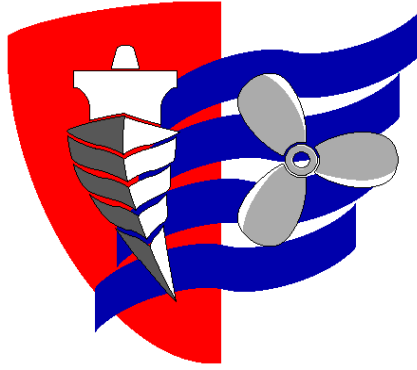


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

Estudio de alternativas a los gases refrigerantes actuales para las cámaras frigoríficas de un buque, utilizando el software de simulación FRIO

Study of alternatives to current refrigerant gases for a ship's cold rooms, using FRIO simulation software.

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

Autor: Marc Gibert Sanchez

Director: Carlos Javier Renedo Esteban

Septiembre - 2022

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Máster

Estudio de alternativas a los gases refrigerantes actuales para las cámaras frigoríficas de un buque, utilizando el software de simulación FRIO

Study of alternatives to current refrigerant gases for a ship's cold rooms, using FRIO simulation software.

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

Septiembre - 2022

Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros, La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

Resumen

Con la aprobación del Reglamento Europeo nº 517/2014 del 16 de abril de 2014, conocido comúnmente como Reglamento F-Gas, cuyo objetivo principal es proteger al medio ambiente limitando el uso de refrigerantes con altos índices de contaminación atmosférica (GWP), causantes en gran medida del calentamiento global, el presente proyecto pretende encontrar alternativas a los gases refrigerantes utilizados en la actualidad en las cámaras frigoríficas de los buques, realizando un estudio experimental mediante el Software FRIO.

Para ello, previamente se realiza una investigación histórica sobre el uso de los refrigerantes, además de una investigación descriptiva del ciclo frigorífico utilizado, sus características, definiciones y nomenclaturas más relevantes.

La mayoría de refrigerantes que actualmente se utilizan en aplicaciones de refrigeración en cámaras frigoríficas de buques presentan un GWP muy alto, siendo los refrigerantes R-407C y R-134a entre los más empleados. Este hecho hace obligatoria la búsqueda de alternativas a estos fluidos, que cumplan con los requisitos técnicos, medioambientales y económicos que actualmente demanda la industria.

En este proyecto final de Máster se lleva a cabo un análisis experimental comparando los refrigerantes R407C y R134a frente a nuevas propuestas de gases con índices de contaminación atmosférica menor, en cumplimiento con la normativa y las necesidades de refrigeración de un buque, pudiendo así determinar alternativas reales al problema propuesto. Los refrigerantes escogidos para este estudio son los siguientes, el R-152a, R-1234yf y R-454C.

Finalmente, se presenta un análisis de la viabilidad económica y medioambiental de los cambios propuestos en la instalación.

Palabras Clave: refrigerante, COP, GWP, cámara

Abstract

With the approval of the European Regulation No. 517/2014 of April 16, 2014, commonly known as F-Gas Regulation, whose main objective is to protect the environment, it remains limiting the use of refrigerants with high rates of atmospheric pollution (GWP), largely causing Global warming. This project aims to find alternatives to the refrigerant gases currently used in the cold rooms of ships, conducting an experimental study using the FRIO software.

To do this, previously there has been historical research on the use of refrigerants, in addition to a descriptive investigation of the refrigerant cycle used, its characteristics, definitions and most relevant nomenclatures.

Most of the refrigerants currently used in refrigeration applications in cold rooms of ships have a very high GWP, being the refrigerants R-407C and R-134a among the most used. This fact makes mandatory the search for alternatives to these fluids, which meet the technical, environmental and economic requirements currently demanded by the industry.

In this Master's final project, an experimental analysis is carried out comparing the refrigerants R407C and R134a against new proposals of gases with lower atmospheric pollution rates, in compliance with the regulations and the refrigeration needs of a ship, thus being able to determine real alternatives to the proposed problem. The refrigerants chosen for this study are the following refrigerants, R-152a, R-1234yf and R-454C.

In the end, an analysis of the economic and environmental feasibility of the proposed changes in the installation is presented.

Key words: refrigerant, COP, GWP, chambers.

ÍNDICE

Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD	2
Resumen	3
Abstract	4
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Objeto	13
1.1.1 Alcance	13
1.2 Normativa aplicable	14
1.3 Antecedentes	15
1.3.1 Problemática Medioambiental	16
1.3.2 Problema medioambiental actual	17
1.3.3 Protocolo de Kyoto y el Reglamento Europeo Nº 517/2014	19
1.4 Historia de la Refrigeración Naval	21
1.5 Naturaleza del Proyecto y Justificación	22
1.6 Contexto Técnico	23
1.6.1 Diagrama de Molier	25
1.6.2 Características de los fluidos refrigerantes	28
1.6.3 Características refrigerantes ideal:	28
1.6.4 Nomenclatura de la Refrigerantes	30
1.6.5 Clasificación de los Refrigerantes	33
1.7 Coeficiente de Rendimiento COP	37
2. MEMORIA DESCRIPTIVA	39
2.1 Planteamiento del Problema	40
2.2 Simulaciones:	41
2.3 Características de los Refrigerantes elegidos para la simulación	44
2.4 Dióxido de Carbono R-744 como refrigerante	48
2.5 Ciclos frigoríficos considerados	49
2.6 Potencias de las cámaras frigoríficas	50
2.7 Software FRIO	51
3. APLICACIÓN PRÁCTICA	55
3.1 Cálculo de los rendimientos COP, Consumos Energéticos y Caudal volumétrico para los tres ciclos.	56
3.1.1 Resultados Cámara Refrigerados:	57
3.1.2 Resultados Cámara Congelados Simple (-20°C)	60
3.1.3 Ciclo Mixto Cámara Refrigerados (+3°C) y Cong. (-20°C)	63

3.2	Cálculo y comparación de los COP	67
3.3	Cálculo de las tuberías, el precio de la instalación y el coste del refrigerante	69
3.4	Resultados obtenidos:	73
3.5	Coste de Inversión y Comparación de Resultados	77
3.6	Costes Inversión tuberías	77
3.7	Costes Inversión Componentes Planta	78
3.8	Consumos Eléctricos Cámaras	80
3.9	Comparación Costes	84
3.10	Variación de los parámetros en función de la T ^a de cond.	85
4.	CONCLUSIONES	87
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
5.1	BIBLIOGRAFIA	93
5.2	NORMATIVA APLICABLE	94
6.	ANEXOS	95
	ANEXO I: LISTADO REFRIGERANTES SOFTWARE FRIO	96
	ANEXO II: CALCULOS CONSUMOS	98
	ANEXO III: FICHA TÉCNICA R-152a	110
	ANEXO IV: FICHA TÉCNICA R-1234YF	119
	ANEXO V: FICHA TÉCNICA R-454C	122

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE KT CO ₂ EQ EN EUROPA.	18
FIGURA 2 PERSPECTIVA DE COMERCIALIZACIÓN DE GASES REFRIGERANTES DE EFECTO INVERNADERO, EXPRESADA EN PORCENTAJE DE CO ₂ EQUIVALENTE AL AÑO 2015.	20
FIGURA 3 RESTRICCIONES EN EL USO DE REFRIGERANTES EN NUEVO EQUIPO SEGÚN GWP.	22
FIGURA 4 MÁQUINA FRIGORÍFICA.	23
FIGURA 5 MÁQUINA FRIGORÍFICA DE COMPRESIÓN.	24
FIGURA 6 DIAGRAMA DE MOLLIER.	27
FIGURA 7 NOMENCLATURA REFRIGERANTES.	30
FIGURA 8 CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DE LOS REFRIGERANTES ASHRAE.	36
FIGURA 9 DIAGRAMA DE MOLLIER DE UN CICLO FRIGORÍFICO.	38
FIGURA 10 SIMULACIÓN CICLO SIMPLE EN CÁMARA FRIGORÍFICA.	42
FIGURA 11 SIMULACIÓN CICLO SIMPLE EN CÁMARA CONGELADOS.	43
FIGURA 12 SIMULACIÓN CICLO COMPUESTO CON AMBAS CÁMARAS CONGELADOS Y FRIGORÍFICA.	44
FIGURA 13 LISTA REFRIGERANTES SOFTWARE FRIO.	51
FIGURA 14 MÓDULO REFRIGERANTES PROGRAMA FRIO.	52
FIGURA 15 MÓDULO DIAGRAMA PROGRAMA FRIO.	53
FIGURA 16: RESULTADOS DE FACTORES COP. CICLO SIMPLE CÁMARA REFRIGERADOS.	58
FIGURA 17: RESULTADOS CONSUMO ENERGÉTICO ELÉCTRICO. CICLO SIMPLE CÁMARA REFRIGERADOS.	58
FIGURA 18: RESULTADOS CAUDAL VOLUMÉTRICO. CICLO SIMPLE CÁMARA REFRIGERADOS.	59
FIGURA 19: CICLO DE COMPRESIÓN SIMPLE TRABAJANDO CON R-152 ^a	59

FIGURA 20: RESULTADOS DEL COP. CICLO SIMPLE CÁMARA CONGELADOS (-20°C).	61
FIGURA 21: RESULTADOS CONSUMO ELÉCTRICO. CICLO SIMPLE CÁMARA CONGELADOS (-20°C).	61
FIGURA 22: RESULTADOS CAUDAL VOLUMÉTRICO. CICLO SIMPLE CÁMARA REFRIGERADOS.	62
FIGURA 23: CICLO DE COMPRESIÓN SIMPLE TRABAJANDO CON R-1234YF.	62
FIGURA 24: RESULTADOS DEL COP. CICLO COMPUESTO CÁMARA REFRIGERADOS (+3°C) Y CONGELADOS (-20°C)	64
FIGURA 25: RESULTADOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO. CICLO COMPUESTO CÁMARA REFRIGERADOS (+3°C) Y CONGELADOS (-20°C).	64
FIGURA 26: RESULTADOS DEL CAUDAL VOLUMÉTRICO. CICLO COMPUESTO CÁMARA REFRIGERADOS (+3°C) Y CONGELADOS (-20°C).	65
FIGURA 27: CICLO DE COMPRESIÓN SIMPLE TRABAJANDO CON R-1234YF.	65
FIGURA 28 DIAGRAMA DE MOLLIER EN CICLO COMBINADO CON R-1234YF.	66
FIGURA 29 DISPOSICIÓN PLANTA.	71
FIGURA 30 MODULO TUBERÍAS PROGRAMA FRIO.	72
FIGURA 31 CÁLCULO PRECIO TUBERÍAS CON CYPE INGENIEROS.	73
FIGURA 32 GRÁFICA COSTES INFLACIÓN 5 AÑOS.	81
FIGURA 33 GRÁFICA COSTES INFLACIÓN 10 AÑOS.	81
FIGURA 34 GRÁFICA COSTES INFLACIÓN 15 AÑOS.	82
FIGURA 35 GRÁFICA COSTES INFLACIÓN 20 AÑOS.	83
FIGURA 36: GRÁFICA COMPARATIVA T ^a CONDENSACIÓN-COP EN FUNCIÓN DEL REFRIGERANTE EMPLEADO.	86
FIGURA 37: GRÁFICA COMPARATIVA POTENCIA ELÉCTRICA DEL COMPRESOR CON CADA REFRIGERANTE EMPLEADO.	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES SELECCIONADOS.....	47
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LAS CÁMARAS.	50
TABLA 3: RESULTADOS CÁMARA REFRIGERADO (+3°C).	57
TABLA 4: RESULTADOS CÁMARA CONGELADOS SIMPLE (-20°C).	60
TABLA 5: RESULTADOS CICLO COMPUESTO CÁMARA REFRIGERADOS (+3°C) Y CONGELADOS (-20°C).	63
TABLA 6: ACCESORIOS.	70
TABLA 7: PRECIO GASES REFRIGERANTES SIN TASA.....	70
TABLA 8: DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-152 ^a , CÁMARA MIXTA.....	74
TABLA 9: DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-1234YF, CÁMARA MIXTA.	74
TABLA 10: DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-454C, CÁMARA MIXTA. .	74
TABLA 11 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-152A, CÁMARA REFRIGERADOS.	75
TABLA 12 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-1234YF, CÁMARA REFRIGERADOS.	75
TABLA 13 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-454C, CÁMARA REFRIGERADOS.	75
TABLA 14 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-152A, CÁMARA CONGELADOS.....	76
TABLA 15 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-1234YF, CÁMARA CONGELADOS.....	76
TABLA 16 DESGLOSE PRESUPUESTO REFRIGERANTE R-454C, CÁMARA CONGELADOS.	76
TABLA 17 RESUMEN COSTES INVERSIÓN.	78
TABLA 18 COSTE INVERSIÓN PLANTA REFRIGERADOS R-152A..	79
TABLA 19 COSTE INVERSIÓN PLANTA CONGELADOS R-1234YF.	79

TABLA 20 COSTE INVERSIÓN PLANTA MIXTA R-1234YF.....	79
TABLA 21 COSTES INFLACIÓN 5 AÑOS.	80
TABLA 22 COSTES INFLACIÓN 10 AÑOS.	81
TABLA 23 COSTES INFLACIÓN 15 AÑOS.	82
TABLA 24 COSTES INFLACIÓN 20 AÑOS.	83
TABLA 25: RELACIÓN T° CONDENSACIÓN, COP Y POTENCIA ELÉCTRICA DE LOS REFRIGERANTES OBJETO DE ESTUDIO.	85

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
CFC	Clorofluorocarbonos
COP	Coefficient Of Performance
F-Gases	Gases Flourados
GWP	Glogal Warming Potencial
h	Entalpía
HCFC	Hidroclorofluorocarburos
kWh	Kilovatio por hora, unidad de energía
LNG	Liquid Natual Gas
ODP	Potencial de destrucción de la capa de Ozono
PCA	Potencial de calentamiento atmosférico
Q	Calor
RSIF	Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas
T	Temperatura
UE	Unión Europea
UNE	Asociación Española de Normalización
W	Trabajo

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y análisis de un sistema de refrigeración para las cámaras frigoríficas de congelados y conservados en un buque de modo que, cumpla con las normativas medioambientales actuales y futuras, así como de demanda frigorífica necesaria para la correcta operación. Para ello, se han simulado las potencias y características de ambas cámaras de un buque metanero LNG. La herramienta utilizada para llevar a cabo el estudio y la demostración experimental se realiza mediante el software FRIO (<http://www.calculaconatecyr.com/bpfrio.php>).

Para ello, previamente se establecerá la necesidad frigorífica de dos cámaras de alimentos, analizando la situación de las cámaras y de los distintos equipos que las conforman. El estudio experimental y posterior análisis se realiza combinando diferentes aspectos como son: el refrigerante empleado, los ciclos frigoríficos empleados, dos instalaciones independientes para cada cámara, y una instalación conjunta para las dos cámaras, y posteriormente el coste que cada uno conlleva para cada sistema concreto.

Entra dentro del proyecto el analizar, estudiar y conocer la influencia de la temperatura del agua en el condensador, y como esta afecta al rendimiento de la planta.

1.1.1 Alcance

Quedan dentro del alcance del presente proyecto la búsqueda de una alternativa en el fluido refrigerante utilizado calculado, utilizando las herramientas que ofrece el software FRIO, como son la elección del refrigerante dentro de la biblioteca que tiene el propio software, el cálculo de las tuberías, y la comparación de resultados.

El precio de las tuberías ha sido calculado mediante el generador de precios CYPE Ingenieros, S.A., *Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*.
<http://www.generadordeprecios.info/#qsc.tab=0>.

Queda fuera del alcance de este proyecto la definición y cálculos de las cargas térmicas de las dos cámaras utilizadas para el cálculo, dichos datos han sido recogidos de estudios previamente realizados y calculados por el astillero. Tampoco son de estudio en este proyecto las instalaciones auxiliares que afecten a la instalación de refrigeración, como son: el sistema de agua de condensación, cables y cuadros eléctricos necesarios en la planta, ni el diseño o elección del compresor.

1.2 Normativa aplicable

La normativa seguida para el desarrollo de este trabajo es la siguiente:

- **Reglamento Europeo Nº 517/2014**, para la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global, la Comisión Europea ha adoptado una hoja de ruta para reducir las emisiones globales para 2050.
- **Real Decreto 552/2019**, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- **Real Decreto 795/2010**, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación profesional.
- **Reglamento Europeo CE 1005/2009** sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- **Real Decreto 709/2015**, donde se indica los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.

1.3 Antecedentes

La refrigeración está presente en todos los sectores de la economía y la sociedad desde tiempos remotos, desde el sector residencial donde los sistemas de refrigeración doméstica son comunes en la mayoría de los hogares para la climatización interior o la conservación de alimentos. En el sector comercial, la refrigeración asegura la conservación y congelación de los alimentos. En el transporte y distribución de alimentos, tanto terrestre, como marítimo o aéreo, la refrigeración garantiza la congelación y conservación durante la travesía.

El uso al largo del tiempo de distintos refrigerantes se ha dado básicamente por dos cuestiones. Una de ellas ha sido la aparición de normativas medioambientales cada vez más restrictivas con el uso de un tipo u otro de refrigerante, ya que muchos de estos causan un gran deterioro de la Capa de Ozono y favorecimiento del calentamiento global. La otra cuestión que ha favorecido a la evolución de los refrigerantes ha sido el estudio de diferentes compuestos que mejoren las características de sus predecesores. Es por ello de vital importancia la investigación en este ámbito, la cual se encuentra siempre en continuo movimiento y avance.

La evolución de los distintos fluidos y gases refrigerantes utilizados a lo largo de la historia daría para su estudio exclusivo para un proyecto entero. Sin embargo, existen algunos hechos históricos interesantes de conocer para entender bien el concepto que estamos abordando.

En la fuente Wikipedia, se hace un resumen de la historia de los refrigerantes, cogiendo pinceladas se puede concluir lo siguiente. El primer refrigerante utilizado por la humanidad fue el agua, que posteriormente se descubrió que mezclándola con sal, bajaba la temperatura por debajo de los 0°C, lo cual significó un gran avance allí hacia el año 1600. (Refrigerante, 2021)

Hacia finales del siglo XVIII, la inventiva del hombre se había dirigido hacia la producción de frío en el momento y tiempo que se deseara. Se desarrollaron máquinas para disminuir la presión del vapor del agua y acelerar así su evaporación. También recibió considerable atención el arte de producir frío por la liberación de aire comprimido. Durante la primera parte del siglo XIX, se desarrollaron máquinas para la compresión de vapor y se probaron muchos fluidos como refrigerantes, entre los que sobresalieron el amoníaco, el bióxido de carbono, el bióxido de azufre, el cloruro de metilo y en cierta medida algunos hidrocarburos. A finales del siglo, la refrigeración mecánica estaba firmemente establecida.

Fue desde este punto donde el desarrollo y paso de diferentes refrigerantes no ha cesado a lo largo de la historia, como es otro hecho histórico en el año 1931 con el lanzamiento del Freón 12. A partir de aquí y más a posteriori debido en gran parte a las nuevas directrices medioambientales, como es la última UE n°517/2014, han pasado diferentes tipos, con diferentes características y usos entre ellos.

1.3.1 Problemática Medioambiental

La segunda generación de refrigerantes, también conocida como “Los seguros y estables”, comienza en 1930. Thomas Midgley Jr. provoca la primera revolución de la industria de la refrigeración artificial al descubrir y sintetizar los refrigerantes de la familia CFC, estos formados por moléculas con átomos de C, N, O, S, H, F, Cl y Br. (Climas Monterrey, s.f.)

Más tarde, se les añadiría una molécula de hidrógeno para dar lugar a los refrigerantes HCFC's. Esta es la segunda generación de refrigerantes, conocidos como los seguros y estables, ya que correspondían a sustancias estables químicamente, no tóxicas y no inflamables.

En 1930 se sintetiza el freón R12, en 1932 el R11 y en 1936 el R22. Estos fluidos reemplazaron completamente a los de la 1ª generación y constituyeron los únicos refrigerantes en la industria hasta hace relativamente pocos años.

Sin embargo, en 1974 Rowland y Molina descubrieron que los refrigerantes utilizados hasta aquella época provocaban la destrucción de la capa de ozono en la atmósfera, debido a la liberación del cloro en contacto con la radiación solar, átomo muy reactivo con el ozono.

La destrucción de la capa de ozono conlleva varios problemas de salud derivados del contacto con la radiación ultravioleta, siendo el cáncer de piel uno de los más graves.

En 1987, con el objetivo de reducir las emisiones en CFC's y HCFC's, fue firmado el Protocolo de Montreal, ratificada a nivel universal por parte de todos los países, con el cual se acordaba una reducción progresiva de los HCFC y CFC, finalizando con la prohibición total en Europa de los CFC's en el 2000 y de los HCFC's en 2015, causando una profunda renovación en el sector.

1.3.2 Problema medioambiental actual

Con la prohibición de los refrigerantes CFC's y los HCFC's, se llega a la 3ª generación y la actual, la conocida como generación "Los Refrigerantes protectores de la capa de ozono", dando lugar a la utilización predominante de HFC's.

Sin embargo, los refrigerantes actualmente en uso presentan otra problemática no menor a la de los anteriores, contribuyen al efecto invernadero, y su consecuente calentamiento climático global. Se trata de gases con elevado PCA, entre 150 y 22.800, cuyo uso se ha incrementado notablemente en los últimos años.

Estos refrigerantes se usan en las siguientes aplicaciones: Refrigeración y climatización, extinción de incendios, aerosoles, y espumas de aislamiento térmico y aislamiento eléctrico.

Otra fuente de emisión de gases fluorados se encuentra en la misma fabricación de éstos, ya que se producen emisiones de HFC's en su mismo proceso de fabricación.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, en inglés, *European Enviromental Agency*, cuyo objetivo es apoyar el desarrollo sostenible y contribuir a conseguir una mejora significativa y cuantificable del medio ambiente europeo, presento en 2019 la siguiente gráfica. En ella se puede observar los millones de equivalente de dióxido de carbono mandados a la atmósfera a lo largo de los años por Europa.

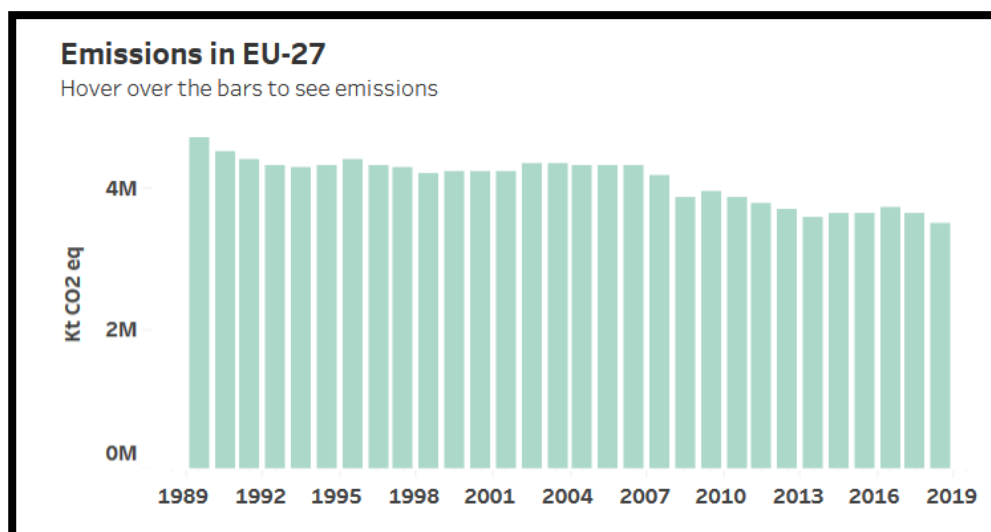


Figura 1 Evolución de las emisiones de kt CO2 eq en Europa. Fuente: European Enviroment Agency.

Por lo tanto, se hace necesario desde todos los puntos de vista buscar alternativas a los refrigerantes que actualmente se están utilizando en la industria, que sean viables técnica, económica y medioambientalmente, reduciendo estas cifras.

1.3.3 Protocolo de Kyoto y el Reglamento Europeo Nº 517/2014

El origen de la actual renovación de refrigerantes empezó con el Protocolo de Kyoto de 1997, entrando en vigor a partir del 2005 con la firma y ratificación de 175 países. En 2015, se sumaron 12 países nuevos, llegando a 187, con la marcada ausencia de Canadá y Estados Unidos. El principal objetivo de este Protocolo es el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero alrededor de un 5% en el periodo comprendido entre 2008 y 2012, tomando como referencia las emisiones de 1990. Para cumplir ese objetivo, cada país firmante ha de establecer sus propios objetivos.

En el caso de la Unión Europea, la reducción buscada fue de un 8% para el año 2020. Para conseguir sus objetivos, la Unión Europea aprobó en enero del año 2006 el Reglamento Nº 842/2006 sobre el uso de F-Gases. Sin embargo, este primer reglamento se queda corto para cumplir con las pretensiones fijados por el Protocolo de Kyoto, por lo que en año 2014 se aprueba el Reglamento Europeo Nº 517/2014, comúnmente conocida como la regulación F-Gas, cuya entrada en vigor fue en enero del año 2015.

El 16 de abril 2014 se aprueba el Reglamento Europeo nº517/2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero, con entrada en vigor el 9 de Junio de ese mismo año, y con fecha de aplicación el 1 de Enero de 2015. Este reglamento tiene como objetivo final conseguir una reducción de los gases fluorados de efecto invernadero, entre los cuales se engloban diferentes refrigerantes de alto índice GWP. Para ello, todos los países de la Unión Europea deben reducir las emisiones de CO₂ en un 21% para el año 2030.

Para lograr tales objetivos, el Reglamento Nº517/2014 se centra en dos importantes restricciones. La primera es prohibir el uso de refrigerantes de alto GWP, cuyos valores límite y comienzo de la prohibición varían en función de la aplicación; y la segunda se enfoca en limitar la cantidad de HFC's presentes en el mercado. (EUROPEA, 2014) También hace especial hincapié en la

necesidad de efectuar inspecciones periódicas para prevenir las posibles fugas, la recuperación de los gases fluorados para su posterior reciclaje o destrucción, administrar una formación adecuada a los instaladores, informes periódicos por parte de operadores, importadores y exportadores de gases y etiquetado de instalaciones de refrigeración.

En la siguiente figura se puede observar los objetivos del Reglamento en la comercialización de gases HFC's, tomando como referencia los comercializados en el año 2015. En ella se puede apreciar la clara reducción que quiere tomar la UE en materia de comercialización de estos gases en las siguientes décadas.

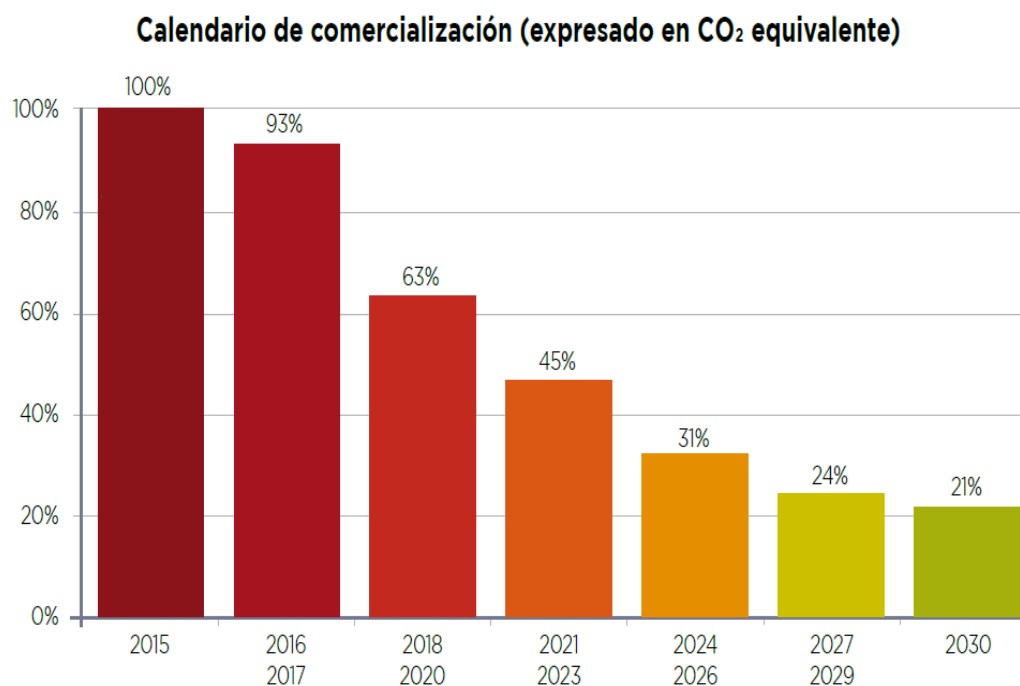


Figura 2 Perspectiva de comercialización de Gases Refrigerantes de Efecto Invernadero, expresada en porcentaje de CO₂ Equivalente al año 2015. Fuente: Lennox Emea, Reglamento F-Gas.

1.4 Historia de la Refrigeración Naval

Fue en el año 1876 cuando el ingeniero francés Charles Tellier inventó el “Frigorífico”. Acondicionó un buque de vapor para transportar por primera vez, mercancía refrigerada por medios mecánicos a través del mar. El buque recibió el nombre *Le Frigorifique* que transportaba carne congelada desde Buenos Aires en Argentina hasta Ruan en Francia. (Alders C. A., 1987) (Climas Monterrey, s.f.)

Otros buques de la época también pioneros en el transporte de carne congelada por medios mecánicos, que viajaron hacia Londres fueron el *Strathleven* en 1879 desde Australia, el *Dunedin* en 1882 desde Nueva Zelanda y el *Selembría* en 1886 desde las Islas Malvinas.

Desde entonces y debido en gran parte a la evolución del transporte marítimo mundial, en los buques mercantes, cuyas travesías pueden durar semanas y/o meses, mantener los alimentos en las condiciones óptimas, tanto desde el punto de vista sanitario como por la misma alimentación de sus tripulantes, hace que haya sido siempre un sistema crítico e indispensable en un buque, muy importante a tener en cuenta desde el diseño hasta la duración de la vida útil.

En la actualidad, cualquier buque dispone de un mínimo de una cámara de refrigeración, para mantener alimentos y productos de uso diario, como pueden ser verduras, huevos, leche, así como demás productos, en unas cámaras a temperatura de alrededor de 5°C. Además, también cuentan con cámaras de congelados, para poder almacenar carnes y pescados por un tiempo largo, estas trabajando entre valores de -20 a 25 °C.

Es por ello, que la rama de ingeniería naval ha tenido que enfrentarse a lo largo de su historia al diseño de estas plantas, con el hándicap del medio que han tenido y tiene que operar. Los buques debido al medio salino que están expuestos, los materiales para su construcción deben de ser elegidos con

cautela, así como el diseño de sus equipos y compresores, capaces de resistir a los balances sin sufrir daños, o por el simple hecho de estar en continuo movimiento terrestre operando en zonas de muy distintas temperaturas ambientales.

Por ello que el diseño, construcción y elección de una planta con un tipo de refrigerante u otro, debe de ser cautelosamente realizado para cumplir con sus expectativas de funcionamiento y operación a lo largo de la vida útil del buque, además de cumplir con la normativa medioambiental actual.

1.5 Naturaleza del Proyecto y Justificación

Los motivos por el que se presenta este proyecto de estudio, es debido a las nuevas Regulaciones sobre los gases refrigerantes y la necesidad de conocer el comportamiento de los gases del futuro, en concreto para las cámaras de un buque.

Este proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de refrigeración con dos cámaras, una frigorífica y otra de congelados. Abarcará el estudio de los refrigerantes usados actualmente comparados con los futuros.

Fluidos	R507A	R404A	R452A	R407A	R410A	R407F	R407C	R134a	R449A	R448A	R32	R513A	R450A	R454C	R455A	R152a	1234ze	1234yf	R290 (Propano)	R744 (CO ₂)	R717 (NH ₃)
GWP	3985	3922	2141	2107	2088	1825	1774	1430	1397	1273	675	631	600	148	145	124	6	4	3	1	0
Autorización para su uso	antes de 2020		antes/después de 2020					antes/después de 2022 (fecha de revisión del reglamento F-Gas)						antes/después de 2022 (fecha de revisión del reglamento F-Gas)							
Deslizamiento de temperatura (K) a 40°C (condiciones Eurovent)	0	0.3	3	4.5	0.1	4.5	5.1	0	4.5	4.8	0	0	0.6	6	11.4	0	0	0	0	0	0
Utilizado habitualmente en refrigeración positiva		X	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Utilizado habitualmente en refrigeración negativa		X	X	X		X			X	X				X	X		X	X	X	X	X

Figura 3 Restricciones en el uso de refrigerantes en nuevo equipo según GWP. Fuente: Lennox Emea, Reglamento F-Gas.

En la tabla de Figura 3, se puede observar dentro del Reglamento Europeo nº517/2014, las restricciones para cada refrigerante cronológicamente en función de la fecha de prohibición.

En un futuro inmediato, y a partir del 2022 no se autorizará la puesta en marcha de ninguna instalación utilizando gases con un GWP superior a 1500. Además, tal y como indica la tabla, inminentemente los gases con un GWP superior a 150 tampoco podrán ser utilizados en una nueva instalación. Esto hace que el análisis y estudio de alternativas a estos gases en una instalación de un buque, sea de vital importancia en la ingeniería naval actual.

1.6 Contexto Técnico

El trabajo de una planta de refrigeración es enfriar artículos o productos y mantenerlos a una temperatura más baja que la temperatura ambiente. La refrigeración se puede definir como un proceso que saca y transporta el calor.

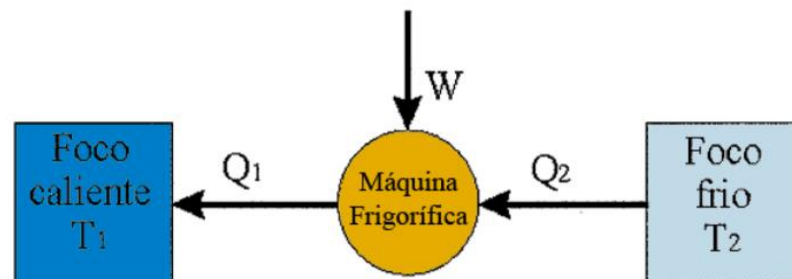


Figura 4 Máquina Frigorífica. Fuente: <http://cienciasfera.com>

El proceso de enfriamiento o refrigeración tiene como fin extraer calor de una sustancia que se llama foco frío que se encuentra a baja temperatura siendo generalmente aire o agua, cediéndola posteriormente a otra sustancia que se llama foco caliente con temperatura más alta que el foco frío, generalmente también aire o agua.

Para realizar este proceso hace falta un fluido o gas refrigerante, este es el encargado de transportar dicho calor.

Se puede definir el refrigerante como, el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

Los procesos básicos en un ciclo frigorífico son los descritos a continuación (Saydaqui, 2008):

- **Expansión**, el proceso de expansión ocurre entre el condensador y el evaporador. El refrigerante líquido sale del condensador a alta presión y alta temperatura, y se dirige al evaporador a través de la válvula de expansión. Al cruzar esta válvula, la presión del líquido se reduce a la presión de evaporación, para que la temperatura de saturación del refrigerante que entra en el evaporador sea inferior a la temperatura del espacio refrigerado.

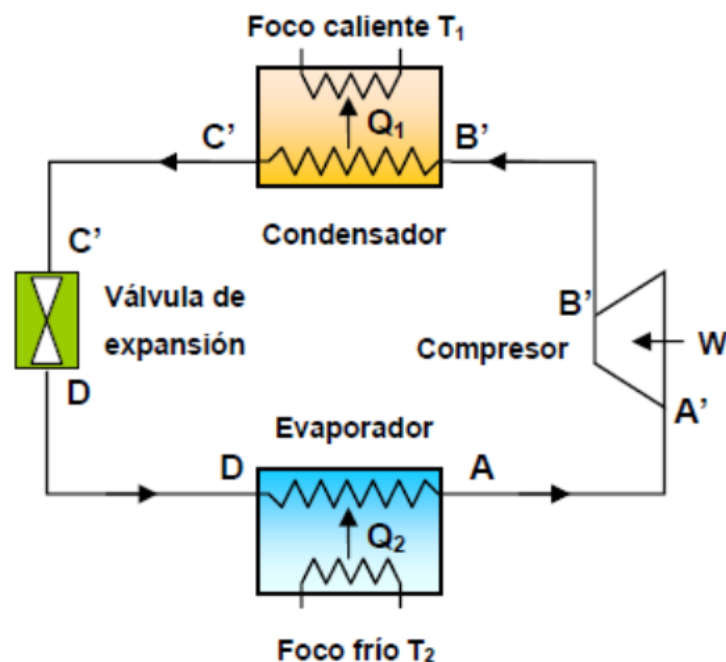


Figura 5 Máquina frigorífica de Compresión. Fuente: <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/11/06/maquina-frigorifica-de-compresion/>

- **Evaporación**, sucede en el evaporador, el líquido se evapora a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el medio de enfriamiento que atraviesa el evaporador. Todo el refrigerante se evapora completamente aquí, pudiendo recalentarse al final del mismo.
- **Compresión**, por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación se extrae por la línea de aspiración desde el evaporador hasta la entrada del compresor, en cuyo interior aumentan considerablemente la presión y la temperatura del vapor. El vapor a alta temperatura y a alta presión se envía al condensador por la línea de descarga.
- **Condensación**, el vapor fluye por la línea de descarga hacia el condensador donde libera el calor hacia el medio de enfriamiento (aire o agua). En la liberación de calor, el refrigerante se condensa y seguidamente, disminuye su temperatura. El líquido enfriado llega a la válvula de expansión y, una vez allí, está listo para comenzar un nuevo ciclo.

1.6.1 Diagrama de Molier

Para conocer y entender los parámetros de comportamiento de un refrigerante en un sistema frigorífico, se pueden utilizar las tablas características de cada refrigerante, o el Diagrama de Mollier de Presión-Entalpía (Friogas, 2009), (Alders C. A., 1987).

El diagrama de Mollier, se basa en una tabla en la que se puede ver la condición del refrigerante en su estado termodinámico y en cualquier ciclo, fue creado en 1904, cuando Richard Mollier trazó el calor total contra la entropía.

En el diagrama se puede representar todo el proceso del refrigerante en su recorrido por un circuito frigorífico. Las líneas que lo componen son las siguientes:

- **Líneas de vapor líquido saturado.** Estas líneas encierran la zona de mezcla donde coexisten el líquido y el vapor. Se representan de color azul en la siguiente figura.

Dentro de la zona de mezcla suceden los procesos de evaporación y condensación. Al desplazarnos hacia la derecha del gráfico aumenta la cantidad de vapor, hacia la izquierda disminuye. Esto representa que a medida que el líquido se va evaporando, el desplazamiento es hacia la derecha, y cuando el vapor condensa hacia la izquierda.

- **Las líneas de presión.** Son horizontales, con ellas determinamos las presiones de evaporación o de condensación. Se representan de color negro y líneas discontinua en la siguiente figura.
- **Líneas de entalpía.** Son verticales, indican la cantidad de calor que tiene el refrigerante en cada momento. Se representan de color verde en la siguiente figura.
- **Líneas de temperatura.** Son prácticamente verticales en la parte superior izquierda del diagrama dentro de la zona de líquido. A partir de la línea de líquido saturado adoptan forma horizontal, manteniéndose así durante toda la mezcla hasta la línea de vapor saturado, dónde a partir de aquí tiene una curva descendente.

Se representan de color rojo en la siguiente figura.

- **Líneas de compresión.** Son las líneas isoentrópicas, curvas ascendentes en la zona de vapor.
- **Líneas de volumen específico.** Indican el valor de este parámetro en cada momento del proceso.

- **Líneas de calidad del vapor.** Situadas dentro de la zona de mezcla, sirven para conocer la proporción vapor-líquido del refrigerante al circular por el evaporador o el condensador. Se representan de color negro, y verticales en la siguiente figura.
- **Punto crítico.** Momento a partir del cual si aumenta la temperatura o la presión, no es posible lograr la condensación del refrigerante. Es aquel límite para el cual el volumen de un líquido es igual al de una masa igual de vapor o, dicho de otro modo, en el cual las densidades del líquido y del vapor son iguales.

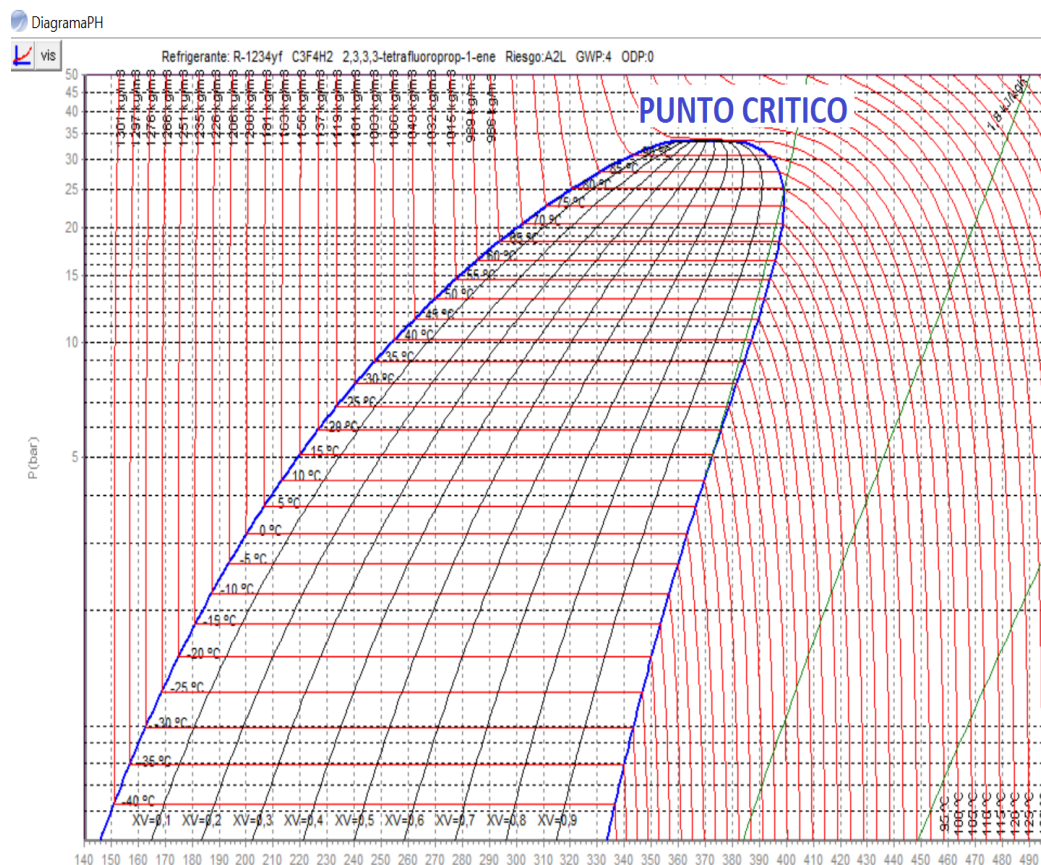


Figura 6 Diagrama de Mollier. Fuente: Software FRIO. (Navarro, 2003)

1.6.2 Características de los fluidos refrigerantes

La función primordial que debe de cumplir una sustancia para que sea considerada un refrigerante primario o fluido frigorífero es que, cuando intercambie calor a la temperatura de saturación para una presión dada, cambie de estado de vapor a líquido, o de líquido a vapor según ceda o gane calor. De esta forma el intercambio de calor se realiza de forma latente. Este hecho permite el uso de una cantidad mucho menor de refrigerante que en el caso de un intercambio sensible, permite una reducción del tamaño de la instalación y de la robustez del compresor.

1.6.3 Características refrigerantes ideal:

El refrigerante ideal, sería aquél capaz de descargar en el condensador (foco caliente) todo el calor que absorba del evaporador (foco frío), de la línea de succión y del compresor.

Para comprender los refrigerantes, es básica la relación entre presión y temperatura, y sus propiedades termodinámicas.

- **Temperatura de ebullición.** Siempre referida a presión atmosférica, se puede decir que es el punto de ebullición de cualquier líquido, es la temperatura a la cual su presión de vapor es igual a la atmosférica. El punto de ebullición de un refrigerante debe ser bajo, para que aun operando a presiones positivas, se pueda tener una temperatura baja en el evaporador.

Existe una relación directa entre la temperatura de ebullición y la presión, es decir, el punto de ebullición se modifica al cambiar la presión. El diseño del evaporador y todo el sistema, deberá tener en cuenta este punto.

- **Volumen específico del vapor.** Es el espacio que ocupa la unidad de masa del vapor refrigerante. Debe tener un valor bajo, ya que mejora el rendimiento de la máquina frigorífica. Se mide en m^3 / kg .
- **Calor latente de evaporación.** Es la cantidad de calor que absorbe la unidad de masa de líquido refrigerante al cambiar de estado.
Su valor debe de ser elevado, teniendo en cuenta que en el evaporador el refrigerante cambia de estado al recibir calor. Un calor latente de vaporización bajo implica una mayor cantidad de refrigerante en el sistema para obtener la misma potencia frigorífica que se lograría con uno alto y menos fluido frigorífico. Sus unidades son W / kgK o $\text{kcal} / \text{kg}^\circ\text{C}$.
- **Temperatura y presión críticas.** Todos los refrigerantes tienen un punto a partir del cual se mantienen en estado gaseoso. El refrigerante no condensará al extraerle calor aunque la presión se eleve indefinidamente.
Los puntos de presión y temperatura críticos deben de ser altos en un refrigerante, para evitar que este alcance ese punto después del recalentamiento que sufre en el proceso de compresión.
- **Interacción con el aceite.** Al realizarse la compresión mediante elementos mecánicos, estos necesitan de lubricación para el correcto funcionamiento y vida útil del mismo. Entonces los refrigerantes que deben de estar en contacto con estos aceites no deben reaccionar químicamente al estar en contacto refrigerante-aceite. Deben de tener la propiedad física de ser miscibles.
- **Temperatura y presión de condensación.** Deben ser bajas para garantizar que la condensación se pueda realizar a temperatura ambiente.

- **Interacción con el agua.** Es deseable que tengan una alta capacidad de absorción de agua, reduciéndose de esta manera, la posibilidad de que aparezca libre en el circuito frigorífico.
- **Inflamabilidad.** Deben ser no inflamables.
- **Toxicidad.** Lo más baja posible.
- **Facilidad para detectar fugas.** Deben permitir una detección rápida y fácil de las fugas que se produzcan en el sistema.

1.6.4 Nomenclatura de la Refrigerantes

Los refrigerantes podrán expresarse, en lugar de hacerlo por su fórmula o su denominación química, mediante la denominación simbólica numérica adoptada internacionalmente y que se detalla seguidamente.

La denominación simbólica numérica de un refrigerante se establece a partir de su fórmula química, consistiendo en una expresión numérica. Según el *Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas RSIF*, se denominan como se expresa a continuación.

NOMENCLATURA REFRIGERANTES HALOGENADOS



Figura 7 Nomenclatura Refrigerantes. Fuente: Formación Profesional, Autor: Aurelio Cadenas

- El primer carácter empezando por la izquierda es una R de Refrigerante.
- La primera cifra de la derecha, en los compuestos que carezcan de bromo, indicará el número de átomos de flúor de su molécula.
- A la izquierda de la anterior se indicará, con otra cifra, el número de átomos de hidrógeno de su molécula más uno.
- A la izquierda de la anterior se indicará, con otra cifra, el número de átomos de carbono de su molécula menos uno. Si resulta un cero no se indicará.
- El resto de los enlaces se completará con átomos de cloro.
- Si la molécula contiene átomos de bromo se procederá de la manera indicada hasta aquí, añadiendo luego a la derecha una B mayúscula, seguida del número de dichos átomos.
- Los derivados cíclicos se expresarán según la regla general, encabezándolos con una C mayúscula a la izquierda del número del refrigerante.
- En los compuestos isómeros¹, el más simétrico (en pesos atómicos) se indica sin letra alguna a continuación de los números. Al aumentar la asimetría, se colocarán las letras a, b, c, etc.
- Los compuestos no saturados seguirán las reglas anteriores, anteponiendo el número 1 como cuarta cifra, contada desde la derecha.

¹ La isomería es una propiedad de aquellos compuestos químicos (en especial las cadenas de carbono), que tienen la misma fórmula molecular (fórmula química no desarrollada) de iguales proporciones relativas de los átomos que conforman su molécula, pero presentan estructuras químicas distintas y, por ende, diferentes propiedades y configuración. Dichos compuestos reciben la denominación de isómeros. (Wikipedia L. e., 2022)

- Los azeótropos² o mezclas determinadas de refrigerantes se expresarán mediante las denominaciones de sus componentes, intercalando, entre paréntesis el porcentaje en peso correspondiente de cada uno y enumerándolos en orden creciente de su temperatura de ebullición a la presión de 1,013 bar (absolutos).

Los azeótropos también pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario

- Las mezclas zeotrópicas determinadas en refrigerantes se expresarán mediante la denominación de sus componentes, intercalando, entre paréntesis el porcentaje en peso correspondiente de cada uno y enumerándolos en orden creciente de su temperatura de ebullición a la presión de 1,013 bar (absolutos).

También puede designarse por un número de la serie 400 completamente arbitrario. Cuando dos o más mezclas zeotrópicas están compuestas por los mismos componentes en diferentes proporciones, se utilizarán las letras A, B, C, etc... para distinguirlas entre ellas.

- Los números de identificación de los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se obtienen añadiendo a 700 los pesos moleculares de los compuestos.
- Cuando dos o más refrigerantes inorgánicos tienen los mismos pesos moleculares se utilizarán las letras A, B, C, etc... para diferenciarlos

² Se conoce como azeótropo o mezcla azeotrópica a una mezcla de compuestos químicos (dos o más componentes) que se encuentra en estado líquido y que se comporta como si fuese un solo compuesto. Este comportamiento de los azeótropos (mezclas azeotrópicas), permite obtener las ventajas de una mezcla como si esta fuera una sustancia pura o un solo componente (facilidad de manipulación y almacenamiento). (IQR Ingeniería Química, 2020)

1.6.5 Clasificación de los Refrigerantes

Los refrigerantes se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios:

- Según la composición química
 - Según el grado de seguridad
 - Clasificación Combinada
 - Según la tensión de vapor
-
- Clasificación según la composición química

La clasificación según la composición química se basa en el uso de las siglas de los nombres de la sustancia que componen la molécula del refrigerante.

CFC: Son refrigerantes compuestos por moléculas muy estables de metano totalmente halogenadas. Los átomos que las componen son el carbono, el flúor y el cloro.

La gran estabilidad que poseen sus moléculas hace que su potencial de destrucción de la capa de ozono sea alto (ODP), por lo que a pesar de seguir presentes en instalaciones de determinada antigüedad, su producción, comercialización y aplicación está prohibida.

Además, la presencia de flúor en su composición hace que contribuyan a producir el efecto invernadero.

Ejemplos de estos refrigerantes son el R 11 y el R 12.

HCFC: Están compuestos por moléculas de metano y etano parcialmente halogenadas, menos estables que las de los CFC's. Los átomos que las componen son el carbono, el flúor, el hidrogeno y el cloro.

Su menor estabilidad hace que tengan un ODP bajo. Sin embargo, debido a la presencia de flúor en su composición, hace que contribuyan a producir el efecto invernadero.

Ejemplos de estos refrigerantes son el R 22 y R 124.

FC: Hidrocarburos fluorados. En estos refrigerantes entran los componentes de su molécula, sólo encontramos flúor y carbono.

Al no poseer cloro en su composición no son agresivos con la capa de ozono, pero tienen tiempo de permanencia en la atmósfera, por lo que la capacidad de efecto invernadero es grande.

Ejemplos de estos refrigerantes son el R 14 y R 116.

HFC: Hidrofluorcarbonados o perfluorcarbonados. No contienen cloro, sólo flúor, hidrógeno y carbono.

No dañan la capa de ozono al no poseer cloro, pero sí que contribuyen al efecto invernadero al poseer flúor. Además no son compatibles con aceites minerales, pero si con aceites sintéticos.

Ejemplo de estos refrigerantes es el R 134a.

BCFC: Son refrigerantes que además de poseer átomos de flúor, cloro y carbono, incorporan bromo en su composición. Presentan un ODP más elevado que los CFC, siendo el bromo más agresivo con la capa de ozono que el cloro.

Además, la presencia de flúor en su composición hace que contribuyan a producir el efecto invernadero.

Ejemplo de estos refrigerantes es el R 131 B.

HFC + HFC: Son mezclas que pueden considerarse como definitivas en la sustitución de los refrigerantes degradantes de la capa de ozono, al no poseer cloro en su composición.

Ejemplos de estos refrigerantes son el R 404 A y el R 407 C.

HC: Los hidrocarburos. Son refrigerantes con índices de ODP y GWP nulos, por lo que se hace que se tengan en cuenta desde el punto de vista ecológico. El inconveniente es el elevado nivel de seguridad que demanda para su aplicación. Más a tener en cuenta en una instalación de un buque, donde los factores de riesgo deben de reducirse al mínimo.

Ejemplos de estos son R 600, y el R 290.

Refrigerantes Inorgánicos: Son refrigerantes naturales de bajo coste, como en el caso anterior, tienen unos índices ODP y GWP nulos o muy bajos.

Ejemplo de estos refrigerantes en el R 717 (amoníaco).

- Clasificación según el grado de seguridad

Refrigerantes del grupo primero o de alta seguridad: Estos refrigerantes son los más utilizados, se caracterizan por no ser combustibles además, de tener una acción tóxica prácticamente nula.

Entre ellos se encuentra el R 134a, el R 407 C y el R 22, entre otros.

Refrigerantes del grupo segundo o de seguridad media: En este grupo encontramos refrigerantes tóxicos y corrosivos, o que al mezclarse con el aire pueden ser combustibles o explosivos en proporciones superiores a un 3,5 % de volumen.

El R-454C, R-1234yf y R-152a, pertenecen a este grupo.

Refrigerantes del grupo tercero o de baja seguridad: Son refrigerantes que al mezclarse con el aire crean una mezcla combustible o explosiva con concentraciones menores del 3,5 % del volumen total de mezcla con el aire.

Entre estos refrigerantes se encuentran el R 290 (propano) y el R 600 (butano).

- **Clasificación Combinada**

Es una clasificación más actual de los refrigerantes, es la clasificación combinada en grupos de seguridad, realizadas por las organizaciones ANSI y ASHRAE, conocida como la norma ANSI/ASHRAE 34-1992.

Esta clasificación combina la toxicidad con la inflamabilidad de los refrigerantes. La nueva clasificación sigue los siguientes criterios:

- Consiste en dos caracteres alfanuméricos. La letra mayúscula indica la toxicidad, y el número la inflamabilidad.
- En la clasificación de toxicidad, se asigna con la letra A o B. Con la letra A refrigerantes con concentraciones menores o iguales a 400 ppm. La clase B incluye refrigerantes concentraciones por encima 400 ppm.
- En la clasificación de inflamabilidad, existen tres clases, 1, 2 o 3. De menos a más inflamables.

Inflamabilidad	Alta inflamabilidad	A3	B3
	Baja inflamabilidad	A2	B2
		A2L	B2L
	No propaga llama	A1	B1
		Baja toxicidad	Alta toxicidad
		Toxicidad	

Figura 8 Clasificación de seguridad de los refrigerantes ASHRAE. Fuente: <http://abcdelosrefrigerantes.blogspot.com>

- Clasificación según la tensión del vapor

Los refrigerantes se clasifican según tengan la tensión de vapor alta o baja.

Existen refrigerantes que se caracterizan por poseer una baja tensión de vapor, esto se traduce en que su temperatura de evaporación a la presión atmosférica es lo suficientemente alto como para permanecer en estado líquido a temperatura ambiente.

Estos refrigerantes son muy disolventes, se utilizan para la limpieza de los circuitos frigoríficos. Ejemplos de estos son el R 11 y el R 113 entre otros.

La mayoría de refrigerantes poseen una alta tensión de vapor, por lo que a la presión atmosférica entran en ebullición a muy bajas temperaturas. Por esta razón su almacenaje y transporte se realiza en botellas resistentes a altas presiones sometidas a vacío. Ejemplos son el R 22, R 134a, R 717 (amoníaco), entre otros.

1.7 Coeficiente de Rendimiento COP

La norma UNE-EN 14511 define el Coeficiente de Rendimiento COP como el ratio entre la potencia calorífica y la potencia absorbida útil del equipo. Dicho de otra forma, es el coeficiente entre el calor extraído del depósito frío, $Q_{frío}$, dentro de un refrigerador o cámara frigorífica, dividido por el trabajo realizado para eliminar el calor, W , es decir, el trabajo realizado por el compresor.

$$COP = \frac{Q_{frío}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Siendo:

h_1 = Entalpía entrada compresor

h_2 = Entalpía salida compresor

h_4 = Entalpía salida condensador

Si se obtiene mediante cálculo o con la ayuda de un programa los puntos de trabajo del ciclo frigorífico, se pueden obtener sus entalpías, con ellas se puede calcular el COP.

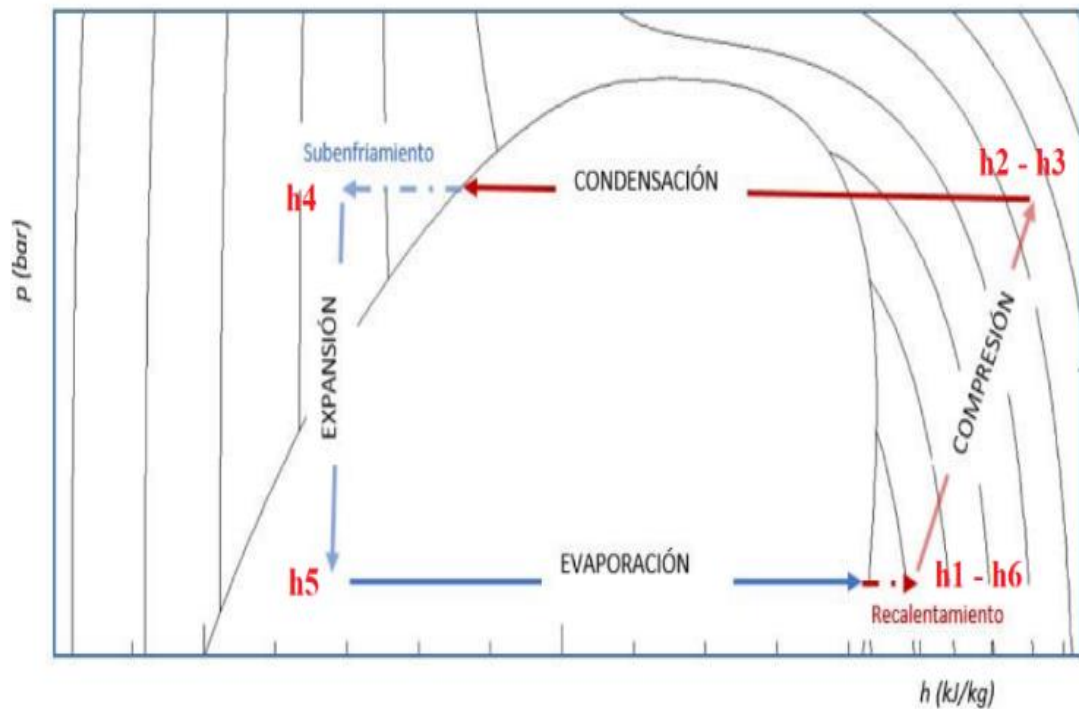


Figura 9 Diagrama de Mollier de un ciclo frigorífico. Fuente: Elaboración Propia

En pocas palabras, es uno de los mejores medidores sobre la eficiencia energética de la máquina frigorífica. No obstante, saber qué es el COP de una bomba de calor o planta frigorífica, cómo se calcula y para qué sirve es interesante para hacerse una idea del gasto eléctrico y la huella energética de un aparato de aire acondicionado a la hora de decidirse por uno u otro modelo. Gracias a este dato se puede indicar la eficiencia energética de los distintos modelos y así apostar por opciones responsables con el medio ambiente, (Rodríguez Rodríguez, 2005).

Es importante saber que cuando mayor sea el indicador COP de una planta o sistema, mejor eficiencia energética presenta y viceversa.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 Planteamiento del Problema

El presente proyecto analizará el uso de distintos fluidos, alguno de los cuales está actualmente en uso, pero será prohibido en un futuro breve, y otros que, teniendo en cuenta la última directriz medioambiental UE nº 517/2014, son alternativas de futuro.

Para comparar los resultados primeramente se simularán los refrigerantes para cada cámara independiente. Gracias a esta simulación se podrá obtener para cada casuística:

- Coeficiente COP
- Potencia eléctrica necesaria en el compresor.
- Caudal volumétrico teórico.

Estos tres factores serán determinantes para poder establecer una comparativa objetiva, y tener datos comparables.

El COP indicará el rendimiento de cada uno, siendo de interés que sea cuanto más alto mejor (ya que mayor será su eficiencia).

La potencia eléctrica va a determinar el consumo final de la planta de refrigeración, con el objetivo de que este sea mínimo.

El caudal volumétrico determinará el compresor necesario en la instalación, así como de todas las tuberías y elementos auxiliares. A un caudal mayor, el compresor será más grande, al igual que las tuberías, por lo que el presupuesto necesario para la instalación aumentará.

Una vez se dispongan de estos datos, y mediante el mismo procedimiento, se llevará a cabo el sistema combinado de ambas cámaras, con estos tres

refrigerantes, obteniendo los tres factores determinantes, explicados anteriormente.

Para el cálculo del consumo eléctrico de cada planta, se tendrá en cuenta una media de 10 horas diarias de funcionamiento del compresor.

Finalmente se analizará el comportamiento de cada refrigerante al variar la temperatura de condensación, la cual está fijada en un buque por la temperatura del agua de mar. Sin embargo, a la hora de tener en cuenta el diseño del buque, se podrá utilizar un refrigerante u otro según la zona de operación del buque.

2.2 Simulaciones:

Simulación Ciclo Simple en Cámara Frigorífica

- Cámara de Refrigeración a 3°C, con una potencia útil de 2,2 kW
- Compresor de Pistones Alternativos.
- Temperatura de Condensación 39,8°C
- Salto térmico en los evaporadores aire de -8°C.
- Caída de presión línea de aspiración 0,10 bar
- Caída de presión línea de descarga 0,08 bar
- Grado subenfriamiento en enfriador 5°C
- Recalentamiento térmico en evaporador 5°C

Simulación 1: Refrigerante R-407C

Simulación 2: Refrigerante R-134a

Simulación 3: Refrigerante R-152a

Simulación 4: Refrigerante R-1234yf

Simulación 5: Refrigerante R-454C

Se muestra en la figura 6 un pantallazo de la simulación realizada con el programa FRIO:

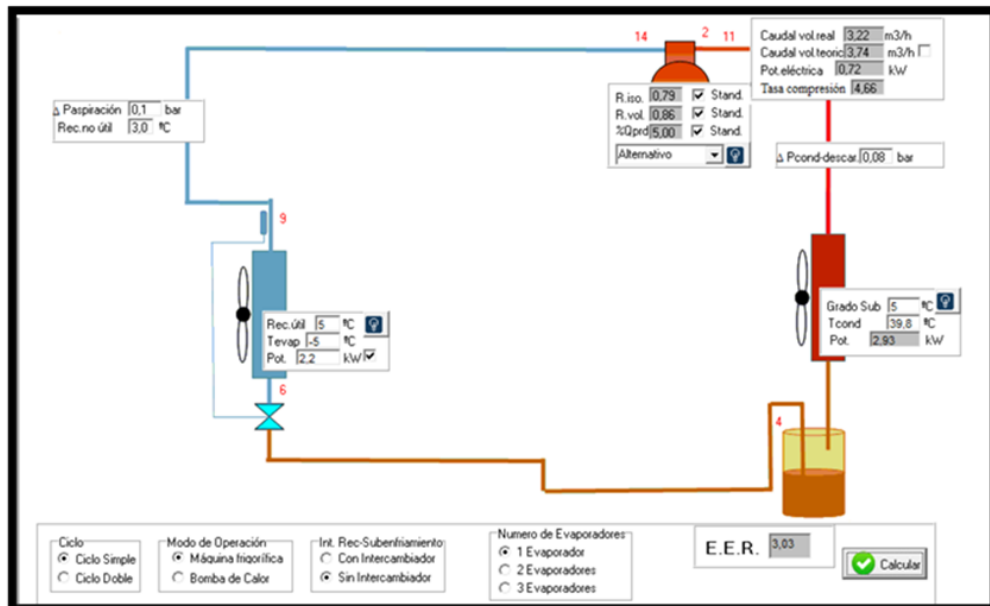


Figura 10 Simulación Ciclo Simple en Cámara Frigorífica. Fuente: Software FRIO.

Simulación Ciclo Simple en Cámara Congelados

- Cámara de Congelados a -20°C, con una potencia útil de 5,4 kW
- Compresor de Pistones Alternativos.
- Temperatura de Condensación 39,8°C
- Salto térmico en los evaporadores aire de -8°C.
- Caída de presión línea de aspiración 0,10 bar
- Caída de presión línea de descarga 0,08 bar
- Grado subenfriamiento en enfriador 5°C
- Recalentamiento térmico en evaporador 5°C

Simulación 6: Refrigerante R-407C

Simulación 7: Refrigerante R-134a

Simulación 8: Refrigerante R-152a

Simulación 9: Refrigerante R-1234yf

Simulación 10: Refrigerante R-454C

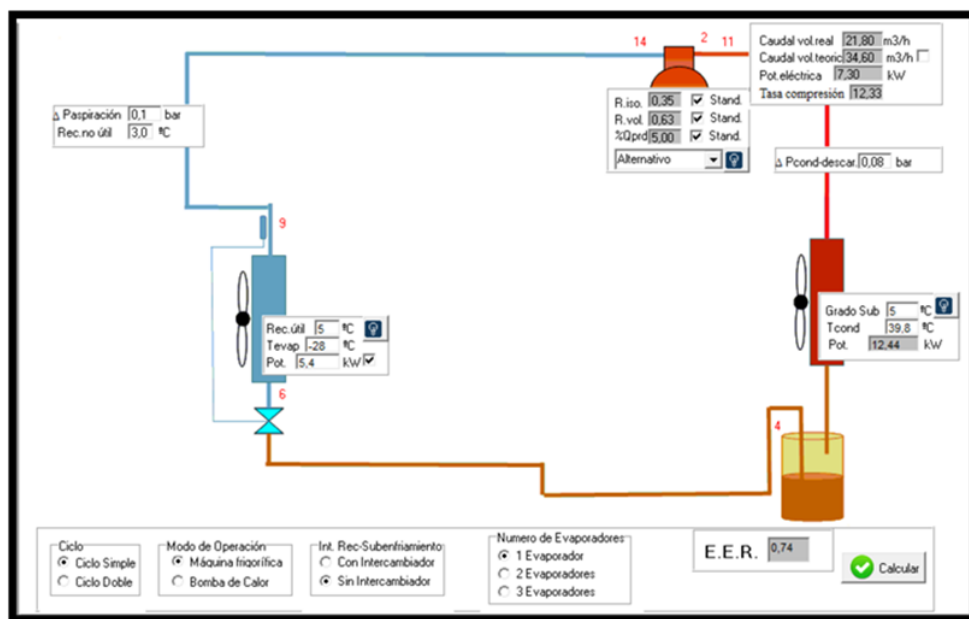


Figura 11 Simulación Ciclo Simple en Cámara Congelados. Fuente: Software FRIO.

Simulación Ciclo Compuesto con ambas cámaras Congelados y Frigorífica con el mismo fluido refrigerante:

- Cámara de Congelados a -20 °C , con una potencia útil de 5,4 kW
- Cámara de Refrigerados a $+3 \text{ °C}$, con una potencia útil de 2,2 kW
- Compresor de Pistones Alternativos.
- Temperatura de Condensación $39,8 \text{ °C}$
- Salto térmico en los evaporadores aire de -8 °C .
- Caída de presión línea de aspiración 0,10 bar
- Caída de presión línea de descarga 0,08 bar
- Grado subenfriamiento en enfriador 5 °C
- Recalentamiento térmico en evaporador 5 °C

Simulación 11: Refrigerante R-407C

Simulación 12: Refrigerante R-134a

Simulación 13: Refrigerante R-152a

Simulación 14: Refrigerante R-1234yf

Simulación 15: Refrigerante R-454C

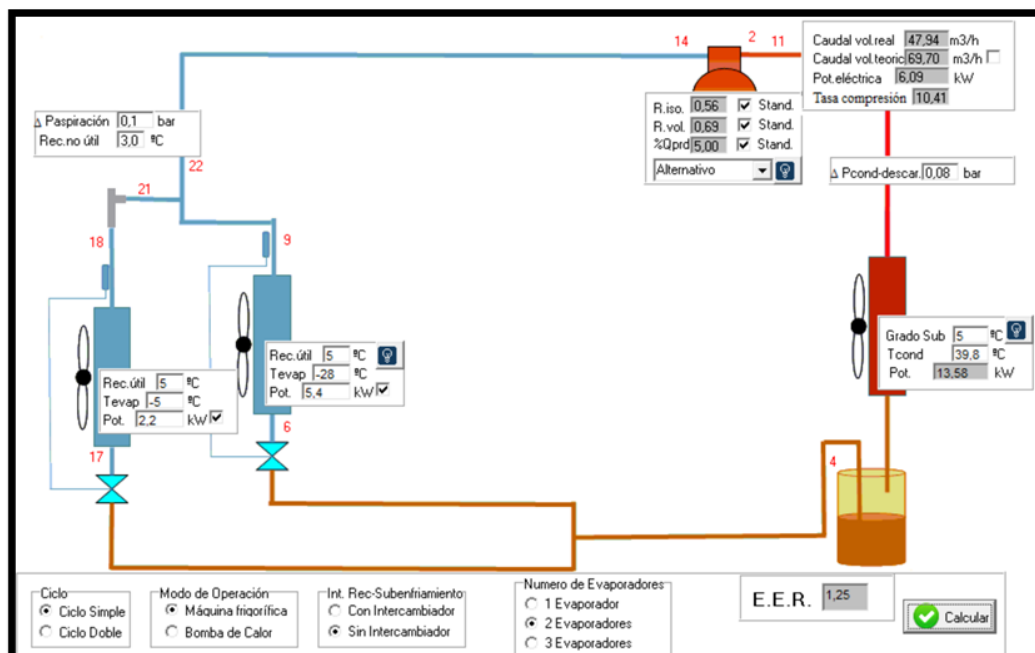


Figura 12 Simulación Ciclo Compuesto con ambas cámaras Congelados y Frigorífica.

Fuente: Software FRIO.

2.3 Características de los Refrigerantes elegidos para la simulación

Los refrigerantes utilizados para llevar a cabo la simulación han sido elegidos teniendo en cuenta varios aspectos.

El primer aspecto relevante que se ha tenido en cuenta ha sido su **impacto ambiental**, comparando refrigerantes de actual uso, con los futuros. Siendo de consideración especial el impacto sobre el calentamiento global, seleccionando refrigerantes con un GWP <150, de acuerdo con la normativa que estará vigente a partir del 2030³ para nuevos equipos.

El segundo factor ha sido según su **peligrosidad**, en un buque donde prima por encima de todo la seguridad, este es un aspecto destacable que también

³ Reglamento Europeo nº 517/2014

hay que tener en cuenta, no se pueden utilizar refrigerantes que presenten un índice de inflamabilidad muy elevado.

Y por último, teniendo en cuenta la **capacidad volumétrica** de refrigeración y su consecuente caudal volumétrico necesario, ya que este factor, determinará el coste de la instalación. A mayor caudal, mayor tamaño de instalación con mayor coste de inversión inicial.

Teniendo en cuenta estos tres factores, se compararán el R-134a, por ser considerado un refrigerante ideal desde el punto de vista termodinámico y dadas sus características de refrigeración, utilizado en numerosos sistemas. Además, presenta unas condiciones de seguridad muy buenas para una instalación de un buque. Sin embargo, presenta un GWP bastante elevado, cuyo uso a futuro se verá prohibido por las nuevas normativas.

También se ha comparado el refrigerante R-407C, siendo este un refrigerante muy utilizado hasta la actualidad en las instalaciones de un buque, dado que presenta primordialmente un nivel de seguridad muy alto. Sin embargo, al igual que sucede con el R-134a, presenta un GWP elevado, con lo que su uso se verá restringido también en un futuro.

Es por ello, que realizando un estudio de los distintos refrigerantes que se encuentran actualmente en el mercado, y teniendo en cuenta las nuevas normativas medioambientales, se han seleccionado los siguientes refrigerantes para este estudio: el R-152a, el R-1234yf y R-454C.

Aunque todos los refrigerantes seleccionados presentan un GWP menor a 150, todos ellos presentan un índice de inflamabilidad mayor al R-123a y R-407C, todos se encuentran en el grupo A2 y A2L. Por lo que su uso y manipulación se deberá de tener en cuenta en la instalación, tanto en la disposición del equipo, la ventilación en el espacio ubicado, ubicación de sensores de gas en caso de pérdidas, en espacios críticos como son dentro

de las cámaras, así como disponer de un sistema contra incendios fijo en distintos puntos de la instalación.

A continuación se muestra una tabla con las principales características de cada uno de ellos.

Tabla 1: Propiedades de los refrigerantes seleccionados. Fuente: Elaboración Propia.

Refrigerante	R-134a	R-407C	R-1234yf	R-744 (CO ₂)	R-152a	R-454C
Tipo	HFC (PURO)	HFC (MEZCLA)	HFC (MEZCLA)	NATURAL INORGÁNICO	HFC (PURO)	HFC (MEZCLA)
Fórmula química	CF ₃ CH ₂ F	23% R32, 25% R125 y 52% R134a	C ₃ F ₄ H ₂	CO ₂	CH ₃ CHF ₂	78.5% R1234yf, 21.5% R32
ODP / GWP	0 / 1430	0 / 1774	0 / 4	0 / 1	0 / 124	0 / 148
Inflamable / Tóxico	No / No	No / No	Si / No	No / No	Si / No	Si / No
Factor riesgo	A1	A1	A2L	A1	A2	A2L
Masa Molecular (kg / kmol)	102	86,2	114,04	44	66,05	90,8
Punto Ebullición (°C)	-26,2	0	0	0	0	0
Presión Crítica (bar)	40,7	-43,8	-29	-78,4	-24,7	-45,56
Temperatura Crítica (°C)	101,1	0	0	0	0	0
Calor Específico (0°C y 1 bar) (kJ / (kg*K))	0,81542	46,4	33,82	73,85	44,96	43,2
Capacidad Volumétrica Refrigeración (kJ / m³)	1.192	0	0	0	0	0
Precio (Euro / kg) ⁴	41	86,1	94,07	31,1	113,15	82,4
Tasa (Euro / kg)	21,45	26,61	No	No	No	No

⁴ Precio medio de gases refrigerantes en España en año 2021. Dicho precio puede variar según cada fabricante, teniendo en cuenta la cantidad (kg) de compra.

2.4 Dióxido de Carbono R-744 como refrigerante

El dióxido de carbono es un refrigerante con unas **ventajas** a nivel medioambiental muy buenas:

- Posee un efecto invernadero prácticamente nulo ($GWP = 1$), y nulo potencial de destrucción de la capa de ozono.
- No se trata de una sustancia tóxica ni inflamable, como ocurre con otro tipo de refrigerantes con las mismas condiciones medioambientales.

En contra, es un gas asfixiante en grandes concentraciones al ser más pesado que el aire, desplazando el oxígeno. Además, es utilizado en los sistemas contraincendios en espacios eléctricos.

Como principal **limitación técnica** para su uso en este proyecto, ha de mencionarse su punto crítico: 31 °C y 73,85 bar, por encima del cual las características térmicas del refrigerante pierden su linealidad. Esta temperatura crítica tan baja, obliga a trabajar en condiciones supercríticas en numerosos casos.

En una instalación de refrigeración de un buque, la temperatura del fluido del foco caliente, el agua del condensador viene determinada en gran parte por la temperatura del agua de mar. Esto obliga a tener un agua de condensador alrededor de 30 °C, siempre dependiendo de la zona de operación del buque. Al encontrarse esta tan cerca del punto crítico, hace que el R-744 se desestime en un ciclo frigorífico clásico en un buque.

Diseñar y poner en funcionamiento un sistema de cámaras frigoríficas con este refrigerante significaría tener que modificar, y poner un sistema auxiliar de refrigeración para el sistema del condensador. Ello obligaría ineludiblemente a incrementar los equipos necesarios para su funcionamiento, con el consecuente coste de la instalación, y la pérdida de rendimiento del equipo.

Es por este motivo que **se desestima utilizar R-744 como refrigerante en buques** aun presentando unas condiciones de seguridad muy buenas.

2.5 Ciclos frigoríficos considerados

El ciclo frigorífico mayormente utilizado en el sistema de refrigeración de las cámaras de un buque, es el *Ciclo de refrigeración por compresión*. La refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión, con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en otro.

Existen dos presiones en el ciclo básico de refrigeración por compresión:

- Presión de evaporación o de baja presión
- Presión de condensación o de alta presión.

El refrigerante actúa como medio de transporte para mover el calor del evaporador al condensador, donde se deriva al agua de enfriamiento, en el caso de sistemas enfriados por agua como es en la planta frigorífica de un buque. Un cambio de estado líquido a vapor, y viceversa, permite al refrigerante absorber y descargar grandes cantidades de calor de forma eficiente.

En estos ciclos, además del compresor, que es el encargado de mover el refrigerante a través de todas las tuberías mediante diferencia de presiones en distintos puntos, un componente muy importante es la válvula de expansión, la cual controla el flujo de refrigerante que entra en el evaporador, y la temperatura de la cámara. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste hierva o se vaporice después de la válvula de expansión, hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación.

2.6 Potencias de las cámaras frigoríficas

El estudio experimental se ha realizado con las siguientes cámaras:

Tabla 2: Características de las cámaras. Fuente: Elaboración Propia.

Cámara	Volumen (m ³)	Potencia Frigorífica (kW)	Temperatura (°C)
Congelados	30,3	5,4	-20
Refrigerado	16,1	2,2	+3

En la cámara de refrigeración se almacenan los perecederos, en especial huevos, frutas, verduras y lácteos. Su funcionamiento se basa en sistemas de refrigeración que permiten establecer temperaturas capaces de preservar la integridad y calidad de los alimentos que almacenan, y mantener las condiciones de conservación seguras e inertes de productos químicos.

En la cámara de congelados se almacenan aquellos productos que no vayan a ser utilizados en un corto espacio de tiempo. En un buque son de vital importancia, ya que se transporta mucha comida de forma congelada como alimento de la tripulación.

Los especialistas señalan que una forma de calcular el espacio requerido para un cuarto frío es por medio de la regla: 1/2 pie³ (14,158 cm³) de espacio de almacenamiento por comida servida. Así por ejemplo, para un servicio de alimentación de un buque de las características de un buque LNG, cuya tripulación oscila entre 22 – 28 personas, calculando la capacidad para 28 personas y sirve 3 comidas al día (desayuno, almuerzo y cena), el tamaño requerido del cuarto frío será de 1,18 m³ por día de autonomía.

Teniendo en cuenta que la capacidad total del cuarto frío de un buque LNG es 46,4 m³, sumando ambas cámaras, si se divide el volumen requerido 1,18 m³/día, sale una capacidad de almacenamiento de 39,3 días, lo que resulta suficiente para un buque de estas características, cuyas travesías no superan el mes de navegación, ya el margen de seguridad resulta del orden del 30%.

2.7 Software FRIO

Para la realización de las simulaciones se ha utilizado el Programa FRIO⁵. Este software estima la carga máxima para instalaciones de refrigeración, como pueden ser las cámaras frigoríficas o túneles de congelación, dimensiona las tuberías de aspiración de descarga y líquido, además de evaluar el COP y el EER de diversos ciclos de refrigeración con una multitud de refrigerantes.

Se compone de 4 módulos interrelacionados, que permiten combinarse para el diseño del proyecto. Estos son:

- **Módulo Refrigerantes**, el programa presenta aquí un listado con 145 refrigerantes y sus propiedades termodinámicas. Proporcionando el factor de Riesgo, el ODP y GWP para cada uno de ellos, así como su composición química. Además de presentar una forma visual mediante colores, los gases que atacan la capa de ozono, los que presentan gran efecto invernadero, y los que tienen alguna restricción en materia de regulación.

Nombre	Si/No Riesgo	GWP	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-11	Si	A1	4750	1	Trichlorofluoromethane (CCl3F)	197.96	44.08	23.71	0.00
R-113	Si	A1	6130	1	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane (CCl2FCClF2)	214.06	33.92	47.58	0.00
R-115	Si	A1	7370	0.44	Chloropentafluoroethane (C2ClF5)	79.95	31.29	-39.22	0.00
R-116	Si	A1	12200	0	Hexafluoroethane (C2F6)	19.88	30.48	-78.09	0.00
R-1150 (Etileno)	Si	A3	3.7	0	Etileno (CH2=CH2)	9.20	50.42	-103.77	0.00
R-12	Si	A1	10890	1	Dichlorodifluoroethane (CCl2F2)	111.37	41.36	-29.75	0.00
R-123	Si	B1	77	0.02	2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (CHCl2CF2)	183.68	36.62	27.82	0.00
R-1233zd(E)	Si	A2L	1	0	trans-1-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene (C3H2ClF3)	166.45	36.24	18.26	0.00
R-1234yf	Si	A2L	4	0	2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (C3F4H2)	94.70	33.82	-29.43	0.00
R-1234ze(E)	Si	A2L	6	0	trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (C3F4H2)	109.37	36.36	-18.97	0.00
R-124	Si	A1	609	0.022	1-chloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane (C2HClF4)	122.27	36.24	-11.96	0.00
R-125	Si	A1	3500	0	pentafluoroethane (C2HF5)	66.02	36.18	-48.09	0.00
R-1270 (Propileno)	Si	A3	1.8	0	Propylene (CH3CH=CH2)	91.06	45.55	-47.62	0.00
R-13	Si	A1	14420	1	Chlorotrifluoroethane (CClF3)	28.85	38.79	-61.48	0.00
R-134a	Si	A1	1430	0	1,1,1,2-tetrafluoroethane (CH2FCF3)	101.06	40.59	-26.07	0.00
R-14	Si	A1	7390	0	Tetrafluoroethane (CF4)	-45.64	37.50	-128.05	0.00
R-141b	Si	A2	725	0.12	1,1-dichloro-1-fluoroethane (C2H3Cl2F)	204.35	42.12	32.05	0.00
R-142b	Si	A2	2310	0.07	1-chloro-1,1-difluoroethane (C2H3ClF2)	137.11	40.55	-9.12	0.00
R-143a	Si	A2L	4470	0	1,1,1-trifluoroethane (C2H3F3)	72.71	37.61	-47.24	0.00
R-152a	Si	A2	124	0	1,1-difluoroethane (CH3CHF2)	113.26	45.17	-24.02	0.00
R-161	Si	+	12	0	Fluoroethane (C2H5F)	102.15	50.91	-37.58	0.00
R-170 (Etano)	Si	A3	5.5	0	Ethane (C2H6)	32.17	48.72	-88.58	0.00
RE-170 (Dimethylether)	Si	A3	5.5	0	dimethylether (CH3OCH3)	127.23	53.37	-24.78	0.00
R-21	Si	B1	151	0.04	Dichlorofluoroethane (CHCl2F)	178.33	51.81	8.86	0.00
R-218	Si	A1	8830	0	Octafluoropropane (C3F8)	71.87	26.40	-36.79	0.00

Figura 13 Lista refrigerantes Software FRIO. Fuente: Software FRIO.

⁵ Es de uso libre, se puede descargar en el siguiente enlace:
<http://www.calculaconatecyr.com/tutoriales-bpfrio.php>

Desde este módulo se pueden seleccionar los gases que se desee realizar la simulación en el módulo de *Ciclo*.

Existen además tres subcarpetas de *Normativa* de uso de los gases. Otra subcarpeta de *Aplicaciones* de muchos de los refrigerantes, y una última sobre *Lubricantes* utilizados en cada uno.

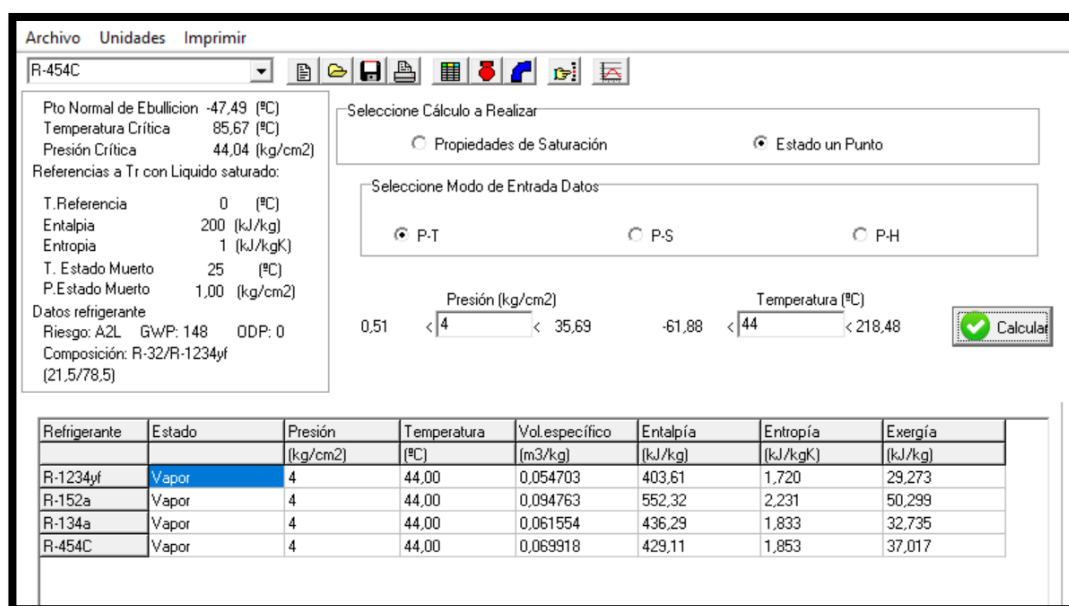
- **Módulo Balance**, en este apartado presenta una base con las condiciones climáticas de todos los lugares de la península ibérica para realizar dichos cálculos.

Figura 14 Módulo Balance programa FRIO. Fuente: Software FRIO.

Además, aquí se pueden diseñar las cámaras frigoríficas para la instalación en estudio teniendo en cuenta diferentes necesidades, tanto de productos a almacenar como de cantidades, así como si se trata de una cámara de refrigeración o congelación, a diferentes temperaturas de trabajo.

Esto llevará al resultado de la carga de refrigeración total de la cámara, teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad del 10 %.

- **Módulo Diagrama**, en este apartado presenta del refrigerante previamente seleccionado en la pestaña superior izquierda, sus principales características, como son, punto de ebullición, temperatura y presión crítica, además de otros datos ya facilitados en el módulo *Refrigerantes*.



Archivo Unidades Imprimir

R-454C

Pto Normal de Ebullición -47,49 (°C)
Temperatura Crítica 85,67 (°C)
Presión Crítica 44,04 (kg/cm2)
Referencias a Tr con Líquido saturado:
T. Referencia 0 (°C)
Entalpía 200 (kJ/kg)
Entropía 1 (kJ/kgK)
T. Estado Muerto 25 (°C)
P. Estado Muerto 1,00 (kg/cm2)
Datos refrigerante
Riesgo: A2L GWP: 148 ODP: 0
Composición: R-32/R-1234yf (21,5/78,5)

Seleccione Cálculo a Realizar
☐ Propiedades de Saturación ☒ Estado un Punto

Seleccione Modo de Entrada Datos
☒ P-T ☐ P-S ☐ P-H

Presión (kg/cm2) 0,51 < 4 < 35,69 -61,88 < 44 < 218,48 Temperatura (°C)

Calcular

Refrigerante	Estado	Presión (kg/cm2)	Temperatura (°C)	Vol. específico (m3/kg)	Entalpía (kJ/kg)	Entropía (kJ/kgK)	Exergía (kJ/kg)
R-1234yf	Vapor	4	44,00	0,054703	403,61	1,720	29,273
R-152a	Vapor	4	44,00	0,094763	552,32	2,231	50,299
R-134a	Vapor	4	44,00	0,061554	436,29	1,833	32,735
R-454C	Vapor	4	44,00	0,069918	429,11	1,853	37,017

Figura 15 Módulo Diagrama programa FRIO. Fuente: Software FRIO.

Aquí, sin embargo, teniendo dos datos del ciclo como son presión y temperatura, nos obtiene el estado del refrigerante. Proporciona su estado, su volumen específico, entalpía, entropía y la energía.

Todo ello se puede representar en un diagrama P-T, P-S o P-h.

- **Módulo Tuberías**, en esta parte del programa se pueden calcular las tuberías necesarias para nuestra instalación, para cada refrigerante empleado, previamente seleccionado de la pestaña superior izquierda. Tiene en cuenta las temperaturas de trabajo, la potencia frigorífica de la instalación, y la disposición de los equipos, además de si se trata de la tubería de aspiración, descarga o del líquido. Teniendo en cuenta diferentes accesorios necesarios seleccionados, el largo de tuberías y del

material empleado, recomienda el uso de un tipo de tubería. Indicando el diámetro nominal, diámetro interior y la velocidad del fluido, además de muchos más datos.

- **Modulo Ciclos**, en él se representa el ciclo frigorífico. Previamente al igual que en los otros módulos se selecciona en la pestaña superior izquierda el refrigerante a simular.

En la parte inferior se diseña el ciclo, seleccionado si es simple (1 compresor), o doble (2 compresores), si se trata de una máquina frigorífica o bomba de calor, si presenta o no intercambiador de recuperación, así como el número de evaporadores del ciclo, pudiendo simular hasta un ciclo con tres evaporadores distintos.

En el evaporador definimos la Temperatura de evaporación, la potencia frigorífica y el recalentamiento útil del ciclo.

En la tubería de aspiración al compresor, se puede definir el recalentamiento no útil y la pérdida de presiones. El compresor se puede seleccionar que tipo usar en la instalación, desplegando la pestaña ofrece distintas opciones el programa, además de poder poner de forma manual el rendimiento de este, sino el programa tiene uno por defecto según el tipo de compresor utilizado. En la tubería de descarga al condensador se puede definir la pérdida de presión del refrigerante a través de este conducto.

En el condensador se define el grado de subenfriamiento, así como la temperatura de condensación.

Con todos estos datos definidos, se calcula el ciclo. Dando el programa los resultados de rendimiento COP, además de las características del refrigerante en los distintos puntos del ciclo frigorífico.

3. APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 Cálculo de los rendimientos COP, Consumos Energéticos y Caudal volumétrico para los tres ciclos.

Todas las simulaciones se han realizado teniendo en cuenta las condiciones y características previamente definidas en las simulaciones del planteamiento del problema, y mediante el Software FRIO.

Para el cálculo de los consumos energéticos se ha realizado teniendo en cuenta distintas inflaciones anuales en el precio de la electricidad, cogiendo como referencia inicial el precio medio del kWh durante el ejercicio del año 2021.

Se ha realizado el cálculo con los tres supuestos simulados, la cámara de refrigerados y congelados independientemente y, un sistema con la planta con ambas cámaras (mixta), con los refrigerantes que mejor rendimiento COP han obtenido en la simulación de FRIO en cada uno de los supuestos.

Se ha calculado para una inflación anual en el precio de la electricidad nula, una inflación del 4%, otra del 5%, del 10%, 15% y 20%, y en distintos periodos de tiempo, 5 años, 10 años, 15 años y 20 años. Pudiendo así ser comparados la rentabilidad y amortización de cada opción según el tiempo de vida útil de la instalación.

El consumo se ha calculado para una media de 10 horas de funcionamiento del compresor.

Finalmente se ha realizado un resumen objetivo de los consumos obtenidos en cada caso y coste de la instalación, teniendo en cuenta el coste total de la instalación.

3.1.1 Resultados Cámara Refrigerados:

Tabla 3: Resultados Cámara Refrigerado (+3°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Ciclo Simple Cámara Refrigerados (+3°C)		GWP >150		Reglamento Europeo 517/2014	GWP <150		
Refrigerante		R407C	R134a		R152A	R1234yf	R454C
Temperatura Evaporación Cámara	°C	-5	-5		-5	-5	-5
Potencia Util Cámara	kW	2,20	2,20		2,20	2,20	2,20
Horas diarias de funcionamiento	h	10	10		10	10	10
Potencia Electrica Compressor	kW	0,71	0,62		0,60	0,65	0,79
Caudal Volumétrico Teórico	m³/h	4	5		6	6	4
Eficiencia Energética de Refrigeración	E.E.R	3,10	3,56		3,65	3,37	2,80
Energía Eléctrica Demandada día	kWh	7,1	6,2		6	6,5	7,9
Consumo Energético Anual	kWh	2556	2232		2160	2340	2844

A continuación se analizan los tres factores claves explicados en el planteamiento del problema:

- Coeficiente COP:

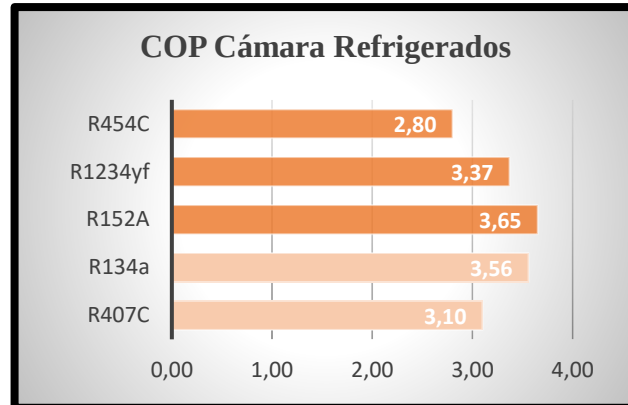


Figura 16: Resultados de factores COP. Ciclo Simple Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

La simulación demuestra que el fluido refrigerante para esta cámara tiene un mejor rendimiento es el R-152a, con un COP 3,65.

- Potencia eléctrica necesaria en el compresor:

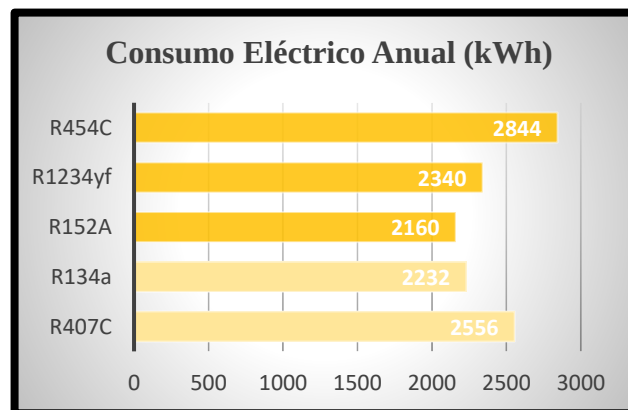


Figura 17: Resultados consumo energético eléctrico. Ciclo Simple Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

El consumo energético eléctrico anual mínimo es de 2160 kWh, obtenido empleando el refrigerante R-152a, que como puede se puede observar en la Figura 17, este refrigerante logrará incluso unos menores consumos energéticos que los tradicionales.

- Caudal volumétrico teórico:

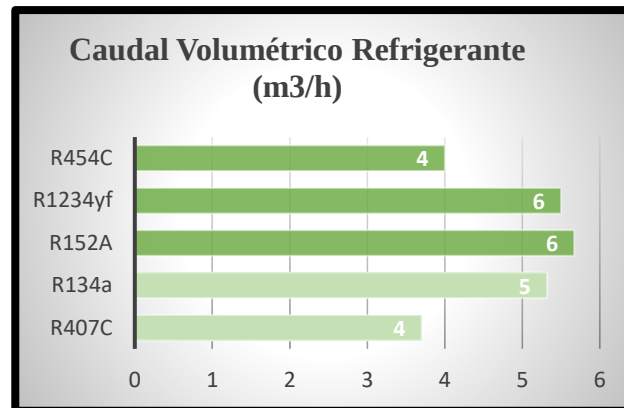


Figura 18: Resultados caudal volumétrico. Ciclo Simple Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

De los tres refrigerantes sustitutos comparados, el R454C es el que necesita menos caudal volumétrico para la misma potencia.

Ciclo de compresión simple trabajando con R-152a

Descripción	Punto	Estado	P[bar]	T[°C]	h[kJ/kg]	s[kJ/kgK]	Ex[kJ/kg]	ve[m ³ /kg]	m[kg/h]	XV	den[kg/m ³]
Entrada al compresor	14	Vapor	2,0980	3,00	512,60	2,171	28,56	0,1556	32,019	1,00	6,43
Salida isentrópica del compresor	2	Vapor	9,1244	64,45	563,94	2,171	79,90	0,0403	32,019	1,00	24,79
Salida real del compresor	11	Vapor	9,1244	75,39	578,26	2,213	81,76	0,0424	32,019	1,00	23,57
Salida del condensador	4	Líquido	9,0444	34,80	261,65	1,210	64,24	0,0011	32,019	0,00	872,83
Entrada evaporador de baja temperatura	6	Saturación	2,1980	-5,00	261,65	1,230	58,09	0,0328	32,019	0,22	30,48
Salida evaporador de baja temperatura	9	Vapor	2,1980	0,00	509,00	2,153	30,49	0,1460	32,019	1,00	6,85

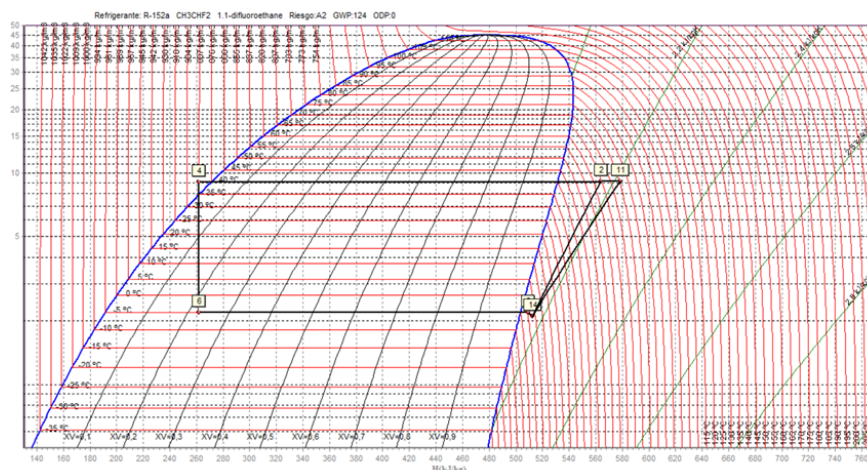


Figura 19: Ciclo de compresión simple trabajando con R-152^a. Fuente: Software FRIO.

3.1.2 Resultados Cámara Congelados Simple (-20°C)

Tabla 4: Resultados Cámara Congelados simple (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Ciclo Simple Cámara Congelados (-20°C)		GWP >150		Reglamento Europeo 517/2014	GWP <150		
Refrigerante		R407C	R134a		R152a	R1234yf	R454C
Temperatura Evaporación Cámara	°C	-28	-28		-28	-28	-28
Potencia Util Cámara	kW	5,40	5,40		5,40	5,40	5,40
Horas diarias de funcionamiento	h	10	10		10	10	10
Potencia Electrica Compressor	kW	7,30	6,55		6,28	4,39	7,41
Caudal Volumétrico Teórico	m³/h	35	55		55	50	36
Eficiencia Energética de Refrigeración	E.E.R	0,74	0,82		0,86	1,23	0,73
Energía Eléctrica Demandada día	kWh	73	65,5		62,8	43,9	74,1
Consumo Energético Mensual	kWh	2190	1965		1884	1317	2223
Consumo Energético Anual	kWh	26280	23580		22608	15804	26676

A continuación se analizan los resultados alcanzados:

- Coeficiente COP:

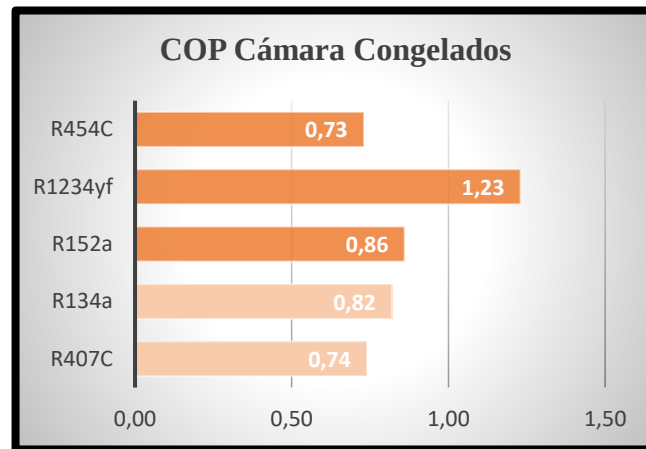


Figura 20: Resultados del COP. Ciclo Simple Cámara Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

La simulación demuestra que el fluido refrigerante que para esta cámara tiene un mejor rendimiento es el R-1234yf, con un COP 1,23.

- Potencia eléctrica necesaria en el compresor:

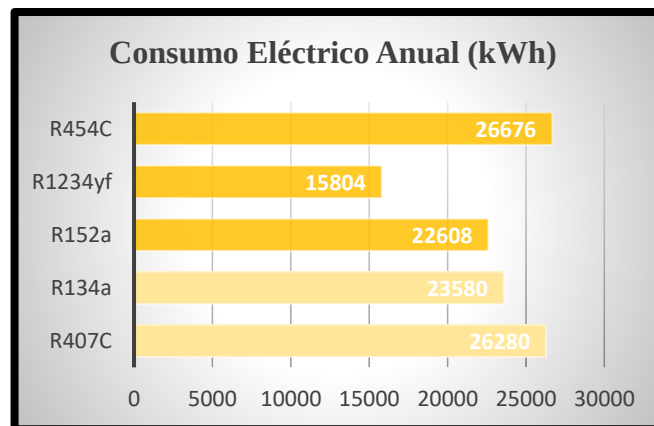


Figura 21: Resultados consumo eléctrico. Ciclo Simple Cámara Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

El consumo energético eléctrico anual mínimo es de 15804 kWh, obtenido empleando el refrigerante R-1234yf, que como puede se puede observar en la Figura 21. Este refrigerante logra unos consumos energéticos muy por debajo de los demás refrigerantes.

- Caudal volumétrico teórico:

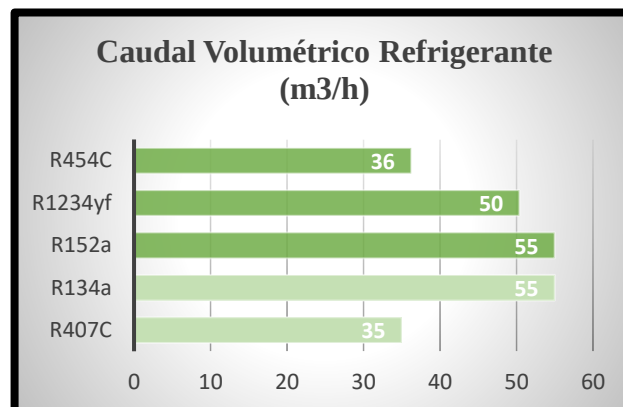


Figura 22: Resultados caudal volumétrico. Ciclo Simple Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Cabe reseñar en este punto el caudal necesario para refrigerar, ya que el R-454C necesita un 25% menos de caudal para la misma producción de frío que el R-1234yf, como se puede observar en la Figura 22 por lo que el coste de la instalación, tuberías y compresor se verán afectados.

Ciclo de compresión simple trabajando con R-1234yf

Descripción	Punto	Estado	P(bar)	T(°C)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Ex(kJ/kg)	ve(m ³ /kg)	m(kg/h)	XV	den(kg/m ³)
Entrada al compresor	14	Vapor	0,9811	-20,00	351,55	1,633	3,26	0,1808	191,628	1,00	5,53
Salida isentrópica del compresor	2	Vapor	10,2117	47,05	395,21	1,633	46,91	0,0182	191,628	1,00	55,05
Salida real del compresor	11	Vapor	10,2117	78,34	429,90	1,736	50,76	0,0216	191,628	1,00	46,20
Salida del condensador	4	Líquido	10,1317	34,80	247,34	1,161	39,75	0,0009	191,628	0,00	1057,43
Entrada evaporador de baja temperatura	6	Saturación	1,0811	-28,00	247,34	1,201	27,65	0,0724	191,628	0,46	13,80
Salida evaporador de baja temperatura	9	Vapor	1,0811	-23,00	348,79	1,615	5,77	0,1611	191,628	1,00	6,21

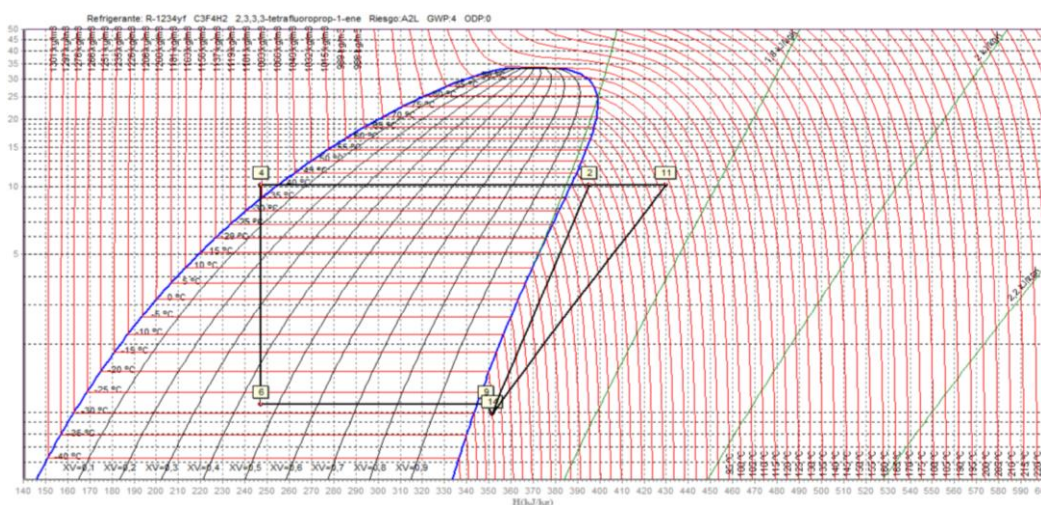


Figura 23: Ciclo de compresión simple trabajando con R-1234yf. Fuente: Software FRIO.

3.1.3 Ciclo Mixto Cámara Refrigerados (+3°C) y Congelados (-20°C)

Tabla 5: Resultados Ciclo Compuesto Cámara Refrigerados (+3°C) y Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Ciclo Cámara Congelados (-20°C) y Cámara Refrigeradora (+3°C)		GWP >150		Reglamento Europeo 517/2014	GWP <150		
Refrigerante		R407C	R134a		R152a	R1234yf	R454C
Temp. Evap. Cámara Congelados	°C	-28	-28		-28	-28	-28
Pot. Util Cámara Congelados	kW	5,40	5,40		5,40	5,40	5,40
Temp. Evap. Cámara Refrigeradora	°C	-5	-5		-5	-5	-5
Potencia Util Cámara Refrigeradora	kW	2,20	2,20		2,20	2,20	2,20
Horas diarias de funcionamiento	h	10	10		10	10	10
Potencia Eléctrica	kW	10,25	9,17		9,07	6,09	10,35
Caudal Volumétrico Teórico	m³/h	49	76		79	70	50
Eficiencia Energética de Refrigeración	E.E.R	0,74	0,83		0,86	1,24	0,73
Energía Eléctrica Demandada día	kWh	102,5	91,7		90,7	60,9	103,5
Consumo Energético Mensual	kWh	3075	2751		2721	1827	3105
Consumo Energético Anual	kWh	36900	33012		32652	21924	37260

A continuación se analizan los resultados alcanzados:

- Coeficiente COP:

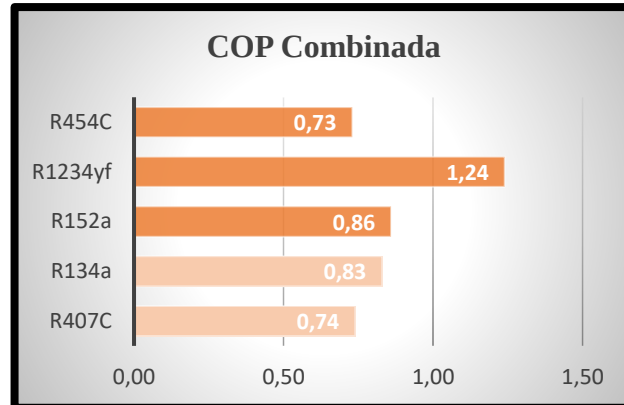


Figura 24: Resultados del COP. Ciclo Compuesto Cámara Refrigerados (+3°C) y Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

El fluido refrigerante que tiene un mejor rendimiento es el R-1234yf con un COP 1,24, siguiéndole el R-152a con 0,86.

- Potencia eléctrica necesaria en el compresor:

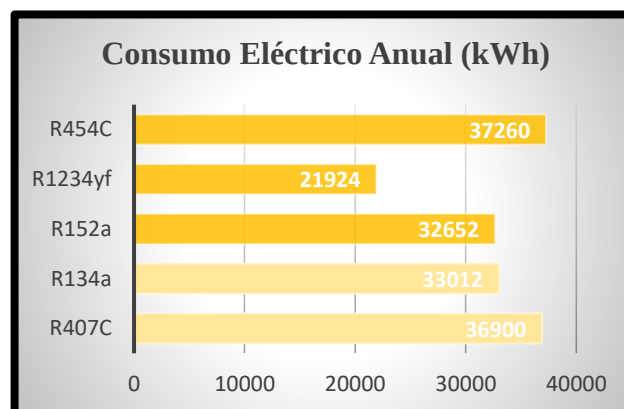


Figura 25: Resultados del consumo eléctrico. Ciclo Compuesto Cámara Refrigerados (+3°C) y Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

El consumo energético eléctrico anual mínimo es de 21924 kWh, gracias al empleo del refrigerante R-1234yf, como se observa en la Figura 25.

- Caudal volumétrico teórico:

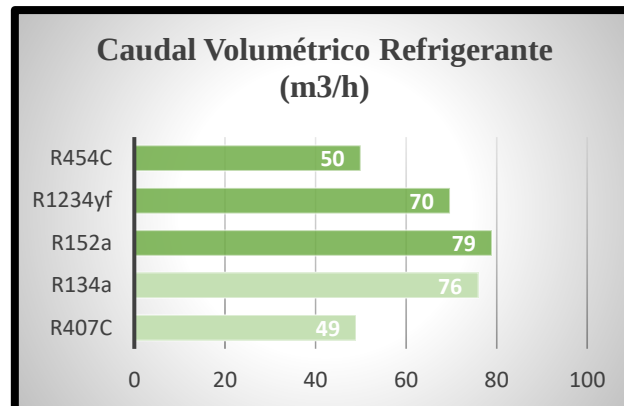


Figura 26: Resultados del caudal volumétrico. Ciclo Compuesto Cámara Refrigerados (+3°C) y Congelados (-20°C). Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

En este caso, al igual que sucede con la cámara de congelados simple, el refrigerante R-454C necesita un 25% menos de caudal para la misma producción de frío frente al R-1234yf, por lo que el coste de la instalación, tuberías y compresor se verán reducidos para este refrigerante frente a los otros dos.

Ciclo de compresión simple trabajando con R-1234yf

Descripción	Punto	Estado	P(bar)	T(°C)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Ex(kJ/kg)	ve(m3/kg)	m(kg/h)	XV	den(kg/m3)
Entrada al compresor	14	Vapor	0,9811	-15,05	355,66	1,649	2,55	0,1849	259,196	1,00	5,41
Salida isentrópica del compresor	2	Vapor	10,2117	51,55	400,42	1,649	47,30	0,0187	259,196	1,00	53,40
Salida real del compresor	11	Vapor	10,2117	83,88	435,98	1,753	51,73	0,0222	259,196	1,00	45,04
Salida del condensador	4	Líquido	10,1317	34,80	247,34	1,161	39,75	0,0009	259,196	0,00	1057,43
Entrada evaporador de baja temperatura	6	Saturación	1,0811	-28,00	247,34	1,201	27,65	0,0724	191,628	0,46	13,80
Salida evaporador de baja temperatura	9	Vapor	1,0811	-23,00	348,79	1,615	5,77	0,1611	191,628	1,00	6,21
Entrada al evaporador 2	17	Saturación	2,6563	-5,00	247,34	1,177	34,95	0,0222	67,567	0,32	45,04
Salida del evaporador 2	18	Vapor	2,6563	0,00	364,56	1,614	21,88	0,0687	67,567	1,00	14,56
Salida tras la expansión del evaporador 2	21	Vapor	1,0811	-4,25	364,56	1,676	3,42	0,1751	67,567	1,00	5,71
Punto mezcla de las salidas de los evaporadores	22	Vapor	1,0811	-18,05	352,90	1,631	5,04	0,1649	259,196	1,00	6,07

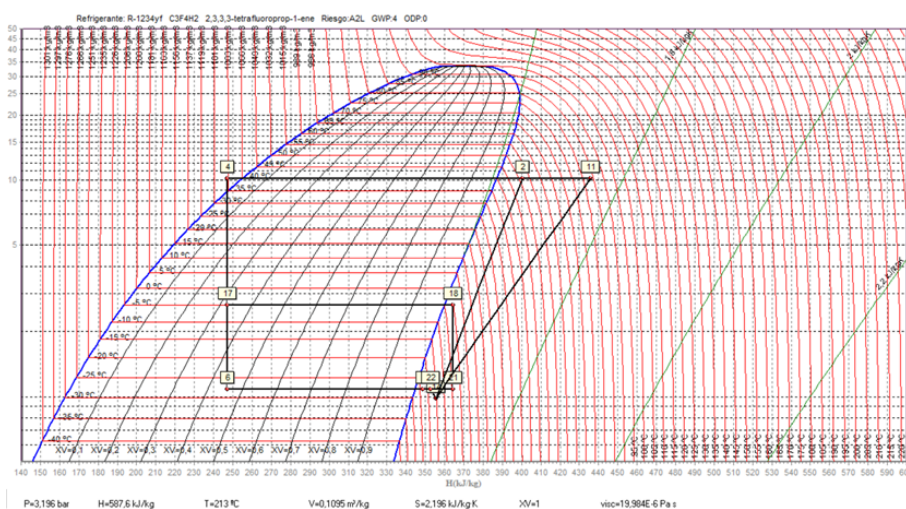
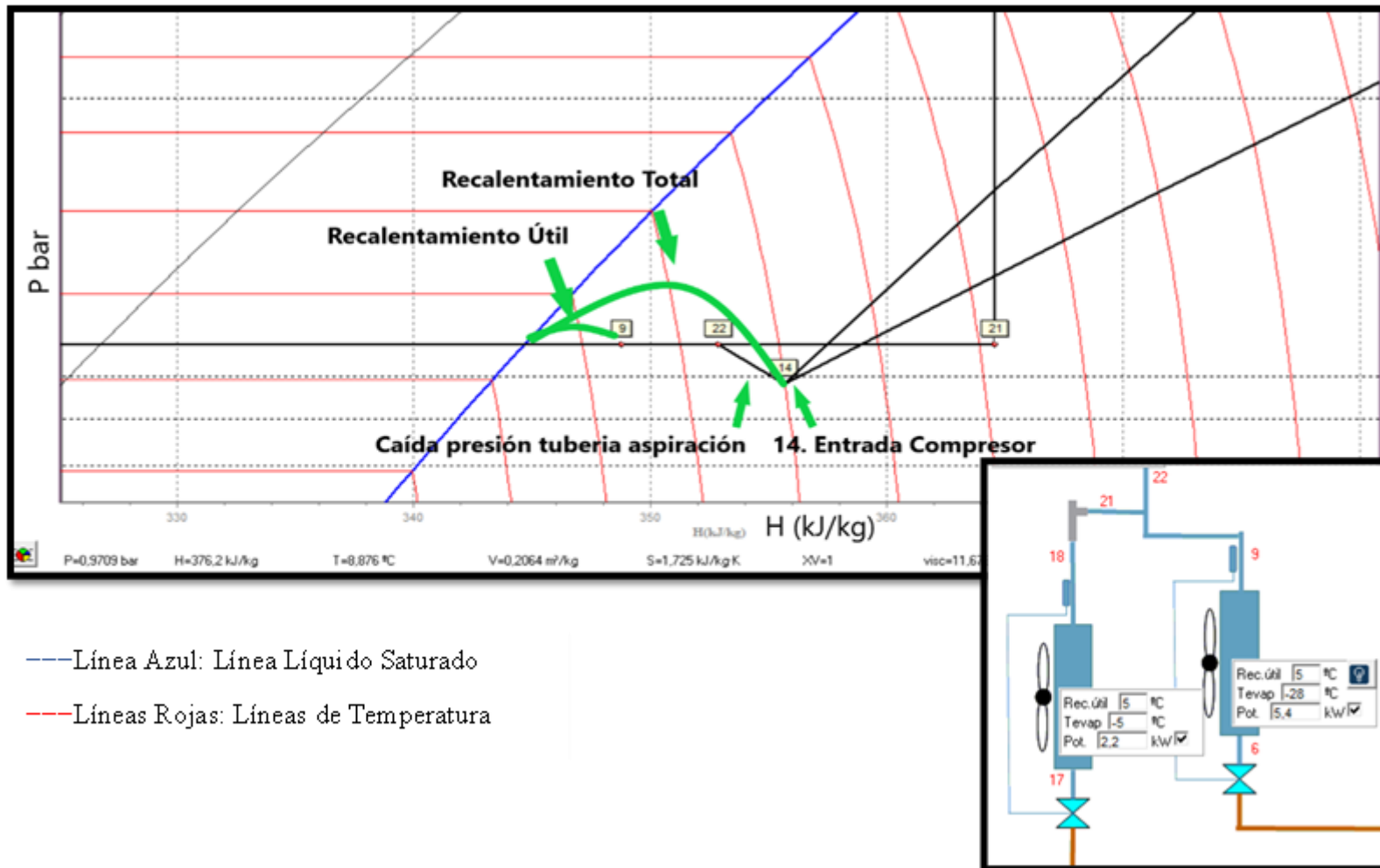


Figura 27: Ciclo de compresión simple trabajando con R-1234yf. Fuente: Software FRIO.



3.2 Cálculo y comparación de los COP

A continuación, y para los refrigerantes en los que el consumo energético en cada uno de los tres circuitos resulta menor (R-152a para el circuito de refrigerados, y R-1234yf para los circuitos de congelados y mixto), se ha realizado una comprobación de los resultados COP ofrecidos por el programa, comparándolos con cálculos realizados de forma manual utilizando la entalpía obtenida en los distintos puntos del ciclo.

- Cámara Refrigeradora (+3°C) con R-152a:

$$h_4: 261,65 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{11}: 578,26 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14}: 512,60 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{Q_{0Evap.}}{Q_{wComp.}} = \frac{h_{14} - h_4}{h_{11} - h_{14}} = \frac{(512,60 - 261,55)}{(578,26 - 512,60)} = 3,82$$

Resultado programa FRIO: 3,65, presentando una desviación de un 5%.

- Cámara Congelados (-20°C) con R-1234yf:

$$h_4: 247,34 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{11}: 429,90 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14}: 351,55 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{Q_{0Evap.}}{Q_{wComp.}} = \frac{h_{14} - h_4}{h_{11} - h_{14}} = \frac{(351,55 - 247,34)}{(429,90 - 351,55)} = 1,33$$

Resultado programa FRIO: 1,23, presentando una desviación de un 8%.

- Ciclo con ambas cámaras con R-1234yf:

$$h_4: 247,34 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{11}: 435,98 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14}: 355,66 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{Q_0 \text{Evap.}}{Q_w \text{Comp.}} = \frac{h_{14} - h_4}{h_{11} - h_{14}} = \frac{(355,66 - 247,34)}{(435,98 - 355,66)} = \mathbf{1,34}$$

Resultado programa FRIO: 1,24, presentando una desviación de un 8%.

Se comprueba que el programa da resultados de COP ligeramente inferiores a los que ofrecen los cálculos con la entalpía. Esto puede ser debido a las diferentes pérdidas de carga, conocidas como caídas de presión que suceden en los distintos puntos del circuito.

Las caídas de presión son totalmente inevitables, ya que todo fluido desplazándose dentro de un volumen delimitado tendrá un diferencial de presión ocasionado por la resistencia del medio representada por la fricción, siendo que, cuanto mayor sea la longitud de la tubería mayor será este diferencial. La regla es simple, una mayor velocidad implica una mayor pérdida y un diámetro menor mayor velocidad.

Es por este motivo que existe una ligera diferencia entre los resultados obtenidos por el programa, y los calculados manualmente.

3.3 Cálculo de las tuberías, el precio de la instalación y el coste del refrigerante

Se realiza el cálculo de tuberías para los tres supuestos simulados, con la planta de refrigeración igual dispuesta que en un buque LNG, con el programa FRIO y el módulo Tuberías, pudiéndose así comparar el coste de las diferentes opciones. Los puntos de partida son:

La planta frigorífica se encuentra ubicada en el buque en dos espacios:

- Sala de máquinas, tomado como referencia 0 metros de cota para el cálculo del programa, tanto desde el punto de vista vertical, como longitudinal. Aquí se disponen los compresores (sistema redundante), cada uno con su condensador, depósito de refrigerante, filtros desecantes y válvulas de aislamiento.
- Las cámaras frigoríficas, conocidas comúnmente como gambuzas en la jerga naval, dispuestas en la cubierta principal, cota +7 metros desde la vertical y 20 metros a proa desde el plano longitudinal. En ellas se disponen los evaporadores de aire con todos sus complementos, además de las válvulas de expansión de cada cámara.
- Teniendo en cuenta las cargas frigoríficas de ambas cámaras, 5,4 kW de potencia para la cámara de congelados, y 2,2 kW de potencia para la cámara de refrigerados, el cálculo de las tuberías se realiza con un 15 % de exceso sobre la potencia teórica, para una potencia frigorífica máxima total de 10 kW para ambas.

A continuación se detallan distintos accesorios utilizados en la instalación, conforme a los planos del buque, adjuntados en el software FRIO para el preciso de las tuberías.

Accesorios utilizados para el cálculo de las tuberías:

Tabla 6: Accesorios. Fuente: Elaboración Propia.

Tubería Aspiración	Tubería Descarga	Tubería Líquido
4 x Codo 90°	2 x codo 90°	4 x Codo 90°
2 x Bifurcación T	2 x Válvula Bola	2 x Bifurcación T
4 x Válvula Bola	1 x Válvula de retención	4 x Válvula Bola
2 x Ensanchamiento Brusco		2 x Estrechamiento Brusco

Según la 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, en lo que a los gases refrigerantes se refiere, en el apartado 7, excepciones de pago tasas, se establece como excepción de pago de tasas la primera venta o entrega de gases fluorados de efecto invernadero a los buques o aeronaves que realicen navegación marítima o aérea internacional, excluida la privada de recreo. Por lo tanto, no se tienen en cuenta el coste de tasas por kg de refrigerante para el cálculo del coste de la instalación. Según ello, y en base al coste del refrigerante, mostrado en la tabla 7, se calcula el precio de la instalación:

Tabla 7: Precio Gases Refrigerantes sin Tasa.⁶ Fuente: Elaboración Propia.

Refrigerante	Coste (€/kg)
R-134a	41
R-407C	15
R-1234yf	87
R-152a	13,63
R-454C	30

⁶ Fuente: Precios medios España durante el ejercicio del 2021 obtenidos de <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100800> y Gas-Servei, <https://gas-servei.com/productos/refrigerantes/>



Archivo Imprimir

R-1234yf

Selecione Operación
☒ Cálculos Simples
☐ Cálculos Detallados

Cobre (barras reforzados)
 Rugosidad Absoluta 0,0015000 (mm)
 Descarga

Introduzca Datos
 T. Evap. (°C) -28 Pot. Frig. (kW) 10 Caudal (kg/h) 399,7
 T. Cond. (°C) 39,8 Viscos. (Pa·s) 1,331E-5
 Long. Real (m) 3 Densidad (kg/m³) 55,9

Accesorio Nº
 Bifurcación T desviado 0
 Bifurcación T directo 2
 Codo 180° 0
 Codo 45° 0
 Codo grande 90° 4
 Codo pequeño 90° 0
 Curva 180° 0
 Curva 45° 0
 Curva 90° 2
 Ent. con resalte a depósito 0
 Ent. sin resalte a depósito 0
 Sifones 0

Accesorio Nº
 Ensanchamiento brusco 0
 Estrechamiento brusco 0
 Sal. con resalte de depósito 0
 Sal. sin resalte de depósito 0
 Válvula de asiento inclinado 0
 Válvula de bola 4
 Válvula de compuerta 0
 Válvula de retención 0
 Válvula en ángulo 0
 Válvula esférica 0
 Longitud Equivalente accesorio especial 0 m

Calcular

Denominación Descarga

D. Nominal	Recomendado	D. int. (mm)	P. Total (°C)	v. fluido (m/s)	L. equiv. (m)	P. Total (kg/cm²)	P. Acce.	P. Cota	P. Tub.	Nº Re	f	Caudal (kg/h)	L. línea (m)
1/4(0,8)"	No Recomendado	4,75	0	112,1	4,425	51,48	16,58	0	34,9	2236552	0,01543	399,7	3
5/16(0,8)"	No Recomendado	6,338	0	62,96	4,901	12,89	5	0	7,889	1676311	0,01475	399,7	3
3/8(0,8)"	No Recomendado	7,925	20,95	40,27	5,378	4,497	1,988	0	2,509	1340520	0,01434	399,7	3
1/2(1)"	No Recomendado	10,7	4,494	22,09	6,21	1,129	0,5837	0	0,5456	992862	0,01399	399,7	3
5/8(1)"	Recomendado	13,88	1,359	13,14	7,163	0,3525	0,2048	0	0,1476	765666	0,01388	399,7	3
3/4(1)"	Recomendado	17,05	0,5499	8,699	8,115	0,143	0,09012	0	0,05285	623086	0,01392	399,7	3
7/8(1,14)"	Recomendado	19,94	0,2794	6,357	8,983	0,07281	0,04849	0	0,02431	532646	0,01403	399,7	3
1(1)"	Recomendado	23,4	0,1417	4,618	10,02	0,03698	0,02591	0	0,01107	454001	0,0142	399,7	3

Añadir

Denominación	Refrigerante	Tipo línea	XV	Material	D. Nominal (")	Longitud Real (m)	Diámetro Interior (mm)	v. fluido (m/s)
Aspiración	R-407C	Descarga	1	Cobre (barras reforzados)	3/4(1)"	3	17,05	4,233
Descarga	R-1234yf	Descarga	1	Cobre (barras reforzados)	5/8(1)"	3	13,88	10,51
Aspiración	R-1234yf	Aspiración	1	Cobre (barras reforzados)	2 5/8(1,65)"	30	63,38	4,43
Líquido	R-1234yf	Líquido	0	Cobre (barras reforzados)	3/4(1)"	30	17,05	0,376
Aspiración	R-454C	Aspiración	1	Cobre (barras reforzados)	2 1/8(2,5)"	30	48,97	5,107

Figura 30 Módulo Tuberías programa FRIO. Fuente: Software FRIO.

3.4 Resultados obtenidos:

El cálculo del precio de las tuberías se ha realizado utilizando el generador de precios CYPE Ingenieros, S.A., *Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*.



Figura 31 Cálculo precio tuberías con CYPE Ingenieros. Fuente: <http://www.generadordeprecios.info/>

A continuación se muestran en las tablas los presupuestos totales obtenidos con cada uno de los refrigerantes analizados.

Primeramente se ha realizado el coste para la planta con ambas cámaras para cada refrigerante alternativo.

Seguidamente se ha calculado el coste de tuberías y refrigerante para la cámara de refrigerados y congelados independientemente con cada refrigerante objeto de estudio.

Finalmente se ha realizado un balance económico de cada cámara por separado y la mixta, con el refrigerante con mejor COP obtenido en la simulación en cada caso.

Coste Cámara Mixta:

Tabla 8: Desglose presupuesto refrigerante R-152^a, Cámara Mixta. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Kg refrigerante	
R-152a	Tubería Aspiración	Cu	2 1/8(2,50)"	30	48,97	0,04897	13,81	414,3	133,3	0,2260	2,852	0,645	
	Tubería Descarga	Cu	5/8(1)"	3	13,88	0,01388	2,76	8,28	133,3	0,0018	23,11	0,042	
	Tubería Líquido	Cu	5/8(1)"	30	13,18	0,01318	2,76	82,8	133,3	0,0164	860	14,080	
	Coste Total Tuberías							505,38 Euro			Total Refriger	15 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	59 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	13,63 euro/kg	
	Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							1310 Euro			Coste total refrigerante	805 Euro	

Tabla 9: Desglose presupuesto refrigerante R-1234yf, Cámara Mixta. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Kg refrigerante	
R-1234yf	Tubería Aspiración	Cu	2 5/8(1,65)"	30	63,38	0,06338	20,02	600,6	399,7	0,3786	6,36	2,408	
	Tubería Descarga	Cu	5/8(1)"	3	31,62	0,03162	3,01	9,03	399,7	0,0094	55,9	0,527	
	Tubería Líquido	Cu	3/4(1)"	30	17,05	0,01705	2,76	82,8	399,7	0,0274	1035	28,357	
	Coste Total Tuberías							692,43 Euro			Total Refriger	31 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	125 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	87 euro/kg	
	Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							11582 Euro			Coste total refrigerante	10889 Euro	

Tabla 10: Desglose presupuesto refrigerante R-454C, Cámara Mixta. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Kg refrigerante	
R-454C	Tubería Aspiración	Cu	2 1/8(2,5)"	30	48,97	0,04897	13,81	414,3	264,3	0,2260	7,63	1,724	
	Tubería Descarga	Cu	3/4(1)"	3	17,05	0,01705	2,76	8,28	264,3	0,0027	72,67	0,199	
	Tubería Líquido	Cu	3/4(1)"	30	17,05	0,01705	2,76	82,8	264,3	0,0274	955	26,165	
	Coste Total Tuberías							505,38 Euro			Total Refriger	28 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	112 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	30 euro/kg	
	Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							3876 Euro			Coste total refrigerante	3371 Euro	

Coste Cámara Refrigerados:

Tabla 11 Desglose presupuesto refrigerante R-152a, Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-152a	Tubería Aspiración	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,3	64,4	34	0,0101	7,01	0,071	
	Tubería Descarga	Cu	3/8(1)"	3	7,92	0,0079	1,89	5,67	34	0,0006	25	0,015	
	Tubería Líquido	Cu	3/8(0,8)"	28	7,92	0,0079	1,89	52,92	34	0,0055	860	4,745	
	Coste Total Tuberías							122,99 Euro			Total Refriger	5 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	19 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	13,63 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)								386 Euro			Coste total refrigerante	263 Euro	

Tabla 12 Desglose presupuesto refrigerante R-1234yf, Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-1234yf	Tubería Aspiración	Cu	5/8(1)"	28	13,88	0,01388	2,76	77,28	75,14	0,0169	14,93	0,253	
	Tubería Descarga	Cu	1/2(1)"	3	10,7	0,0107	2,30	6,9	75,14	0,0011	57	0,062	
	Tubería Líquido	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,30	64,4	75,14	0,0101	1035	10,424	
	Coste Total Tuberías							148,58 Euro			Total Refriger	11 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	43 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	87 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)								3885 Euro			Coste total refrigerante	3737 Euro	

Tabla 13 Desglose presupuesto refrigerante R-454C, Cámara Refrigerados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-454C	Tubería Aspiración	Cu	5/8(1)"	28	13,88	0,01388	2,76	77,28	64,6	0,0169	17,9	0,303	
	Tubería Descarga	Cu	3/8(0,8)"	3	7,92	0,00792	1,89	5,67	64,6	0,0006	77,6	0,046	
	Tubería Líquido	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,30	64,4	64,6	0,0101	955	9,618	
	Coste Total Tuberías							147,35 Euro			Total Refriger	10 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	40 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	30 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)								1343 Euro			Coste total refrigerante	1196 Euro	

Coste Cámara Congelados:

Tabla 14 Desglose presupuesto refrigerante R-152a, Cámara Congelados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-152a	Tubería Aspiración	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,3	64,4	89,4	0,0101	2,852	0,029	
	Tubería Descarga	Cu	5/8(1)"	3	7,15	0,0072	1,89	5,67	89,4	0,0005	23,11	0,011	
	Tubería Líquido	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,3	64,4	89,4	0,0101	860	8,661	
	Coste Total Tuberías							134,47 Euro			Total Refriger	9 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	35 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	13,63 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							609 Euro				Coste total refrigerante	474 Euro	

Tabla 15 Desglose presupuesto refrigerante R-1234yf, Cámara Congelados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-1234yf	Tubería Aspiración	Cu	1(1)"	28	23,4	0,0234	6,26	175,28	215,8	0,0482	6,35	0,306	
	Tubería Descarga	Cu	1/2(1)"	3	10,7	0,0107	2,3	6,9	215,8	0,0011	55,9	0,060	
	Tubería Líquido	Cu	1/2(1)"	28	10,7	0,0107	2,3	64,4	215,8	0,0101	1035	10,424	
	Coste Total Tuberías							246,58 Euro			Total Refriger	11 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	43 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	87 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							4001 Euro				Coste total refrigerante	3755 Euro	

Tabla 16 Desglose presupuesto refrigerante R-454C, Cámara Congelados. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

		Material	D. Nominal	Longitud Real (m)	Diám.Interior (mm)	Diám.Interior (m)	Precio unitario (euro/m)	Precio Total Tubería	Caudal (kg/h)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Kg refrigerante	
R-454C	Tubería Aspiración	Cu	1 5/8(1,65)"	28	37,98	0,03798	10,33	289,24	178,4	0,1269	7,63	0,968	
	Tubería Descarga	Cu	1/2(1)"	3	10,7	0,0107	2,3	6,9	178,4	0,0011	72,67	0,078	
	Tubería Líquido	Cu	5/8(1)"	28	13,88	0,01388	2,3	64,4	178,4	0,0169	955	16,184	
	Coste Total Tuberías							360,54 Euro			Total Refriger	17 kg	
											Total Volumen Circuito + Condensador	69 kg	
											Precio medio España kg refrigerante sin	30 euro/kg	
Coste total Circuito (Tuberías y Refrigerante)							2428 Euro				Coste total refrigerante	2068 Euro	

3.5 Coste de Inversión y Comparación de Resultados

En este apartado del trabajo se ha realizado una estimación del coste de inversión de los distintos componentes que forman la planta de refrigeración de un buque para un circuito con los refrigerantes alternativos objeto de este proyecto, para los tres supuestos. Para dos cámaras de refrigeración, una de congelados y otra de refrigeración.

Seguidamente se han comparado los costes de inversión en tuberías calculados mediante el programa Frio.

Finalmente se ha realizado la comparación de los consumos eléctricos de la instalación con cada refrigerante en los tres supuestos simulados mediante el programa FRIO.

No se han incluido como costes de Inversión, debido que en todos los supuestos serían parecidos, los demás costos que intervienen en la fabricación y puesta a punto de una planta frigorífica, como son costes directos e indirectos de mano de obra, demás materiales para el montaje y sujeción de las tuberías en la instalación, y la redacción de proyectos por parte de una empresa u ingeniería acreditada.

3.6 Costes Inversión tuberías

Los costes de inversión en las tuberías calculados mediante el software FRIO, ofrecen una variación insignificante entre los refrigerantes elegidos. Sin embargo, el coste del refrigerante sí que es relevante para cada plana, de ahí la importancia de la resolución del problema expuesto y objetivo de este proyecto.

Cuadro resumen costes tuberías y Refrigerante en los tres supuestos:

Tabla 17 Resumen costes Inversión. Fuente: Elaboración Propia.

	Coste Total Refrigeradora	Coste Total Congelados	Coste Total Mixta
R152a	386 €	609 €	1.310 €
R1234yf	3.885 €	4.001 €	11.582 €
R454C	1.343 €	2.428 €	3.876 €

El empleo del refrigerante R-152a, para los tres supuestos, ofrece un menor coste de inversión, debido en parte a que necesita menos caudal de refrigerante para la misma función que los demás, además del propio precio de este refrigerante, tal y como se observa en la Tabla 17 Resumen costes Inversión.

El R-1234yf presenta una inversión inicial mucho mayor que los otros dos debido al alto precio de este refrigerante. Dicho coste sí que va a ser relevante a la hora de tener que elegir un circuito con este refrigerante o utilizar otras alternativas.

3.7 Costes Inversión Componentes Planta

A continuación se incluye el coste de inversión aproximado de los distintos componentes que forman la planta frigorífica. Dichos precios han sido obtenidos de albaranes y catálogos del buque.

Al tener los tres refrigerantes unas características similares, dichos componentes son semejantes, lo que permite obtener así un coste total de la planta objetivo para cada uno de ellos.

Este cálculo se ha realizado para los refrigerantes con mejor COP para los tres supuestos estudiados. El R-152a, para la planta de refrigeración, con un COP 3,65. El R-1234yf para la planta de congelados, COP 1,23. Para la planta mixta con ambas cámaras con el R-1234yf, con un COP 1,24. En cada

supuesto se ha sumado el coste de tuberías y refrigerante previamente calculado, ofreciendo así un coste total de la planta para cada caso.

Tabla 18 Coste Inversión Planta Refrigerados R-152a. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Planta Cámara Refrigerados 2,2 kW R152a COP 3,65					
Componente	Marca	Modelo	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Compresor	GELPHA	15VR73.4X	2	6.629 €	13.258 €
Motor Eléctrico	Motovario	TH-TBH	2	407 €	814 €
Condensador	BITZER	Water-cooled K	2	3.800 €	7.600 €
Filtro Desecante	Danfoss	DCR-487	2	133 €	266 €
Evaporador	HI AIR Korea	HFS-1	1	2.500 €	2.500 €
Presostato Control	HIAIR	DPX300	2	500 €	1.000 €
Control Panel	HI AIR KOREA	AE-CC-01	1	1.800 €	1.800 €
Válvula Termostática	Danfoss	TGE10-8 067N8001	1	285 €	285 €
Coste Total Componentes					27.523 €
Coste Tuberías y Refrigerante					386 €
Coste total Planta					27.909 €

Tabla 19 Coste Inversión Planta Congelados R-1234yf. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Planta Cámara Congelados 5,4 kW R1234yf COP 1,23					
Componente	Marca	Modelo	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Compresor	Bitzer	4NE(S)-14(Y)	2	2.563 €	5.126 €
Motor Eléctrico	Motovario	TH-TBH	2	407 €	814 €
Condensador	Bitzer	Water-cooled K	2	3.800 €	7.600 €
Filtro Desecante	Danfoss	DCR-487	2	133 €	266 €
Evaporador	HI AIR Korea	HFS-6 SS	1	3.200 €	3.200 €
Presostato Control	HIAIR	DPX300	2	500 €	1.000 €
Control Panel	HI AIR KOREA	AE-CC-01	1	1.800 €	1.800 €
Válvula Termostática	Danfoss	TGE10-8 067N8001	1	285 €	285 €
Coste Total Componentes					20.091 €
Coste Tuberías y Refrigerante					4.001 €
Coste total Planta					24.092 €

Tabla 20 Coste Inversión Planta Mixta R-1234yf. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Planta Cámara Mixta Congelados 5,4 kW y Refrigeradora 2,2 kW R1234yf COP 1,24					
Componente	Marca	Modelo	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Compresor	Bitzer	4NE(S)-20(Y)	2	2.610 €	5.221 €
Motor Eléctrico	Motovario	TH-TBH	2	407 €	814 €
Condensador	Bitzer	Water-cooled K	2	6.100 €	12.200 €
Filtro Desecante	Danfoss	DCR-487	2	133 €	266 €
Evaporador Refrig.	HI AIR Korea	HFS-1	1	2.500 €	2.500 €
Evaporador Cong.	HI AIR Korea	HFS-6 SS	1	3.200 €	3.200 €
Presostato Control	HIAIR	DPX300	2	500 €	1.000 €
Control Panel	HI AIR KOREA	AE-CC-01	2	1.800 €	3.600 €
Válvula Termostática	Danfoss	TGE10-8 067N8001	2	285 €	570 €
Coste Total Componentes					29.371 €
Coste Tuberías y Refrigerante					11.582 €
Coste total Planta					40.953 €

3.8 Consumos Eléctricos Cámaras

En las tablas siguientes se ha comparado el coste de inversión total de instalación en cada sistema supuesto más el consumo eléctrico, con los refrigerantes que mejor COP sea obtenido en la simulación con el software FRIO.

Se ha calculado el coste total de la inversión más el consumo eléctrico, teniendo en cuenta una inflación anual en el precio de la electricidad nula, del 4%; 5%; 10%; 15% y 20%. Dichos costes se han calculado en 4 tablas distintas, diferenciándose en periodos de 5, 10, 15 y 20 años respectivamente, pudiendo así tener un enfoque del coste global en el tiempo de la instalación.

El cálculo detallado de cada tabla se encuentra adjunto en el Anexo II del proyecto.

Costes Inflación periodo 5 años.

Tabla 21 Costes Inflación 5 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación 5 Años		Cámara Refrig. R152a + Cámara Congl. R1234yf	Cámaras Mixta R-1234yf
C.I. + Sin Inflación		68.349 €	60.903 €
C.I. + Inflación 4%		70.418 €	63.429 €
C.I. + Inflación 5%		70.971 €	64.103 €
C.I. + Inflación 10%		73.958 €	67.749 €
C.I. + Inflación 15%		77.352 €	71.891 €
C.I. + Inflación 20%		81.198 €	76.584 €

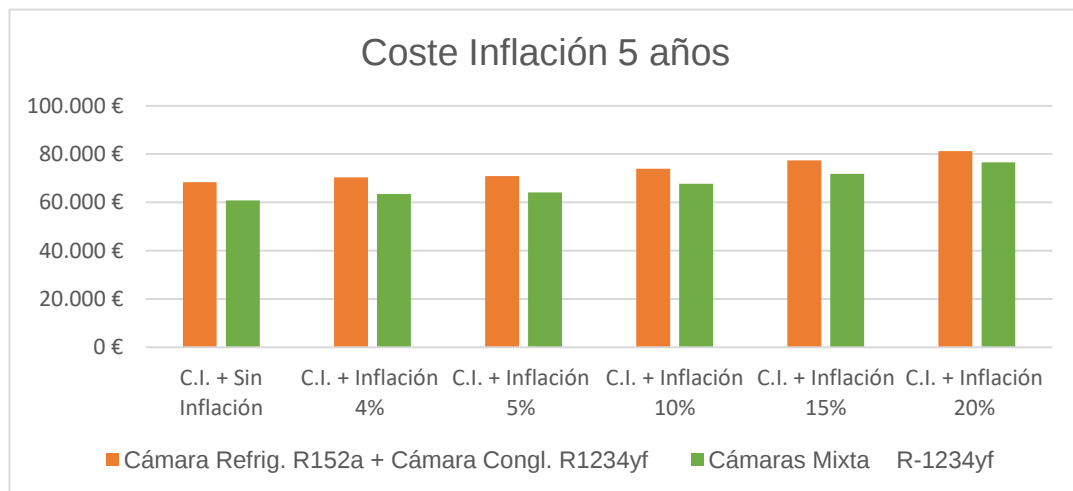


Figura 32 Gráfica costes inflación 5 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación periodo 10 años

Tabla 22 Costes Inflación 10 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación 10 Años		Cámara Refrig. R152a + Cámara Congl. R1234yf	Cámaras Mixta R-1234yf
C.I. + Sin Inflación		84.696 €	80.854 €
C.I. + Inflación 4%		92.825 €	90.775 €
C.I. + Inflación 5%		94.328 €	92.468 €
C.I. + Inflación 10%		102.628 €	101.623 €
C.I. + Inflación 15%		112.401 €	112.008 €
C.I. + Inflación 20%		123.920 €	123.732 €

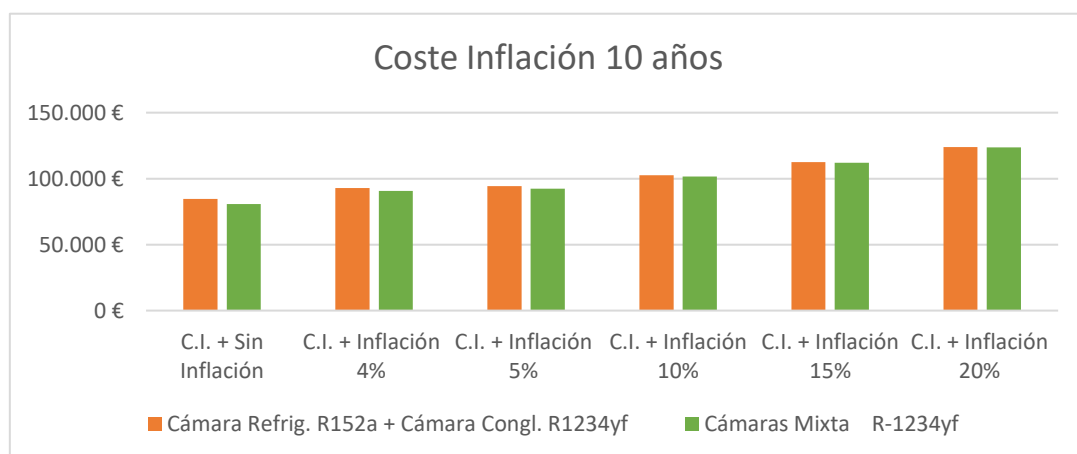


Figura 33 Gráfica costes inflación 10 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación periodo 15 años

Tabla 23 Costes Inflación 15 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación 15 Años		Cámara Refrig. R152a + Cámara Congl. R1234yf	Cámaras Mixta R-1234yf
C.I. + Sin Inflación		101.043 €	100.805 €
C.I. + Inflación 4%		120.086 €	124.046 €
C.I. + Inflación 5%		122.814 €	127.037 €
C.I. + Inflación 10%		138.018 €	143.262 €
C.I. + Inflación 15%		156.207 €	161.749 €
C.I. + Inflación 20%		177.989 €	182.705 €

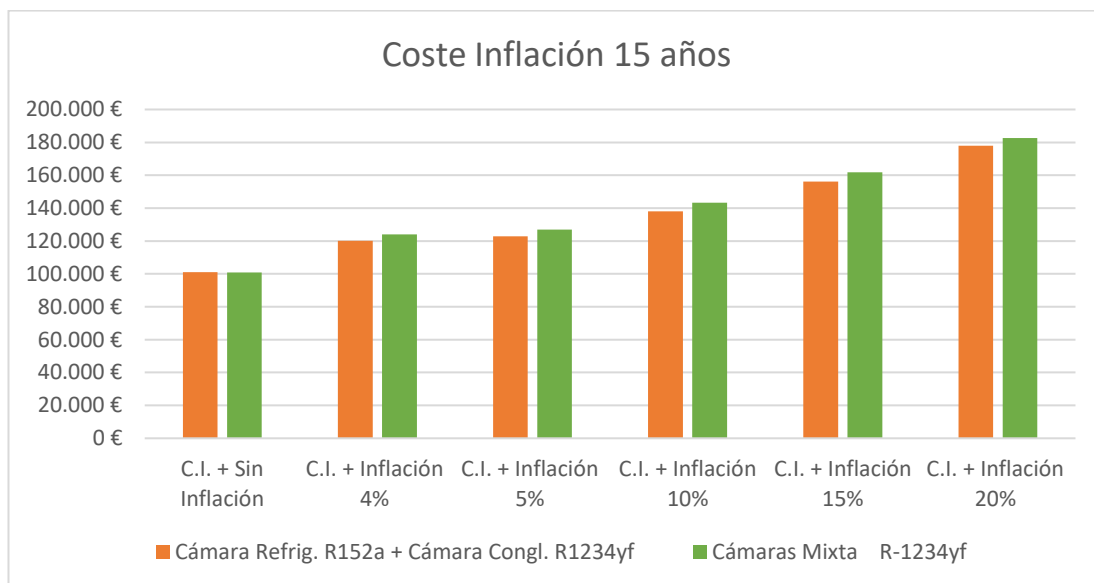


Figura 34 Gráfica costes inflación 15 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación Periodo 20 años

Tabla 24 Costes inflación 20 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Costes Inflación 20 Años		Cámara Refrig. R152a + Cámara Congl. R1234yf	Cámaras Mixta R-1234yf
C.I. + Sin Inflación		117.391 €	120.756 €
C.I. + Inflación 4%		153.254 €	164.525 €
C.I. + Inflación 5%		157.479 €	169.095 €
C.I. + Inflación 10%		181.144 €	193.922 €
C.I. + Inflación 15%		209.689 €	222.268 €
C.I. + Inflación 20%		244.168 €	254.455 €

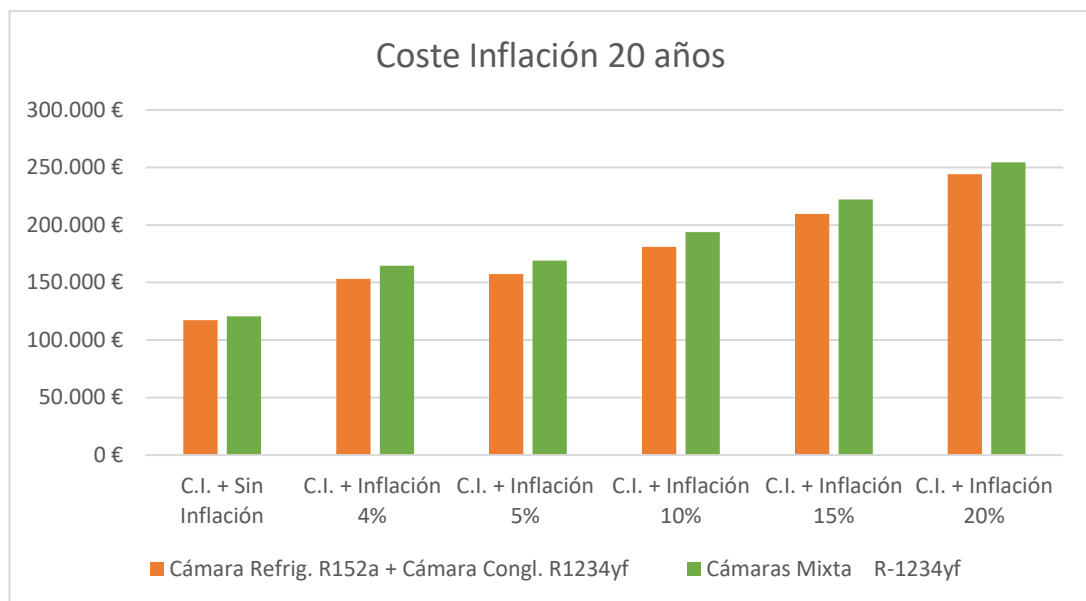


Figura 35 Gráfica costes inflación 20 años. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

3.9 Comparación Costes

A la vista de los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se observa que para plantas con una vida útil relativamente corta, es mejor realizar un sistema con R-1234yf mixto. Si el coste de la electricidad no sufriera ninguna inflación en su precio a lo largo del tiempo, la elección del sistema mixto con R-1234yf también sería una buena opción para plantas con una vida útil larga, ya que hasta los 15 años su coste es menor, y a los 20 años presenta un ligero aumento respecto al sistema de ambas cámaras independientes, pero sin ser demasiado elevado.

Teniendo en cuenta las distintas inflaciones supuestas, hasta los 10 años de vida útil, el sistema con R-1234yf mixto es la mejor opción, tal i como se aprecia en la Figura 33, sin embargo se va igualando según aumenta la inflación del precio de la electricidad. Es a partir de los 10 años de vida, dónde el sistema compuesto por dos plantas independientes para la cámara de congelados y refrigerados presenta un menor coste frente al sistema mixto con R-1234yf.

Hay que tener en cuenta que, en estos costes previamente calculados no están incluidos los costes de mantenimiento de los distintos equipos, así como diferentes averías que pudiera sufrir la planta. El sistema combinado segregado, tiene 4 compresores, frente a los 2 del sistema mixto con R-1234yf. Estos costes de mantenimiento también afectarán al coste de la instalación, siendo prácticamente el doble en el sistema segregado frente al mixto.

Sin embargo, el sistema combinado segregado, al presentar dos sistemas independientes, su disponibilidad es el doble del sistema mixto, con lo que tendremos una planta mucho más fiable desde el punto de vista operacional.

3.10 Variación de los parámetros en función de la T^a de condensación

Este cálculo se ha realizado para un ciclo frigorífico compuesto por las dos cámaras, y mediante el programa FRIO. En la Tabla 25 se muestran los datos para cada uno de los tres refrigerantes objetivo. Es de gran importancia conocer el comportamiento que representa el cambio del agua de condensación en el rendimiento de la planta en un buque, ya que debido a las distintas temperaturas de aguas de mar en la navegación de un buque, esta afecta al rendimiento de la planta.

En la Figura 36 se muestra para los tres refrigerantes considerados el cambio de rendimiento COP que sucede en los ciclos frigoríficos según varía la temperatura de condensación.

Tabla 25: Relación T^o condensación, COP y potencia eléctrica de los refrigerantes objeto de estudio. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

R-1234yf			R-454C			R-152A		
T^a condensación °C	COP	Pot Elec. kW	T^a condensación °C	COP	Pot Elec. kW	T^a condensación °C	COP	Pot Elec. kW
25	2,50	3,04	25	1,98	3,84	25	2,51	3,02
27	2,34	3,25	27	1,82	4,17	27	2,32	3,28
29	2,18	3,49	29	1,66	4,57	29	2,12	3,58
31	2,01	3,78	31	1,50	5,06	31	1,91	3,97
33	1,84	4,13	33	1,34	5,69	33	1,70	4,48
35	1,67	4,55	35	1,17	6,51	35	1,47	5,17
37	1,50	5,07	37	0,99	7,64	37	1,23	6,16
39	1,32	5,76	39	0,82	9,28	39	0,99	7,71

Analizando la Figura 36, se observa que, para todos los refrigerantes, a menor temperatura de condensación, mejor rendimiento, y viceversa. Esto implica que la eficiencia de una máquina frigorífica disminuye cuando la máquina trabaja en ambientes muy cálidos, en un buque, cuando navega en aguas con temperaturas muy elevadas. Además, cuando se requieren temperaturas más bajas de refrigeración, aumenta el tiempo de funcionamiento del compresor y por tanto el consumo de la planta.

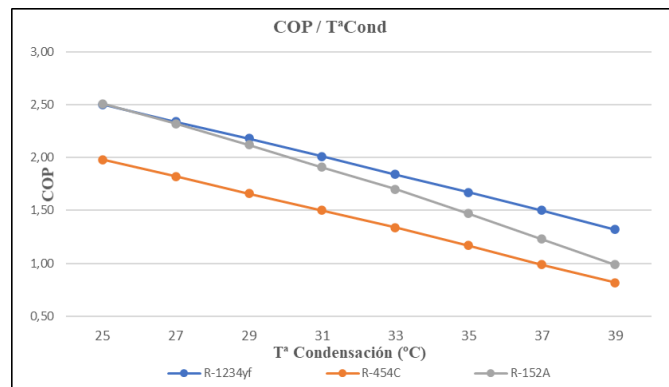


Figura 36: Gráfica comparativa T^a condensación-COP en función del refrigerante empleado.

Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

En base a los resultados que se observan en la Figura 36 temperaturas de condensación por debajo de 25°C es el R-152a el que tiene mejor rendimiento, pero con temperaturas superiores es el R-1234yf el que presenta mejor eficacia; con temperaturas inferiores a 40°C es el R-454C el que presenta peores prestaciones.

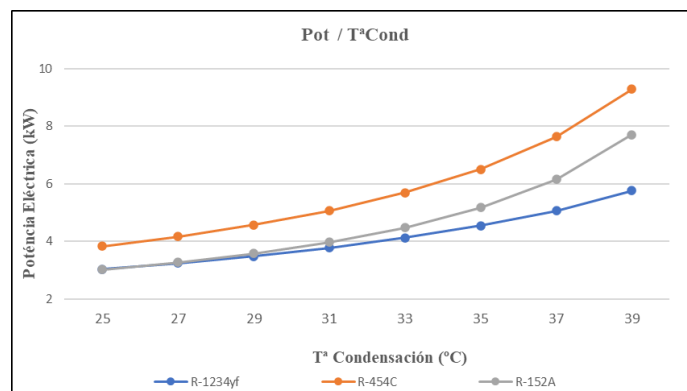


Figura 37: Gráfica comparativa potencia eléctrica del compresor con cada refrigerante empleado. Fuente: Elaboración Propia – Tabla Excel.

Como se representa en la Figura 37, la potencia eléctrica requerida por el compresor aumenta exponencialmente según se incrementa la temperatura de condensación para todos los refrigerantes. Hecho que implicará también un aumento del consumo anual total de las plantas, y el consecuente aumento del coste eléctrico.

4. CONCLUSIONES

Al concluir este proyecto de investigación experimental aplicada, en el cual se busca solución a la problemática medioambiental que supone el uso de refrigerantes que no tengan un impacto sobre el medio ambiente para las cámaras de un buque, se pueden sacar las siguientes conclusiones.

Como primer punto, no existe en la actualidad un refrigerante para uso comercial, capaz de tener un bajo, o muy bajo impacto ambiental, y que a la vez presente unas características de seguridad altas. Todos los refrigerantes que actualmente se encuentran en el mercado, cuyo GWP es menor a 150, y con lo cual cumplen con el Reglamento Europeo nº 517/2014 a partir del año 2030, presentan unos índices de inflamabilidad mayores a los refrigerantes de uso actual en los buques en los sistemas de cámaras frigoríficas, como son el R-134a y R-407C presentados en este proyecto. Es por esto que la industria naval y de refrigeración debe de seguir investigando sobre el tema, intentando encontrar refrigerantes que cumplan con la normativa ambiental y en materia de seguridad.

Cabe señalar la importancia del condensador en el ciclo frigorífico y su influencia en este. Tras los resultados obtenidos en el apartado “*Variación de los parámetros en función de la T^a de condensación*”, se puede apreciar la influencia que tiene el agua de condensación en el ciclo, obteniendo siempre unos mejores rendimientos y consecuente menor consumo eléctrico para todos los refrigerantes cuanto más baja es la temperatura del agua. Además del comportamiento de cada refrigerante al variar la temperatura del agua, como se aprecia en la gráfica de la Figura 36.

A la vista de los resultados obtenidos, el R-152a presenta un COP similar al R-1234yf en el ciclo compuesto por ambas cámaras para temperaturas de condensación de 25 °C, por lo tanto y teniendo en cuenta los costes de inversión de cada uno, el R-152a es la mejor elección en este punto de trabajo. Sin embargo, al aumentar la temperatura del agua de condensación dichos

COP se separan, siendo el R-1234yf mayor para temperaturas de condensación altas.

Por tanto, la elección de un refrigerante u otro, en el caso de un buque, deberá determinarse por el clima de la zona de trabajo y la temperatura media del mar.

Tras los resultados obtenidos en el estudio, la adopción de un refrigerante u otro dependerá en gran medida de la aplicación a la que estén destinados, del uso y manejo, y del coste de ellos. En el caso concreto estudiado, para las cámaras de conservación de un buque LNG de navegación por todo el globo, cuya temperatura del agua de condensación de diseño son 39,8 °C. Como alternativa al R-407C, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Para la cámara de conservación “Refrigerados”, en caso de querer utilizar un ciclo frigorífico exclusivo para ella, el refrigerante R-152a, es la que obtiene unos mejores resultados, aun presentando un COP menor a los demás. Además, tiene unos costes de inversión mucho menores a los otros dos, y un consumo energético mucho menor a los 5 años de uso.
- Para la cámara de “Congelados”, en caso de querer utilizar un ciclo frigorífico exclusivo para ella, la elección del refrigerante será determinada por el armador. La elección del R-152a, es la mejor elección a corto plazo. Obteniendo un COP medio entre los demás, los costes de inversión y de refrigerante son mucho menores al R-1234yf. Sin embargo, el R-1234yf tiene un COP bastante mayor, con lo que su consumo eléctrico a largo plazo se ve compensado con el gasto inicial. Para una instalación para un uso superior a 10 años, el R-1234yf es la mejor elección.

- Para el ciclo frigorífico para ambas cámaras, simulando el sistema actual de cámaras de conservación y congelados de un buque, el cual es prácticamente siempre así, debido principalmente a los altos costes en tuberías, equipos y disponer de diferentes refrigerantes abordo. Tras los resultados obtenidos en el estudio, el R-1234yf, es que presenta unos mejores resultados, a corto y largo plazo. Con un COP de 1,24 mucho mayor al R-152a de 0,84. Dicho rendimiento se ve reflejado en el consumo eléctrico, el cual tras 1 año de servicio el R-152a presenta menos, pero tras 5 años, este es superior al R-1234yf.

Aunque la elección de un refrigerante u otro puede estar primeramente influido por su rendimiento y consumo eléctrico, puede que no siempre sea por estas razones. En buques, cuyo coste de inversión (construcción) y mantenimiento se realiza por parte del armador, los consumos eléctricos pueden incurrir en el fletador. Por lo tanto, poniendo como base este escenario, el armador siempre buscará que dichos costes sean lo menor posibles sin importarle el consumo, entonces tras el estudio realizado, para los tres sistemas estudiados, el R-152a es la mejor elección.

Sin embargo, para el fletador, el refrigerante que tiene mayor COP, es el más beneficioso para él en todas las circunstancias. Aquí es donde el R-454C presenta mejores condiciones en la cámara de “Refrigerados”, y el R-1234yf para los otros dos supuestos.

Otra razón que influye en la elección de un refrigerante u otro, es por el caudal de refrigerante necesario para la potencia frigorífica que se necesita. A más caudal, mayores tuberías y compresor, y por lo tanto mayores costes de construcción, además, de restricciones en espacio que se pueden presentar. A vista de los resultados obtenidos el R-454C necesita menos volumen, y por lo tanto menores tuberías y menor espacio total de la instalación en los tres supuestos estudiados.

Por tanto, y tras los resultados obtenidos y las conclusiones sacadas previamente, se puede decir que la elección de un refrigerante u otro se verá condicionada por muchas razones, y no solamente por el rendimiento COP de la planta, como puede ser pensado siempre como única razón.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 BIBLIOGRAFIA

Alders, C. A. (1987). *Marine refrigeration manual*. Rotterdam: RMCA Rotterdam Marine Chartering Agents.

Alders, C. A. (1987). *Marine refrigeration manual*. RMCA Rotterdam Marine Chartering Agents.

Climas Monterrey. (s.f.). Obtenido de <https://www.climasmonterrey.com/historia-de-los-refrigerantes>

El arcón de la historia argentina. (15 de 12 de 2015). Obtenido de <https://elarcondelahistoria.com/le-frigorifique-2381876/>

EUROPEA, E. P. (2014). REGLAMENTO (UE) N o 517/2014 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Diario Oficial de la Unión Europea.

Friogas, H. y. (2009). *Manual del Frigorista*. Pecomark.

IQR Ingeniería Química. (15 de diciembre de 2020). Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/que-es-un-azeotro-o-mezcla-azeotropica.html>

Navarro, J. (2003). *Fuidos Refrigerantes. Tablas y diagramas*. AMV Ediciones.

Rodríguez Rodríguez, E. (2005). *Los refrigerantes en las instalaciones frigoríficas*. Thomson-Paraninfo.

Rodríguez, E. R. (2005). *Los Refrigerantes en las Instalaciones Frigoríficas*. Madrid (España): Thomson Editores Spain.

Saydaqui, S. (2008). *Prácticas de las Máquinas frigoríficas*. Marcombo.

Wikipedia. (5 de 04 de 2021). *Refrigerante*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante>

Wikipedia, L. e. (16 de marzo de 2022). *Isomería*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Isomer%C3%ADa>

5.2 NORMATIVA APLICABLE

- **Reglamento Europeo N° 517/2014**, para la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global, la Comisión Europea ha adoptado una hoja de ruta para reducir las emisiones globales para 2050.
- **Real Decreto 552/2019**, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- **Real Decreto 795/2010**, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación profesional.
- **Reglamento Europeo CE 1005/2009** sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- **Real Decreto 709/2015**, donde se indica los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.

6. ANEXOS

ANEXO I: LISTADO REFRIGERANTES SOFTWARE FRIO

Página 1 Página 2 Página 3 Página 4 Página 5 Página 6									
Nombre	Su/No Riesgo	GWP	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-11	Si A1	4750	1	Trichlorofluoromethane (CCl3F)		197.96	44.08	23.71	0.00
R-113	Si A1	6130	1	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane (CCl2FCF2)		214.06	33.92	47.58	0.00
R-115	Si A1	7370	0.44	Chloropentafluoroethane (C2CF5)		79.95	31.29	-39.22	0.00
R-116	Si A1	12200	0	Hexafluoroethane (C2F6)		19.88	30.48	-78.09	0.00
R-1150 (Etieno)	Si A3	3.7	0	Etileno (CH2=CH2)		9.20	50.42	-103.77	0.00
R-12	Si A1	10890	1	Dichlorodifluoromethane (CClF2)		111.97	41.36	-29.75	0.00
R-123	Si B1	77	0.02	2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (CHCl2CF2)		163.68	36.62	27.82	0.00
R-1233d(E)	Si A2L	1	0	trans-1-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene (C3H2ClF3)		166.45	36.24	18.26	0.00
R-1234yf	Si A2L	4	0	2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (C3F4H)		94.70	33.82	-29.49	0.00
R-1234ze(E)	Si A2L	6	0	trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (C3F4H2)		109.37	36.36	-18.97	0.00
R-124	Si A1	609	0.022	1-chloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane (C2HClF4)		122.27	36.24	-11.96	0.00
R-125	Si A1	3500	0	pentafluoroethane (C2HF5)		66.02	36.18	-48.09	0.00
R-1270 (Propileno)	Si A3	1.8	0	Propylene (CH3CH=CH2)		91.06	45.55	-47.62	0.00
R-13	Si A1	14420	1	Chlorotrifluoromethane (CClF3)		28.85	38.79	-81.48	0.00
R-134a	Si A1	1430	0	1,1,1,2-tetrafluoroethane (CH2FCF3)		101.06	40.59	-26.07	0.00
R-14	Si A1	7390	0	Tetrafluoromethane (CF4)		-45.64	37.50	-128.05	0.00
R-141b	Si A2	725	0.12	1,1-dichloro-1-fluoroethane (C2H3Cl2F)		204.35	42.12	32.05	0.00
R-142b	Si A2	2310	0.07	1-chloro-1,1-difluoroethane (C2H3ClF2)		137.11	40.55	-9.12	0.00
R-143a	Si A2L	4470	0	1,1,1-trifluoroethane (C2H2F3)		72.71	37.61	-47.24	0.00
R-152a	Si A2	124	0	1,1-difluoroethane (C2H5F2)		113.26	45.17	-24.02	0.00
R-161	Si *	12	0	Fluoroethane (C2HF6)		102.15	50.91	-37.58	0.00
R-170 (Etano)	Si A3	5.5	0	Ethane (C2H6)		32.17	48.72	-88.58	0.00
RE-170 (Dimethylether)	Si A3	5.5	0	dimethylether (CH3)2O		127.23	53.37	-24.78	0.00
R-21	Si B1	151	0.04	Dichlorofluoromethane (CHCl2F)		178.33	51.81	8.86	0.00
R-218	Si A1	8830	0	Octafluoropropane (C3F8)		71.87	26.40	-36.79	0.00
Página 1 Página 2 Página 3 Página 4 Página 5 Página 6									
Nombre	Su/No Riesgo	GWP	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-22	Si A1	1810	0.055	Chlorodifluoromethane (CHClF2)		96.15	43.90	-40.81	0.00
R-227ea	Si A1	3220	0	1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane (C3HF7)		101.75	29.25	-16.34	0.00
R-23	Si A1	14760	0	Trifluoromethane (CHF3)		26.14	48.32	-82.02	0.00
R-236EA	Si *	1370	0	1,1,1,2,3,3,3-hexafluoropropane (C3HF6)		139.29	35.02	6.20	0.00
R-236FA	Si A1	9810	0	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane (C3HF6)		124.92	32.00	-1.44	0.00
R-245ca	Si *	693	0	1,1,2,2,3-pentafluoropropane (C3HF5)		174.42	39.25	25.13	0.00
R-245fa	Si B1	1030	0	1,1,1,3,3-pentafluoropropane (C3HF5)		154.01	36.51	15.14	0.00
R-290 (Propano)	Si A3	3.3	0	Propane (CH3CH2CH3)		96.74	42.51	-42.11	0.00
R-318	Si A2L	675	0	Octafluorocyclobutane (cyclo-C4F8)		115.23	27.78	-5.98	0.00
R-32	Si A2L	675	0	Difluoromethane (CH2F2)		78.11	57.82	-51.65	0.00
R-365MFC	Si A2	794	0	1,1,1,3,3-pentafluorobutane (C4HF5)		186.85	32.66	40.19	0.00
R-401A	Si A1	1182	0.03398	R-22/R-152a/R-124 (53/13/34)	MP-39	107.34	46.08	-32.92	5.74
R-401B	Si A1	1288	0.03668	R-22/R-152a/R-124 (61/11/28)	MP-66	105.57	46.96	-34.55	5.57
R-401C	Si A1	933	0.02794	R-22/R-152a/R-124 (33/15/52)	MP-52	111.73	43.73	-28.30	5.55
R-402A	Si A1	2788	0.019	R-125/R-290 (Propano)/R-22 (60/2/38)	HP-80	75.87	42.24	-48.93	1.93
R-402B	Si A1	2416	0.03	R-125/R-290 (Propano)/R-22 (38/2/60)	HP-81	82.94	45.20	-47.04	2.21
R-403A	Si A1	3124	0.0375	R-290 (Propano)/R-22/R-218 (5/75/20)	ISCEON 69-S	86.97	47.05	-47.75	3.46
R-403B	Si A1	4457	0.028	R-290 (Propano)/R-22/R-218 (5/56/39)	ISCEON 69-L	79.64	47.27	-49.18	2.36
R-404A	Si A1	3922	0	R-125/R-134a/R-143a (44/4/52)	HP-62, FX-70	71.97	37.23	-46.22	0.75
R-405A	Si A1	5328	0.02635	R-22/R-152a/R-142b/R-318 (45/7/5/42.5)	GREENCOOL G2015	106.14	42.84	-32.62	8.41
R-406A	Si A2	1943	0.0562	R-22/R-600a (Isobutano)/R-142b (55/4/41)	Autoprost-V3	116.85	48.57	-32.52	9.24
R-407A	Si A1	2107	0	R-32/R-125/R-134a (20/40/40)	Klea 60	81.79	44.68	-45.01	6.42
R-407B	Si A1	2804	0	R-32/R-125/R-134a (10/70/20)	Klea 61	74.26	40.66	-46.53	4.29
R-407C	Si A1	1774	0	R-32/R-125/R-134a (23/25/52)	Klea 66, Suva 9000	85.77	46.02	-43.63	7.00
R-407D	Si A1	1627	0	R-32/R-125/R-134a (15/15/70)		91.24	44.54	-39.24	6.63
Página 1 Página 2 Página 3 Página 4 Página 5 Página 6									
Nombre	Su/No Riesgo	GWP	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-407E	Si A1	1552	0	R-32/R-125/R-134a (25/15/60)		88.32	46.87	-42.66	7.17
R-407G	Si *	-	0	R-32/R-125/R-134a (2.5/2.5/95)		99.47	41.46	-29.08	1.93
R-408A	Si A1	3152	0.0235	R-125/R-143a/R-22 (7/46/47)	FX-10	83.14	42.94	-44.58	0.46
R-409A	Si A1	1585	0.046	R-22/R-124/R-142b (60/25/15)	FX-56	109.26	46.99	-34.45	8.49
R-409B	Si A1	1560	0.045	R-22/R-124/R-142b (65/25/10)	FX-57	106.92	47.34	-35.61	7.76
R-41	Si *	92	0	Fluoromethane (CHF3)		44.13	58.97	-78.31	0.00
R-410A	Si A1	2088	0	R-32/R-125 (50/50)	AZ-20, Suva 9100	70.46	48.14	-51.44	0.08
R-410B	Si A1	2229	0	R-32/R-125 (45/55)		69.71	47.06	-51.33	0.11
R-411A	Si A2	1597	0.04375	R-1270 (Propileno)/R-22/R-152a (1.5/87.5/11)	GREENCOOL G2018a	99.14	49.54	-39.52	2.92
R-411B	Si A2	1705	0.047	R-1270 (Propileno)/R-22/R-152a (3/94/3)	GREENCOOL G2018b	95.99	49.49	-41.56	1.55
R-412A	Si A2	2286	0.0525	R-22/R-218/R-142b (70/5/25)	ARCTON TP5R	107.17	49.04	-38.02	9.33
R-413A	Si A2	2053	0	R-218/R-134a/R-600a (Isobutano) (9/88/3)	ISCEON MD49	96.58	40.22	-30.70	2.85
R-414A	Si A1	1478	0.04332	R-22/R-124/R-600a (Isobutano)/R-142b (51/28.5/4/16.5)	GHS-V4	112.68	46.79	-32.96	8.56
R-414B	Si A1	1362	0.04023	R-22/R-124/R-600a (Isobutano)/R-142b (50/39/1.5/9.5)	Hot Shot	110.99	45.92	-32.87	8.53
R-415A	Si A2	1507	0.041	R-22/R-152a (82/18)		101.97	49.59	-38.07	3.04
R-415B	Si A2	546	0.025	R-22/R-152a (25/75)	THR01b	111.37	46.54	-26.93	1.08
R-416A	Si A1	1084	0.0869	R-134a/R-124/R-600 (Butano) (59/39.5/1.5)	FR-12	107.04	39.72	-24.00	1.91
R-417A	Si A1	2346	0	R-125/R-134a/R-600 (Butano) (46.6/50/3.4)	NU-22, ISCEON M059	87.27	40.45	-39.12	5.00
R-417B	Si A1	3017	0	R-125/R-134a/R-600 (Butano) (79/18.3/2.7)		75.22	38.32	-44.94	3.41
R-417C	Si A1	1700	0	R-125/R-134a/R-600 (Butano) (19.5/78.8/1.7)		94.58	40.07	-32.69	3.95
R-418A	Si A2	1741	0.048	R-290 (Propano)/R-22/R-152a (1.5/96/2.5)	THR03b	96.20	49.81	-41.66	1.69
R-419A	Si A2	2967	0	R-125/R-134a/RE-170 (Dimethylether) (77/19/4)	FX-90	79.32	37.11	-43.80	3.85
R-419B	Si A2	2900	0	R-125/R-134a/RE-170 (Dimethylether) (48.5/48/3.5)		91.12	41.15	-38.58	4.78
R-420A	Si A1	1548	0.008	R-134a/R-142b (88/12)		104.76	40.86	-24.95	0.77
ISO 171A	CL	A1	7631	CL	CL	97.01	39.91	-40.69	CL

Página 1 | Página 2 | Página 3 | **Página 4** | Página 5 | Página 6 |

Nombre	Si/No Riesgo	GW/P	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-421B	Si	A1	3190	0	R-125/R-134a (85/15)	72.49	37.55	-45.62	3.18
R-422A	Si	A1	3143	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano) (85.1/11.5/3.4)	71.83	37.54	-46.50	2.47
R-422B	Si	A1	2526	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano) (55/42/3)	83.40	39.72	-41.31	5.44
R-422C	Si	A1	3085	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano) (82/15/3)	73.18	37.84	-45.93	3.08
R-422D	Si	A1	2729	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano) (65.1/31.5/3.4)	79.75	39.18	-43.20	4.87
R-422E	Si	A1	2500	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano) (58/39.3/2.7)	81.09	38.49	-41.77	5.36
R-423A	Si	A1	2280	0	R-134a/R-227ea (52.5/47.5)	99.10	35.61	-24.18	0.67
R-424A	Si	A1	2440	0	R-125/R-134a/R-600a (Isobutano)/R-600 (Butano)/R-601a (Isopentano) (50.5/47.0/9.1/0.6/1.9)	85.84	39.98	-39.72	5.93
R-425A	Si	A1	1505	0	R-32/R-134a/R-227ea (18.5/69.5/12)	93.86	44.39	-38.15	6.83
R-426A	Si	A1	1508	0	R-125/R-134a/R-600 (Butano)/R-601a (Isopentano) (5.1/93.1/3.0/6)	99.78	40.84	-28.45	1.75
R-427A	Si	A1	2138	0	R-32/R-125/R-143a/R-134a (15/25/10/50)	85.12	43.71	-42.96	6.76
R-428A	Si	A1	3607	0	R-125/R-143a/R-290 (Propano)/R-600a (Isobutano) (77.5/20/0.6/1.9)	68.91	37.17	-48.35	0.84
R-429A	Si	A3	13.9	0	RE-170 (Dimethylether)/R-152a/R-600a (Isobutano) (60/10/30)	127.05	51.73	-25.84	0.48
R-430A	Si	A3	95	0	R-152a/R-600a (Isobutano) (76/24)	107.01	40.88	-27.63	0.22
R-431A	Si	A3	38.3	0	R-290 (Propano)/R-152a (71/29)	100.28	49.05	-43.22	0.01
R-432A	Si	A3	16.4	0	R-1270 (Propileno)/RE-170 (Dimethylether) (80/20)	97.77	50.28	-46.36	1.23
R-433A	Si	A3	2.85	0	R-1270 (Propileno)/R-290 (Propano) (30/70)	94.23	43.43	-44.53	0.38
R-433B	Si	A3	3.23	0	R-1270 (Propileno)/R-290 (Propano) (5/95)	96.34	42.68	-42.59	0.12
R-433C	Si	A3	2.93	0	R-1270 (Propileno)/R-290 (Propano) (25/75)	94.78	43.31	-44.19	0.37
R-434A	Si	A1	3245	0	R-125/R-143a/R-134a/R-600a (Isobutano) (63.2/18/16/2/8)	75.46	38.39	-45.03	2.78
R-435A	Si	A3	25.6	0	RE-170 (Dimethylether)/R-152a (80/20)	125.09	53.85	-26.01	0.21
R-436A	Si	A3	3.17	0	R-290 (Propano)/R-600a (Isobutano) (56/44)	115.90	42.74	-34.04	8.46
R-436B	Si	A3	3.16	0	R-290 (Propano)/R-600a (Isobutano) (52/48)	117.44	42.52	-33.03	8.57
R-437A	Si	A1	1805	0	R-125/R-134a/R-600 (Butano)/R-601 (Pentano) (19.5/78.5/1.4/0.6)	96.26	40.86	-32.39	4.34
R-438A	Si	A1	2265	0	R-32/R-125/R-134a/R-600 (Butano)/R-601a (Isopentano) (8.5/45/44.2/1.7/0.6)	85.27	43.05	-42.28	6.61

Página 1 | Página 2 | Página 3 | **Página 4** | Página 5 | Página 6 |

Nombre	Si/No Riesgo	GW/P	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-439A	Si	A2	1983	0	R-32/R-125/R-600a (Isobutano) (50/47/3)	70.34	47.82	-52.02	0.28
R-440A	Si	A2	144	0	R-290 (Propano)/R-134a/R-152a (10.6/1.6/97.8)	112.66	45.15	-25.42	1.23
R-441A	Si	A3	3.6	0	R-170 (Etano)/R-290 (Propano)/R-600a (Isobutano)/R-600 (Butano) (3.1/54.8/6/36.1)	117.26	44.04	-41.82	21.45
R-442A	Si	A1	1888	0	R-32/R-125/R-134a/R-152a/R-227ea (31/31/30/3/5)	82.14	47.39	-46.45	6.59
R-443A	Si	A3	4	0	R-1270 (Propileno)/R-290 (Propano)/R-600a (Isobutano) (55/40/5)	96.01	44.85	-45.34	2.97
R-444A	Si	A2L	93	0	R-32/R-152a/R-1234ze(E) (12/5/83)	101.22	42.36	-36.87	12.08
R-444B	Si	*	*	0	R-32/R-152a/R-1234ze(E) (41.5/10/48.5)	95.66	53.84	-45.38	9.46
R-445A	Si	A2L	120	0	R-744 (Dioxido Carbono)/R-134a/R-1234ze(E) (6/9/85)	105.27	45.32	-49.36	25.81
R-446A	Si	A2L	461	0	R-32/R-1234ze(E)/R-600 (Butano) (68/29/3)	86.08	57.32	-49.45	4.72
R-447A	Si	A2L	583	0	R-32/R-125/R-1234ze(E) (68/3.5/28.5)	85.23	57.08	-49.66	4.05
R-448A	Si	A1	1387	0	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a/R-1234ze(E) (26/26/20/21/7)	82.40	45.84	-46.84	5.34
R-449A	Si	A1	1397	0	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a (24/3/24/7/25.3/25.7)	82.08	45.00	-46.59	5.14
R-449B	Si	*	*	0	R-32/R-125/R-134a/R-1234yf (25.2/24.3/27.3/23.2)	82.20	45.31	-46.56	5.27
R-449C	Si	*	*	0	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a (25.2/24.3/27.3/27.3)	82.20	45.31	-46.56	5.27
R-450A	Si	A1	605	0	R-134a/R-1234ze(E) (42/58)	101.98	37.98	-24.33	0.78
R-451A	Si	A2L	149	0	R-1234yf/R-134a (89.8/10.2)	94.36	34.43	-30.80	0.32
R-451B	Si	A2L	164	0	R-1234yf/R-134a (88.8/11.2)	94.34	34.49	-30.89	0.32
R-452A	Si	A1	2140	0	R-32/R-125/R-1234yf (11/59/30)	75.05	40.15	-48.13	2.61
R-452B	Si	A2L	698	0	R-32/R-125/R-1234yf (67/7/26)	63.27	36.20	-51.26	0.32
R-452C	Si	*	*	0	R-32/R-125/R-1234yf (12.5/61/26.5)	74.06	40.55	-48.52	2.13
R-453A	Si	*	*	0	R-32/R-125/R-134a/R-227ea/R-600 (Butano)/R-601a (Isopentano) (20/20/53.8/5/0.6/0.6)	87.96	45.27	-42.20	7.55
R-454A	Si	A2L	239	0	R-1234yf/R-32 (65/35)	81.71	46.29	-49.29	6.10
R-454B	Si	A2L	466	0	R-32/R-1234yf (68.9/31.1)	78.11	52.67	-51.17	0.43
R-454C	Si	A2L	148	0	R-32/R-1234yf (21.5/78.5)	85.67	43.19	-47.49	9.16
R-455A	Si	A2L	148	0	R-744 (Dioxido Carbono)/R-32/R-1234yf (3/21.5/75.5)	85.61	46.54	-58.74	18.81

Página 1 | Página 2 | Página 3 | **Página 4** | Página 5 | Página 6 |

Nombre	Si/No Riesgo	GW/P	ODP	Composición	Nombre Comercial	Tc(°C)	Pc(bar)	PNE(°C)	Glide
R-456A	Si	*	*	0	R-32/R-134a/R-1234ze(E) (6/45/49)	102.66	41.75	-31.82	4.96
R-457A	Si	*	*	0	R-32/R-152a/R-1234yf (18/12/70)	91.27	43.40	-44.24	7.65
R-50 (Metano)	Si	A3	25	0	Methane (CH4)	-82.59	45.99	-161.48	0.00
R-500	Si	A1	8077	0.738	R-12/R-152a (73.8/26.2)	102.09	41.68	-33.60	0.00
R-501	Si	*	*	0.3	R-22/R-12 (75/25)	95.87	47.61	-40.56	0.00
R-502	Si	A1	4657	0.24968	R-22/R-115 (48.8/51.2)	80.15	39.05	-45.34	0.00
R-503	Si	A1	14560	0.599	R-23/R-13 (40.1/59.9)	18.42	42.80	-87.76	0.00
R-504	Si	A1	4143	0.22792	R-32/R-115 (48.2/51.8)	61.08	43.24	-57.91	0.00
R-507A	Si	A1	3985	0	R-125/R-143a (50/50)	70.51	36.96	-46.74	0.00
R-508A	Si	A1	13214	0	R-23/R-116 (39/61)	10.19	36.51	-87.24	0.00
R-508B	Si	A1	13396	0	R-23/R-116 (46/54)	11.21	37.72	-87.20	0.00
R-509A	Si	*	*	0	R-22/R-218 (44/56)	68.42	35.96	-49.74	0.00
R-510A	Si	A3	1.24	0	RE-170 (Dimethylether)/R-600a (Isobutano) (98/12)	127.88	53.31	-25.08	0.00
R-511A	Si	A3	3.19	0	R-290 (Propano)/RE-170 (Dimethylether) (95/5)	96.98	42.88	-42.11	0.00
R-512A	Si	A2	210	0	R-134a/R-152a (5/95)	112.84	44.97	-23.97	0.00
R-513A	Si	A1	600	0	R-1234yf/R-134a (56/44)	94.91	36.48	-31.75	0.00
R-513B	Si	*	*	0	R-1234yf/R-134a (58.5/41.5)	94.78	36.32	-31.78	0.00
R-515A	Si	*	*	0	R-1234ze(E)/R-227ea (88/12)	108.16	35.58	-19.04	0.00
R-600 (Butano)	Si	A3	4	0	Butane (CH3CH2CH2CH3)	151.98	37.96	-0.49	0.00
R-600a (Isobutano)	Si	A3	3	0	Isobutane (CH2=C(CH3)2)	134.66	36.29	-11.75	0.00
R-601 (Pentano)	Si	A3	4	0	Pentane (CH3-CH2-CH2-CH2-CH3)	196.55	33.70	-36.06	0.00
R-601a (Isopentano)	Si	A3	3	0	Isopentane ((CH3)2CHCH2CH3)	187.20	33.78	-27.83	0.00
R-717 (Amoníaco)	Si	B2	0	0	Ammonia (NH3)	132.25	113.33	-33.33	0.00
R-744 (Dioxido Carbono)	Si	A1	1	0	Carbon dioxide (CO2)	30.98	73.77	-78.46	0.00

Atacan la capa de ozono
Gran efecto invernadero

Con restricciones a partir de 2020
Sin restricciones

Pulse sobre la casilla Si/No de cada refrigerante para alternar su disponibilidad en este programa
Glide: Diferencia entre la temperatura del vapor y del líquido a la presión de 1 bar

☒ Normativa ☒ Aplicaciones ☒ Lubricantes ☒ Ocultar

ANEXO II: CALCULOS CONSUMOS

Tablas cálculo costes 5 años

Inflación	4%		R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP			3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)			386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales			27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total			27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras			2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros			393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *			28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros			409 €	2.991 €	4.150 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros			425 €	3.111 €	4.316 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros			442 €	3.235 €	4.488 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros			460 €	3.365 €	4.668 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros			478 €	3.499 €	4.855 €
Sumatorio Coste Eléctrico 5 años			2.214 €	16.202 €	22.477 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)			30.123,79 €	40.294,59 €	63.429,03 €

Inflación	5%		R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP			3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)			386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales			27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total			27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras			2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros			393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *			28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros			413 €	3.020 €	4.190 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros			433 €	3.171 €	4.399 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros			455 €	3.330 €	4.619 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros			478 €	3.496 €	4.850 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros			502 €	3.671 €	5.093 €
Sumatorio Coste Eléctrico 5 años			2.281 €	16.688 €	23.151 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)			30.190 €	40.780,51 €	64.103,12 €

Inflación	10%		R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP			3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)			386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales			27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total			27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras			2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros			393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *			28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros			432 €	3.164 €	4.389 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros			476 €	3.480 €	4.828 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros			523 €	3.828 €	5.311 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros			576 €	4.211 €	5.842 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros			633 €	4.632 €	6.426 €
Sumatorio Coste Eléctrico 5 años			2.640 €	19.316 €	26.796 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)			30.549 €	43.408,60 €	67.748,93 €

Inflación	15%			R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				452 €	3.308 €	4.589 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				520 €	3.804 €	5.277 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				598 €	4.375 €	6.069 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				688 €	5.031 €	6.979 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				791 €	5.785 €	8.026 €
Sumatorio Coste Eléctrico 5 años				3.048 €	22.302 €	30.939 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				30.958 €	46.394,60 €	71.891,23 €

Inflación	20%			R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				472 €	3.452 €	4.788 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				566 €	4.142 €	5.746 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				679 €	4.970 €	6.895 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				815 €	5.964 €	8.274 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				978 €	7.157 €	9.929 €
Sumatorio Coste Eléctrico 5 años				3.511 €	25.685 €	35.632 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				31.420 €	49.777,68 €	76.584,39 €
Coste Eléctrico (sin inflación, 5 años)				1.966 €	14.382 €	19.951 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Sin Inflación)				29.875 €	38.474 €	60.903 €

Tablas cálculo costes 10 años

Inflación	4%					
COP				R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				409 €	2.991 €	4.150 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				425 €	3.111 €	4.316 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				442 €	3.235 €	4.488 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				460 €	3.365 €	4.668 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				478 €	3.499 €	4.855 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				497 €	3.639 €	5.049 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				517 €	3.785 €	5.251 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				538 €	3.936 €	5.461 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				560 €	4.094 €	5.679 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				582 €	4.258 €	5.906 €
Sumatorio Coste Eléctrico 10 años				4.909 €	35.915 €	49.823 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				32.817,99 €	60.007,15 €	90.775,15 €

Inflación	5%					
COP				R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				413 €	3.020 €	4.190 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				433 €	3.171 €	4.399 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				455 €	3.330 €	4.619 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				478 €	3.496 €	4.850 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				502 €	3.636 €	5.044 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				527 €	3.781 €	5.246 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				553 €	3.933 €	5.456 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				581 €	4.090 €	5.674 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				610 €	4.254 €	5.901 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				640 €	4.424 €	6.137 €
Sumatorio Coste Eléctrico 10 años				5.192 €	37.135 €	51.515 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				33.101,21 €	61.227,28 €	92.467,78 €

Inflación	10%				
COP				R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados
					R-1234yf Mixta
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				3,65	1,23
Coste Materiales				1,24	
Coste Total				386 €	4.001 €
				27.523 €	11.582 €
				20.091 €	29.371 €
				24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras					
				2.160 €	15.804 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				21.924 €	
				393 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *					
				28.302 €	26.969 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				44.943 €	
				432 €	4.389 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				476 €	4.828 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				523 €	5.311 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				576 €	5.842 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				633 €	6.076 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				696 €	6.319 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				766 €	6.571 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				843 €	6.834 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				927 €	7.108 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				1.020 €	7.392 €
Sumatorio Coste Eléctrico 10 años				6.892 €	60.670 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				34.801,21 €	67.826,56 €
					101.622,59 €

Inflación	15%				
COP				R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados
					R-1234yf Mixta
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				3,65	1,23
Coste Materiales				1,24	
Coste Total				386 €	4.001 €
				27.523 €	11.582 €
				20.091 €	29.371 €
				24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras					
				2.160 €	15.804 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				21.924 €	
				393 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *					
				28.302 €	26.969 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				44.943 €	
				452 €	4.589 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				520 €	5.277 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				598 €	6.069 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				688 €	6.979 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				791 €	7.258 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				909 €	7.548 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				1.046 €	7.850 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				1.203 €	8.164 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				1.383 €	8.491 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				1.590 €	8.830 €
Sumatorio Coste Eléctrico 10 años				9.179 €	71.055 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				37.088,42 €	75.312,63 €
					112.007,60 €

Tablas cálculo costes 15 años

ANEXO

Inflación	5%			R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				413 €	3.020 €	4.190 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				433 €	3.171 €	4.399 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				455 €	3.330 €	4.619 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				478 €	3.496 €	4.850 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				502 €	3.636 €	5.044 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				527 €	3.781 €	5.246 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				553 €	3.933 €	5.456 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				581 €	4.090 €	5.674 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				610 €	4.254 €	5.901 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				634 €	4.424 €	6.137 €
Coste Anual PVPC España 2032* Euros				660 €	4.601 €	6.382 €
Coste Anual PVPC España 2033* Euros				686 €	4.785 €	6.638 €
Coste Anual PVPC España 2034* Euros				713 €	4.976 €	6.903 €
Coste Anual PVPC España 2035* Euros				742 €	5.175 €	7.179 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros				772 €	5.382 €	7.466 €
Sumatorio Coste Eléctrico 15 años				8.758 €	62.054 €	86.084 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				36.667,84 €	86.146,45 €	127.036,74 €

Inflación	10%			R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP				3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)				386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales				27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total				27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras				2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros				393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *				28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros				432 €	3.164 €	4.389 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros				476 €	3.480 €	4.828 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros				523 €	3.828 €	5.311 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros				576 €	4.211 €	5.842 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros				633 €	4.380 €	6.076 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros				696 €	4.555 €	6.319 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros				766 €	4.737 €	6.571 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros				843 €	4.927 €	6.834 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros				927 €	5.124 €	7.108 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros				964 €	5.329 €	7.392 €
Coste Anual PVPC España 2032* Euros				1.003 €	5.542 €	7.688 €
Coste Anual PVPC España 2033* Euros				1.043 €	5.763 €	7.995 €
Coste Anual PVPC España 2034* Euros				1.084 €	5.994 €	8.315 €
Coste Anual PVPC España 2035* Euros				1.128 €	6.234 €	8.648 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros				1.173 €	6.483 €	8.993 €
Sumatorio Coste Eléctrico 15 años				12.267 €	73.750 €	102.309 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)				40.175,97 €	97.842,16 €	143.261,55 €

Inflación	15%		R-152A Refrigeración	R-1234f Congelados	R-1234y Mixta
COP			3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)			386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales			27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total			27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrido Anual Cámaras			2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros			393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *			28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros			452 €	3.308 €	4.589 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros			520 €	3.804 €	5.277 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros			598 €	4.375 €	6.069 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros			688 €	5.031 €	6.979 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros			791 €	5.232 €	7.258 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros			909 €	5.441 €	7.548 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros			1.046 €	5.659 €	7.850 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros			1.203 €	5.885 €	8.164 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros			1.383 €	6.121 €	8.491 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros			1.438 €	6.365 €	8.830 €
Coste Anual PVPC España 2032* Euros			1.496 €	6.620 €	9.184 €
Coste Anual PVPC España 2033* Euros			1.556 €	6.885 €	9.551 €
Coste Anual PVPC España 2034* Euros			1.618 €	7.160 €	9.933 €
Coste Anual PVPC España 2035* Euros			1.683 €	7.447 €	10.330 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros			1.750 €	7.745 €	10.744 €
Sumatorio Coste Eléctrico 15 años			17.129 €	87.077 €	120.797 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)			45.038,01 €	111.169,12 €	161.749,27 €

Inflación	20%				R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP					3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)					386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales					27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total					27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras					2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros					393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *					28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros					472 €	3.452 €	4.788 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros					566 €	4.142 €	5.746 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros					679 €	4.970 €	6.895 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros					815 €	5.964 €	8.274 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros					978 €	6.203 €	8.605 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros					1.174 €	6.451 €	8.949 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros					1.409 €	6.709 €	9.307 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros					1.690 €	6.977 €	9.679 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros					2.028 €	7.257 €	10.067 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros					2.110 €	7.547 €	10.469 €
Coste Anual PVPC España 2032* Euros					2.194 €	7.849 €	10.888 €
Coste Anual PVPC España 2033* Euros					2.282 €	8.163 €	11.324 €
Coste Anual PVPC España 2034* Euros					2.373 €	8.489 €	11.776 €
Coste Anual PVPC España 2035* Euros					2.468 €	8.829 €	12.248 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros					2.567 €	9.182 €	12.737 €
Sumatorio Coste Eléctrico 15 años					23.804 €	102.183 €	141.753 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)					51.713,70 €	126.275,32 €	182.705,27 €
Coste Eléctrico (sin inflación, 15 años)					5.897 €	43.145 €	59.853 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Sin Inflación)					33.806 €	67.237 €	100.805 €

Tablas cálculo costes 20 años

Inflación	4%		R-152A Refrigeración	R-1234yf Congelados	R-1234yf Mixta
COP			3,65	1,23	1,24
Coste Inversión (Tuberías y Refrigerante)			386 €	4.001 €	11.582 €
Coste Materiales			27.523 €	20.091 €	29.371 €
Coste Total			27.909 €	24.092 €	40.953 €
Consumo Eléctrico Anual Cámaras			2.160 €	15.804 €	21.924 €
Coste Anual PVPC España 2021* Euros			393 €	2.876 €	3.990 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 1 año (Inflación 4%) *			28.302 €	26.969 €	44.943 €
Coste Anual PVPC España 2022* Euros			409 €	2.991 €	4.150 €
Coste Anual PVPC España 2023* Euros			425 €	3.111 €	4.316 €
Coste Anual PVPC España 2024* Euros			442 €	3.235 €	4.488 €
Coste Anual PVPC España 2025* Euros			460 €	3.365 €	4.668 €
Coste Anual PVPC España 2026* Euros			478 €	3.499 €	4.855 €
Coste Anual PVPC España 2027* Euros			497 €	3.639 €	5.049 €
Coste Anual PVPC España 2028* Euros			517 €	3.785 €	5.251 €
Coste Anual PVPC España 2029* Euros			538 €	3.936 €	5.461 €
Coste Anual PVPC España 2030* Euros			560 €	4.094 €	5.679 €
Coste Anual PVPC España 2031* Euros			582 €	4.258 €	5.906 €
Coste Anual PVPC España 2032* Euros			605 €	4.428 €	6.143 €
Coste Anual PVPC España 2033* Euros			629 €	4.605 €	6.388 €
Coste Anual PVPC España 2034* Euros			655 €	4.789 €	6.644 €
Coste Anual PVPC España 2035* Euros			681 €	4.981 €	6.910 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros			708 €	5.180 €	7.186 €
Coste Anual PVPC España 2036* Euros			736 €	5.387 €	7.474 €
Coste Anual PVPC España 2037* Euros			766 €	5.603 €	7.772 €
Coste Anual PVPC España 2038* Euros			796 €	5.827 €	8.083 €
Coste Anual PVPC España 2039* Euros			828 €	6.060 €	8.407 €
Coste Anual PVPC España 2040* Euros			861 €	6.302 €	8.743 €
Sumatorio Coste Eléctrico 20 años			12.175 €	89.078 €	123.572 €
Coste Total Inversión + Coste Eléctrico 5 años(Inflación 4%)			40.083,97 €	113.169,89 €	164.524,83 €

ANEXO

ANEXO

ANEXO

ANEXO

ANEXO III: FICHA TÉCNICA R-152a

gasservei

FICHA DE DATOS
DE SEGURIDAD



R-152a

Revisión 2 : Octubre 2019

Fecha 30.10.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia/del preparado y de la sociedad/empresa

1.1. Identificador del producto

Identificación del preparado:
Nombre comercial: **Difluoroetano (R-152a)**
Código comercial: **R-152a**
Tipo de producto y uso: **Gas líquido, gas refrigerante**
Número de registro: **01-2119474440-43-XXXX**
Número CAS: **75-37-6**
Número CE: **200-866-1**

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
Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses: + 34 (91) 5620420

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

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

- 2.2/1 2.2/1 Flam. Gas 1 H220: Gas extremadamente inflamable.
- Atención, Liquef. Gas, H280: Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.

2.2. Elementos de la etiqueta

Símbolos:



Peligro Atención

Indicaciones de Peligro:

H220 Gas extremadamente inflamable.
H280 Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.

www.gas-servei.com

Barcelona - Madrid - Zaragoza

1/9



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD R-152a

Consejos de Prudencia:

P210 Mantener alejado de fuentes de calor — No fumar.
P377 Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P381 En caso de fuga eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro.
P410+P403 Proteger de la luz solar. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Disposiciones especiales:

Ninguna.

2.3. Otros peligros

Sustancias vPvB: Ninguna. - Sustancias PBT: Ninguna.

Otros riesgos:

El contacto directo con el líquido puede provocar congelaciones.
El producto contiene gases fluorados de efecto invernadero cubierto por el protocolo de Kyoto.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancias

Componentes peligrosos	Concentración (% en peso)	Nº CAS	Nº CE	Nº de registro REACH	Clasificación CE
					Reglamento CE Nº1272/2008
Difluoroetano (HFC 152a)	100%	75-37-6	200-866-1	01-2119474440-43-XXXX	 2.2/1 Flam. Gas 1 H220  2.5 Press. Gas H280

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1. Descripción de los primeros auxilios

La información sobre los primeros auxilios suministrada para las situaciones de contacto con la piel, contacto con los ojos e ingestión, es aplicable en caso de exposición al líquido o al producto pulverizado. Véase también la sección 11.

En caso de contacto con la piel:

Descongele la parte afectada con agua. Retirar la ropa contaminada.
Cuidado: la ropa puede adherirse a la piel en caso de quemaduras por el frío.
Después de contacto con la piel, lavar inmediata y abundantemente con agua tibia. Si se produce una irritación o formación de ampollas solicitar atención médica.

En caso de contacto con los ojos:

Lavar inmediata y abundantemente con agua corriente, con los párpados abiertos, por lo menos durante 10 minutos; luego proteja los ojos con gasa estéril o un pañuelo limpio y seco. CONSULTE A UN MÉDICO.

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 a beber 200-300 ml de agua. Acudir al médico inmediatamente.

En caso de inhalación:

Retirar al paciente de la zona de exposición. Si la respiración es dificultosa o se detiene, proporcione respiración asistida. Se puede suministrar oxígeno suplementario. Si se detiene el corazón, el personal capacitado debe comenzar de inmediato la resucitación cardio-pulmonar.
En caso de dificultad respiratoria, dar oxígeno.
Llevar al accidentado al aire libre y mantenerlo en reposo y abrigado.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

El contacto directo con el líquido puede provocar congelaciones.

www.gas-servei.com

Barcelona - Madrid - Zaragoza

2/9

El contacto directo con los ojos puede provocar irritación, lagrimeo, riesgo de quemaduras por congelación. La inhalación en altas concentraciones, puede provocar riesgos de narcosis, alteraciones del ritmo cardíaco, asfixia por falta de oxígeno, vertigo y náuseas.

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

Tratamiento:

No dar adrenalina o drogas similares

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados:

En caso de incendio, utilizar agua pulverizada, espuma o CO₂.

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

No usar agua a chorro.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

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

Los vapores pueden originar una mezcla inflamable con el aire. Aumento de presión. El fuego o el calor intenso pueden provocar la ruptura violenta de los embalajes.

Productos de combustión peligrosos: Fluoruro de hidrógeno, compuestos fluorados y óxidos de carbono.

La exposición a los productos en descomposición puede ser peligrosa para la salud.

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.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Usar los dispositivos de protección individual.

Quitar toda fuente de encendido y ventilar el área.

Llevar las personas a un lugar seguro.

Consultar las medidas de protección expuestas en los puntos 7 y 8.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Evitar que el producto penetre en el suelo/subsuelo. Evitar que penetre en aguas superficiales o en el alcantarillado.

Conservar el agua de lavado contaminada y eliminarla.

En caso de fuga de gas o penetración en cursos de agua, suelo o sistema de alcantarillado, informar a las autoridades responsables.

Material apropiado para la recogida: material absorbente, orgánico, arena

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Lavar con abundante agua.

6.4. Referencia a otras secciones

Véanse también los apartados 8 y 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Evitar el contacto con la piel y los ojos, la inhalación de vapores y vahos.
No utilizar contenedores vacíos que no hayan sido previamente limpiados.
Antes de realizar las operaciones de transferencia, asegurarse de que en los contenedores no haya materiales residuos incompatibles.
La indumentaria contaminada debe ser sustituida antes de acceder a las áreas de almuerzo.
No comer ni beber durante el trabajo. Mantenerse alejado del calor y fuentes de ignición. No fumar durante su utilización. El equipo eléctrico deberá ser protegido adecuadamente. Utilizar herramientas que no produzcan chispas. Remitirse también al apartado 8 para los dispositivos de protección recomendados.

Evitar el venteo a la atmósfera.

La transferencia de refrigerante líquido de los envases de refrigerante a los sistemas y desde los sistemas puede ocasionar la generación de electricidad estática. Asegúrese de que existe una conexión a tierra adecuada.
Ciertas mezclas de HFC y cloro pueden ser inflamables o reactivas en determinadas condiciones.

Debe prestarse atención a mitigar el riesgo de desarrollar altas presiones en sistemas, causadas por un aumento de la temperatura cuando el líquido queda atrapado entre válvulas cerradas o en casos en que los recipientes han sido llenados en exceso.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

No arrastre ni ruede los cilindros.
Mantener alejado de comidas, bebidas y pienso.
Almacenar los recipientes alejados de materiales inflamables y materiales combustibles.
No almacenar con los siguientes tipos de producto:
Sustancias y mezclas auto-reactivas
Peróxidos orgánicos
Oxidantes
Líquidos inflamables
Sólidos inflamables
Líquidos pirofóricos
Sólidos pirofóricos
Sustancias y mezclas auto-térmicas
Sustancias y mezclas que, en contacto con agua, emiten gases inflamables
Explosivos
Sustancias y mezclas agudamente tóxicas.
Sustancias y mezclas con toxicidad crónica

No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50°C. Mantener los recipientes en lugar seco y bien ventilado y alejados de la luz directa del sol.

Indicaciones para los locales:
Locales adecuadamente aireados.

7.3. Usos específicos finales

Sin datos disponibles

SECCIÓN 8. Controles de la exposición/protección personal

8.1. Parámetros de control

Límites de Exposición Ocupacional	CAS	VLA-ED (8 h ppm)	VLA-ED (8 h mg/m ³)	VLA-EC (15m. ppm)	VLA-EC (15m. g/m ³)	Nota
Difluoroetano (HFC 152a)	75-37-6	1000				COM



8.2. Controles de la exposición

Protección de los ojos:

Se aconseja el uso de gafas de protección durante la manipulación de envases.



Protección de la piel y cuerpo:

Utilizar un equipamiento de protección apropiado. Llevar cuando sea apropiado: Vestimenta protectora antiestática retardante de la llama.

Durante la manipulación de envases se aconseja el uso de zapatos de protección.

Protección de las manos:

Para el trabajo con envases se aconsejan guantes resistentes a bajas temperaturas.

Protección respiratoria:

Para respirar en atmósfera deficiente de oxígeno debe usarse un equipo de respiración autónomo o una línea de aire con presión positiva y máscara. Los respiradores purificadores del aire no dan protección. Los usuarios de los equipos de respiración autónomos deben ser entrenados.

Riesgos térmicos:

Usar guantes termo aislantes

Controles de la exposición ambiental:

Asegurarse de una ventilación adecuada, especialmente en locales cerrados.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto y color:	Gas líquido, incoloro.
Olor:	Similar al éter
Umbral de olor:	Datos no disponibles
Punto de fusión/congelamiento:	-117 °C (1.013 hPa)
Punto de ebullición inicial e intervalo de ebullición:	-24,7 °C (1.013 hPa)
Inflamabilidad sólidos/gases:	Inflamable
Límite superior / inferior de inflamabilidad o explosión:	16,9 % / 3,9 %
Densidad de los vapores:	No aplicable
Punto de ignición (flash point, fp):	No aplicable
Velocidad de evaporación:	No aplicable
Tasa de evaporación:	No aplicable
Presión de vapor:	5,146.24 hPa (25 °C)
Densidad relativa de vapor:	2,4 (Aire = 1.0)
Densidad:	0,9 g/cm ³ (25 °C) (como líquido)
Densidad relativa:	2,4 (Aire = 1.0)
Hidrosolubilidad:	0,2 g/l (25 °C)
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	log Pow: 0,053 (25 °C)
Temperatura de autoinflamación:	440 °C
Temperatura de descomposición:	Datos no disponibles
Viscosidad:	No aplicable
Propiedades explosivas:	No explosivo
Propiedades comburentes:	La sustancia o mezcla no se clasifica como oxidante.

9.2. Otros datos

Miscibilidad:	No aplicable
Liposolubilidad:	No aplicable
Conductibilidad:	No aplicable
Propiedades características de los grupos de sustancias	No aplicable
Temperatura crítica :	113,15 °C
Presión crítica :	44,96 bar

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad

No clasificado como un peligro de reactividad.

10.2. Estabilidad química

Estable si se usa según las instrucciones. Siga los consejos de precaución y evite materiales y condiciones incompatibles.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Los vapores pueden originar una mezcla inflamable con el aire. Puede reaccionar con agentes oxidantes fuertes.
Gas extremadamente inflamable.

10.4. Condiciones que deben evitarse

Evitar las llamas abiertas y altas temperaturas. No pulverizar sobre una llama desnuda o un cuerpo incandescente.
Recipiente a presión: no perforar ni quemar, aun después del uso.
Consérvese a una temperatura inferior a 50°C.

10.5. Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

10.6. Productos de descomposición peligrosos

No se conocen productos de descomposición peligrosos.

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos de la sustancia

Toxicidad aguda

Por inhalación:

HFC 152a: CL 50 (Rata) /4h: > 500,000 ppm

La inhalación de la sustancia en altas concentraciones puede también causar una depresión suave del sistema nervioso y arritmias. A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. La asfixia puede causar la inconsciencia tan inadvertida y rápidamente que la víctima puede ser incapaz de protegerse.

Por contacto con la piel:

El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación. Es improbable que sea nocivo si es absorbido a través de la piel.

Por contacto con los ojos:

El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación.

Por ingestión:

La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD R-152a

Carcinogenicidad

No clasificado según la información disponible.

Mutagenicidad

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad para la reproducción

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad por dosis repetidas

HFC R-152a: Un estudio de inhalación en animales ha mostrado que exposiciones repetidas no producen efectos significativos (50000 ppm en ratas)

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1. Toxicidad

HFC 152a: CL 50 / 96h / Pez: 295,78 mg / l

HFC 152a: CE 50 / 48h / Daphnia: 146,7 mg / l

12.2. Persistencia y degradabilidad

Aire, fotólisis, ODP = 0.

Resultado: ausencia de efecto sobre el ozono estratosférico.

Valor de referencia del CFC 11: ODP = 1.

Aire, efecto de invernadero, GWP = 124 (relativo al valor 1 del dióxido de carbono en 100 años) de acuerdo con IPPCC-AR4/CIE (Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático)-2007.

Componentes

HFC 152a: 1,4 años

12.3. Potencial de bioacumulación

log Pow: -0,125

12.4. Movilidad en el suelo

Datos no disponibles

12.5. Resultados de la evaluación PBT y vPvB

Sustancias vPvB: Ninguna. - Sustancias PBT: Ninguna.

12.6. Otros efectos adversos

Ninguno

Información adicional

Contiene gases fluorados de efecto invernadero cubiertos por el Protocolo de Kyoto.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Recuperar y reciclar si es posible. Los recipientes a presión vacíos deberán ser devueltos al proveedor. Operar Conforme con las disposiciones locales y nacionales vigentes.

www.gas-servei.com

Barcelona – Madrid – Zaragoza

7/9

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1. Número ONU		
ADR-Número ONU:	1030	
IATA-Número ONU:	1030	
IMDG-Número ONU:	1030	
14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas		
ADR-Nombre expedición:	DIFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R-152a)	
IATA-Nombre técnico:	DIFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R-152a)	
IMDG-Nombre técnico:	DIFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R-152a)	
14.3. Clase/s de peligro para el transporte		
ADR- Por carretera:	2	
ADR-Etiqueta:	2.1	
ADR-Número de identificación de peligro:	23	
IATA-Clase:	2.1	
IATA-Etiqueta:	2.1	
IMDG-Clase:	2.1	
IMDG-Etiqueta:	2.1	
14.4. Grupo de embalaje	No aplicable	
14.5. Peligros para el medio ambiente		
Contaminante marino:	No aplicable	
14.6. Precauciones particulares para los usuarios		
ADR-Código de restricción en túnel:	(B/D)	
Ferroviario (RID):	1030	
IMDG-Nombre técnico:	F-D, S-U	
14.7. Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL 73/78 y el Código IBC		
No aplicable		

SECCIÓN 15. Información complementaria

- 15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**
Reglamento (UE) n. 1272/2008 (CLP) y Reglamento (UE) n. 2015/830 que sustituye el Anexo II del Reglamento 1907/2006.

La presente Ficha de Datos de Seguridad ha sido preparada de acuerdo con las Directivas Europeas en vigor.

Restricciones Especiales

El gas fluorado de efecto invernadero R-152a debe ser suministrado en contenedores retornables (bidones/ cilindros).

El contenedor contiene gases fluorados de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kyoto.

Los gases fluorados de efecto invernadero en contenedores o cilindros no pueden ser venteados a la atmósfera.

Reglamento (CE) Nº 517/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero que deroga el reglamento 842/2006

15.2. Evaluación de la seguridad química

No se ha realizado una Valoración de la Seguridad Química para esta sustancia.

www.gas-servei.com

Barcelona – Madrid – Zaragoza

8/9

SECCIÓN 16. Otra información

Texto de las frases utilizadas en el párrafo 3:

H220 Gas extremadamente inflamable.

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

Hoja de datos de seguridad revisada a 30.10.2019 de acuerdo con el Reglamento (UE) N° 2015/830

Cambios en sección: 1,3,7,8,15 y 16.

La información aquí detallada se basa en nuestros conocimientos hasta la fecha señalada arriba. Se refiere exclusivamente al producto indicado y no constituye garantía de cualidades particulares.

El usuario debe asegurarse de la idoneidad y exactitud de dicha información en relación al uso específico que debe hacer del producto.

Esta ficha anula y sustituye toda edición precedente.

La enumeración de los riesgos, textos legales, reglamentarios y administrativos no son exhaustivos, como único responsable corresponderá al destinatario o usuario del producto remitirse a los reglamentos oficiales de almacenamiento, manipulación y utilización de estos productos.

Abreviaturas

ADR:	Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera.
CAS:	Número de registro CAS.
CL50:	Concentración letal media.
CLP:	Clasificación, etiquetado y envasado.
DL50:	Dosis letal media.
COM:	La Compañía tiene por objetivo controlar la exposición en sus lugares de trabajo a este límite.
GHS:	Sistema Globalmente Armonizado.
IATA:	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IMDG:	Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.
VLA-ED:	Valor Limite Ambiental-Exposición Diaria.
WEL:	El Fabricante tiene por objetivo controlar la exposición en el lugar de trabajo al nivel del estándar del Reino Unido.

ANEXO IV: FICHA TÉCNICA R-1234YF

gasservei

FICHA TÉCNICA



R-1234yf

Características y aplicaciones

El gas refrigerante R-1234yf es un HFO que sustituye al R-134a en equipos de aire acondicionado de nuevos modelos de automóviles. Como todos los refrigerantes HFO no daña la capa de ozono. Tiene una gran estabilidad térmica y química, una baja toxicidad y es ligeramente inflamable, además de tener una excelente compatibilidad con la mayoría de los materiales. Su clasificación de seguridad es **A2L grupo L2**.

Es miscible con los aceites sintéticos poliésteres (POE) y polialquilenglicoles (PAG), por lo que debe de utilizarse siempre con este tipo de aceites.

Se utiliza en el aire acondicionado de nuevos modelos de automóviles. También se utiliza en enfriadoras (chillers) del sector industrial y comercial.

Toxicidad y almacenamiento

R-1234yf es una sustancia con muy poca toxicidad. Los envases de R-1234yf deben ser almacenados en lugares frescos y ventilados lejos de focos de calor. Los vapores de R-1234yf son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado. Protéjase de los rayos solares y evítese exponerlo a temperaturas superiores a 50 °C.

Componentes

Nombre químico	% en peso	Nº CAS	Nº CE
2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-eno (R-1234yf)	100	754-12-1	468-710-7

Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	R-1234yf
Peso molecular	(g/mol)	114,0
Punto de ebullición	(°C)	-29,4
Temperatura crítica	(°C)	94,7
Presión crítica	(bar)	33,81
Densidad crítica	(Kg/m³)	475,55
Presión de vapor (21,1°C)	(bar)	6,07
Presión de vapor (54,4°C)	(bar)	14,2
Densidad	(Kg/m³)	1100
Solubilidad en agua (24°C)	(mg/l)	198,2
Temperatura de deslizamiento o glide	(K)	0
Clasificación de seguridad		A2L
Límite inferior de inflamabilidad	(Kg/m³)	0,289
Temperatura de autoignición	(°C)	405
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	4 *

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

Tabla de presión/temperatura

TEMP. (°C)	PRESIÓN ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPÍA (kJ/Kg)		ENTROPÍA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO
-50	0,37	0,37	1318,4	2,35	139,6	329,9	0,757	1,610
-46	0,46	0,46	1307,9	2,87	144,2	332,5	0,777	1,607
-42	0,57	0,57	1297,2	3,46	148,8	335,2	0,797	1,604
-38	0,68	0,68	1286,5	4,15	153,4	337,9	0,817	1,602
-34	0,83	0,83	1275,6	4,95	158,1	340,6	0,837	1,600
-30	0,99	0,99	1264,5	5,86	162,8	343,3	0,857	1,599
-26	1,18	1,18	1253,4	6,89	167,6	346,0	0,876	1,598
-22	1,39	1,39	1242,0	8,07	172,4	348,7	0,895	1,597
-18	1,63	1,63	1230,5	9,39	177,3	351,4	0,915	1,597
-14	1,91	1,91	1218,8	10,89	182,3	354,1	0,934	1,597
-10	2,22	2,22	1207,0	12,56	187,3	356,7	0,953	1,597
-6	2,56	2,56	1194,9	14,43	192,3	359,4	0,972	1,597
-2	2,95	2,95	1182,5	16,52	197,4	362,0	0,991	1,598
2	3,38	3,38	1170,0	18,84	202,6	364,6	1,009	1,598
6	3,85	3,85	1157,2	21,41	207,8	367,2	1,028	1,599
10	4,38	4,38	1144,0	24,27	213,1	369,7	1,047	1,600
14	4,95	4,95	1130,6	27,43	218,5	372,2	1,065	1,601
18	5,58	5,58	1116,9	30,92	223,9	374,7	1,084	1,602
22	6,27	6,27	1102,8	34,77	229,3	377,1	1,102	1,603
26	7,02	7,02	1088,2	39,03	234,9	379,5	1,121	1,604
30	7,84	7,84	1073,3	43,73	240,5	381,8	1,139	1,605
34	8,72	8,72	1057,9	48,92	246,2	384,0	1,158	1,606
38	9,68	9,68	1042,0	54,66	252,0	386,1	1,176	1,607
42	10,71	10,71	1025,5	61,01	257,8	388,2	1,194	1,608
46	11,82	11,82	1008,3	68,05	263,8	390,1	1,213	1,609
50	13,02	13,02	990,4	75,88	269,9	392,0	1,231	1,609

www.gas-servei.com

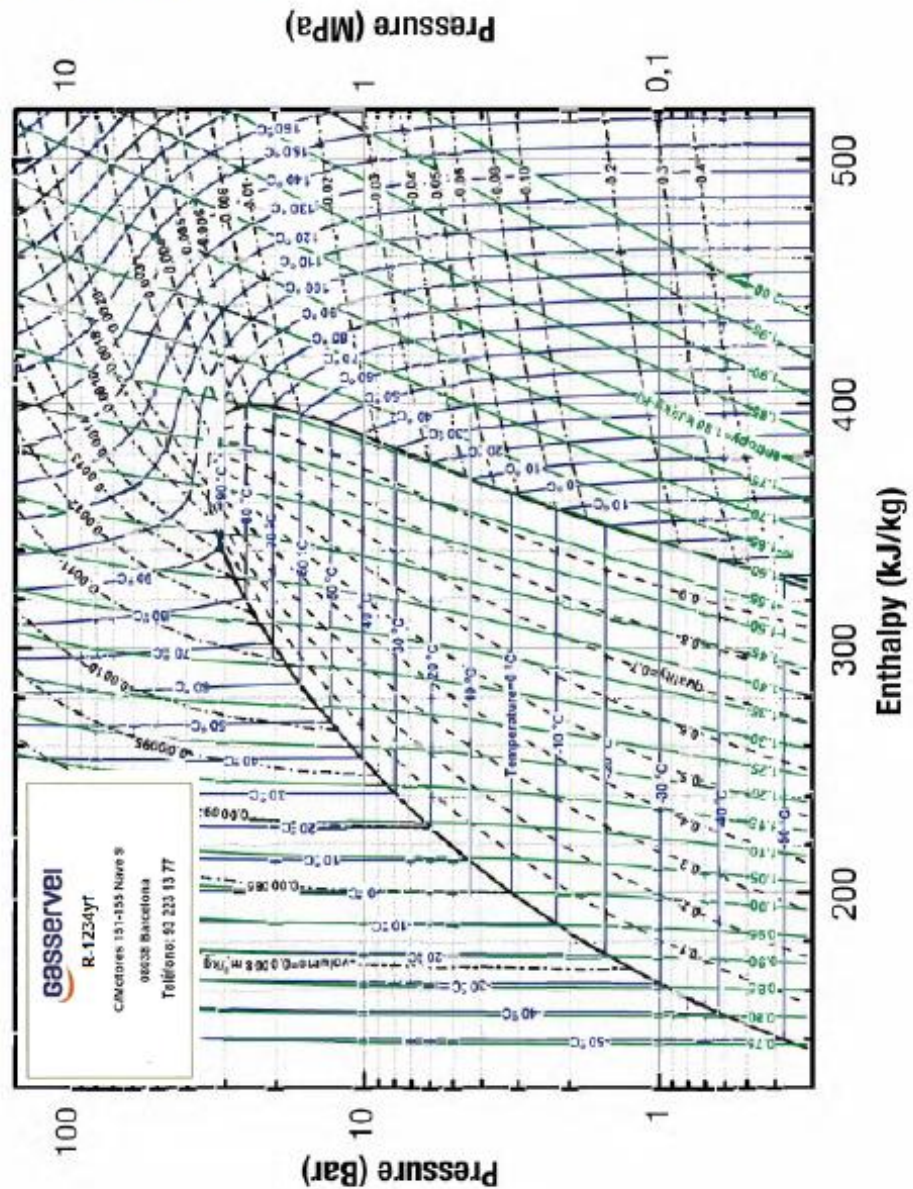
Barcelona - Madrid - Zaragoza - Ciudad de México

2



FICHA TÉCNICA
R-1234yf

Diagrama de Mollier



gasservei

R-1234yf

Calefactores 151-155 Nave 8

08038 Barcelona

Teléfono: 93 233 13 77

www.gas-servei.com
Barcelona - Madrid - Zaragoza - Ciudad de México

3

ANEXO V: FICHA TÉCNICA R-454C

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión 4.5	Fecha de revisión: 20.02.2019	Número SDS: 1354851-00038	Fecha de la última expedición: 17.10.2018 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™ XL20 (R-454C) Refrigerante
SDS-Identcode	: 130000143547

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., Emplee el producto únicamente para los usos especificados anteriormente.

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 900-888538 (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 inflamables, Categoría 1	H220: Gas extremadamente inflamable.
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)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión 4.5	Fecha de revisión: 20.02.2019	Número SDS: 1354851-00038	Fecha de la última expedición: 17.10.2018 Fecha de la primera expedición: 27.02.2017
----------------	----------------------------------	------------------------------	--

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Peligro

Indicaciones de peligro : H220 Gas extremadamente inflamable.
H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Consejos de prudencia : **Prevención:**
P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
Intervención:
P377 Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P381 En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición.
Almacenamiento:
P410 + P403 Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Etiquetado adicional

Contiene gases fluorados de efecto invernadero. (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.
Puede desplazar al oxígeno y causar asfixia rápida.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.2 Mezclas

Componentes

Nombre químico	No. CAS No. CE No. Índice Número de registro	Clasificación	Concentración (% w/w)
2,3,3,3-Tetrafluoropropeno*	754-12-1	Flam. Gas 1; H220	78,5

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión 4.5 Fecha de revisión: 20.02.2019 Número SDS: 1354851-00038 Fecha de la última expedición: 17.10.2018
Fecha de la primera expedición: 27.02.2017

	468-710-7 01-0000019665-61	Press. Gas Liquefied gas; H280	
Difluorometano*	75-10-5 200-839-4 01-2119471312-47	Flam. Gas 1; H220 Press. Gas Liquefied gas; H280	21,5

* Sustancia no peligrosa publicada voluntariamente
Para la explicación de las abreviaturas véase la sección 16.

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

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión 4.5	Fecha de revisión: 20.02.2019	Número SDS: 1354851-00038	Fecha de la última expedición: 17.10.2018 Fecha de la primera expedición: 27.02.2017
----------------	----------------------------------	------------------------------	--

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 : Spray de agua
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 : Los vapores pueden originar una mezcla inflamable con el aire.
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
Compuestos de flúor
Óxidos de carbono
fluoruro de carbonilo

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.
Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
Retire los recipientes que no estén en peligro fuera del área de incendio si se puede hacer con seguridad.
Evacuar la zona.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión	Fecha de revisión:	Número SDS:	Fecha de la última expedición:
4.5	20.02.2019	1354851-00038	17.10.2018
			Fecha de la primera expedición:
			27.02.2017

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

- Precauciones personales :
- Evacuar el personal a zonas seguras.
 - Solo el personal capacitado debe ingresar en el área.
 - Retirar todas las fuentes de ignición.
 - Evite el contacto con la piel con el líquido que gotea (peligro de congelación).
 - Ventilar la zona.
 - Seguir las recomendaciones del equipo de protección personal y los consejos de manipulación segura.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

- Precauciones relativas al medio ambiente :
- Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos.
 - Retener y eliminar el agua contaminada.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

- Métodos de limpieza :
- Ventilar la zona.
 - Se debe utilizar herramientas que no produzcan chispas.
 - Reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada.
 - Es posible que se apliquen normativas locales o nacionales a la liberación y eliminación de este material, y a los materiales y elementos empleados en la limpieza de los escapes. Deberá determinar cuál es la normativa aplicable.
 - Las secciones 13 y 15 de esta hoja de datos de seguridad proporcionan información sobre ciertos requisitos locales o nacionales.

6.4 Referencia a otras secciones

Consulte las secciones: 7, 8, 11, 12 y 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

- Medidas de orden técnico :
- Utilice un equipo clasificado para la presión del cilindro. Utilice un dispositivo de prevención de reflujo en la tubería. Cierre la válvula después de cada uso y después del vaciado.
- Ventilación Local/total :
- Utilizar con una ventilación de escape local.
 - Utilice solo en un área equipada con ventilación por extracción antiexplosión si así lo aconseja la evaluación de la posible exposición local
- Consejos para una manipulación segura :
- Manipular de acuerdo con las buenas prácticas de seguridad e higiene industrial, basándose en los resultados de la evaluación de la exposición en el lugar de trabajo
 - Mantener el recipiente herméticamente cerrado.
 - Llevar guantes que aislen del frío/ gafas/ máscara.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión 4.5	Fecha de revisión: 20.02.2019	Número SDS: 1354851-00038	Fecha de la última expedición: 17.10.2018 Fecha de la primera expedición: 27.02.2017
----------------	----------------------------------	------------------------------	--

Evitar que gas pueda refluir al interior del recipiente de gas.
Abrir las válvulas lentamente para evitar que se produzcan golpes de conexión.
Cierre la válvula después de cada uso y después del vaciado.
NO cambie ni fuerce las conexiones.
Evitar que agua se infiltre al interior del recipiente de gas.
Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición.
Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.
Tenga cuidado para evitar derrames y residuos y minimizar la liberación al medio ambiente.

Evitar respirar el gas.
Las válvulas de protección y tapas deben permanecer en su lugar a menos que el contenedor esté asegurado por una salida de válvula con cañerías al punto de uso.
Utilice una válvula de retención o atraparla (escape, sifón trampa interceptor) en la línea de descarga para prevenir flujo trasero peligroso hacia el cilindro.
Utilice un regulador de presión cuando conecte un cilindro a sistemas o tuberías con presiones más bajas (<3000psig).
Nunca intente levantar el cilindro por su tapa.
No arrastre, no resbale ni ruede los cilindros.
Utilice un patín manual adecuado para el movimiento de cilindros.

Medidas de higiene : Asegúrese de que los sistemas de lavado de ojos y duchas de seguridad estén colocadas cerca del lugar de trabajo. No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes : Los cilindros deben ser almacenados en posición vertical y firmemente asegurados para impedir que caigan o sean golpeados. Separe los contenedores llenos de los recipientes vacíos. No almacenar cerca de materiales combustibles. Evite áreas donde sal u otros materiales corrosivos estén presentes. Guardar en contenedores etiquetados correctamente. Manténgase perfectamente cerrado. Manténgase en un lugar fresco y bien ventilado. Mantener alejado de la luz directa del sol. Almacenar de acuerdo con las reglamentaciones nacionales particulares. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto : No almacene con los siguientes tipos de productos:
Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente
Peróxidos orgánicos
Oxidantes
Líquidos inflamables
Sólidos inflamables
Líquidos pirofóricos
Sólidos pirofóricos
Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espon-

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

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



Opteon™ XL20 (R-454C) Refrigerante

Versión	Fecha de revisión:	Número SDS:	Fecha de la última expedición:
4.5	20.02.2019	1354851-00038	17.10.2018
			Fecha de la primera expedición:
			27.02.2017

táneo
Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables
Explosivos
Mezclas y sustancias muy tóxicas.
Mezclas y sustancias con toxicidad crónica.

Tiempo de almacenamiento : > 10 a

Temperatura de almacenaje recomendada : < 52 °C

Más información acerca de la estabilidad durante el almacenamiento : Si se almacena correctamente, el producto tiene una duración indefinida.

7.3 Usos específicos finales

Usos específicos : Sin datos disponibles

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Nivel sin efecto derivado (DNEL) de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006:

Nombre de la sustancia	Uso final	Vía de exposición	Efectos potenciales sobre la salud	Valor
2,3,3,3-Tetrafluoropropeno	Trabajadores	Inhalación	A largo plazo - efectos sistémicos	950 mg/m³
Difluorometano	Trabajadores	Inhalación	A largo plazo - efectos sistémicos	7035 mg/m³
	Consumidores	Inhalación	A largo plazo - efectos sistémicos	750 mg/m³

Concentración prevista sin efecto (PNEC) de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006:

Nombre de la sustancia	Compartimiento Ambiental	Valor
2,3,3,3-Tetrafluoropropeno	Agua dulce	0,1 mg/l
	Liberación/uso discontinuo	1 mg/l
	Sedimento de agua dulce	1,77 mg/kg de peso seco (p.s.)
	Suelo	1,54 mg/kg de peso seco (p.s.)
Difluorometano	Agua de mar	0,01 mg/l
	Sedimento marino	0,178 mg/kg de peso seco (p.s.)
	Agua dulce	0,142 mg/l
	Liberación/uso discontinuo	1,42 mg/l
	Sedimento de agua dulce	0,534 mg/kg