados	31
6.1. Cálculos justificativos (estudio comparativo)	31
6.1.1. Cálculos Compresor	33
6.1.2. Expansión del refrigerante	33
6.1.3. Tubería en la instalación	37
6.1.4. Filtro deshidratador	38
6.2. Cambio del R-507 por R-449a en la instalación	38
6.3. Procedimiento para la reconversión del sistema con R-449a	38
6.4. R-449a en la instalación	40
7. Conclusiones	43
8. Ficha Técnica del R-507	45
9. Ficha de Seguridad del R-507	49
10.Ficha Técnica del R-449a	53
11.Ficha de Seguridad R-449a	57
Bibliografía	63

Índice de figuras

3.1. Esquema de metodología	6
3.2. Programa Chemours refrigerant expert	6
3.3. Programa Cool selector 2.0	7
4.1. Buque Volcán de Tamadaba	10
4.2. Plano habilitación	11
4.3. Boceto de la planta enfriadora	13
4.4. Tanque hidróforo	14
4.5. Bombas de agua dulce	15
4.6. Válvula automática	15
4.7. Colector de agua salada	16
4.8. Cuadro de climatización	16
4.9. Planta de refrigeración	17
4.10. Depósito decantador de aceite	18
5.1. Zona de navegación Volcán de Tamadaba	20
5.2. Plazo de prohibición de los fluidos refrigerantes.	20
5.3. Impuestos y precios orientativos de los fluidos	22
5.4. Gráfico para la elección de un refrigerante	23
5.5. TEWI	24
5.6. Composición HFO	24
5.7. Detector electrónico de fugas	27
5.8. Autómata SIEMENS S7-200	29
6.1. Diagrama R-507 con supuesto caso planteado	34
6.2. Diagrama R-449a con supuesto caso planteado	35
6.3. Dibujo del compresor de la instalación	36
6.4. Esquema de recuperación de refrigerante residual	39

Índice de tablas

4.1. Distribución de ventiladores	9
4.2. Condiciones generales sistema de climatización del buque	12
4.3. Elementos de la planta enfriadora del sistema de climatización	12
5.1. Comparación PCA	21
5.2. Impuesto a 01/09/2018 a los gases refrigerantes	21
5.3. Incremento del Impuesto a lo largo de los años	21
5.4. Comparativa de precios R-507 frente a R-449a	22
5.5. Clasificación de Seguridad de Refrigerantes según ASHRAE	23
5.6. Tabla comparativa del PCA	26
6.1. Datos R-507	31
6.2. Datos R-449a	32
6.3. Datos iniciales de la instalación	32
6.4. Datos del compresor de la instalación	33
6.5. Cálculos con el compresor utilizando R-507 y R-449a	33
6.6. Capacidad frigorífica	33
6.7. Propiedades del ciclo utilizando R-507	36
6.8. Propiedades del ciclo utilizando R-449a	36
6.9. Comparación de refrigerantes con la misma válvula de expansión	37
6.10. Comparación de refrigerantes por tubería de la instalación	37
6.11. Comparación para filtro secador	38
6.12. Datos de la instalación usando R-507	39
6.13. Hoja de datos tras implantar R-449a	40
6.14. Datos de la instalación usando R-449a	41
6.15. Comparación del R-449a respecto al R-507 en la instalación a 28°C	41

Simbología

ODP: Ozono Depletion Potential, mide la capacidad de un gas refrigerante para destruir la capa de ozono.

PCA y GWP: Potencial de Calentamiento Atmosférico, establece en qué medida el refrigerante utilizado en un equipo, va a afectar al calentamiento global.

TLV: Threshold Limit Value: Es la 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.

TWA: Time-Weighted Average: Es la concentración ponderada en el tiempo, expresada en horas por día.

CAF: Código de Actividad de Gases Fluorados.

GFEI: Gases fluorados de efecto invernadero.

ASHRAE: Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción.

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal órgano internacional para la evaluación del cambio climático.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

OHM: Organización Meteorológica Mundial.

TEWI: Total Equivalente del Impacto en el Calentamiento.

HFO: Refrigerante compuesto por hidrógeno, flúor y carbono. Es ligeramente inflamable, y se conoce como hidrofluoruroolefina.

CFC: Refrigerante compuesto por Cloro (Cl), Flúor (F) y Carbono (C). Se conoce como Clorofluorocarburos.

HCFC: Refrigerante compuesto por átomos de cloro, flúor, hidrogeno y carbono. Son destructores de la capa de ozono, no son inflamable en condiciones normales.

1 Introducción

Este trabajo estudia el cambio del fluido refrigerante de la instalación de aire acondicionado 4.9 de la habitación del buque Volcán de Tamadaba de Naviera Armas. El motivo de la elección del tema ha sido querer mejorar la instalación ya que el refrigerante utilizado tiene índices elevados de contaminación ambiental y un coste elevado debido a los impuestos que se le aplican.

La elección de un refrigerante tiene mucha importancia porque hay que considerar el correcto funcionamiento de la instalación y aspectos medioambientales, por lo que hay que plantearse los siguientes problemas:

- El aumento de la contaminación ambiental en la superficie terrestre (biosfera).
- El deterioro de la capa de ozono en la estratosfera.
- El efecto invernadero/calentamiento global.

Un refrigerante es cualquier fluido o sustancia que pueda absorber calor a baja presión y a baja temperatura, y que lo pueda liberar a una presión y a temperatura mayor es gracias a los cambios de estado que se producen en la instalación. Los refrigerantes que contienen cloro en su composición o en sus moléculas suponen un problema, son los llamados CFC (cloro-fluoro-carbonos), y son principalmente: R-11, R-12, R-22 y R-502. Provocan el deterioro de la capa de ozono en la estratosfera, por los átomos de cloro que contienen estos refrigerantes, y que destruyen la capa de ozono y permiten que los rayos ultravioleta que son rayos muy dañinos para la salud y para toda la naturaleza del planeta y llegan hasta la superficie de la Tierra. A su vez, también causan el calentamiento global, que consiste en la absorción de energía infrarroja del Sol que se queda almacenada durante mucho tiempo aumentándola poco a poco.

Por ello, ya se han encontrado refrigerantes definitivos para una sustitución definitiva de los CFC, que en principio, son los que no causan ningún, o casi ningún deterioro ambiental, son los HFC (hidro-fluoro-carbonos), principalmente: R-134A, R-404A, R407C, R507 entre muchos otros. No obstante, continuamente se sigue estudiando nuevos refrigerantes para que la contaminación sea cada vez menor y se saque un mejor rendimiento de los mismos en las instalaciones.

En este estudio se selecciona un refrigerante adecuado para la instalación, que tiene un coste menor que el anterior y que sea más adecuado en lo que a contaminación ambiental se puede entender.

Para seleccionarlo, se hará un estudio comparativo entre el refrigerante que se encuentra en instalación y otros refrigerantes que existen en este mercado. Para ello se utilizará la información de la instalación e información buscada en las web de los fabricantes de los elementos que tiene la propia instalación a la vez que se aplicarán los conocimientos adquiridos en este buque.

Se hará una breve descripción del buque y de la instalación sobre la que se va a realizar el estudio, donde se incluirá su funcionamiento, fotografías de la misma y los riesgos que pueda haber en esta instalación, a su vez de una propuesta de un nuevo refrigerante para implantar en esta instalación, donde se incluyen las características del que se está utilizando actualmente, así como las características del refrigerante propuesto.

Por último se realizará el seguimiento del refrigerante actualmente utilizado por el propuesto, lo que conlleva unas modificaciones que es posible que haya que realizar en el sistema como:

- Cambiar lubricante

- Ajustar parámetros del compresor y de la expansión
- Comprobar si la tubería en la instalación es adecuada para el nuevo refrigerante
- Ajustes en los controles del sistema.

Se analizarán estas modificaciones y se valorará si realmente ha sido rentable realizar este cambio, tras realizar unos cálculos justificativos. Además se incluye el procedimiento seguido para realizar la sustitución del refrigerante, así como ventajas e inconvenientes que podrá haber en la instalación.

2 Objetivos generales

El objetivo principal de este trabajo es justificar la selección del refrigerante que se ha empleado para reemplazar a otro en la instalación, para ello se hace un análisis de la propia instalación, de dónde se encuentra y para lo que se va a utilizar principalmente.

Un segundo objetivo que se deriva del anterior consiste en estudiar la idoneidad de las propiedades, ya sean físicas, químicas, fisiológicas, termodinámicas así como problemas de seguridad y otros factores, que ayudan a explicar cómo se llega a la elección de un nuevo refrigerante.

Como tercer objetivo, se hará un estudio de los refrigerantes alternativos al R-507 empleado anteriormente y el actual con unos cálculos justificativos mediante un estudio comparativo, se estudiará la sustitución del R-507 en la instalación.

3 Metodología

Mediante la información de la instalación obtenida del manual, conocimientos adquiridos en el propio buque durante la realización de las prácticas profesionales e información consultada en libros y vía internet, se seguirá el siguiente método mostrado en la imagen 3.1 para desarrollar este trabajo de fin de grado.

Previamente se realizará una descripción del buque donde se encuentra dicha instalación, así como de la propia instalación para poder entender bien el funcionamiento de la misma.

A continuación se estudia el refrigerante que se sustituyó en la instalación, R-507, y los inconvenientes que este presenta en la actualidad, tanto por la normativa vigente como por la contaminación medioambiental. Posteriormente se realiza un estudio de los refrigerantes alternativos al actual y considerar la idoneidad del cambio.

Para realizar el estudio de estos refrigerantes alternativos, se hará una comparación utilizando principalmente dos programas informáticos:

- Chemours Refrigerant Expert.
- CoolSelector 2.

Se hará una breve descripción de los mismos. Para valorar si es viable realizar el cambio habrá que tener en cuenta varios factores que se irán analizando como son:

- Modificaciones en la instalación.
- Ajuste de elementos en la misma.
- Procedimiento a seguir para realizar el cambio.

Como parte final se describirá el cambio del refrigerante seleccionado y se expondrán las ventajas que supone, respecto al anterior, tanto para la instalación como para el medio ambiente.

3.1 Chemours refrigerant expert

Es un programa específicamente desarrollado para permitir a los usuarios generar datos de manera fácil y rápida para los refrigerantes vendidos por Chemours [6], se generan datos como:

- Tablas de datos de propiedades termodinámicas.
- Cálculos teóricos del ciclo de refrigeración con propiedades de ciclo y datos de tamaño de línea.

A su vez, sirve también para evaluar el rendimiento del sistema con los refrigerantes de fluorocarbono más utilizados, incluida la amplia gama de opciones de refrigerantes para reacondicionamiento de HFO, CFC y HCFC disponibles en Chemours como se muestra en la figura 3.2.

También facilita la selección rápida y fácil de refrigerante en diferentes condiciones de operación y diseños del sistema para la adaptación o el diseño de un nuevo sistema.

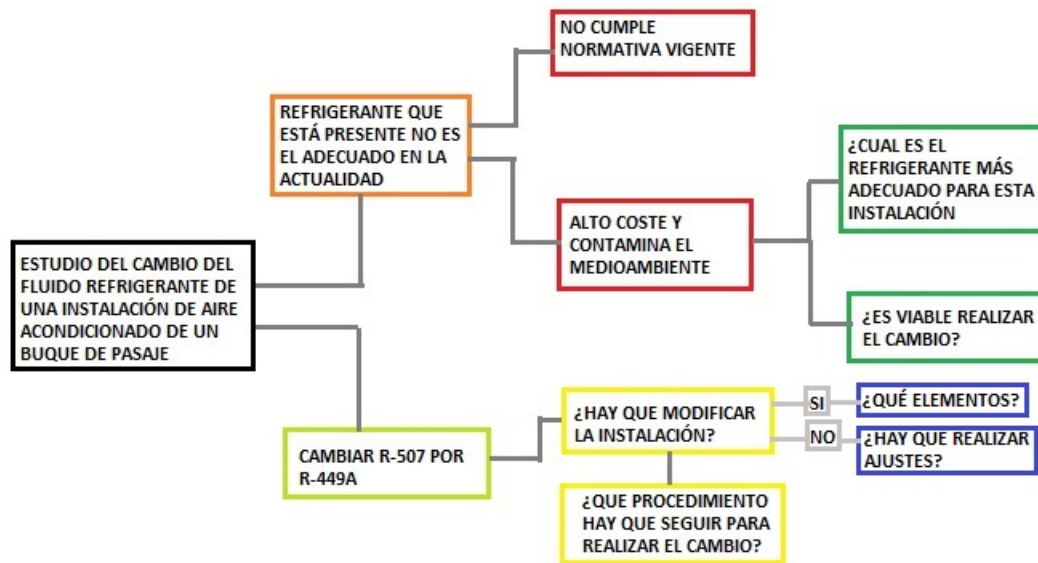


Figura 3.1: Esquema de metodología
Fuente propia

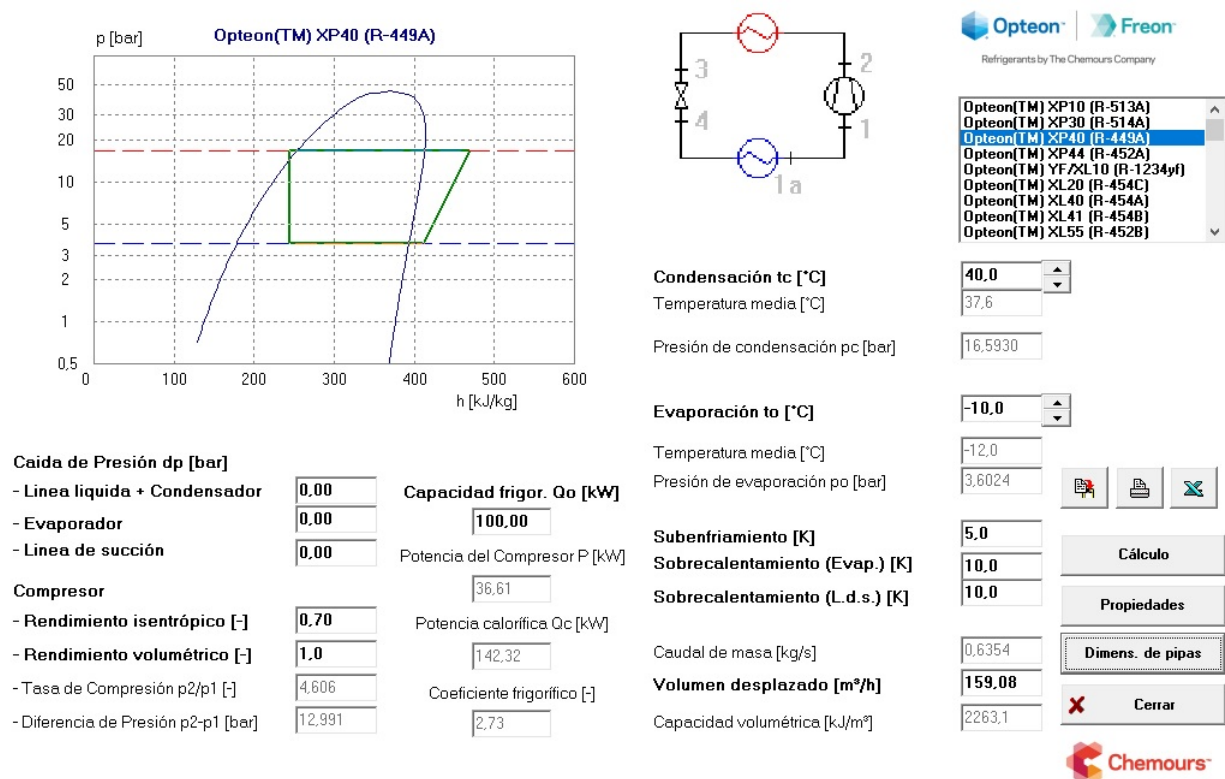


Figura 3.2: Programa Chemours refrigerant expert
Fuente: www.chemours.com

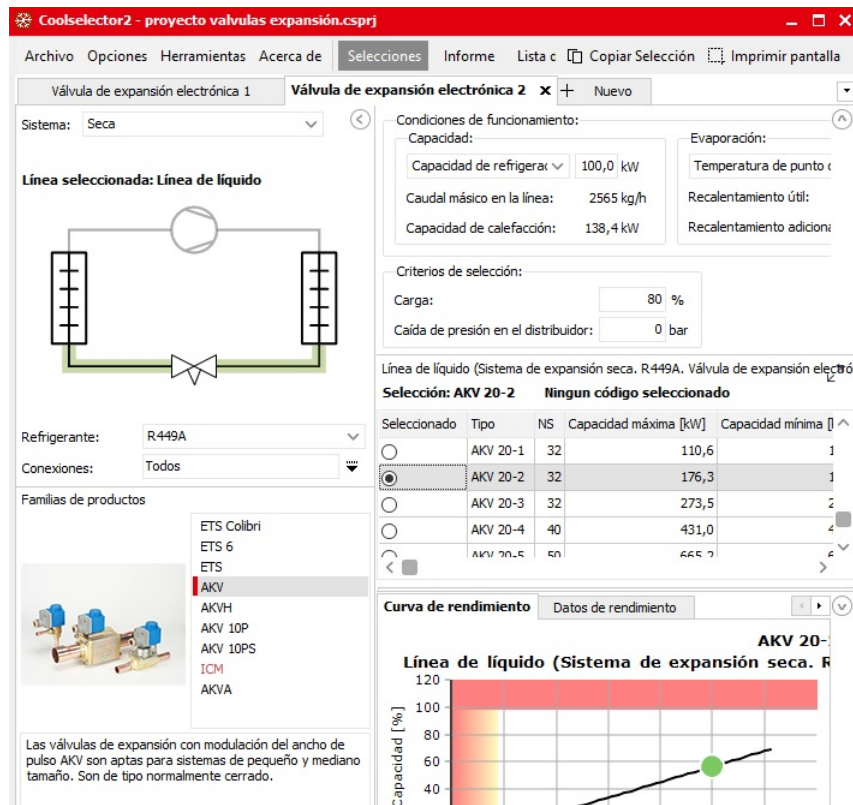


Figura 3.3: Programa Cool selector 2.0

Fuente: www.danfoss.com

Chemours Refrigerant Expert es una herramienta rápida para realizar cálculos de múltiples ciclos en diversas condiciones que genera tablas de datos de propiedades de transporte y termodinámicas personalizadas para proyectos o sistemas específicos en rangos e intervalos definidos de saturación, sobrecalentamiento y subenfriamiento. Los cálculos del ciclo de refrigeración consideran la eficiencia del compresor, las caídas de presión del intercambiador de calor y los sobrecalentamientos de la línea de aspiración para obtener resultados que imitan a los sistemas reales.

3.2 Coolselector 2

Coolselector 2 es un programa de cálculo de Danfoss [8], diseñado para seleccionar y calcular las válvulas adecuadas y elementos de control necesarios para cada proyecto, haciendo que los procesos de refrigeración sean más sencillos. El programa incluye todas las herramientas necesarias a la hora de diseñar cámaras frigoríficas, así como compresores o unidades de condensación.

Al iniciar el programa, aparecerán las unidades internacionales como predeterminadas, aunque siempre se podrán añadir nuevas unidades o cambiar de tipo de medidas. Con este programa se puede seleccionar un tipo de sistema y a continuación, se tiene acceso a todas las herramientas para el diseño del esquema de circuitos de refrigeración.

Una vez finalizado el diseño, no sólo se podrá ver el esquema resultante con sus correspondientes medidas, sino también una gráfica donde se representa la curva de rendimiento, la cual representa la caída de presión, para que rápidamente se pueda comprobar si el proyecto es viable.

Además de todo esto, el programa proporciona sugerencias para componentes, de esta forma siempre se podrá trabajar con el componente más adecuado en función de los parámetros con los que se trabaja, tales como la capacidad de enfriamiento, el refrigerante, la evaporación, temperatura de condensación y otros variables críticas en los sistemas de refrigeración.

4 Descripción de la instalación

En este capítulo se hará una descripción tanto del buque como de la instalación para ponerse en situación del problema que existe en dicha instalación.

4.1 Objeto del estudio de sustitución de refrigerantes para climatización frigorífica

El volcán de Tamadaba, construido en Astillero Barreras [16] es un buque Ro-PAX como se puede apreciar en la imagen 4.1, se utiliza para el transporte de carga rodada y pasaje en general. Tiene 9 cubiertas de las cuales la 6 y la 7 albergan la acomodación para el pasaje y la tripulación respectivamente, mientras que la carga rodada pesada se ubica en la cubierta 3 siendo la cubierta 4 la encargada de albergar tanto semirremolques como automóviles. También se dispone de la cubierta 5 (car-deck) que es móvil en caso de necesidad de ampliar la superficie de carga. Todas las cubiertas se pueden contemplar en los planos de construcción del buque [9].

El Volcán de Tamadaba tiene los suficientes de espacios de acomodación para transportar a un máximo de 1000 personas combinando pasaje y tripulación. El pasaje va alojado en las cubiertas 6, 7 y 8, este tiene acceso a diferentes espacios públicos habilitados a bordo del buque.

Tabla 4.1: Distribución de ventiladores

LOCAL	IMPULSIÓN	EXTRACCIÓN	NIVEL DE RUIDO(dB)
Camarotes	8	8	55
Puente	10	10	60
Baños públicos	10	15	60
Salas públicas	10	10	55

Hacia lo que va enfocado este trabajo es el sistema de aire acondicionado para el pasaje, para ello se va a explicar la disposición de ventilación que tiene la zona de habilitación con la tabla 4.1 obtenida del manual [27] de la instalación.

La distribución [10] según el plano 4.2 es la siguiente (se describirá por cubiertas y siempre de proa a popa).

- Cubierta 6 proa: zona de camarotes

- 8 camarotes de 2 plazas, en el frontal.
- 26 camarotes exteriores de 4 plazas, 13 a cada banda.
- 20 camarotes interiores de 4 plazas.
- 2 camarotes de 3 plazas para personas discapacitadas, uno a cada banda.

Los camarotes tienen difusores para la entrada de aire al camarote. La salida del aire es realizada por medio de rejillas que están en la parte baja de las puertas de entrada a los camarotes.



Figura 4.1: Buque Volcán de Tamadaba

Fuente: www.navieraarmas.com

-Cubierta 6 centro: zona donde se encuentra el restaurante, con dos niveles de altura. En estas zonas públicas el sistema de distribución de aire es a través de rejillas y difusores según las zonas, con silenciadores.

-Cubierta 6 popa: zona de aseos y de butacas. La forman dos salas de 62 plazas, una a cada banda y con vistas al mar. A su vez también se encuentra la zona de recepción, con un salón que tiene capacidad para 100 pasajeros y que ocupa las cubiertas 6 y 7.

-Cubierta 7 proa: se encuentra el puente de mando, la habitación de toda la tripulación y dos oficinas, uno para oficiales y otro para el resto de la tripulación.

-Cubierta 7 centro: zona de la cocina. Seguidamente sigue el segundo nivel del restaurante, con capacidad para 72 personas, en este nivel. A ambos lados del guardacalor hay otras dos salas de butacas con capacidad para 44 pasajeros.

-Cubierta 7 popa: zona de butacas para 28 pasajeros, una en cada banda, la zona de aseos y los troncos de acceso. A continuación se disponen dos salas exteriores de butacas para 24 pasajeros y otra central para 50 personas. La parte de popa corresponde al atrio y al segundo nivel del salón panorámico de popa, capacidad 56 pasajeros.

-Cubierta 8 proa: Se encuentra la terraza mirador para el pasaje y el helipuerto para casos de emergencia a bordo.

-Cubierta 8 centro: zona del patio central de la tripulación y los locales del aire acondicionado y de los ascensores.

-Cubierta 8 popa: zona de la piscina y solarium, se encuentra dividida en dos partes, una central, protegida por quitavientos en los laterales y abierta hacia popa, y la zona de ambas bandas, abierta y protegida con barandillas.

4.2 La instalación frigorífica

Para describir la instalación y su funcionamiento se parte de la base de unas condiciones generales que tendremos a bordo reflejadas en la tabla 4.2. Estas condiciones las indica el propio manual de la instalación [27].

Todo el sistema de aire acondicionado dispone de tres plantas enfriadoras de agua dulce que dan servicio a los distintos climatizadores.

Cada planta de refrigeración es totalmente independiente de la otra y tienen los siguientes elementos reflejados en la tabla 4.3 obtenidos del manual [27].

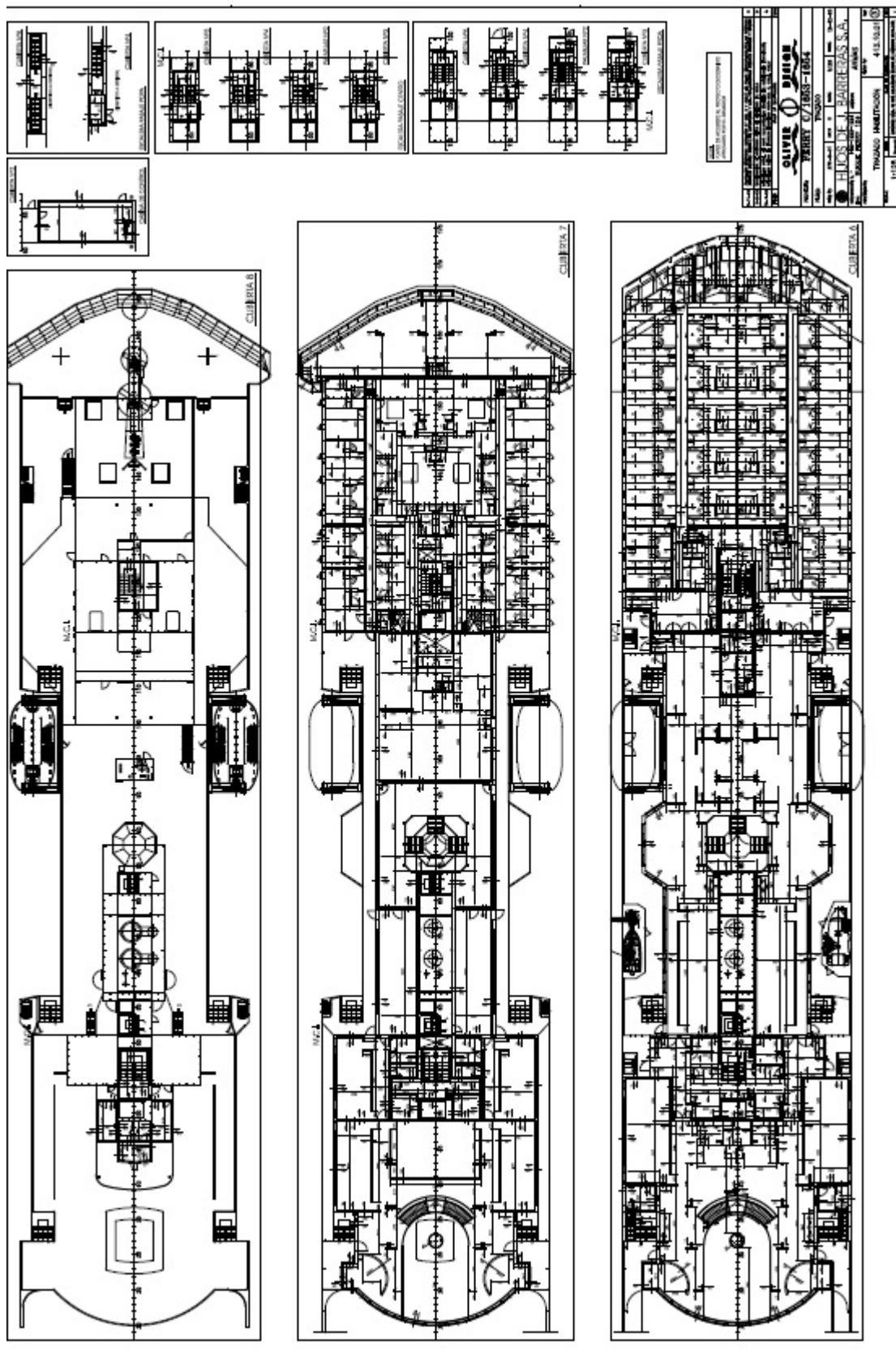


Figura 4.2: Plano habitación
Fuente: Planos Habitación del buque Volcán de Tamadaba

Tabla 4.2: Condiciones generales sistema de climatización del buque

	VERANO	INVIERNO
T ^a exterior	32°C	5°C
T ^a interior	24°C	20°C
Recirculación de aire	50 % de aire en circulación	
Aire exterior	50 % de aire en circulación	
T ^a de agua de mar	32°C máxima	
Tension disponible	400V;50Hz	
Condensación	Agua de mar	

Tabla 4.3: Elementos de la planta enfriadora del sistema de climatización

Elemento	Marca	Modelo	Código/Fabricante	Cantidad
Compresor	Bitzer	OSK-7471-K-Y	R-507	2
Motor	ABB	75kW,IP-23,380V 50Hz	M2BAT 280S	2
Condensador	INTEGASA	HACB-16-250-2		1
Enfriador	INTEGASA	PTR-45-25-4P-2C		1
Cuerpo válvulas expansión	DANFOSS	AKV 20-4	042H2028	2
Módulo programador	DANFOSS	EKC 315A	084B7086	2
Termostato	DANFOSS	EKC 201	084B7611	3
Sensor de presión	DANFOSS	AKS 33	60G2105	1
Sensor de temperatura	DANFOSS	AKS 11	84N0005	2
Filtros línea de líquido	DANFOSS	DCR 4817S	Cada uno carga	2

4.2.1 Funcionamiento

Se trata de un sistema agua-aire, con intercambio en climatizadores. Principalmente, el funcionamiento se basa en la temperatura del agua que circula a través del enfriador de agua. El enfriamiento del agua lo causa la evaporación del refrigerante en el interior del evaporador, que se aprecia en la figura 4.3 y define las necesidades de potencia según la temperatura del agua en cada instante, lo cual se ve reflejado en la presión de aspiración. Una sonda de presión mide la presión de aspiración del compresor cuando aumenta, y en función del valor leído y de la señal de consigna indicada, se realiza una comparación. Según sea el resultado, positivo o negativo, las válvulas de expansión electrónicas dejan pasar más o menos refrigerante, y si no fuera suficiente, el panel de control del compresor actúa sobre la capacidad, subiendo o bajando la misma y manteniendo la presión de aspiración fija en su valor de consigna.

Para tener una vista global de la instalación se ha hecho un boceto de una de las tres plantas enfriadoras.

El sistema de aire acondicionado se puede subdividir en tres circuitos diferentes para su análisis:

- Agua salada.
- Agua dulce.
- Planta de refrigeración

Las bombas de agua salada aspiran de la toma de mar, como se aprecia en la figura 4.3, y derivan en un colector común que hace circular el agua salada a través del haz tubular del condensador, el cual forma ya parte de la planta de refrigeración. Este agua salada enfría de esta manera el gas refrigerante que lo atraviesa cambiándolo de estado, para que, rápidamente vuelva al estado gaseoso en el evaporador, el cual absorbe de esta manera el calor procedente del agua dulce. El agua dulce bombeado a través de la unidad enfriadora es distribuido a los diferentes climatizadores de las zonas de acomodación, donde enfría el aire impulsado hacia la habitación.

El sistema de regulación de la temperatura de aire está previsto mediante válvulas de dos vías reguladas por sondas instaladas en el conducto para conseguir la temperatura adecuada y un sistema para permitir la modificación de las señales de consigna de los climatizadores.

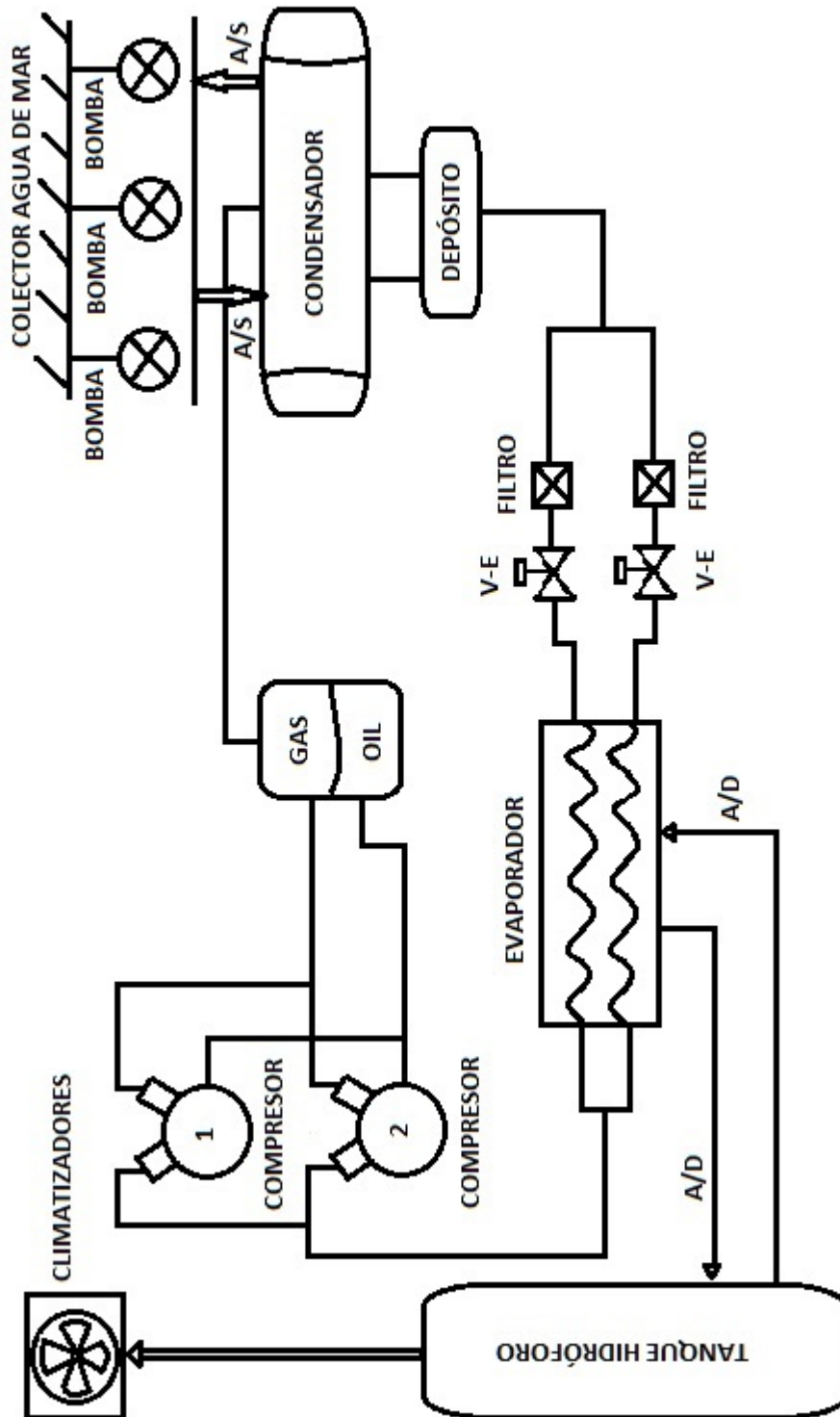


Figura 4.3: Boceto de la planta enfriadora
 Fuente: elaboración propia



Figura 4.4: Tanque hidróforo

Fuente: colección propia

Los camarotes disponen de silenciadores y un difusor para la entrada de aire al camarote. En las zonas públicas, el sistema de distribución es de baja velocidad a través de rejillas y difusores.

4.2.2 Circuito de agua salada

El agua salada que viene de las tomas de mar puede ser impulsada con hasta tres bombas centrifugas de la marca AZCUE con un caudal de 120 m³/h según [27] cada una, hacia un colector común (figura 4.7) que después distribuye este agua salada a los diferentes condensadores de cada planta de refrigeración de la instalación. La planta de refrigeración puede cortar el flujo de agua salada de manera automática cuando no sea necesaria. Se regula mediante una válvula de salida de agua salada del condensador que está controlada por un presostato el cual recibe señal de la presión de descarga del compresor de la unidad enfriadora que se encuentre en activo. A la salida del intercambiador, el agua finaliza en una descarga al costado.

4.2.3 Circuito de agua dulce

El agua dulce que se encuentra en el hidróforo (figura 4.4) es bombeada a través de las bombas centrifugas que poseen una válvula automática en la descarga para el control del autómata.

A la salida de dichas bombas (figura 4.5) existe una válvula automática de control de presión (figura 4.6), la cual, recircula el agua en caso de un aumento de presión en el sistema, detectado a través del presostato existente en el colector de entrada de agua a las plantas enfriadoras. Existen tres válvulas de bola de accionamiento automático de "todo o nada", una para la entrada a cada una de las tres plantas de refrigeración y una para la entrada de agua al intercambiador de placas agua/vapor. Estas válvulas automáticas actuarán según la demanda de frío o calor en la instalación.

Según los datos proporcionados desde el cuadro de climatización (figura 4.8) de la situación de frío (agua fría) o calor (agua caliente) de cada climatizador, la actuación sobre el potenciómetro en esa zona y mediante la acción correctora de un algoritmo PID (Proporcional, Integral, Derivativo), el controlador actúa sobre una válvula de dos vías, en función de la temperatura medida en el conducto de retorno de cada climatizador, permitiendo el paso de un mayor o menor caudal de agua. Cada climatizador dispone de un humidificador de vapor externo que en función de la lectura de la sonda instalada en el conducto de retorno, actúa sobre el grado de humidificación.



Figura 4.5: Bombas de agua dulce
Fuente: colección propia



Figura 4.6: Válvula automática
Fuente: colección propia

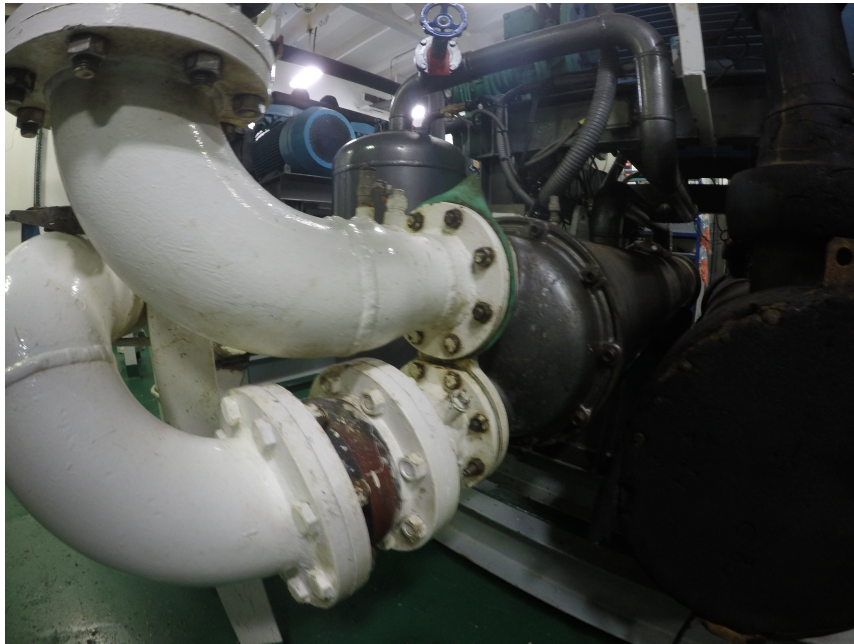


Figura 4.7: Colector de agua salada
Fuente: colección propia

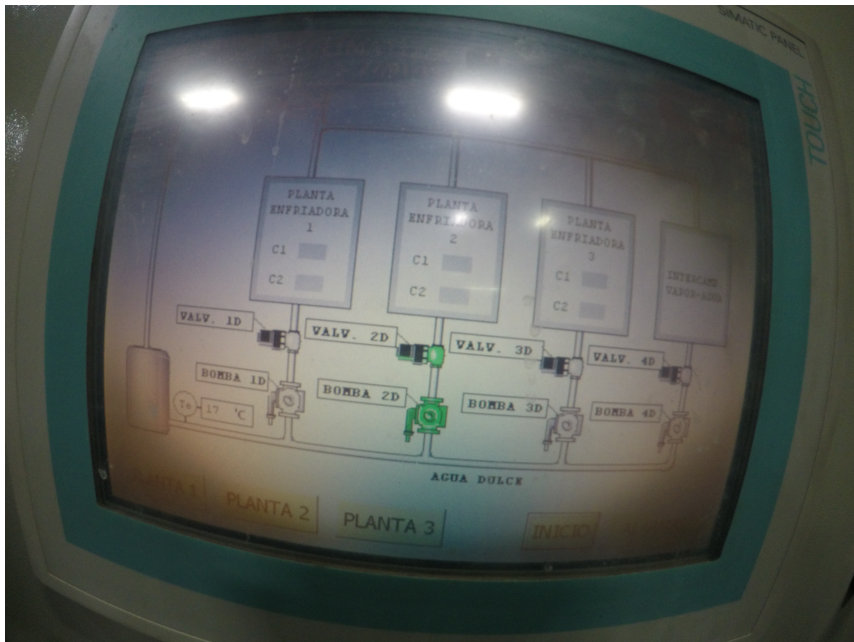


Figura 4.8: Cuadro de climatización
Fuente: colección propia



Figura 4.9: Planta de refrigeración

Fuente: colección propia

4.2.4 Planta de refrigeración

La planta de refrigeración que se puede observar en la (figura 4.9) se puede subdividir en dos circuitos relacionados:

- Circuito del gas refrigerante
- Circuito del aceite del compresor

4.2.4.1 Circuito del gas refrigerante R-507

El gas refrigerante es aspirado por el compresor pasando antes a través del filtro, el cual retiene posibles impurezas. El gas, una vez filtrado es impulsado hacia el separador de aceite, donde parte del aceite del compresor arrastrado por el gas, se deposita en la parte baja de este depósito y pasa directamente al enfriador de aceite. El gas refrigerante sigue el recorrido hacia el condensador, donde el refrigerante cambia de estado al ser enfriado por el agua salada. Este, se acumula en un recipiente con un visor de nivel para su control. Seguidamente, del acumulador sale a los filtros deshidratadores y las válvulas de expansión. El líquido refrigerante va hacia el evaporador, el cual enfría el circuito de agua dulce al cambiar nuevamente de estado a gaseoso. A la salida del evaporador se encuentran sondas de temperatura para la regulación, y vuelve el refrigerante hacia la aspiración del compresor.

Del recipiente acumulador de aceite que se ve en la imagen (figura 4.10) sale una cantidad de líquido refrigerante para que pase a lo largo del enfriador de aceite y vuelva a la línea hacia el condensador. La cantidad de refrigerante que circula en el enfriador de aceite viene determinada por el efecto Venturi en la línea a la entrada del condensador.

4.2.4.2 Circuito de aceite del compresor

Las funciones del aceite en el compresor son:

- Lubricar el compresor.
- Disipar el calor generado en su interior por la compresión.



Figura 4.10: Depósito decantador de aceite

Fuente: colección propia

- Suministrar un buen sellado entre el rotor principal y el auxiliar durante la compresión del refrigerante.
- Es un medio hidráulico para mover el control de capacidad del compresor.

El aceite que se encuentra almacenado en el depósito debajo del separador, es conducido al interior del enfriador, para mantener la temperatura de aceite aproximadamente a 15 °C más alto que la temperatura de condensación. El aceite se introduce en la parte de la carcasa del enfriador de aceite y es enfriado por el refrigerante que circula por el lado de los tubos. Una vez enfriado pasa a través de un filtro para quitar impurezas. Es impulsado mediante una bomba de engranajes helicoidales hacia las diferentes partes del compresor para su lubricación y también se dirige hacia el circuito de solenoides para la regulación de la capacidad del compresor. Este mecanismo accionado por la presión de aceite se emplaza entre los rotores y el cárter, modificando a lo largo de los rotores el punto donde debe empezar la compresión, permitiendo la recirculación interna del gas y proporcionando, así, una regulación suave de la capacidad. El conjunto de válvulas solenoides se encuentran conectadas dos a dos al elemento regulador de la potencia frigorífica del compresor, en función de la carga térmica que debe absorber el evaporador.

4.2.5 Protección de la instalación contra congelación

Un posible problema que se puede originar en una planta de refrigeración de agua es la congelación del evaporador, puede ser por fallo de todo el sistema o por falta de agua.

Como medida de seguridad adicional recomendada por el instalador de la planta, [26], del control de la presión de aspiración, se instalaron dos sondas de temperatura a la salida del enfriador que dan señal al sistema de control para detectar este posible problema. Los elementos adicionales instalados son los siguientes:

- Termostato de temperatura en la salida de agua.
- Termostato de seguridad en la salida de agua (con una temperatura de tarado inferior a la del termostato de temperatura de salida de agua, para que sea un respaldo del mismo).
- Interruptor de flujo de agua en la entrada de cada planta de refrigeración, este hace que no se permita el funcionamiento de la planta si no hay circulación del agua.

5 Estudio de los refrigerantes alternativos al R-507

En este capítulo 5 del trabajo se revisan las principales características de los refrigerantes alternativos al R-507 que existen actualmente en el mercado, para poder establecer la idoneidad en la sustitución respecto del que está circulando actualmente por la instalación.

5.1 Refrigerante previo: R-507

Es el refrigerante que se ha sustituido en la instalación. El R-507 fue desarrollado como hidrofluorocarburo (HFC), no perjudicial para la capa de ozono, en sustitución de R-502 en aplicaciones de refrigeración de temperatura media. Ha sido utilizado en diversidad de equipos desde la década de 1990. El R-507 es una mezcla azeotrópica ¹ compuesta por R-125 y R-143a. Sus características termodinámicas hicieron que fuera el sustituto ideal del R-502 para el sector de la refrigeración, en baja y media temperatura. Se caracteriza por su estabilidad química, sus buenas propiedades termodinámicas y su baja toxicidad.

5.2 Legislación relativa al R-507

Según la normativa vigente [14] este refrigerante que se retiró de la instalación no es adecuado y en poco tiempo llegará a estar prohibido. Esta normativa es la Ley 16/2013 [1] ² y el Real decreto RD 1042/2013 [2] la cual se va a proceder a analizar. Esta instalación se encuentra en un barco, por lo que la Ley 16/2013 recoge lo siguiente para este caso:

“Tratamiento de barcos en territorio español, existen dos casos, reparaciones en barcos intracomunitarios o de terceros países, reparaciones en barcos españoles pero que navegan en aguas internacionales o en aguas territoriales.”

El buque Volcán de Tamadaba entraría en el segundo caso, por lo que se procede a analizar ese caso, que es el que interesa. Lo realmente importante a la hora de determinar si las entregas de gases efectuadas en territorio español no están sujetas o están sujetas y exentas, es el destino de los gases; esto es, si se van a consumir fuera del territorio español. Por tanto, estarán exentas las entregas de gas que se efectúen a barcos con pabellón español o extranjero, siempre que mediante cualquier medio de prueba admitido en derecho y, siempre que el beneficiario de la exención pueda demostrar a quien le realice dicha entrega de gas, que su envío o utilización va a ser fuera del territorio español.

Como este barco va a navegar en territorio español, tal y como se muestra en la (figura 5.1) [25], la ley dice lo siguiente: que los barcos con pabellón español deberán inscribirse y obtener la tarjeta CAF [7] y por tanto los barcos con permiso de navegación en aguas españolas sean de pabellón extranjero o no, estarán afectos a impuesto.

¹Azeotrópico:[21] refrigerante formado por 2 o más tipos de moléculas o componentes y tiene la misma composición en la fase líquida o en la fase gaseosa; las fugas no alteran su composición.

²Ley 16/2013, de 29 de octubre, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras. (BOE 30-octubre-2013)

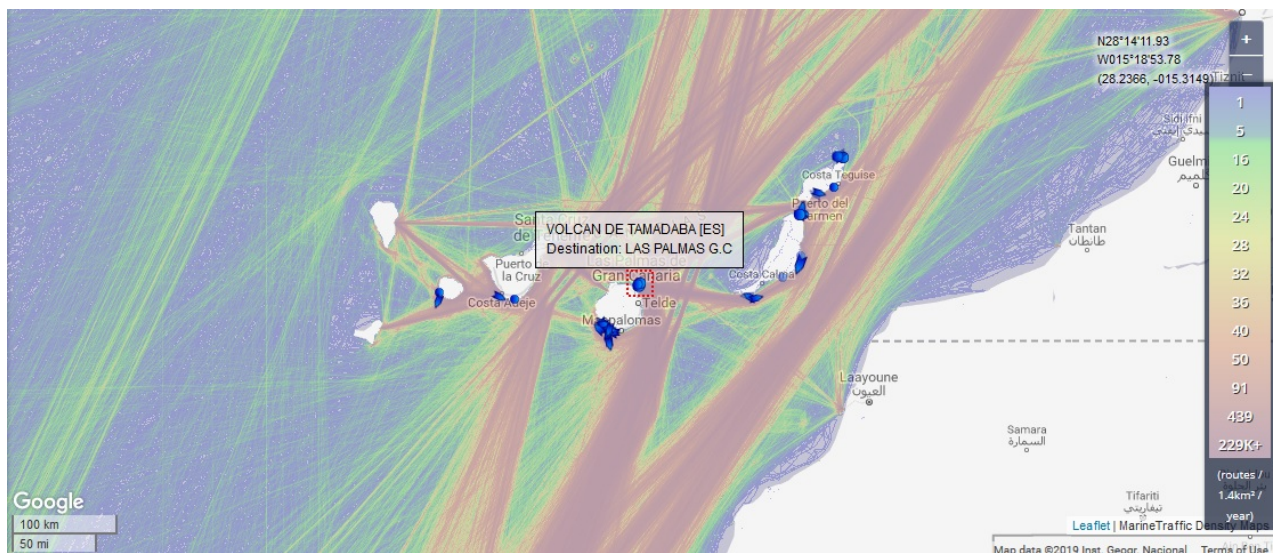


Figura 5.1: Zona de navegación Volcán de Tamadaba

Fuente: www.marinetraffic.com

EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN	REFRIGERANTE	RESTRICCIÓN/PROHIBICIÓN
Neveras y congeladores domésticos con HFC PCA<150	R-134a	01/01/2015
Refrigeradores y congeladores para uso comercial (sellados herméticamente)		
Con HFC con un PCA >2500	R-404a	01/01/2020
Con HFC con un PCA >150	R-507	01/01/2022
Con HFC con un PCA >150	R-442a	
Equipos fijos de refrigeración con HFC con un PCA >2500	R-407 y R-442a	Sin prohibición
Centrales de refrigeración para uso comercial de > 40 kW con HFC >150	R-404a	
	R-442a	01/01/2022
	R-407c	

Figura 5.2: Plazo de prohibición de los fluidos refrigerantes.

Fuente propia, consultado en [23]

5.2.1 Impuesto sobre los Gases Fluorados

Es un tributo de naturaleza indirecta, que grava en todo el territorio nacional, en fase única, la emisión de gases fluorados a la atmósfera y su consumo, atendiendo a su (PCA) [17] 5.4.1. Este impuesto pretende incentivar tecnologías alternativas a los gases fluorados de efecto invernadero que utilicen otros gases con menor potencial de calentamiento atmosférico, así como mejorar el mantenimiento y recuperación de estos gases en aquellos equipos existentes. Se consideran Gases Fluorados de Efecto Invernadero (GFEI), [19] estos son: Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs) y Hexafluoruro de azufre (SF6). Se trata de gases con elevado potencial de calentamiento atmosférico (PCA), entre 150 y 22.800, cuyo uso se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esto es debido a que han sustituido en sus aplicaciones a los gases que destruyen la capa de ozono (Clorofluorocarbonos (CFCs) e Hidrofluoroclorocarbonos (HCFCs)).

Ya que el reglamento F-Gas [22] y el impuesto especial van ligados al efecto invernadero, se ha creado la fórmula:

$$TneqCO_2 = TnGas \times GWP_{Gas}$$

La emisión a la atmósfera de 1 kg de un gas con $GWP = X$, contribuye al efecto invernadero igual que X kgs. de CO_2 . El reglamento F-Gas mide las emisiones de gases de efecto invernadero en Tn eq CO_2 .

El reglamento F-Gas prohíbe el uso de refrigerantes con un PCA superior a 2500 en servicios de mantenimiento a partir de 2020 según la tabla 5.2 realizada con la información de [3].

La evolución del importe del Impuesto de Gases Fluorados ha sido la siguiente:

$$IGF = GWP \times 0,020(o20/TnCO_2eq)(Techo : 100/kg)$$

En el año 2014 era el 33%. En los años 2015 y 2016 ya subió al 66%.

Atendiendo al PCA se ha elaborado una tabla recogiendo los gases fluorados más utilizados en el mercado con toda la información necesaria para elaborar el cálculo del impuesto para los ejercicios de los años que vienen. La tabla 5.1 señala los gases fluorados que más pueden interesar para sustituir al R-507.

5.2.2 Divergencias en los valores PCA

Los valores de los PCA en algunos casos, pueden no coincidir, sobre todo si se comparan distintos proveedores. Ante esta situación, lo mejor es acudir al órgano emisor de estos valores que emite a lo largo del año, que es el IPCC [18], Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, fue creado por el (PNUMA) y la (OHM) en 1988 para ofrecer al mundo una visión científica clara del estado actual de los conocimientos sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones medioambientales y socioeconómicas. El PCA no tiene porque ser un valor fijo, su valor, varía constantemente.

Tabla 5.1: Comparación PCA

Refrigerantes MEZCLAS	PCA
R-404A	3921,6
R-407A	2107,0
R-434A	3245,4
R-449A	1396,04
R-507	3985,0
R-508B	13396,0

Para realizar los cálculos, es necesario tener el importe en Euros del impuesto de cada refrigerante, para ello utilizaremos la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Impuesto a 01/09/2018 a los gases refrigerantes

Refrigerantes MEZCLAS	Impuesto Refrigerante virgen (€)	Impuesto Refrigerante reciclado (€)
R-404A	58,82	29,41
R-407A	31,21	15,8
R-434A	48,68	24,34
R-449A	20,94	10,47
R-507A	59,78	29,89
R-508B	100,00	50

Y a su vez, para analizar el incremento del impuesto, se ha realizado la tabla 5.3 con los datos de los años 2014, a 2017:

Tabla 5.3: Incremento del Impuesto a lo largo de los años

Refrigerantes MEZCLAS	Tasa 2014	Tasa 2015	Tasa 2016	Tasa 2017 total (€/kg)
R-404A	24,97	49,95	49,95	75,68
R-407A	13,13	26,27	26,27	39,8
R-434A	20,66	41,33	41,33	62,62
R-449A	8,63	17,16	17,16	26,15
R-507A	11,83	23,67	23,67	35,86
R-508B	33	66	66	100

A simple vista, se puede observar en las tablas que el refrigerante que tiene menor impuesto es el R-449a, y también en la figura 5.3, pero se van a analizar estos refrigerantes con la ayuda de los

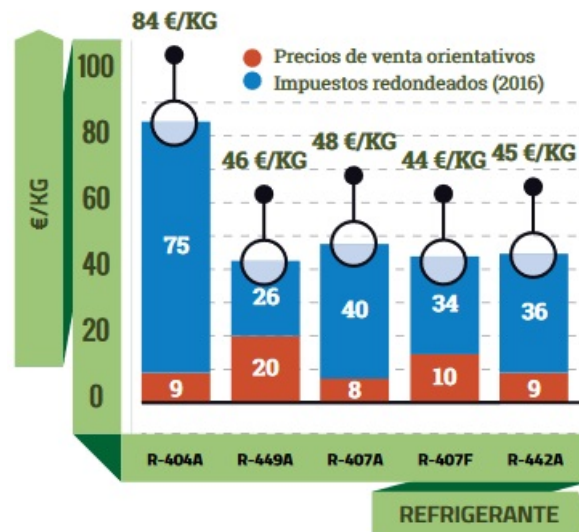


Figura 5.3: Impuestos y precios orientativos de los fluidos
Fuente: www.caloryfrio.com [11]

programas anteriormente mencionados en un supuesto caso con unas condiciones iniciales iguales para cada refrigerante, es decir, una simulación de presupuesto para hacer una comparación y calcular exactamente cual sería la diferencia. En la tabla 5.4 se compara el precio de compra de 50kg de R-507 frente a la misma cantidad de R-449a.

Tabla 5.4: Comparativa de precios R-507 frente a R-449a

Cantidad	Tasa	Total
50	77,00	3850,00
50	26,15	1307,50

5.3 Alternativas: R-449a y otros

En este apartado del trabajo se busca un refrigerante adecuado, tanto para el funcionamiento de la planta de refrigeración, como para el medio ambiente. Para ello se ha elaborado la figura 5.4, donde se reflejan los aspectos fundamentales para realizar la elección de un refrigerante apropiado para la instalación.

Existen varios aspectos importantes en un refrigerante, relacionados con la seguridad y sostenibilidad. Un refrigerante ha de tener un ODP [15] nulo. Esto significa que no destruye la capa de ozono. A su vez, ha de tener un PCA 5.4.1 bajo, así no favorecerá al efecto invernadero. No debe ser tóxico ni inflamable, estos conceptos, toxicidad e inflamabilidad, van juntos según la ASHRAE que es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados con la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación [4] y según esta sociedad indica en el estándar 34, que trata sobre la Clasificación de Seguridad de los Refrigerantes con la tabla 5.5.

Toxicidad: Causada por presentar un mayor o menor grado de toxicidad para el hombre o más ampliamente, por producir asfixia al desplazar el oxígeno. Si un fluido es tóxico, al fugarse puede intoxicar personas o contaminar alimentos. Así pues, se pueden distinguir dos clases de refrigerantes:

- Clase A: Toxicidad baja o nula, es decir, con concentraciones de 400 ppm no se observan signos de toxicidad. En caso de fuga no se ven intoxicadas las personas.
- Clase B: Tóxicos. Presentan síntomas de intoxicación en personas a concentraciones inferiores a 400 ppm. Requieren de sistemas de extracción determinados y condiciones de uso específicas. No pueden estar en contacto directo con alimentos.

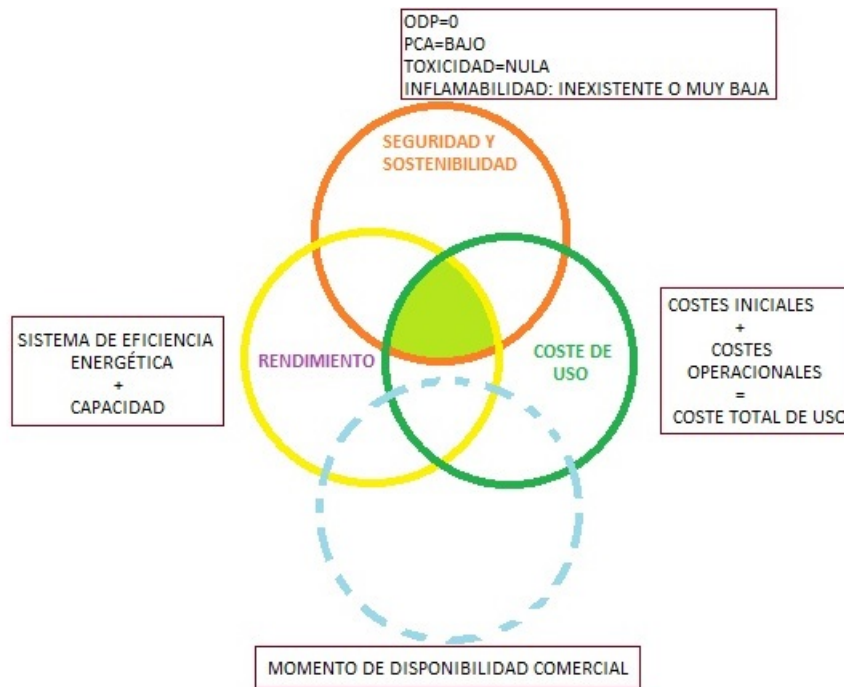


Figura 5.4: Gráfico para la elección de un refrigerante

Fuente: elaboración propia

Inflamabilidad: Los límites de concentración en el aire, en que es posible la inflamación o explosión, indica también el grado de seguridad del refrigerante. Para detectar estos límites se realiza una prueba consistente en acercar una fuente de ignición a una mezcla de refrigerante en gas y aire, a presión y temperatura determinadas. De este modo, se pueden distinguir tres categorías de refrigerantes:

- Categoría 1: No se produce llama. A 101 kPa de presión y 21 °C de temperatura, no se produce combustión.
- Categoría 2: A 101 kPa de presión y 21 °C de temperatura, se produce una pequeña propagación de llama. El calor producido por la combustión es inferior a 19000 kJ/kg. La concentración de fluido refrigerante es inferior a 0,15 l/kg Aire.
- Categoría 3: Muy inflamables. A 101 kPa de presión y 21 °C de temperatura se produce una gran combustión. El calor producido es superior a 19000 kJ/kg. La concentración de fluido refrigerante es inferior a 0,15 l/kg Aire.

Tabla 5.5: Clasificación de Seguridad de Refrigerantes según ASHRAE

ALTA INFLAMABILIDAD	A3	B3
BAJA INFLAMABILIDAD	A2/A2L	B2/B2L
NO PROPAGA LLAMA	A1	B1
	BAJA TOXICIDAD	ALTA TOXICIDAD

Otro de los aspectos más importantes será el coste del refrigerante que se va a elegir. Para ello hay que prever unos costes iniciales, como pueden ser modificaciones en la instalación para realizar el cambio de un refrigerante por otro; costes operacionales, como mano de obra especializada, además del coste que tiene el refrigerante en el mercado. El conjunto de estos dos tipos de coste servirá para obtener el coste total de uso.

Otro aspecto importante a valorar en la elección de un refrigerante es su rendimiento en la instalación para ello se tendrá en cuenta su coeficiente de eficiencia energética, el cual se va a calcular con un supuesto caso.

Y uno de los aspectos más importantes es el TEWI que se explicará a continuación en el apartado 5.3.0.1.

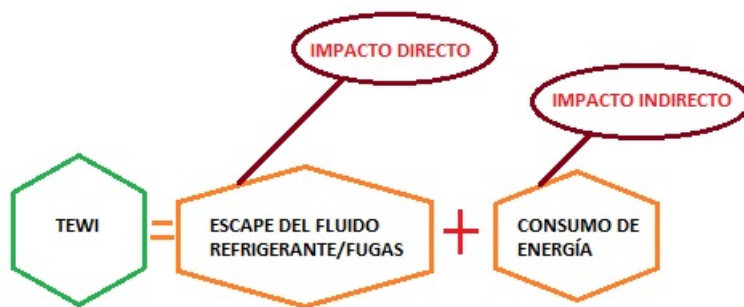


Figura 5.5: TEWI

Fuente: elaboración propia [6]

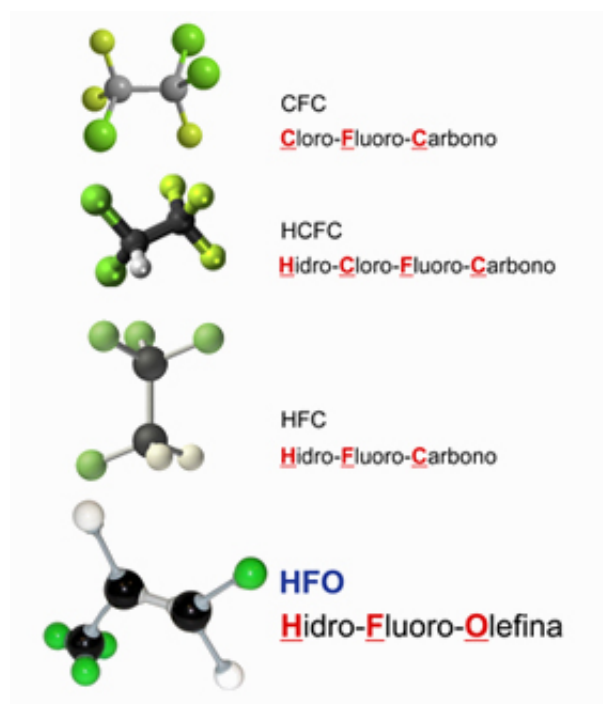


Figura 5.6: Composición HFO

Fuente: www.kth.se [20]

5.3.0.1 TEWI

La tendencia global para medir el impacto de un fluido refrigerante en la atmósfera es la adopción de un nuevo concepto, llamado TEWI, en reemplazo al GWP que estaba siendo utilizado hasta ahora. El TEWI [6] es medido por la masa del total equivalente de CO_2 resultante de la suma del impacto directo generado por un escape de fluido refrigerante en el sistema, y también del impacto indirecto generado por el CO_2 emitido en la producción de energía eléctrica necesaria para alimentar los equipos.

Antes de elegir un refrigerante en concreto, se procede a analizar los más similares para esta instalación.

5.3.1 R-449a

El R-449a es un refrigerante basado en hidrofluorolefina (HFO) como el que se muestra en la imagen 5.6, mezcla de HFC-32/HFC-125/HFC-134a de bajo GWP, desarrollado para sustituir al R-507 en sistemas de temperatura baja y media de baja expansión directa y desplazamiento positivo.

El refrigerante R-449a posee un potencial cero de (ODP) por lo que muchos sistemas que utilizan R-507 pueden reconvertirse con R-449a, permitiendo que los equipos existentes sigan funcionando de forma segura y eficiente con un impacto medioambiental notablemente inferior.

Según su fabricante, este refrigerante R-449a tiene ciertas ventajas sobre el R-507:

- PCA bajo: un 35 por ciento de reducción comparado con R-507.
- Entre un 8 y 12 por ciento más de eficiencia energética que utilizando R-507.
- Seguro y no inflamable.
- Aprobado por la mayoría de los fabricantes de equipos y componentes.
- Compatible con los diseños/lubricantes de equipos existentes.
- Eficiencia superior al CO_2 .
- Ampliamente probado sobre el terreno sin cambios en equipos/lubricantes/juntas.

Estas supuestas ventajas se van a desarrollar una a una en los apartados 5.4 y 6.1.

5.3.2 Otros

También existen otros refrigerantes que se podrían utilizar en esta instalación, hay que valorar su idoneidad.

5.3.2.1 R-404a

El R-404A [23] es una mezcla de gases refrigerantes HFC casi azeotrópica, con cero agotamiento a la capa de ozono. Su principal aplicación son las instalaciones para medias y bajas temperaturas de refrigeración.

5.3.2.2 R-407a y R-407f

R-407a [23] es una mezcla de gases refrigerantes HFC no azeotrópica, con cero agotamiento a la capa de ozono, bajo potencial de calentamiento atmosférico, utilizada en equipos nuevos que trabajen a temperaturas medias y bajas. También es un sustituto indirecto del R-502 y sus sustitutos HCFC como por ejemplo el R-22, R-408a, DI-44, HP80. Los refrigerantes R-407a y R-407f los desarrolló la empresa Honeywell y también se conocen por el nombre de "Performax™ LT".

Son mezclas de los refrigerantes R-32, R-125 y R-134a, y están relacionados con el R-407C, aunque su presión se corresponde mejor con la del refrigerante R-22.

Los refrigerantes R-407a y R-407f son una alternativa para sustituir el R-404a y el R-507 tienen un GWP de 1.800, inferior al del R-404a, que es de 3.900. Son una alternativa para las aplicaciones de baja y media temperaturas en sistemas de refrigeración comerciales. Son refrigerantes no inflamables y de baja toxicidad.

El R-407a se desarrolló en la misma época que el R-507 y R-404a para sustituir al R-502 en instalaciones nuevas de medias y bajas temperaturas. En aquella época se optó en Europa por utilizar gases refrigerantes azeotrópicos. No se tenía en cuenta el GWP ni la eficiencia energética. Realmente en baja temperatura, el R-407a es más próximo en capacidad frigorífica al R-22 que al R-502, R-507 o R-404a. Para reconvertir una instalación de R-22 a R-407a es necesario cambiar el aceite mineral original por aceite POE, cambiar el filtro secador, las válvulas de seguridad y otros elementos que fueran tarados a las presiones del R-22. Como cualquier otro cambio de HCFC a HFC, se recomienda cambiar las juntas tóricas de goma por plásticas.

5.3.2.3 R-442a

El R-442a (RS-50) es una mezcla HFC no inflamable con un ODP = 0, y bajo GWP desarrollado para cumplir las nuevas exigencias desarrolladas en la F-Gas Regulation en Europa para la reducción de las emisiones de CO_2 y además aportar un ahorro económico importante al cliente final debido a su alta eficiencia energética. Algunas de sus características principales son:

- Es una buena alternativa al R-404a y R-507 para instalaciones nuevas de media y baja temperatura.
- El GWP es menos de la mitad que para el R-404a y R-507.
- Alta eficiencia energética (COP) respecto del R-404a y R-507.
- Capacidad frigorífica superior respecto del R-404a y R-507.
- Su estructura molecular es equivalente a la del R-22, y más pequeña que el R-404a y R-507 por lo que no es necesario ajustar la válvula de expansión para instalaciones que contenían R-22, aunque puede ser necesario cerrar ligeramente la válvula de expansión en el caso del R-404a y R-507.
- Es una mezcla HFC, compatible con aceites sintéticos POE.

Debido a su composición mejora el retorno de aceite al compresor, comparado con el R-404a y el R-507. El RS-50 (R-442a) es idóneo como alternativo al R-404a y R507 tanto en instalaciones nuevas como existentes, aportando una mejora muy importante en el ahorro energético, y reduciendo significativamente el TEWI, emisiones directas e indirectas de CO_2 . Por esto se considera un producto de futuro dentro del nuevo marco Europeo.

5.4 Elección y ventajas del R-449a frente al R-507

Tras haber realizado comparación mediante las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se opta por elegir el R-449a ya que tiene menos impuestos que el resto. A continuación se procede a analizar los costes iniciales, tales como posibles modificaciones en la instalación y la otra condición importante a tener en cuenta, que es el rendimiento del nuevo refrigerante en la instalación ya que cumple las dos condiciones anteriormente desarrolladas, seguridad, sostenibilidad y coste de uso. Una vez comprobado que el R-449a cumple con los requisitos de seguridad, sostenibilidad y coste, a continuación se estudia la eficiencia del ciclo.

5.4.1 Aspectos medioambientales

R-449a presenta un 35 por ciento de reducción comparado con R-507. Para ello se utilizan los datos de la tabla 5.1 y se realiza el cálculo en excel para obtener el porcentaje 5.6; el PCA establecerá en qué medida el refrigerante va a afectar al calentamiento global midiendo la influencia de este refrigerante en el efecto invernadero, siempre tomado frente al Dióxido de Carbono CO_2 y tomando como base el calentamiento global de 1 unidad de CO_2 (=1kg) a lo largo de 100 años.

Tabla 5.6: Tabla comparativa del PCA

Refrigerante	PCA	Porcentaje
R-449A	1396,04	35,03
R-507A	3985	100



Figura 5.7: Detector electrónico de fugas

Fuente: Eurofred [13]

5.4.2 Seguridad e inflamabilidad

El R-449a es considerado seguro y no inflamable, según la ASHRAE [4], ya que pertenece a la clase A1 5.5. Respecto a la manipulación de este refrigerante hay que tener en cuenta que hay que trabajar ante todo con seguridad, por tanto hay que ser consciente de que un refrigerante puede ocasionar lesiones graves a la salud si no se manipula con precaución. En la ficha de seguridad de cada refrigerante se explican los peligros que puede producir, se anexan los más significativos en la ficha de seguridad de cada refrigerante.

Como mínimo habrá que utilizar guantes y gafas de seguridad, y una mascarilla si fuera necesario, aunque se debe mantener siempre una ventilación adecuada. Además de los riesgos químicos se debe prestar especial atención a las posibles quemaduras producidas por la expansión del gas en una salida accidental.

Se podrá utilizar un detector electrónico de fugas como el que se muestra en la imagen 5.7 diseñado para localizar los refrigerantes que utiliza.

5.4.3 Aceptación y homologación por los fabricantes de equipos y componentes

Fabricantes de equipos y componentes tales como Danfoss[8] y Bitzer[5] animan a los profesionales de la refrigeración comercial a sustituir antiguos refrigerantes como R-507 por refrigerantes con bajo GWP. La incertidumbre en la selección de refrigerantes y el suministro futuro, así como la información errónea sobre la capacidad de los componentes, dificultan la sustitución.

5.4.4 Modificaciones escasas en el sistema

Esta es una de las ventajas más importantes que hay que analizar detalladamente ya que es muy importante a la hora de tomar la decisión de cambiar el refrigerante si hay o hubiera que hacer alguna modificación en la instalación, principalmente porque influiría en los costes iniciales. Para ello, se detallan a continuación los resultados que se obtienen de la parte 6.1. Es posible que haya que realizar modificaciones en el sistema para implantar el nuevo refrigerante R-449a, para ello, se detallan algunos aspectos sobre posibles modificaciones en los elementos de la instalación.

5.4.4.1 Lubricante

Las misiones del aceite en un sistema frigorífico son, lubricar las partes móviles de un compresor para evitar que con su roce se caliente y se gripe; y también sirve para producir estanqueidad entre

la alta y la baja presión de un circuito, por lo que cada fabricante de compresores desarrolla el tipo de viscosidad óptima del suyo teniendo en cuenta la tolerancia, tipo de trabajo, velocidad, etc. En este caso, el aceite utilizado con el R-507 es Bitzer BSE 170, un aceite POE. El fabricante del refrigerante R-449a dice que en los equipos que funcionan con R-507, el lubricante polioléster (POE) presente en el sistema podría utilizarse con R-449a, ya que tienen características similares. El aceite POE es altamente soluble en los nuevos refrigerantes sin cloro, tiene una excelente estabilidad química y térmica y son muy higroscópicos³. No obstante, se hará un análisis previo del lubricante y uno posterior, si los ensayos muestran contaminación o tienen un índice elevado de ácido se deberá cambiar el lubricante.

5.4.4.2 Compresor

En esta instalación tratamos con compresores de desplazamiento positivo, rotativo y de tipo de tornillo abierto, marca Bitzer[5] y modelo OSK-7471-K-Y. Para ver si hay que hacer modificaciones en los compresores, se procede a realizar una serie de cálculos comparativos con la ayuda del programa Chemours Refrigerant Expert [6], estos cálculos se indicarán en el apartado 6.1.

Tras realizar todos los cálculos correspondientes, reflejados en el apartado 6.1.1 se llega al resultado de que para este compresor en lo que se refiere a su capacidad y eficiencia energética, serán similares al operar con R-449a a cuando se utiliza el R-507. Las presiones de aspiración y de descarga utilizando el R-449a varían con respecto al R-507 y es posible que haya que retocar puntos de ajuste para evitar exceder los límites de funcionamiento y operación del compresor. El R449a tiene también temperaturas de descarga algo mayores (10-20 K) que R-507.

5.4.4.3 Expansión del refrigerante

El refrigerante R449a en su expansión posee un índice de flujo másico⁴ inferior de un 20 a un 25 por ciento al de R-507, esto significa que, si se realiza el cambio a R-449a, los dispositivos de expansión son compatibles con los que ya están instalados previamente con R-507 y por tanto, no deberían necesitar sustitución. Puede que sean necesarios ajustes en las válvulas de expansión para el reinicio del recalentamiento después de la conversión del sistema. Las válvulas de expansión de esta instalación son AKV20-4 y se realizará un estudio sobre las mismas en el apartado 6.1.2.

5.4.4.4 Tuberías en la instalación

Como el refrigerante R-449a posee índices de flujo de masa y densidad inferiores al R-507, es recomendable comprobar el tamaño de tubería del refrigerante existente para verificar que las caídas de presión del circuito y las velocidades del fluido por el interior del tubo sean similares con el nuevo refrigerante.

Tras analizar los diferentes refrigerantes en la tubería de la instalación mediante la tabla 6.10 se puede observar que no es necesario realizar ningún cambio en la misma ya que no existe mucha diferencia en los parámetros de cada refrigerante. La importancia de haber analizado este elemento de la instalación es vital ya que un tamaño adecuado de tubería es importante para garantizar la capacidad de refrigeración adecuada y un retorno suficiente del aceite al compresor.

5.4.4.5 Filtro deshidratador

Si se observa la tabla 6.11 no hay gran diferencia para el flujo del R-449a o R-507 por este tipo de filtro deshidratador, por lo que se puede seguir utilizando en la instalación.

³Higroscopicidad en POE: Si los POE muy higroscópicos se encuentran agua, (por ejemplo, la contenida en el aire) se produce una reacción reversible, las moléculas del POE rompen los enlaces y se vuelve al origen: PENTAERITRITOL + ACIDO

⁴Índice de flujo másico: es una medida del número de moléculas que fluyen a través del instrumento, independientemente de cuánto espacio ocupen esas moléculas. El índice de flujo másico a menudo se expresa como una tasa de flujo volumétrico estandarizado (o normalizado), que es la cantidad de espacio que esas moléculas ocuparían si se midieran en condiciones de temperatura y presión estándar.



Figura 5.8: Autómata SIEMENS S7-200

Fuente: www.siemens.com [24]

5.4.4.6 Controles del sistema

El control de la instalación lo hace un autómata marca SIEMENS, modelo S7-200 CPU216 como el que se muestra en la figura 5.8, por cada enfriadora. Los climatizadores van controlados de manera individual por otro controlador SIEMENS, modelo RWC62.

Este autómata ordena según la relación presión-temperatura de un refrigerante específico. Durante el cambio del R-507 al R-449a, los controles deberían funcionar adecuadamente ya que no hay una diferencia excesiva en la relación P-T, pero sería conveniente programar las nuevas prestaciones del R-449A para un funcionamiento óptimo.

Para ello se ha consultado el manual [24] de este autómata programable y hay que seguir un procedimiento para la introducción de las nuevas prestaciones del refrigerante R-449a. Como ya están cargados unos datos iniciales con el refrigerante R-507, solamente habría que modificar, para ello hay que utilizar el asistente de registro de datos, donde se realizará la acción de modificar una configuración de registro de datos existente.

6 Resultados

Como consecuencia de la aplicación de la metodología, se llega a la elección de un refrigerante, en este caso, se elige el R-449a por varios motivos:

- Si se tiene en cuenta la figura 5.4 para la elección de un refrigerante, el refrigerante R-449a es seguro ya que pertenece a la clase A1 según la ASHRAE 5.5.
- Tiene un PCA bajo respecto al R-507, como se muestra en la tabla 5.1, por lo que la condición de seguridad y sostenibilidad la cumple como refrigerante adecuado para esta instalación.
- En la condición de coste de uso entrarán los dos factores ya mencionados. Tras analizar el coste que tiene el refrigerante en el mercado con la tabla 5.4 se observa que el R-449a tiene menor coste respecto al R-507, por lo que cumpliría esta condición.

6.1 Cálculos justificativos (estudio comparativo)

Este apartado del trabajo tiene vital importancia para poder analizar bien la sustitución del refrigerante R-507 por el R-449a en la instalación. Inicialmente es necesario tener las tablas de cada refrigerante para poder realizar los cálculos [8]

Tabla 6.1: Datos R-507

Refrigerante:	R- 507								
t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	
-10	4,49	4,49	186,38	356,97	0,94	1,59	0,83	43,01	
-5	5,31	5,31	193,14	359,56	0,97	1,59	0,85	36,43	
0	6,24	6,23	200,00	362,07	1,00	1,59	0,86	31,00	
5	7,28	7,28	206,96	364,47	1,02	1,59	0,87	26,49	
10	8,45	8,45	214,04	366,74	1,04	1,58	0,89	22,71	
15	9,76	9,75	221,25	368,87	1,07	1,58	0,91	19,52	
20	11,21	11,20	228,60	370,82	1,09	1,58	0,93	16,82	
25	12,82	12,81	236,13	372,58	1,12	1,58	0,95	14,51	
30	14,60	14,58	243,83	374,09	1,14	1,57	0,97	12,53	
35	16,55	16,53	251,76	375,33	1,17	1,57	1,00	10,81	
40	18,69	18,68	259,96	376,21	1,20	1,57	1,03	9,31	

Ahora se presentará un supuesto caso utilizando los mismos datos para los dos refrigerantes y así comparar las ventajas de uno sobre otro que se exponen una por una en el capítulo 5.4.

Para ello se presentan las siguientes tablas con los mismos datos de aplicación pero cambiando el refrigerante, se comienza con la tabla 6.3 que muestran los dos refrigerantes en cuestión:

Tabla 6.2: Datos R-449a

Refrigerante: R-449a									
t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s'' [kJ/kgK]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	
-10	4,41	3,60	186,03	393,21	0,94	1,74	0,81	62,81	
-5	5,23	4,31	192,97	395,76	0,97	1,73	0,82	52,70	
0	6,15	5,12	200,00	398,22	1,00	1,73	0,83	44,47	
5	7,20	6,05	207,12	400,58	1,02	1,72	0,84	37,72	
10	8,37	7,10	214,35	402,83	1,05	1,72	0,86	32,14	
15	9,68	8,28	221,70	404,95	1,07	1,71	0,87	27,49	
20	11,13	9,61	229,18	406,92	1,10	1,71	0,89	23,60	
25	12,74	11,09	236,79	408,72	1,12	1,70	0,91	20,31	
30	14,52	12,74	244,57	410,32	1,15	1,70	0,93	17,51	
35	16,47	14,57	252,52	411,70	1,17	1,69	0,95	15,13	
40	18,61	16,59	260,67	412,81	1,20	1,69	0,97	13,07	

Tabla 6.3: Datos iniciales de la instalación

Refrigerante:	R-507	R-449A
Condensación t_c [°C]	40	40
Temperatura media [°C]	40	37,6
Presión de condensación P_c [bar]	18,68	16,593
Evaporación t_o [°C]	-10	-10
Temperatura media [°C]	-10	-12
Presión de evaporación P_o [bar]	4,4929	3,6024
Subenfriamiento [K]	5	5
Sobrecalentamiento (Evap.) [K]	10	10

6.1.1 Cálculos Compresor

Para realizar los cálculos correspondientes al compresor con los distintos fluidos refrigerantes es necesario disponer de los datos recogidos en la tabla 6.4 con las características del mismo, obtenidas del fabricante del compresor, BITZER [5].

Tabla 6.4: Datos del compresor de la instalación

Volumen desplazado (2900 RPM a 50Hz)	250 m ³ /h
Volumen desplazado (3500 RPM a 60Hz)	302 m ³ /h
Rango de velocidades autorizadas	1450 .. 4000 min-1
Peso	188 kg
Presión máxima (BP/AP)	19 / 28 bar
Conexión línea aspiración	76 mm - 3 1/8"
Conexión línea descarga	54 mm - 2 1/8"
Aceite para R507A	BSE170

Aplicando los datos de la tabla 6.4 junto con los datos del caso supuesto, se realizan los siguientes cálculos reflejados en la tabla 6.5

Tabla 6.5: Cálculos con el compresor utilizando R-507 y R-449a

Compresor BITZER OSK-7471	R-507	R-449a
Rendimiento volumétrico [-]	1	1
Rendimiento isentrópico [-]	0,7	0,7
Tasa de Compresión P_2/P_1 [-]	4,158	4,606
Diferencia de Presión P_2/P_1 [bar]	14,187	12,991
Volumen desplazado [m ³ /h]	290	290
Caudal de masa [kg/s]	1,6772	1,1584
Capacidad volumétrica [kJ/m ³]	2389,8	2263,1

Y con esto se puede hallar la capacidad frigorífica, representando estos datos en la tabla 6.6.

Tabla 6.6: Capacidad frigorífica

	R-507	R-449a
Capacidad frigor. Q_o [kW]	192,51	182,3
Potencia del Compresor P [kW]	74,94	66,74
Potencia calorífica Q_c [kW]	282,96	259,45
Coefficiente frigorífico [-]	2,57	2,73

Con estos datos se obtienen las propiedades del ciclo, que se exponen por separado:

- Tabla 6.7 con las propiedades del ciclo utilizando R-507.
- Tabla 6.8 con las propiedades del ciclo utilizando R-449a.

Y con ello se dispone de los correspondientes diagramas del ciclo, obtenidos con el programa Coolselector de la marca Danfoss [8] tras haber introducido en este programa los datos del caso presentado para la comparación de los dos refrigerantes.

6.1.2 Expansión del refrigerante

Es fundamental observar las figuras 6.1 y 6.2 para analizar este apartado. Tras comparar un ciclo con otro, se llega a un resultado, explicado más detalladamente en el apartado 5.4.4.3. En esta instalación las válvulas de expansión son electrónicas, de la marca Danfoss, en concreto el modelo AKV-20 20-4. Este tipo de válvula asegura la entrada automática del refrigerante en el evaporador en función de

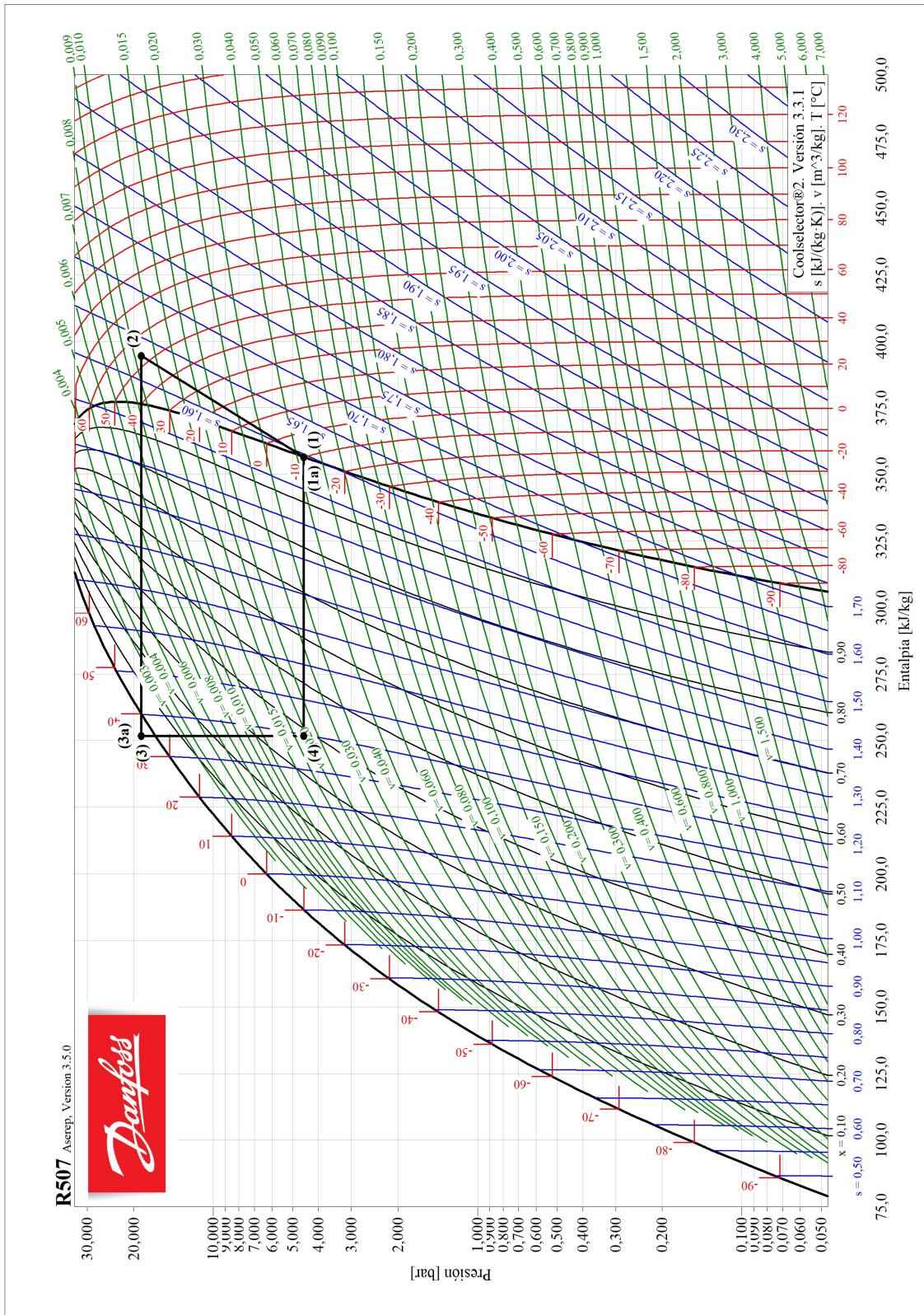


Figura 6.1: Diagrama R-507 con supuesto caso planteado

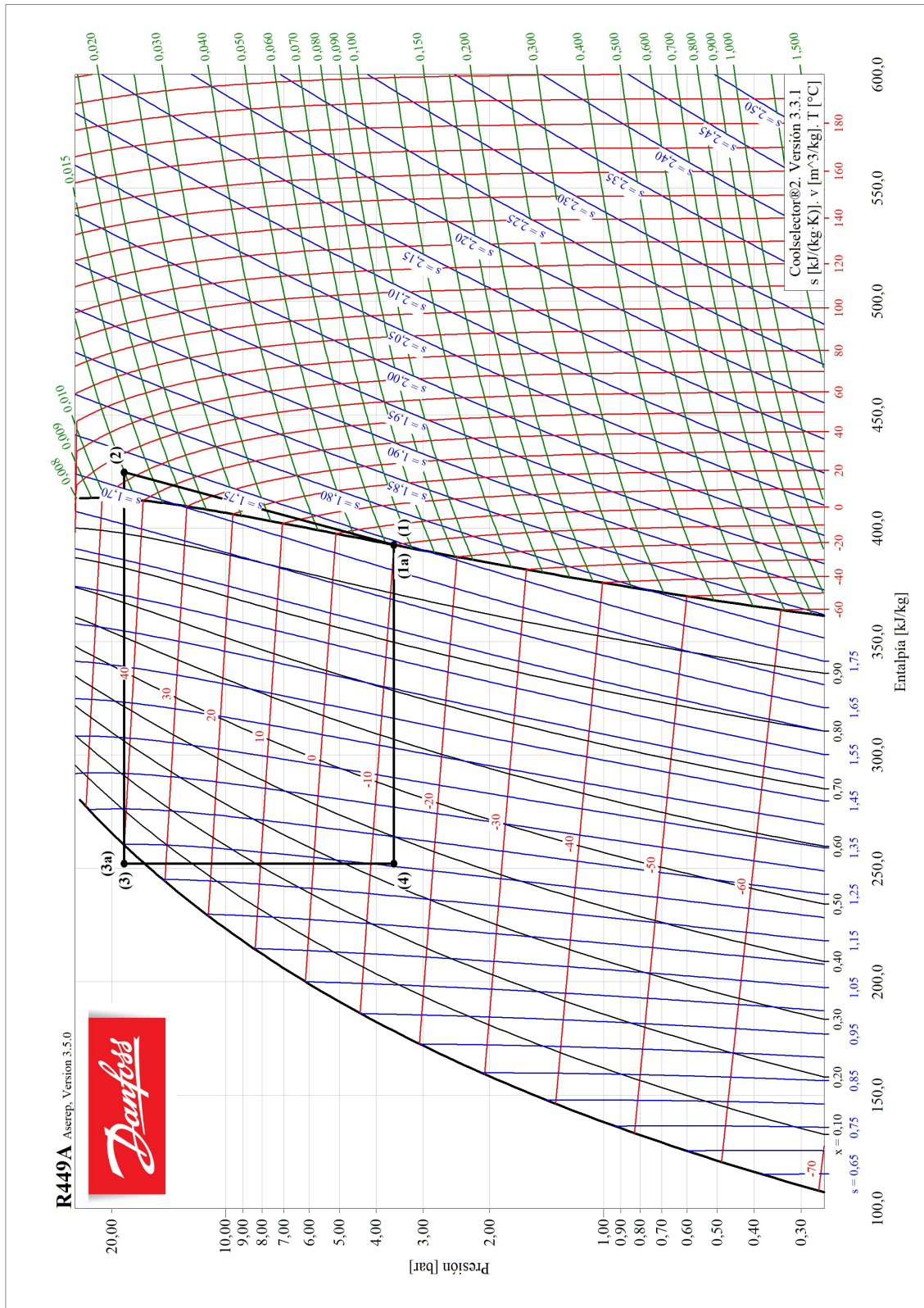


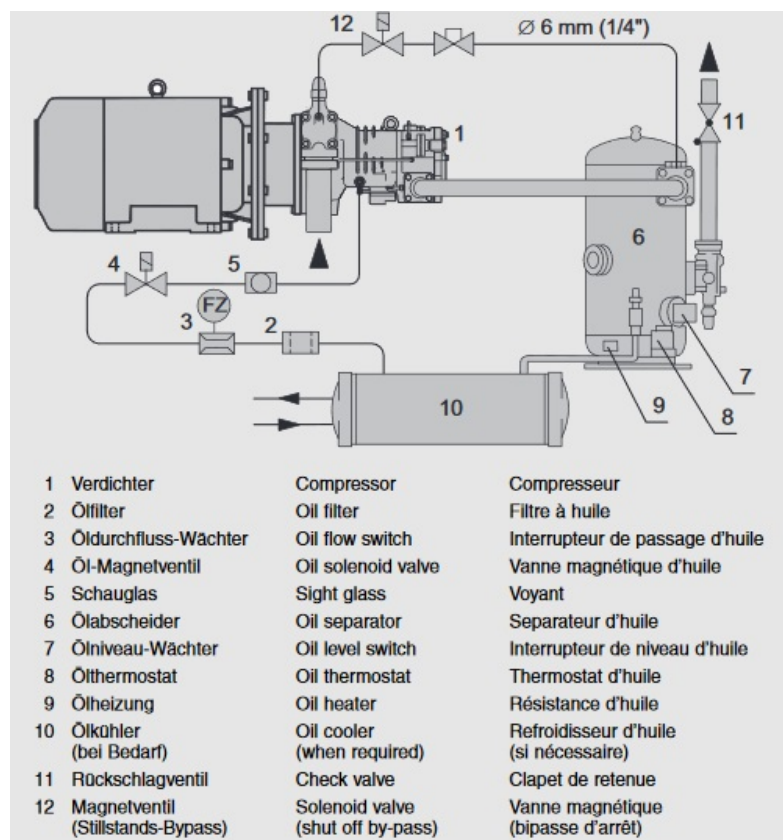
Figura 6.2: Diagrama R-449a con supuesto caso planteado

Tabla 6.7: Propiedades del ciclo utilizando R-507

Propiedades con R-507						
	t	p	h	s	v	x
	[°C]	[bar]	[kJ/kg]	[kJ/kg*K]	[dm ³ /kg]	[%]
1a.	0	4,4929	366,29	1,6328	45,5856	
1.	10	4,4929	375,54	1,6661	48,0296	
2.	74,91	18,68	420,22	1,7052	12,5591	
3.	34,96	18,68	251,51	1,1732	1,0007	
4.	-10,01	4,4929	251,51	1,1973	16,9429	38,2
1-2.			44,68			
1-2s			31,28			

Tabla 6.8: Propiedades del ciclo utilizando R-449a

Propiedades R-449a						
	t	p	h	s	v	x
	[°C]	[bar]	[kJ/kg]	[kJ/kg*K]	[dm ³ /kg]	[%]
1a	0	3,6024	402,32	1,7792	66,2552	
1.	10	3,6024	411,3	1,8115	69,5393	
2.	88,05	16,593	468,91	1,8605	17,8274	
3.	30,29	16,593	244,95	1,1527	0,9311	
4.	-13,95	3,6024	244,95	1,1752	20,0523	31
1-2.			57,61			
1-2s			40,33			



Fuente: manual de la instalación[27]

Figura 6.3: Dibujo del compresor de la instalación

la presión que haya en el lado de baja de la instalación, es decir, justo a la entrada del evaporador. Utilizando el programa Coolselector de Danfoss se procede a comparar el funcionamiento de estas válvulas de expansión con los dos refrigerantes R-507 y R-449a en la instalación con los mismos datos del caso anterior. Una vez obtenidos los resultados del Coolselector, se plasma en la tabla 6.9:

Tabla 6.9: Comparación de refrigerantes con la misma válvula de expansión

Parámetros con la válvula AKV-20 20-40	Unidades	R-449a	R-507
Presión a la entrada	bar	18,54	18,73
Presión a la salida	bar	3,584	4,538
Diferencia de presión Entrada-Salida	bar	14,96	14,192
Temperatura a la entrada	°C	35	35
Temperatura a la salida	°C	-13,8	-10
Diferencia de Temperatura Entrada-Salida	°C	-48,8	-45
Temperatura Punto de burbuja a la entrada	°C	40	40
Temperatura Punto de burbuja a la salida	°C	-15,8	-10
Diferencia de Temperatura Punto de burbuja Entrada-Salida	°C	-55,8	-50
Temperatura Punto de rocío a la entrada	°C	44,5	40
Temperatura Punto de rocío a la salida	°C	-10	-10
Diferencia de Temperatura Punto de rocío Entrada-Salida	°C	-54,5	-50
Densidad a la entrada	kg/m ³	1046	996,5
Densidad a la salida	kg/m ³	44,93	59,09
Diferencia de densidad Entrada-Salida	kg/m ³	-1001	-937,4
Entalpía a la entrada	kJ/kg	252,2	251,9
Entalpía a la salida	kJ/kg	252,2	251,9
Diferencia de entalpía Entrada-Salida	kJ/kg	0	0
Título a la entrada	x	0	0
Título a la salida	x	0,35	0,39
Velocidad a la entrada	m/s	0,47	0,66
Velocidad a la salida	m/s	10,87	11,09
Diferencia de velocidad Entrada-Salida	m/s	10,4	10,43
Máxima diferencia de presión de apertura	bar	18	18
Máxima presión de trabajo (PS/MWP) manométrica	bar	28	28
Temperatura de funcionamiento máxima	°C	60	60
Temperatura de funcionamiento mínima	°C	40	40
Grado de apertura	%	100	100
Estrangulado	estado	No	No
Estado de la válvula	estado	Abierta	Abierta
Capacidad	%	23,2	32,54
Capacidad máxima	kW	431	307,3

6.1.3 Tubería en la instalación

La tubería que se encuentra en la instalación se identifica como: Soldadura a tope, acero DIN-EN. Tamaño: 40 t=2,6 mm, y se plasma en la tabla comparativa 6.10 para ver si la diferencia es muy grande en ambos refrigerantes.

Tabla 6.10: Comparación de refrigerantes por tubería de la instalación

Parámetros de tubería de acero DIN-EN. Tamaño: 40 t=2,6 mm	Unidades	R-507	R-449a
Caída de presión total	bar	14,2	14,96
Caída total de temperatura de saturación	K	50	55,8
Máx. diferencia de presión disponible	bar	14,2	14,96
Máx. caída de temperatura de saturación disponible	K	50	50
Caudal másico de la línea	kg/h	3442	2565

6.1.4 Filtro deshidratador

Durante el proceso de sustitución de fluido es necesario cambiar el deshidratador, por lo que hay que comprobar si el mismo modelo de filtro existente sirve, o si habría que cambiarlo. El que está instalado es un filtro marca DANFOSS DCR-048. Este filtro DC es apto para refrigerantes HCFC y HFC y tiene un 80 % de tamiz molecular y un 20 % de alúmina activada, y con la ayuda del programa Coolselector de DANFOSS se comparara con el nuevo refrigerante R-449a en la tabla 6.11:

Tabla 6.11: Comparación para filtro secador

Parámetros con la válvula AKV-20 20-40	Unidades	R-449a	R-507
Presión a la entrada	bar	18,54	18,73
Presión a la salida	bar	18,42	18,71
Diferencia de presión entrada-salida	bar	-0,129	-0,02
Temperatura a la entrada	°C	35	35
Temperatura a la salida	°C	35	35
Diferencia de temperatura entrada-salida	°C	0	0
Temperatura punto de burbuja a la entrada	°C	40	40
Temperatura punto de burbuja a la salida	°C	39,7	40
Diferencia de temperatura punto de burbuja entrada-salida	°C	-0,3	0
Temperatura punto de rocío a la entrada	°C	44,5	40
Temperatura punto de rocío a la salida	°C	44,3	40
Diferencia de temperatura punto de rocío entrada-salida	°C	-0,3	0
Densidad a la entrada	kg/m ³	1046	996,5
Densidad a la salida	kg/m ³	1046	996,5
Diferencia de densidad entrada-salida	kg/m ³	0	0
Entalpía a la entrada	kJ/kg	252,2	251,9
Entalpía a la salida	kJ/kg	252,2	251,9
Diferencia de entalpía entrada-salida	kJ/kg	0	0
Título a la entrada	x	0	0
Título a la salida	x	0	0
Velocidad a la entrada	m/s	3,11	0,88
Velocidad a la salida	m/s	3,11	0,88
Diferencia de velocidad entrada-salida	m/s	0	0

6.2 Cambio del R-507 por R-449a en la instalación

Tras realizar los cálculos correspondientes para la instalación utilizando el R-449a se va a proceder a realizar el cambio de fluido refrigerante. El fabricante del refrigerante DUPONT [12] recomienda seguir un procedimiento.

6.3 Procedimiento para la reconversión del sistema con R-449a

El fabricante y suministrador del refrigerante R-449a recomienda un procedimiento detallado para reconvertir el sistema con este refrigerante, que, se explica a continuación.

Primer paso Lo primero será establecer las presiones base del sistema utilizando el R-507, para ello se han recopilado diariamente los parámetros de la planta de refrigeración en funcionamiento con ese refrigerante, para plasmar los parámetros se utiliza una tabla 6.12 y una gráfica de los compresores ?? que se muestran a continuación.

Segundo paso Como segundo paso hay que rellenar una hoja de datos del sistema ya dada por el fabricante [12].

Tabla 6.12: Datos de la instalación usando R-507

	Compresor 1	Compresor 2
Presión de aspiración (bar)	5,4	4,8
Presión de descarga (bar)	13,2	14
Temperatura de aspiración (°C)	12,3	13,5
Temperatura de descarga (°C)	49,1	51,3
Temperatura de aceite (°C)	51,7	43,7
Consumo (A)	120	95
Capacidad (%)	100	100
Temperatura agua a la entrada del condensador (°C)	16	16
Temperatura agua a la salida del condensador (°C)	13	13
Temperatura agua a la salida de válvula seguridad (°C)	13	13
Presión en tanque de inercia (bar)	1,8	1,8

**Figura 6.4:** Esquema de recuperación de refrigerante residual

Fuente: elaboración propia

Tercer paso: Lubricante El tercer paso será comprobar el lubricante, el que tiene la instalación ya debería ser adecuado, pero se realizarán los análisis oportunos, y si el aceite estuviera contaminado, habría que sustituirlo.

Cuarto paso: Retirar R-507 El cuarto paso es retirar todo el R-507 que queda en la planta de refrigeración, para ello se retira a un cilindro externo de recuperación. Esto ayuda para usar como referencia la cantidad que recuperamos de R-507, será similar a la que hay que meter de R-449a. El proceso de recuperación de residuos se detalla con la imagen 6.4.

Quinto paso: Filtro deshidratador Lo siguiente será sustituir el filtro secador, DCR-048 ya que se va a meter R-449a. Ya se ha comentado en el apartado 5.4.4.5 que no es necesario cambiar de modelo de filtro.

Sexto paso: Mantenimiento Realizar labores de mantenimiento de toda la planta de refrigeración, como por ejemplo la limpieza del condensador.

Séptimo paso: Fugas Hay que comprobar si hay pérdidas en el sistema, y también habrá que retirar el aire u otros gases no condensados, así como cualquier humedad que se pudiera haber introducido en el sistema. Para ello se hace vacío a una presión menor a 1,32 mbar. Haciendo esto, si el sistema no puede mantener el vacío, significará que existe alguna fuga.

Octavo paso: Presurizar Una vez realizada esta prueba de vacío hay que presurizar todo el sistema con nitrógeno seco sin superar la presión máxima diseñada para esta instalación. Cuando detectemos y comprobemos si hay o no fugas, hay que retirar el nitrógeno residual con una bomba de vacío.

Noveno paso: Carga con R-449a Ahora la instalación ya está lista para cargarla con R-449a. El fabricante [12] indica que las instalaciones requieren una carga un poco mayor de este nuevo refrigerante que del anterior R-507, aún así, todo puede variar dependiendo de las condiciones de funcionamiento.

Décimo paso: Arranque Se procede al arranque de la planta de refrigeración y a realizar comprobaciones de niveles de aceite en el compresor, y de la carga de refrigerante para lograr un sobrecalentamiento y un subenfriamiento óptimos. Para ello el fabricante del refrigerante DUPONT recomienda seguir la siguiente hoja de comprobación del sistema, representada en la tabla 6.13.

Tabla 6.13: Hoja de datos tras implantar R-449a

<ol style="list-style-type: none"> 1. Establezca las prestaciones básicas de funcionamiento con R-507. 2. Consulte las recomendaciones del fabricante de equipo original de los componentes del sistema sobre: <ul style="list-style-type: none"> -Lubricante (viscosidad, fabricante, aditivos) -Procedimientos de reconversión para conservar la garantía, si los hay 3. Compruebe la calidad del aceite POE existente y cámbielo si es necesario 4. Complete las modificaciones del sistema (tamaño del tubo, etc.) según el análisis de ingeniería 5. Sustituya el filtro secador por uno nuevo aprobado para su uso con el refrigerante de sustitución 6. Vuelva a conectar el sistema y evacúe con bomba de vacío <ul style="list-style-type: none"> -(Evacúe a vacío total [132 Pa (1.32 mbar) según EN 378-4:2013]). 7. Compruebe fugas en el sistema. (Re-evacue el sistema según la comprobación de fugas.) 8. Recargue el sistema con refrigerante R-449^a <ul style="list-style-type: none"> -Cargue inicialmente 85 por ciento del peso especificado por el fabricante del equipo original para la carga con R-507. -Cantidad de refrigerante que ha cargado: _____ 9. Arranque el equipo y ajuste la carga hasta que se consigan las condiciones de funcionamiento deseadas <ul style="list-style-type: none"> -Si la carga es escasa, añada por fases de 2-3 por ciento del peso. -Cantidad de refrigerante que ha cargado: _____ -Total de refrigerante cargado: _____ 10. Etiquete los componentes y el sistema con el tipo de refrigerante y lubricante 11. ¡La reconversión está realizada!

Undécimo paso: Señalización Por último etiquetar la instalación con el nuevo refrigerante R-449a para que no haya futuras equivocaciones.

6.4 R-449a en la instalación

Tras realizar una serie de cálculos en la instalación y en los elementos de la misma comparando los dos refrigerantes, se puede observar que la diferencia entre uno y otro en no es mucha y no hay que realizar cambios en la instalación por lo que queda justificada la sustitución del fluido refrigerante R-507 por el R-449a, siguiendo todo el procedimiento que se ha detallado previamente en el apartado 6.3 del trabajo en las tres plantas de refrigeración.

Esta tarea se podrá realizar por el personal del departamento de máquinas de a bordo, siempre cumpliendo con el posterior proceso de eliminación del refrigerante antiguo. En un primer paso se hace un seguimiento de funcionamiento de la planta de refrigeración plasmando estos parámetros en la tabla 6.14.

Constrastando con la tabla 6.12 de los datos de la instalación con R-507, se pueden apreciar cambios como los que se muestran en la tabla comparativa 6.15.

Tabla 6.14: Datos de la instalación usando R-449a

	Compresor 1	Compresor 2
Presión de aspiración (bar)	4,2	4,4
Presión de descarga (bar)	14	14
Temperatura de aspiración (°C)	8,2	9
Temperatura de descarga (°C)	47,3	51,8
Temperatura de aceite (°C)	48	46,8
Consumo (A)	130	130
Capacidad (%)	100	100
Temperatura agua a la entrada del condensador (°C)	9,9	9,9
Temperatura agua a la salida del condensador (°C)	7	7
Temperatura agua a la salida de válvula seguridad (°C)	7	7
Presión en Tanque de Inercia (bar)	1,8	1,8

Tabla 6.15: Comparación del R-449a respecto al R-507 en la instalación a 28°C

Parámetros	Unidades	R-507	R-449a
Temperatura ambiente	°C	28	28
Consumo de energía	%	16	8
Flujo relativo de masa	%	32	16
Presión de aspiración	kPa	0	0
Presión de descarga	kPa	96	48
Temperatura de descarga	°C	273	276

7 Conclusiones

1. Según la tabla 5.1 el refrigerante que se utilizaba previamente (R-507), tiene un PCA 5.4.1 muy elevado, lo que significa que es altamente perjudicial para el medio ambiente.
2. Tras el análisis se escoge el R-449 como sustituto del R-507 ya que es el que menor costo tiene de los refrigerantes que se compararon previamente.
3. Se observa que el refrigerante R-449a tiene un menor coste debido a que tiene menos impuestos respecto al resto y comparando con el sustituido en la instalación, hay una notable diferencia de costo.
4. Con el uso del R-449a se producen modificaciones en los parámetros termodinámicos. No obstante estos son menores, por lo que no producen inconvenientes graves en la instalación.
5. La implantación del nuevo refrigerante R-449a en la instalación no supone grandes modificaciones en la misma, por lo que será un cambio sencillo para poder realizarlo a bordo. Habrá que realizar las labores de mantenimiento oportunas pero, totalmente idénticas que con el anterior refrigerante R-507.

8 Ficha Técnica del R-507



Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	R-507
Peso molecular	(g/mol)	98.9
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.7
Temperatura crítica	(°C)	70.9
Presión crítica	(bar abs)	37.9
Densidad crítica	(Kg/m³)	500
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1050
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m³)	1248
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	(Kg/m³)	5.5
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	12.74
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2.58
Calor latente de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	200
Calor específico del líquido (25°C)	(KJ/Kg K)	1,65
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg K)	0,87
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mK)	0.063
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mK)	0.0141
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(%vol.)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP		0
PCA (GWP)		3985

* De acuerdo con IPPCC-AR4/CIE (Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático)-2007

Las propiedades termodinámicas del R-507 son muy similares a las del R-502, esto queda evidenciado en el siguiente ejemplo:

Las condiciones operativas simulan un ciclo real a baja temperatura, típico de la refrigeración comercial.

1. Temperatura a la entrada del Evaporador: -40°C
2. Temperatura a la entrada del Condensador: 45°C
3. Succión vapor sobrecalentado: 40°C
4. Líquido sobrenfriado: 5°C

Coefficiente de Compresión Isoentrópica: 1

		R-507	R-502
Presión de evaporación	(bar)	1.41	1.3
Presión de condensación	(bar)	20.93	18.72
Trabajo de compresión		14.8	14.4
Temperatura de descarga del compresor	(°C)	93	103
COP		1.8	1.9
Capacidad neta de refrigeración	(KJ/Kg)	83.5	83.4
Capacidad volumétrica de refriger.	(KJ/m³)	527	543
Temperatura deslizamiento (evap.)	(°C)	0	0
Temperatura deslizamiento (cond.)	(°C)	0	0



Comparativa presiones R-502 - R-507

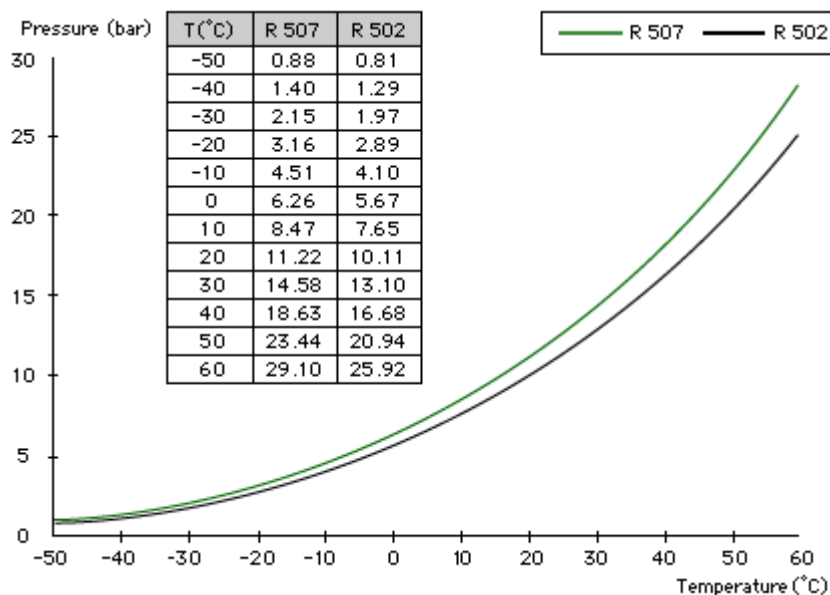


Tabla de presión/temperatura

TEMP. (°C)	PRESIÓN ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPÍA (kJ/Kg)		ENTROPÍA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-50	0.88	0.87	1329.37	4.85	135.80	333.99	0.8020	1.6902
-45	1.11	1.11	1314.14	6.07	141.73	337.14	0.8282	1.6847
-40	1.40	1.40	1298.61	7.52	147.74	340.26	0.8542	1.6799
-35	1.74	1.74	1282.74	9.23	153.82	343.35	0.8799	1.6757
-30	2.14	2.14	1266.51	11.24	159.98	346.39	0.9053	1.6720
-25	2.61	2.61	1249.87	13.57	166.22	349.39	0.9306	1.6687
-20	3.16	3.16	1232.79	16.27	172.54	352.34	0.9556	1.6659
-15	3.79	3.78	1215.20	19.39	178.95	355.21	0.9805	1.6633
-10	4.51	4.50	1197.08	22.96	185.45	358.01	1.0052	1.6610
-5	5.33	5.32	1178.35	27.06	192.05	360.73	1.0298	1.6588
0	6.25	6.25	1158.96	31.73	198.75	363.34	1.0542	1.6568
5	7.30	7.29	1138.83	37.05	205.55	365.85	1.0786	1.6549
10	8.46	8.46	1117.89	43.09	212.47	368.23	1.1029	1.6530
15	9.77	9.76	1096.03	49.97	219.50	370.48	1.1276	1.6511
20	11.21	11.20	1073.16	57.77	226.67	372.58	1.1513	1.6490
25	12.81	12.80	1049.15	66.64	233.99	374.50	1.1755	1.6468
30	14.57	14.56	1023.82	76.74	241.47	376.30	1.1998	1.6444
35	16.51	16.49	997.00	88.26	249.13	377.75	1.2243	1.6417
40	18.62	18.61	968.45	101.44	256.00	379.00	1.2489	1.6385
45	20.93	20.91	937.84	116.61	265.10	379.96	1.2738	1.6349
50	23.44	23.42	904.76	134.19	273.501	380.58	1.2992	1.6306

9 Ficha de Seguridad del R-507



Revisión Diciembre 2016

Fecha 15.12.2016

1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/DEL PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

1.1. Identificación del producto

Identificación de la sustancia

Nombre comercial: **R-507**

Tipo de producto y uso: Gas refrigerante,

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso recomendado:

Gas refrigerante

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Distribuidor:

GAS-SERVEI, SA.

C/ Motores, 151-155 nave nº 9

08038 Barcelona

ESPAÑA

Tel: +34 (93) 2231377

Fax: +34 (93) 2231479

www.gas-servei.com

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad:

gas-servei@gas-servei.com

1.4. Teléfono de emergencia

+ 34 619373605

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS


2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Criterios de las Directivas 67/548/CE, 99/45/CE siguientes actualizaciones:

Propiedades / Símbolos:

Ninguna.

Criterios Reglamentación CE 1272/2008 (Clasificación, Etiquetado y Empacado):

 Atención, Liquef. Gas, Contiene gas a presión

Efectos físico-químicos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente:

Ningún otro riesgo

2.2. Elementos de la etiqueta

Símbolos:



Atención

Indicaciones de Peligro:

H280 Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.

Consejos de Prudencia:

P410+P403 Proteger de la luz solar. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Disposiciones especiales:

Ninguna.

El preparado no se considera peligroso, de acuerdo con el Directiva 1999/45/CE y sucesivas modificaciones.

2.3. Otros peligros

Sustancias vPvB: Ninguna. - Sustancias PBT: Ninguna.




Otros riesgos:

El contacto directo con el líquido puede provocar congelaciones.

Contiene gases fluorados de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kioto.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Mezcla

Componentes	Conc. (% w/w)	Nº CAS	Nº CE	Nº Índice CEE	REACH nº	Símbolo(s) del peligro y declaración del peligro	
						Reglamento CE Nº1272/2008	67/548/CE o 1999/45/CE
1,1,1-Trifluoroetano (HFC R143a)	50,0	420-46-2	206-996-5	N/A	01-2119492869-13-0000	 2.2/1 Flam. Gas 1 H220  2.5 Press. Gas H280	F+; R12;
1,1,1,2,2-Pentafluoroetano (HFC R125)	50,0	354-33-6	206-557-8	N/A	01-2119485636-25-0000	 2.5 Press. Gas H280	N.A.

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de las medidas de primeros auxilios

Para exposiciones al líquido, la recomendación de primeros auxilios dada para contacto con la piel, contacto con los ojos e ingestión, es igualmente aplicable. Ver también sección 11.

En caso de contacto con la piel:

Descongelar las zonas afectadas con agua. Quitar la ropa contaminada.

Atención: la ropa puede adherirse a la piel en el caso de quemaduras por congelación. En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con agua caliente. Si se produce irritación o bien se forman ampollas, acudir al médico.



En caso de contacto con los ojos:

Irrigar inmediatamente con solución lavaojos o con agua clara, manteniendo los párpados separados, durante 10 minutos como mínimo. Acudir al médico inmediatamente.

En caso de ingestión:

Ruta de exposición improbable. No provocar el vómito. En el supuesto que el paciente esté consciente, lavar la boca con agua y dar de beber 200-300ml de agua. Acudir al médico inmediatamente.

En caso de inhalación:

Apartar al paciente del lugar de exposición; sacarlo al aire libre, mantenerlo abrigado y en reposo. Administrar oxígeno si es necesario. Aplicar la respiración artificial si fuera necesario. En la eventualidad de paro cardíaco, aplicar masaje cardíaco externo. Acudir al médico inmediatamente.

4.2. Síntomas y efectos más importantes, agudos o retardados

El contacto directo con el líquido puede provocar congelaciones. Concentraciones atmosféricas muy altas pueden producir efectos anestésicos y asfixia.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Tratamiento sintomático y terapia de apoyo, según resulte indicado. Después de una exposición debe evitarse la administración de adrenalina u otras drogas simpatomiméticas similares, ya que puede producirse una arritmia cardíaca con un posible paro cardíaco posterior.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

General

El HFC R-507 no es inflamable en el aire en condiciones normales de temperatura y presión. Ciertas mezclas de HFC R-507 y aire bajo presión pueden resultar inflamables.

Deben evitarse las mezclas de HFC R-507 y aire bajo presión.

Ciertas mezclas HFC y cloro pueden ser inflamables o reactivas en determinadas condiciones. La descomposición térmica desprende vapores muy tóxicos y corrosivos (Fluoruro de hidrógeno) Los envases pueden reventar si se sobrecalientan.

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados:

Agua, Dióxido de carbono (CO₂),

Medios de extinción que no se deben utilizar por motivos de seguridad:

Ninguno en particular.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No inhalar los gases producidos por la explosión y por la combustión.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Utilizar equipos respiratorios apropiados.

Recoger por separado el agua contaminada utilizada para extinguir el incendio. No descargarla en la red de alcantarillado.

Si es posible, desde el punto de vista de la seguridad, retirar de inmediato del área los contenedores no dañados.

10 Ficha Técnica del R-449a

Refrigerante **OPTEON®XP40 (R-449A)**

El desarrollo del nuevo refrigerante Opteon®XP40 esta basado en blend de HFCs / HFOs (hidro-fluoro-olefinas) y propone una gran alternativa para cumplir con todos los requisitos necesarios del Reglamento CE 517/2014 (F-Gas) para reducir el impacto medioambiental de los sistemas de refrigeración, permitiendo a la vez una reconversión sin cambios, fácil y rápida de los sistemas de R-404A/R-507 existentes.

Opteon®XP40 es un refrigerante diseñado para nuevas instalaciones y para la sustitución del R-404A y R-507 en instalaciones de media y baja temperatura. La capacidad frigorífica del Opteon®XP40 es similar al R-404A y R-507.

El GWP del Opteon®XP40 (1397 según ultima publicación del Reglamento CE F- Gas y 1307 según Ley 16/2013 Impuesto de Gases Fluorados) es aproximadamente un 65% menor que el R-404A/R-507 y más bajo que cualquier otra alternativa existente para refrigeración comercial. En consecuencia, el impacto del Impuesto de gases refrigerantes para el Opteon®XP40 es el menor del conjuntos de gases parecidos al R-404A/R-507.

Naturaleza química del refrigerante

Composición química	% en peso	Nº CE
1,1,1,2 Tetrafluoroetano (R134a)	25.7	212-377-0
Pentafluoroetano (R-125)	24.7	206-557-8
Difluorometano (R32)	24.3	200-839-4
2,3,3,3, tetrafluoropropeno (R-1234yf)	25.3	468-710-7

Información adicional

Beneficios	
Reemplaza al R-404A al R-507	Diseñado originariamente para sistemas de expansión directa de media y baja temperatura profesional e industrial. Capacidad frigorífica similar al R-404A y R-507. Reducida huella de carbono: GWP entorno a 65% inferior del R-404A/R-507.
Reacondicionamiento	Opteon®XP40 requiere lubricante Poliol-Ester (POE).
Seguro	Clasificación de seguridad A1/A1 ASHRAE,
Facilidad de Servicio:	Cargar en fase líquida por ser no azeotrópico

Propiedades Físicas

PROPIEDADES FISICAS	Opteon®XP40	Unidades
Peso Molecular	87.2	g/mol
Punto ebullición a 1,013 bar	-46	°C
Temperatura crítica	82	°C
Densidad líquido a 25 °C	1.139	Kg/m ³
ODP	0,0	-----
GWP (Reglamento CE F-Gas)	1397	-----

11 Ficha de Seguridad R-449a

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006



Opteon™ XP40 (R-449A) Refrigerant

Versión 4.4 Fecha de revisión: 02.06.2017 Número SDS: 1349445-00035 Fecha de la última expedición: 26.05.2017
Fecha de la primera expedición: 27.02.2017

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial : Opteon™ XP40 (R-449A) Refrigerant

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso de la sustancia/mezcla : Refrigerante

Restricciones recomendadas del uso : Únicamente para usos e instalaciones profesionales e industriales.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Chemours Netherlands B.V.
Baanhoekweg 22
3313 LA Dordrecht Países Bajos

Teléfono : +31-(0)-78-630-1011

Telefax : +31-78-6163737

Dirección de correo electrónico de la persona responsable de las SDS : sds-support@chemours.com

1.4 Teléfono de emergencia

+(34)-931768545 o 900-868538 (CHEMTREC - Recomendado) ; Servicio de Información Toxicológica (Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses) Tel: + 34 91 562 04 20

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Gases a presión, Gas licuado

H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Atención

Indicaciones de peligro : H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006



Opteon™ XP40 (R-449A) Refrigerant

Versión 4.4 Fecha de revisión: 02.06.2017 Número SDS: 1349445-00035 Fecha de la última expedición: 26.05.2017
Fecha de la primera expedición: 27.02.2017

de calentamiento.

Consejos de prudencia : **Almacenamiento:**
P410 + P403 Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Etiquetado adicional

Contiene gases fluorados de efecto invernadero. (HFC-134a, HFC-125, HFC-32)

2.3 Otros peligros

Esta mezcla no contiene ninguna sustancia considerada como persistente, bioacumulativa ni tóxica (PBT).

Esta mezcla no contiene ninguna sustancia considerada como muy persistente ni muy bioacumulativa (vPvB).

Los vapores son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado.

El uso incorrecto o abuso de inhalación intencional puede causar la muerte sin síntomas de aviso, debido a los efectos cardíacos.

La evaporación rápida del producto puede provocar congelación.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.2 Mezclas

Naturaleza química : Hidrocarburos fluorados

Componentes peligrosos

Nombre químico	No. CAS No. CE No. Índice Número de registro	Clasificación	Concentración (% w/w)
1,1,1,2-Tetrafluoroetano	811-97-2 212-377-0 01-2119459374-33	Press. Gas Liquefied gas; H280	25,7
2,3,3,3-Tetrafluoropropeno	754-12-1 468-710-7 01-0000019665-61-0001	Flam. Gas 1; H220 Press. Gas Liquefied gas; H280	25,2494
Pentafluoroetano*	354-33-6 206-557-8 01-2119485636-25	Press. Gas Liquefied gas; H280	24,6753
Difluorometano	75-10-5 200-839-4 01-2119471312-47	Flam. Gas 1; H220 Press. Gas Liquefied gas; H280	24,057

* Sustancia no peligrosa publicada voluntariamente

Para la explicación de las abreviaturas véase la sección 16.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006



Opteon™ XP40 (R-449A) Refrigerant

Versión	Fecha de revisión:	Número SDS:	Fecha de la última expedición: 26.05.2017
4.4	02.06.2017	1349445-00035	Fecha de la primera expedición: 27.02.2017

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

- Recomendaciones generales : En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico.
Cuando los síntomas persistan o en caso de duda, pedir el consejo de un médico.
- Protección de los socorristas : Las personas capacitadas en primeros auxilios no tienen que tomar precauciones especiales.
- Si es inhalado : Si se ha inhalado, transportarlo al aire fresco.
Consultar un médico si los síntomas aparecen.
- En caso de contacto con la piel : Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada.
Consultar inmediatamente un médico.
- En caso de contacto con los ojos : Consultar inmediatamente un médico.
- Por ingestión : La ingestión no se considera una vía de exposición potencial.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

- Síntomas : Puede causar arritmia cardíaca.
- Otros síntomas potencialmente relacionados con el mal uso o el abuso por inhalación son los siguientes
- Sensibilización cardíaca
 - Efectos anestésicos
 - Mareos ligeros
 - Vértigo
 - confusión
 - Falta de coordinación
 - Somnolencia
 - Inconsciencia
- El contacto con la piel puede provocar los síntomas siguientes:
- Irritación
 - Hinchamiento del tejido
 - Escozor
 - Molestia
 - Rojez
- El contacto con los ojos puede provocar los síntomas siguientes
- lagrimeo
 - Rojez
 - Molestia

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006



Opteon™ XP40 (R-449A) Refrigerant

Versión	Fecha de revisión:	Número SDS:	Fecha de la última expedición: 26.05.2017
4.4	02.06.2017	1349445-00035	Fecha de la primera expedición: 27.02.2017

Riesgos : El contacto con líquido o gas refrigerado puede causar quemaduras frías y congelación.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Tratamiento : Trate los síntomas y brinde apoyo.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados : Agua pulverizada
Espuma resistente al alcohol
Dióxido de carbono (CO₂)
Producto químico en polvo

Medios de extinción no apropiados : Ninguna conocida.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligros específicos en la lucha contra incendios : La exposición a los productos de combustión puede ser un peligro para la salud.
Debido a la elevada presión de vapor, existe el peligro de que los recipientes se revienten en caso de aumento de temperatura.

Productos de combustión peligrosos : Fluoruro de hidrógeno
fluoruro de carbonilo
Óxidos de carbono
Compuestos de flúor

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios : Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego. Utilícese equipo de protección individual.

Métodos específicos de extinción : Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.
Luchar contra el incendio a distancia, dado el riesgo de explosión.
El agua pulverizada puede ser utilizada para enfriar los contenedores cerrados.
Retire los recipientes que no estén en peligro fuera del área de incendio si se puede hacer con seguridad.
Evacuar la zona.

Bibliografía

- [1] AEAT, *Ley 16/2013 de 29 de octubre, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras*. URL <https://www.agenciatributaria.es>.
- [2] AEAT, *Real Decreto 1042/2013, 30-12-2013 Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero y modificación de diversas normas tributarias*. URL <https://www.agenciatributaria.es>.
- [3] ARBANAT, I., *Prohibiciones gases refrigerantes*. URL <https://www.caloryfrio.com>.
- [4] ASHRAE, *Ashrae Handbook 2016: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Systems and Equipment: Inch-pound Edition*. ASHRAE Handbook Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems and Equipment Inch-Pound, ASHRAE, 2016, ISBN 9781939200266. URL <https://books.google.es/books?id=YsGytgEACAAJ>.
- [5] BITZER, *Compresores Bitzer*. URL <https://www.bitzer.de>.
- [6] CHEMOURS, *Programa Chemours Refrigerant Expert*. URL <https://www.chemours.com>.
- [7] CORONEL, J. P., *¿Merece la pena la Tarjeta CAF para Gases Fluorados?* URL <https://www.formacionjpcoronel.es>.
- [8] DANFOSS, *Programa Cool Selector 2*. URL <https://www.danfoss.com>.
- [9] DE J.BARRERAS, H., *Plano de disposicion general*. 102.01/00, I.S.Tecnor S.L., 2005.
- [10] DE J.BARRERAS, H., *Plano de Trazado de Habilitacion*. 413.10.01, I.S.Tecnor S.L., 2005.
- [11] DE REDACCIÓN, E., *Impuestos y normativa*. URL <https://www.caloryfrio.com>.
- [12] DUPONT, *XP40 R-449a*. URL <https://www.dupont.com>.
- [13] EUROFRED, *Detector de fugas*. URL <https://www.recambios.europred.es>.
- [14] GENERALES, I. D., *BOE núm. 312, de 30 de diciembre de 2013, páginas 106498 a 106510*. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, 2013.
- [15] GROUP, T. L., *ODP*. URL <https://www.refrigerationclub.com>.
- [16] H.J.BARRERAS, *Información de construcción Volcán de Tamadaba*. URL <https://www.hjbarreras.es>.
- [17] INDUSTRIAL, F., *Qué es el PCA, qué mide y por qué se ha hecho tan importante*. URL <https://www.camarasfrigorificas.es>.
- [18] IPCC, *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. URL <https://www.archive.ipcc.ch>.
- [19] KIMIKAL, *Gases Fluorados de Efecto Invernadero (GFEI)*. URL <https://www.kimikal.es>.
- [20] MAKHNATCH, P., *Stabilitet och kompatibilitet av HFO-köldmedier*. URL <https://www.kth.se>.
- [21] MICRO CARE, *Mezcla Azeotrópica*. URL <https://electronics.microcare.com>.

- [22] N.º 517/2014, R. C., “Reglamento F-Gas”. 2014.
- [23] SERVEI, G., *Descripción de los refrigerantes alternativos*. URL <https://www.gas-servei.com>.
- [24] SIEMENS, *Autómata SIEMENS S7-200*. URL <https://www.siemens.com>.
- [25] TRAFFIC, M., *Zona de navegación de Buque Volcán de Tamadaba*. URL <https://www.marinetraffic.com>.
- [26] TUCAL, *Instalación de la Planta de Refrigeración*. Hijos de J.Barreras, 2005.
- [27] TUCAL, *Manual aire acondicionado*. C-1653, 05p05107.1, 2005.