

Anàlisi de les càrregues refrigerades a bord i dimensionament elèctric

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Eric Soaz Oliva

Dirigit per:
Víctor Fuses Navarra

Doble titulació de Grau en Tecnologies Marines i Grau en
Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 7 de juliol del 2023

Departament d'Enginyeria Elèctrica

Versió	Data	Modificacions
1	[Data]	Creació del document
		Revisió...

Escrit per:	
Autor/a:	
Data:	

Revisat i aprovat per:	
Tutor/a:	
Data:	
Revisat i aprovat per:	
Co-Tutor/a:	
Data:	

Agraïments

Agraeixo al meu tutor en aquest treball, Víctor Fuses, pel seus consells i la guia que m'ha proporcionat durant el transcurs del present projecte.

Agraeixo al Marius Panait i al Gabriel Rodríguez per la seva ajuda i cooperació en facilitar-me molta informació de gran ajuda respecte a l'operativa en una terminal portuària.

Agraeixo, finalment, a la meva família i la meva parella pel seu suport incondicional.

Resum

Aquest projecte té com a objectiu analitzar les tecnologies i els sistemes actuals usats en els vaixells que transporten càrregues refrigerades.

Per assolir aquest objectiu, durant el treball s'estudiaran els diferents tipus d'embarcacions que realitzen el transport de càrrega refrigerada i les diferents solucions usades en cada cas. Per aconseguir entendre la situació, es realitzarà un anàlisi de la normativa actual, a més d'una avaluació de l'ús dels contenidors refrigerats en comparació amb els vaixells frigorífics convencionals.

Adicionalment, es farà un estudi a l'operativa dels contenidors refrigerats dins d'una terminal portuària de contenidors. Aquest estudi analitzarà la situació dels *containers* dins de la terminal, tant geogràficament com en quantitat i els diferents passos en les operacions de càrrega i descàrrega de contenidors des dels vaixells i la seva operativa un cop a terra.

Finalment, es realitzarà un dimensionament del sistema elèctric d'una embarcació portacontenidors la qual transporta contenidors refrigerats, per demostrar la seva viabilitat com a solució respecte als actuals vaixells frigorífics convencionals.

Paraules clau: càrregues refrigerades, cicle de refrigeració, contenidor refrigerat, vaixell frigorífic, *reefer*.

Abstract

The present thesis has for objective analyse the current technologies and systems used in refrigerated cargoes transported by vessels.

For this purpose, the project will study the different types of ships carrying refrigerated cargoes and the solutions used in each case. To fully understand the situation, an analysis of the current regulations will be made, along with an evaluation of the usage of refrigerated containers (reefers) in comparison with conventional reefer ships.

Additionally, a study will be made regarding the operations made with refrigerated containers inside a Container Terminal. This study will analyse the situation of the terminal, both geographically and in terms of quantity, and the different steps in the operations of loading and unloading of reefers on a vessel and the operations made to the containers when on land.

Finally, a dimensioning of the electrical system of a vessel which carries refrigerated containers will be made, to demonstrate its viability as a solution to the current old conventional reefers being used.

Key words: refrigerated cargoes, refrigerated cycle, refrigerated container, reefer vessel, reefer.

Taula de continguts

AGRAÏMENTS	1
RESUM.....	2
ABSTRACT.....	3
TAULA DE CONTINGUTS.....	4
LLISTAT DE FIGURES.....	7
LLISTAT DE TAULES.....	9
<u>CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....</u>	1
1.1. SITUACIÓ ACTUAL	1
1.2. OBJECTIUS.....	4
1.3. PLA DE TREBALL INICIAL.....	4
1.4. DIFÍCULTATS I REPLANTEIG	5
<u>CAPÍTOL 2. VAIXELLS AMB CÀRREGUES REFRIGERADES</u>	7
2.1. VAIXELLS FRIGORÍFICS.....	7
2.1.1. VAIXELLS FRIGORÍFICS CONVENCIONALS.....	7
2.1.2. SIDEDOOR REEFERS	8
2.2. PESQUERS	8
2.3. VAIXELLS GASERS	9
2.3.1. TOTALMENT PRESSURITZATS.....	11
2.3.2. SEMI-PRESSURITZATS/REFRIGERATS	12
2.3.3. TOTALMENT REFRIGERATS.....	12
2.4. CONTENIDORS REFRIGERATS	13
<u>CAPÍTOL 3. CICLES DE REFRIGERACIÓ I REFRIGERANTS</u>	15
3.1. CICLE DE REFRIGERACIÓ	15
3.1.1. COMPRESSORS.....	17
3.1.2. CONDENSADORS.....	19
3.1.3. ÈVAPORADORS.....	20

3.1.4. VÀLVULES D'EXPANSIÓ	21
3.2. REFRIGERANTS	23
3.2.1. CLASSIFICACIÓ DELS REFRIGERANTS.....	23
<u>CAPÍTOL 4. CICLES DE REFRIGERACIÓ I TECNOLOGIES DEL FRED EN EMBARCACIONS.....</u>	29
4.1. CICLE DE REFRIGERACIÓ	29
4.2. CONTAINERS REFRIGERATS	30
4.2.1. PARTS D'UN CONTENIDOR REFRIGERAT.....	31
4.2.2. FUNCIONAMENT D'UN CONTENIDOR REFRIGERAT.....	32
4.3. TRANSPORT DE LNG: RECUPERACIÓ DEL BOIL-OFF GAS.....	36
4.4. RELACIÓ FRED-AÏLLANT.....	39
<u>CAPÍTOL 5. NORMATIVA ACTUAL</u>	41
5.1. REAL DECRETO 552/2019, DEL 27 DE SETEMBRE	41
5.2. REGLAMENTACIÓ RELATIVA A INSTRUCCIONS TÈCNiques COMPLEMENTARIES	41
5.3. ITC-MI-IF-12: INSTAL·LACIONS ELÈCTRIQUES	42
5.4. DB-HE	43
5.5. MARPOL	44
5.6. SOLAS	45
5.7. ALTRES NORMATIVES.....	46
<u>CAPÍTOL 6. PRESENT I FUTUR DE LES CÀRREGUES REFRIGERADES.....</u>	49
6.1. PRESENT	49
6.2. FUTUR.....	53
<u>CAPÍTOL 7. OPERATIVA CONTAINERS REFRIGERATS</u>	55
7.1. SITUACIÓ	55
7.2. OPERATIVA A LA TERMINAL	57
<u>CAPÍTOL 8. DIMENSIONAMENT MÀQUINA ELÈCTRICA</u>	61
<u>CAPÍTOL 9. AVALUACIÓ DELS RESULTATS.....</u>	65
<u>CAPÍTOL 10. CONCLUSIONS.....</u>	67
<u>BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES.....</u>	69

ANNEX A1. GENERADORS INSTAL·LATS.....71

A1.1.	FITXA TÈCNICA DELS GENERADORS	71
A1.2.	ESQUEMA GENERADOR 6L32/40.....	73
A1.3.	ESQUEMA GENERADOR 8L32/40.....	74

Llistat de Figures

Figura 1: Flota mundial – Font: ANAVE “Marina mercante y transporte marítimo 2021-2022”	1
Figura 2: Flux d’aire en un “Porthole Container” – Font: Container Handbook	2
Figura 3: Edat de la flota mundial per tipus de vaixell – Font: ANAVE “Marina mercante y transporte marítimo 2021-2022”	3
Figura 4: Vaixell frigorífic SALICA FRIGO (construït al 2001) – Font: Vessel Finder	7
Figura 5: Sidedoor reefer (construït al 1979) – Font: Ship Broker	8
Figura 6: Sistema de refrigeració RSW en un pesquer – Font: Teknotherm.....	9
Figura 7: Tanc de membrana “Gaz Transport” – Font: Apunts propis de “Transports especials” ...	10
Figura 8: Comparació tancs independents – Font: Apunts de l’assignatura “Transports especials”	11
Figura 9: Gaser totalment pressuritzat – Font: Wärtsilä.....	12
Figura 10: Contenidor refrigerat – Font: Maersk.....	13
Figura 11: Esquema cicle de refrigeració – Font: AreaCooling	16
Figura 12: Tipus de compressors – Font: Intarcon.....	17
Figura 13: Compressor semi-hermètic – Font: Froztec.....	18
Figura 14: Evaporador inundat – Font: LearnMech	21
Figura 15: Vàlvula d’expansió termostàtica – Font: ResearchGate “Modelling thermostatic expansion valves”	22
Figura 16: Histograma de l’ús de refrigerants en bucs – Font: Natural Refrigerant on Board Marine Vessels.....	23
Figura 17: Mètode de refrigeració indirecte – Font: Oways Online “Refrigerated Cargoes”	29
Figura 18: Vista frontal d’una unitat de refrigeració de container refrigerat – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”	30
Figura 19: Secció del compressor d’un container refrigerat – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”	31
Figura 20: Flux de l’aire en contenidor refrigerat – Font: Kuehne + Nagel.....	32

Figura 21: Circuit de refrigeració – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”	34
Figura 22: Esquema típic d’una planta de Recondensació de BOG – Font: ResearchGate “Enhanced application for FSRU recondensing equipment during periods of low or no gas send out to minimize LNG cargo losses”	38
Figura 23: Dibuix aïllament – Font: Cálculo y dissenyo de una instalación de frío para un barco de pesca atunero (2016)	40
Figura 24: Logo Organització Marítima Internacional – Font: IMO.....	46
Figura 25: Vaixell “Ever Given” bloquejant el canal de Suez – Font: The New York Times.....	50
Figura 26: Índex de nolis de contenidors refrigerats – Font: Drewry	52
Figura 27: Índex de creixement interanual de la capacitat de contenidors refrigerats – Font: Drewry.....	53
Figura 28: Vista aèria d’APMT Barcelona – Font: Google Earth.....	55
Figura 29: Vista aèria de les plataformes de reefers – Font: APM Terminals Barcelona	56
Figura 30: Grua portacontenidors operant – Font: APM Terminals Barcelona	57
Figura 31: <i>Straddle Carrier</i> amb un contenidor refrigerat – Font: APM Terminals Barcelona.....	58
Figura 32: D’esquerra a dreta, connexió, desconexió i remoció d’un container refrigerat – Font: Pròpia	59
Figura A 1: Fitxa tècnica dels generadors instal·lats – Font: stx Engine.....	72
Figura A 2: Esquema generador 6L32/40 – Font: MAN L32/40 GenSet.....	73
Figura A 3: Esquema generador 8L32/40 – Font: MAN L32/40 GenSet.....	74

Llistat de Taules

Taula 1: Classificació dels refrigerants establerta per ANSI/ASHRAE – Font: ANSI/ASHRAE	26
Taula 2: Classificació refrigerants halogenats – Font: Pròpia	27
Taula 3: Llistat de dispositius de seguretat d'un contenidor refrigerat – Font: Carrier Transicold "Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit"	35
Taula 4: Flux de calor òptim – Font: Tablas para el balance en cámaras.....	40
Taula 5: Situació actual del refrigerants – Font: MARPOL Annex VI	45
Taula 6: Consum elèctric d'un contenidor refrigerat segons la seva temperatura i refrigerant – Font: Container Handbook.....	62
Taula 7: Diferents condicions d'operació – Font: Pròpia	63

Capítol 1. Introducció

1.1. Situació actual

El transport marítim és una mètode de transport vital pel món modern, que representa al voltant del 90% del comerç mundial de mercaderies. La gran capacitat que tenen les embarcacions i el seu preu, relativament baix, el converteixen en un sistema de transport molt eficient i rentable.

Segons la *Asociación Navieros Españoles* (ANAVE) la flota mundial estava formada per 62.852 vaixells i 1.400 milions de GT (Gross Tonnage) a dia 1 de gener de 2022¹.

	1990		1995		2000		2005		2010		2015		2020		2021		2022	
	NB	TRB	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT
Petroleros	6,9	154,5	6,8	159,8	7,3	163,7	7,0	170,9	7,4	209,8	7,7	240,0	8,8	287,5	8,9	292,3	8,9	297,7
Gaseros	0,8	10,6	0,9	14,0	1,1	17,9	1,2	24,7	1,5	46,1	1,7	56,3	2,1	82,3	2,1	85,9	2,2	92,4
Graneleros	4,8	113,4	5,7	129,7	6,1	149,4	6,5	175,8	8,0	250,5	10,9	405,4	12,2	473,8	12,3	484,0	12,7	502,8
Carga general	19,7	72,7	18,9	66,2	18,9	65,6	17,7	59,6	18,6	65,5	16,7	62,7	16,6	64,8	16,7	67,3	16,8	68,3
Portacontenedores	1,2	23,9	1,6	35,1	2,5	55,3	3,2	85,8	4,7	145,5	5,1	200,3	5,3	246,9	5,3	252,8	5,5	263,5
Otros mercantes (*)	6,8	23,5	8,6	46,2	10,1	63,5	11,4	84,8	13,8	123,2	14,5	141,6	16,3	169,3	16,6	171,5	16,8	175,3
TOTAL	40,2	398,6	42,7	451,1	46,0	515,4	47,1	601,7	53,9	840,6	56,6	1.107,8	61,2	1.324,7	61,9	1.353,8	62,9	1.400,0

(*) Incluye quimiqueros, otros buques tanque, de pasaje, ferries, ro-ros, transporte vehiculos, etc.
 Datos a 1 de enero de cada año, salvo 1990 (datos a 1 de julio).
 Fuente: IHS Markit.

NB: Miles de buques.
 TRB: Millones de TRB.
 GT: Millones de GT.

Figura 1: Flota mundial – Font: ANAVE “Marina mercante y transporte marítimo 2021-2022”

Dins del sector del transport marítim, cal destacar els vaixells dedicats al transport de càrregues refrigerades. Aquest tipus d'embarcacions requereixen una temperatura controlada durant tot el transcurs del viatge i en el qual no es pot trencar la cadena de fred degut a la naturalesa de la seva càrrega. Exemples d'aquest tipus de càrrega poden ser fruita, carn, productes làctics o similars.

¹ Marina mercante y transporte marítimo 2021/2022 - ANAVE [en línia]. [Consultat el: 6 de febrer de 2023].
 Disponible a:
https://www.anave.es/images/informes/marina_mercante/2022/MMTM2022_ESP_webOK.pdf

Tot i ser una classe de vaixells que s'usa avui en dia de forma relativament habitual, el primer intent de dur a terme un viatge amb un vaixell frigorífic de fa gairebé 150 anys. L'any 1876 el vaixell Northam havia de transportar una càrrega de carn des d'Austràlia fins al Regne Unit. Malauradament la maquinària de refrigeració va patir una avaria durant el trajecte i es va perdre tota la càrrega.²

El mateix any, l'enginyer francès Charles Tellier va comprar el vaixell Eboe, que va renombrar com a Le Frigorifique i va aconseguir importar un carregament congelat des d'Argentina.

L'any següent el Paraguai va completar el viatge entre Argentina i França duent 5.500 moltons congelats. El vaixell anava equipat amb un sistema de refrigeració per absorció ideat per l'enginyer francès Ferdinand Carré, millorant el disseny anterior.

L'èxit comercial va venir uns anys més tard, l'any 1881, quan el clíper Dunedin, equipat amb un sistema de compressió basat en el cicle de Bell-Coleman (o Brayton invers). Consumint 3 tones de carbó al dia i refrigerant la càrrega a uns 22°C per sota de la temperatura ambient, va viatjar des de Nova Zelanda fins a Londres i va aconseguir £4.700 de benefici del viatge. L'èxit va ser tal, que en els 5 anys vinents, es van dur a terme 172 viatges de Nova Zelanda al Regne Unit.

El sector va créixer ràpidament, fins al punt que a l'any 1935, la càrrega refrigerada importada per Gran Bretanya feia un total de 1.000.000 de tones de carn, 500.000 de mantega i 130.000 de formatge, entre altres tipus de càrregues.

Els primers contenidors refrigerats, però, no van aparèixer fins a principis dels anys 60; quan les companyies navilieres van crear uns contenidors aïllats tèrmicament anomenats "Porthole Containers". Aquests tenien dos forats, un a la part superior i un a la inferior, que anaven connectats a la planta de refrigeració del vaixell. Es bombejava aire fred per la obertura inferior i sortia el calent per la superior.

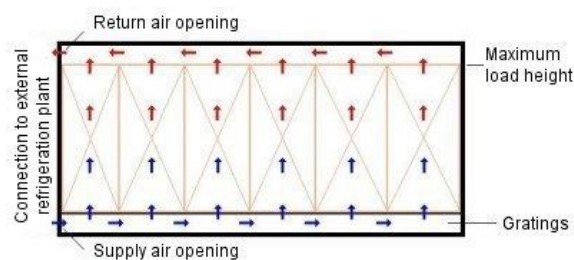


Figura 2: Flux d'aire en un "Porthole Container" – Font: Container Handbook

² MOON REFRIGERATION, 2021. History of the reefer container. *Moon Refrigeration* [en línia]. [Consultat el: 9 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://www.moonminisrefrigeration.com/history-of-the-reefer-container/>

No va ser fins la dècada dels 70 quan van aparèixer els primers contenidors refrigerats amb les unitats de refrigeració integrades; i a partir dels 90 quan es van implementar unitats amb control atmosfèric. Consten de sensors d'oxigen i diòxid de carboni per equilibrar el balanç entre els dos gasos i així aconseguir frenar la maduració d'aliments.

Malgrat la immensa importància que mantenen aquest tipus d'embarcacions, els experts del Dynamar³ van suggerir el 2019, mitjançant un estudi, que els vaixells de càrrega refrigerada convencionals són una espècie en perill d'extinció.

La sospita del retrocés d'aquest tipus de vaixell es deu a la gran edat mitja que presenta la flota de vaixells frigorífics, superior als 30 anys, i la creixent popularitat del comerç de càrrega refrigerada usant *containers* refrigerats.

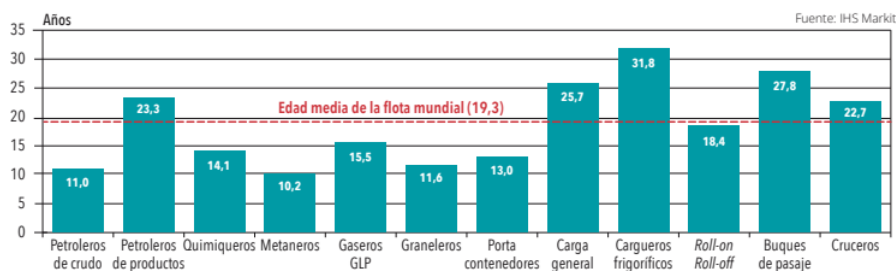


Figura 3: Edat de la flota mundial per tipus de vaixell – Font: ANAVE “Marina mercante y transporte marítimo 2021-2022”

Aquest canvi es deu a la facilitat d'ús dels contenidors *reefers* en comparació als vaixells frigorífics i la possibilitat de carregar càrregues molt diferents en un mateix vaixell. Addicionalment els nous límits de la Organització Marítima Internacional (IMO) sobre les emissions sofre, van generar preocupació sobre els costos del transport de càrrega refrigerada, ja que obligaria a aquestes embarcacions a navegar a velocitats inferiors per no superar els nous límits.

Tot això portava als autors de l'informe a comentar la necessitat que tenien les navilieres de vaixells refrigerats a canviar cap a combustibles alternatius o desballestar la part de la flota més antiga.

³ THEMIS KARALIS, 2020. Imo 2020 will result in scrapping of older reefer tonnage, says Dynamar. *Container News* [en línia]. [Consultat el: 7 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://container-news.com/imo-2020-scrapping-older-reefer-tonnage-dynamar/>

1.2. Objectius

Els objectius principals del treball son dur a terme un anàlisi de les tecnologies actuals referents al transport de càrregues refrigerades dins del sector marítim internacional i a la realització d'un dimensionament elèctric d'una embarcació de transport refrigerat.

Per assegurar aconseguir els objectius assenyalats, es marquen, alhora, una sèrie d'objectius secundaris:

- Analitzar els diferents tipus de vaixells que transporten càrregues refrigerades.
- Analitzar els cicles de refrigeració i els diferents refrigerants usats a bord.
- Avaluar la normativa actual referent al transport de càrregues refrigerades i a la seva construcció.
- Trobar una solució per frenar les emissions de *Boil-Off Gas* (BOG) en vaixells que transporten gas natural líquid usant el BOG com a fluid refrigerant.
- Fer un estudi de la present i futura situació mundial dels bucs amb càrregues refrigerades.
- Estudiar el funcionament d'una terminal de contenidors respecte a contenidors refrigerats.
- Dimensionar els generadors elèctrics necessaris per alimentar una planta de refrigeració en un vaixell.

Inicialment es van plantejar la següent sèrie d'objectius, que finalment es va optar per obviar-los degut a diferents motius, explicats en els apartats següents:

- Analitzar els diferents sistemes d'aclimatació d'espais i les tecnologies de fred que poden utilitzar.
- Comparar les diferències entre les normatives relatives a cambres frigorífiques terrestres amb la seva contrapart marina.
- Estudiar les diferències d'operació, manteniment i gestió entre les instal·lacions frigorífiques terrestres i les marines.

1.3. Pla de treball inicial

El pla de treball inicial es basava en una recollida d'informació bibliogràfica per assentar les bases del treball, explicant teòricament els diferents tipus de sistemes de fred que porten els vaixells, com pot ser criogènia, ultracongelació o cambres frigorífiques. Es pretenia combinar aquesta teoria juntament amb informació donada de primera mà per empreses fabricants de compressors o empreses dedicades a la refrigeració.

Adicionalment, es planejava dur a terme una comparació de les cambres frigorífiques terrestres amb els seus equivalents marins. Per dur-ho a terme es volien realitzar entrevistes i visites tant a empreses terrestres com a marines.

Finalment la idea era escollir una de les tecnologies recopilades i realitzar un dimensionament elèctric d'aquest sistema.

1.4. Dificultats i replanteig

Inicialment es van plantejar la sèrie d'objectius mencionats prèviament, però durant el transcurs del treball s'ha optat per dur a terme la majoria i apartar-ne alguns. Durant el projecte s'ha investigat i intentat explicar cada un dels objectius, però per diferents situacions no s'ha pogut realitzar. Per dur a terme el treball, no s'ha seguit un desenvolupament lineal, en canvi, s'ha anat investigant els temes progressivament s'ha trobat més informació; avançant i retrocedint en funció de la informació tractada en cada moment.

El primer objectiu que va ser "descartat" va ser l'anàlisi dels sistemes d'aclimatació dels vaixells. Malgrat que era un tema interessant sobre el qual poder desenvolupar part del treball, es va apartar relativament aviat degut a que no es veia una forma clara i adient de relacionar-ho amb els altres Capítols realitzats. Ja que al iniciar aquest estudi, va resultar més interessant per potència, consum i importància, centrar el treball en els vaixells de refrigeració. Tot i això, és un tema sobre el qual es podria realitzar un estudi a part en el qual analitzar les diferents solucions adoptades segons el tipus de vaixell o segons el poder adquisitiu de l'armador, ja que tenen un mercat molt madur i amb molta competència.

L'altre objectiu que es va desestimar va ser la comparació entre la normativa i les tecnologies entre les cambres frigorífiques terrestres i les tecnologies de fred utilitzades a bord. Inicialment es plantejava com a un dels objectius principals del treball. La idea residia en realitzar un anàlisi de diferents empreses amb cambres frigorífiques situades a Les Planes d'Hostoles i pobles propers. Degut a la proximitat amb les empreses i el contacte amb els responsables es plantejava com uns capítols molt interessants, gràcies a informacions de primera mà i, fins i tot, visites personals a les cambres. Malgrat això, i després d'uns primers contactes positius, la combinació de falta de respostes en un cert moment amb l'inici de les pràctiques a la terminal de contenidors de Barcelona, APM Terminals Barcelona, va provocar que s'acabés descartant la idea original. En canvi, aquesta modificació va permetre introduir i indagar de manera més profunda estudiar el funcionament dels contenidors refrigerats i la seva operativa en una instal·lació portuària.

Finalment, les pràctiques a la terminal han permès enfocar el treball d'una manera relativament distant a la prevista en un començament, degut a la informació de primera mà respecte a operativa, manteniment i gestió de contenidors refrigerats. Aquesta proximitat ha permès poder

realitzar entrevistes, tant a responsables com a operaris, llegir informació de primera mà i poder veure directament el funcionament d'una terminal de contenidors.

Capítol 2. Vaixells amb càrregues refrigerades

2.1. Vaixells frigorífics

Són el model clàssic dins dels vaixells amb càrrega refrigerada, com s'ha vist abans son la classe de vaixells amb una edat mitjana més elevada. Dins d'aquesta categoria es poden diferenciar dos tipus diferents:

2.1.1. Vaixells frigorífics convencionals

Els vaixells frigorífics convencionals transporten tant càrrega paletitzada com estibada i solta a les respectives bodegues de càrrega. La manipulació i l'estiba de la càrrega es facilita amb un equip eficient i un mínim de suports a les bodegues.



Figura 4: Vaixell frigorífic SALICA FRIGO (construït al 2001) – Font: Vessel Finder

2.1.2. Sidedoor reefers

Els vaixells de refrigerats *sidedoor* (o portes laterals) estan equipats amb una porta lateral per a una manipulació ràpida i econòmica de la càrrega a bord del vaixell. Aquesta porta lateral permet realitzar la càrrega i descàrrega a través de la mateixa, simplificant el procés en comparació a si es realitzés per coberta. Un cop carregada la càrrega, aquesta es col·loca als ascensors de càrrega, que l'eleven fins a la coberta de càrrega corresponent, on s'estiba la càrrega en la seva posició final.

La porta lateral també permet la càrrega i descàrrega en males condicions meteorològiques, i les pèrdues de temperatura a través de les escotilles obertes es mantenen al mínim.



Figura 5: Sidedoor reefer (construït al 1979) – Font: Ship Broker

2.2. Pesquers

Son un tipus d'embarcació dedicats a la pesca. Dins d'aquesta multitud de vaixells apareixen els que tenen com a objectiu el benefici comercial a gran escala, la anomenada com pesca industrial. Al ser el benefici econòmic el seu principal objectiu, aquest tipus d'embarcacions han de maximitzar el temps al mar, ja que implica més quantitat de pesca. Aquest temps que pot romandre el vaixell al mar depèn, en gran mesura, del temps que es pot emmagatzemar peix a bord sense que es faci malbé.

Aquest fet crea la necessitat d'haver de conservar el peix a bord. Això implica, indirectament, l'obligació de posseir sistemes de refrigeració a bord. Aquests sistemes han de ser capaços tant de congelar com de refredar la pesca obtinguda.

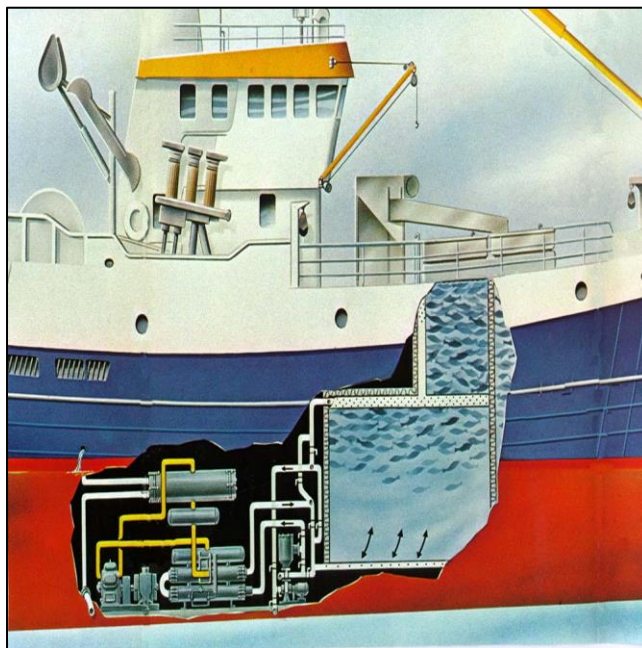


Figura 6: Sistema de refrigeració RSW en un pesquer – Font: Teknotherm

2.3. Vaixells gasers

Son un tipus d'embarcació dissenyats per el transport de diferents tipus de gasos líquats. Aquests vaixells transporten el gas líquat en tancs⁴:

- **Tanques estructurals:** Formen una part estructural del casc del vaixell i estan influenciats per la mateixa forma, i mateixes càrregues, que apliquen esforços a l'estructura del casc.

Per pressions inferiors a 0,25 bar si son d'estructura senzilla, inferiors a 0,7 bar si no ho són i el gas a transportar té un punt d'ebullició major a -10 °C.

Degut a les limitacions establertes, no és una solució típicament escollida

⁴ INGENIERO MARINO, 2019. Tipos de tanques en buques gaseros. sistemas de Contención. *Ingeniero Marino* [en línia]. [Consultat el: 25 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://ingenieromarino.com/tipos-de-tanques-en-buques-gaseros-sistemas-de-contencion/#3-Tanques-de-Membrana>

- Tancs de membrana: Son tancs que no tenen una sustentació pròpia i estan formats per una fina capa que es recolza sobre una barrera secundària. Si el tanc és d'estructura senzilla aguanta fins a 0,25 bar i si no ho és fins a 0,7 bar. Existeixen tres tipus principals de contenció per membrana. Cada sistema porta el nom de l'empresa que el va crear i l'últim és la fusió dels dos primers:
 - Gaz Transport: Tenen dues barreres de contenció idèntiques de mig mil·límetre cada una, fetes d'acer Invar (30% níquel), ja que té un coeficient d'expansió tèrmica molt baix. Enmig de les dues barreres es situa un aïllant de 200 mm de perlita.

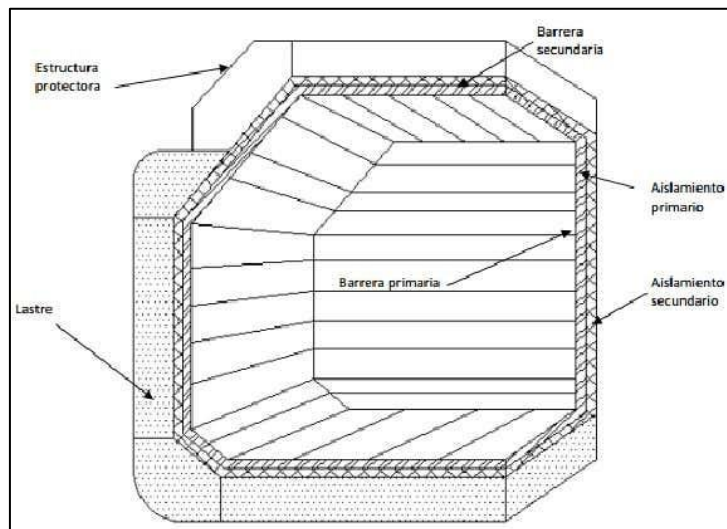


Figura 7: Tanc de membrana "Gaz Transport" – Font: Apunts propis de "Transports especials"

- Technigaz: Té una barrera principal de 1,2 mm de grossor molt corrugat i l'aïllament està format de panells de fusta entre dos làmines de "triplay" (làmina d'alumini entre dues de fibra de vidre).
 - Gaz Transport Technigaz: L'últim sistema, com s'ha dit abans, és una fusió dels dos primers: la barrera primària està formada per panells d'Invar i la secundària és una membrana "triplay". L'aïllament entre les barreres és nitrogen a baixa pressió i entre la secundària i el casc nitrogen a alta pressió.
- Tancs de semi membrana: S'usen pel transport de gas líquid del petroli (LPG), amb sistemes totalment refrigerats dissenyats per companyies navilieres japoneses. Son una derivació dels tancs de membrana esmentats anteriorment. En aquests tancs, la barrera principal té un gruix molt més considerable i té ambdós costats sense corrugar. El sistema es basa en transmetre els esforços, que genera la pressió de la càrrega, cap al casc interior.

- Tancs independents:
 - Tipus A: necessiten una barrera secundària per evitar que hi hagin fugues, com pot ser espais inertitzats entre tancs. Per reduir l'efecte de superfícies lliures es posa una mampara longitudinal central.
 - Tipus B: només tenen una barrera secundària parcial, que consisteix en una safata de degoteig i una barrera de "salpicadura".
 - Tipus C: no solen requerir de barreres secundàries i els espais buits es solen ventilar amb aire sec. Els vaixells que porten tancs tipus C en solen portar entre 2 i 6.

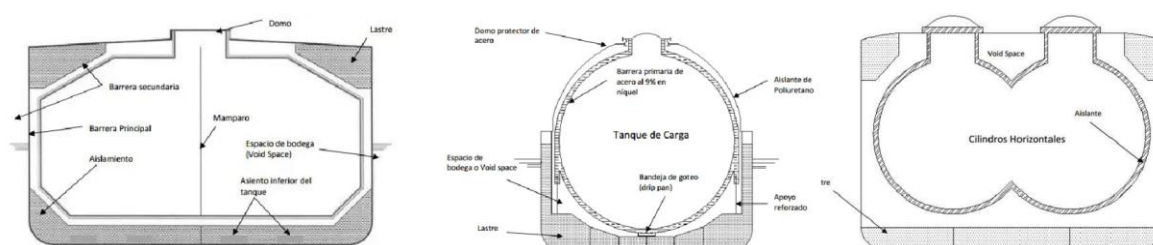


Figura 8: Comparació tancs independents – Font: Apunts de l'assignatura "Transports especials"

Segons la forma en la qual s'emmagatzema el gas líquid a bord, es poden classificar de les formes següents.

2.3.1. Totalment pressuritzats

Es transporta el gas a temperatura ambient i amb una pressió aproximada de 18 bar (màxim 20 bar).

Al transportar el gas a temperatura ambient, no necessita aïllants ni planta de refrigeració.

Normalment estan formats per dos o tres tancs cilíndrics o esfèrics de tipus C segons la classificació de la Organització Marítima Internacional (IMO).

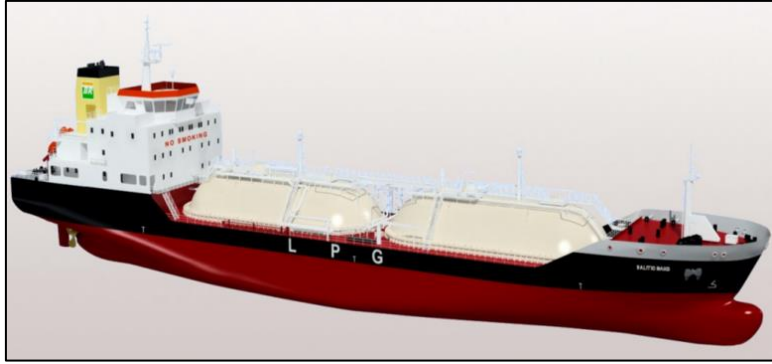


Figura 9: Gaser totalment pressuritzat – Font: Wärtsilä

2.3.2. Semi-pressuritzats/refrigerats

Transporten el gas en un estat semi-pressuritzat/semi-refrigerat, amb unes temperatures d'entre $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-104\text{ }^{\circ}\text{C}$ i unes pressions entre 5 i 7 bar.

Normalment els tancs son de tipus C i necessiten un sistema de contenció de la càrrega com pot ser la barrera secundària .

2.3.3. Totalment refrigerats

Estan construïts per poder transportar el gas a pressió atmosfèrica i molt baixa temperatura. Solen tenir varis dissenys de tancs diferents:

- Tancs independents, casc únic i doble fons.
- Tancs independents i doble casc.
- Tancs integrals i doble casc.
- Tancs de semi-membrana i doble casc.

Malgrat la varietat de tancs, la solució més usada actualment és la primera, usant tancs prismàtics tipus A, amb una pressió i temperatura màximes de 0,7 bar i $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Al estar la càrrega a molt baixa temperatura requereixen de sistemes de contenció de càrrega. Per tant van equipats amb una barrera secundària (capaç de contenir una fuga fins a 15 dies, si la temperatura fos major a $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ el propi casc serviria com a tal), espais entre tancs inertitzats i llast al doble fons.

2.4. Contenidors refrigerats

Son un tipus de *container* dissenyats per portar càrrega que necessita un control de temperatura durant el seu transport. Per aconseguir-ho, aquestes unitats han de ser capaces de mantenir la temperatura, humitat i atmosfera interior del *containers* en un valor constant durant tot el trajecte:

- Temperatura: Tots els *containers reefer* estan construïts per poder mantenir una temperatura entre +25 °C i -25 °C. Hi ha un baix percentatge de *reefers* que poden arribar fins als -35 °C i, algun cas especial, que pot arribar a mantenir la temperatura fins als -70 °C.
- Ventilació: Per a mantenir temperatures baixes és imprescindible que hi hagi un flux d'aire, el qual tregui la calor i els gasos.
- Humitat: Depenent de la càrrega que es transporta, aquesta es pot beneficiar més o menys d'un nivell baix d'humitat a l'aire, per tant, els contenidors refrigerats actuals van equipats amb un deshumidificador que poden arribar al 50% d'humitat relativa.
- Drenatges: S'instal·len per eliminar l'excés d'aigua que pot acumular-se als contenidors.

És important destacar que aquests tipus de contenidors son dissenyats per a mantenir una certa temperatura, no per a portar la càrrega a aquesta. Per tant, és de suma importància el refredament de la càrrega, especialment si es tracta de fruites i verdures, abans d'introduir-la dins dels contenidors reefers.



Figura 10: Contenidor refrigerat – Font: Maersk

Hi ha tres tipus principals de contenidors refrigerats⁵:

- Closed Reefer: Son el tipus més comú de contenidors refrigerats. Estan fets d'una sola peça i tenen una unitat de refredament integrada totalment elèctrica.
- Modified/Controlled Atmosphere (MA/CA): Es diferencien dels contenidors refrigerats tancats pel seu aïllament més eficaç. Per mantenir l'atmosfera constant, aquest contenidors reemplacen constantment l'oxigen situat a la zona de càrrega mitjançant un sistema d'intercanvi d'aire.
- Automatic Fresh Air Management Containers: Son una versió millorada dels MA/CA, usa una sèrie de sensors per ajustar el flux d'aire i així controlar, de forma precisa, els nivells d'oxigen i diòxid de carboni, ajudant a allargar la vida de la càrrega.

⁵ Reefer containers - A 2023 guide. *Trade Finance Global* [en línia], 2023. [Consultat el: 27 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://www.tradefinanceglobal.com/freight-forwarding/reefer-containers/>

Capítol 3. Cicles de refrigeració i refrigerants

3.1. Cicle de refrigeració

És un procés mecànic que té com a objectiu reduir la temperatura d'un punt específic. Per dur a terme aquesta reducció, el procés usa les propietats termodinàmiques per realitzar un intercanvi d'energia o calor entre dos punts.

Aquests sistemes de refrigeració normalment es divideixen en dos tipus bàsics diferents:

- Refrigeració per compressió: és el més usat en vaixells. Es basa en comprimir un fluid refrigerant. Quan aquest condensa proporciona un calor latent a una temperatura inferior a la que s'absorbeix quan el mateix fluid refrigerant s'evapora.
- Refrigeració de absorció: manté el concepte de la refrigeració per compressió, aconseguint fred mitjançant canvis d'estat del fluid refrigerant. Es diferencia, però, en l'element clau no és el compressor sinó les propietats del fluid refrigerant, que absorbeix les propietats d'una altra substància a la fase de vapor. Aquest mètode és econòmic però no molt eficaç i no pot baixar a temperatures inferiors als 0 °C.

El cicle de refrigeració bàsic per compressió simple consta de quatre processos principals: compressió, condensació, expansió i evaporació. Aquests quatre processos combinats formen un cicle termodinàmic tancat i és el circuit estàndard dels sistemes reals de refrigeració per compressió.

- Procés de compressió: Comença al punt 1' de la figura següent. El compressor comprimeix el refrigerant sobrecalentat, això implica que augmenten la pressió, temperatura i energia i es disminueix, en canvi, el volum específic.

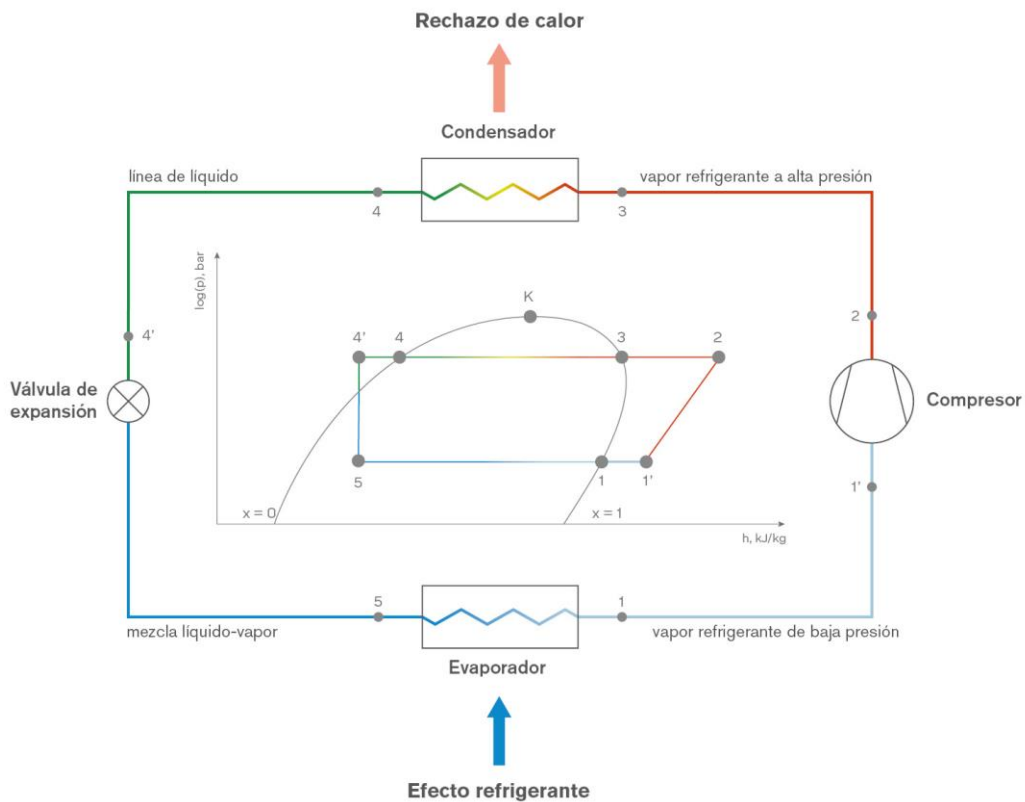


Figura 11: Esquema cicle de refrigeració – Font: AreaCooling

- Procés de condensació: El vapor viatja del punt 2 al 3 i es va refredant de forma que a l'arribar al segon punt, aquest ja no està sobrecaentat i està completament saturat. A continuació el fluid refrigerant entra al condensador, aquí passa de vapor saturat a líquid saturat. Durant el transcurs d'aquest procés, s'allibera energia en forma de calor que ha d'aconseguir dissipar.
- Procés d'expansió: Abans de dur a terme aquest procés, és recomanable subrefredar el fluid refrigerant (punt 4') ja que s'augmenta la capacitat de refrigeració específica. Per realitzar l'expansió s'usa una vàlvula d'expansió que redueix la pressió del refrigerant de forma isentàlpica, això implica que el líquid subrefredat passa a ser una barreja de líquid i vapor (punt 5).
- Procés d'evaporació: En aquest procés la càrrega tèrmica del punt a refrigerar es transfereix al fluid refrigerant a través d'un intercanvi de calor usant la superfície de l'evaporador. Degut a aquest intercanvi de calor el líquid refrigerant augmenta la seva energia i passa a ser vapor saturat i aconseguim reduir la temperatura de la zona que es pretenia refrigerar.

3.1.1. Compressors

És l'element principal dels sistemes de refrigeració. El compressor aspira el refrigerant en estat de vapor sobrecalentat i a baixa pressió, i a la sortida, el fluid està sobrecalentat però, en canvi, a alta pressió. El tipus de compressor més utilitzat actualment és el de cargol.

Els diferents tipus de compressors es poden classificar segons la forma amb la qual aconseguen la compressió del fluid refrigerant:

- Compressors de desplaçament positiu: aconseguen la compressió mitjançant una acció mecànica. Per fer-ho tanquen el vapor en un espai i posteriorment redueixen el volum d'aquest espai. La seva capacitat no es veu afectada per la pressió de treball del compressor.
- Compressors dinàmics: aconseguen l'augment de pressió convertint l'energia cinètica del fluid a pressió mitjançant un difusor. La seva capacitat varia considerablement segons la pressió de treball del compressor.

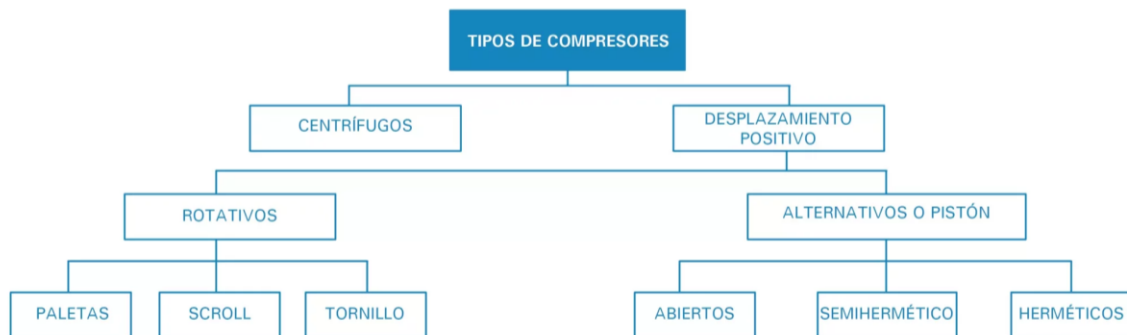


Figura 12: Tipus de compressors – Font: Intarcon

Compressors de desplaçament positiu:

- Alternatiu o de pistó: El refrigerant es comprimeix a l'interior d'un cilindre mitjançant el moviment alternatiu d'un pistó que redueix al volum on està situat el refrigerant. Alhora aquest pistó es mou gràcies a un motor elèctric que actua sobre un cigonyal.

Dins d'aquest grup de compressors es poden classificar en hermètics, semi-hermètics i oberts. Aquesta sub-classificació tracta sobre el posicionament del compressor i el motor que l'acciona.

Els hermètics situen ambdós elements en una mateixa carcassa i tenen ús en aplicacions comercials petites. Al tenir els elements junts, eliminen les possibles fugues però, com a conseqüència, no es poden reparar en cas d'averia.

Els semi-hermètics mantenen l'estructura de mantenir junts ambdós elements sota una mateixa carcassa, però en aquest cas es pot accedir a aquesta des de l'exterior. Al tenir aquesta disposició es permet la seva reparació en cas d'averia però a és més fàcil que es produeixin fugues de fluid refrigerant.



Figura 13: Compressor semi-hermètic – Font: Froztec

Finalment els oberts divideixen el compressor del motor en dues carcasses independents, que s'uneixen mitjançant una transmissió mecànica. Al tenir dues carcasses totalment separades l'una de l'altra, son el tipus que presenta un major risc de fugues. En canvi, cal destacar que tenen una accessibilitat total a l'hora de dur a terme una reparació o manteniment.

- Rotatius: En aquest cas el moviment rotatiu es transmet directament des de l'arbre de transmissió del motor al compressor. Segons el tipus de moviment del rotor es poden diferenciar diferents tipus, com poden ser el de paleta estacionària, el "scroll" o el de cargol.

Centrífugs

En aquest tipus de compressors la compressió del refrigerant es duu a terme mitjançant la força centrífuga que fa la rotació a alta velocitat, finalment, al passar per un difusor aquesta energia cinètica es transforma en un increment de pressió del fluid refrigerant.

Criteris de selecció d'un compressor

A l'hora d'escollir un compressor per un sistema de refrigeració, s'han de tenir en compte els següents criteris:

- Capacitat frigorífica del sistema. En funció de les condicions de treball
 - Temperatura mínima de condensació. Afecta a la lubricació del compressor.
 - Temperatura mínima d'evaporació. Afecta a un refredament insuficient del motor per baixa densitat del gas.
 - Temperatura màxima de condensació. Afecta a la pressió màxima del compressor.
 - Temperatura màxima d'evaporació. Afecta al caudal màssic.
 - Límit tèrmic. Afecta a una temperatura de descàrrega massa alta.
- Dimensionament dels equips.
- Nivell sonor.

3.1.2. Condensadors

És un element dels sistemes de refrigeració. És l'encarregat d'agafar el vapor refrigerant saturat a alta pressió i convertir-lo en líquid refrigerant saturat. Es tracta d'un intercanviador de calor que recorre el gas refrigerant, que, alhora, va cedint calor fins a esdevenir líquid saturat.

Condensadors d'aire

Son el tipus de condensadors en els que el calor del fluid refrigerant es cedeix a l'aire. El fet de que l'aire posseeixi un calor específic baix comporta limitacions per aquest tipus de condensadors.

Solen ser de circulació forçada ja que, gràcies a la instal·lació de ventiladors que envien l'aire directament als tubs, tenen potències superiors als de convecció natural.

Tenen el gran avantatge de que gairebé no requereixen manteniment en contraposició als condensadors d'aigua. Alhora posseeixen un cost energètic més baix i un estalvi d'aigua.

Condensadors d'aigua

En aquest tipus la calor que cedeix el fluid refrigerant va dirigit a l'aigua. Aquest tipus de condensadors fan ús de l'elevada capacitat tèrmica de l'aigua i un coeficient de convecció contra superfícies d'intercanvi superior a la de l'aire forçat. Son el tipus més recomanable en cas de

necessitat en una instal·lació de gran potència o amb una temperatura ambiental superior als 30 °C.

Solen tenir un alt consum d'aigua, arrel d'aquest problema s'han ideat sistemes que permeten una recirculació de l'aigua que usen els condensadors. En el cas dels vaixells s'usa o bé un sistema de recirculació d'aigua dolça o un sistema directe usant aigua marina.

En contrast amb els d'aire, aquests tenen més eficiència i poden ser usats en sistemes amb grans potències. Com a contrapart, tenen un cost energètic superior i l'ús d'aigua en tubs pot comportar corrosió i incrustacions.

3.1.3. Evaporadors

És un element dels sistemes de refrigeració. L'element rep el fluid refrigerant com a barreja líquid-vapor refrigerant i el transforma en vapor saturat. En ell el fluid arriba de la vàlvula d'expansió a temperatura d'ebullició, un cop dins, aquest fluid absorbeix el calor de les parets de l'evaporador; com a conseqüència, s'evapora la part líquida de la barreja. Aquest intercanvi de calor provoca, alhora, un refredament de l'espai a refrigerar. És de vital importància que el vapor que arriba posteriorment al compressor sigui vapor completament saturat, ja que un vapor humit podria provocar el seu trencament; en cas de que no es pugui assegurar aquesta condició, s'ha de col·locar entre ambdós elements un separador de líquid.

Per millorar l'eficiència dels evaporadors és important que la major part de la seva superfície estigui en contacte amb el vapor humit, ja que així millorarà, considerablement, el coeficient de transmissió de calor.

En treballar a temperatures baixes, és possible que es generi gelbre o cristalls de gel a l'interior dels tubs de l'evaporador. Aquesta generació afecta directament el pas del fluid refrigerant pel seu interior i disminueix el rendiment de l'element i del sistema general. És important, per tant, desfer-se d'aquest gelbre. La freqüència o duració d'aquest procés depèn, en gran mesura, del tipus d'evaporador i el seu ús. Els sistemes usats són els següents:

- Amb aigua: S'injecta aigua a pressió en els serpentins de l'evaporador. Si la temperatura és inferior a -2 °C, enlloc d'aigua s'injecta una solució anticongelant, com pot ésser el glicol. És molt important drenar tota l'aigua abans de tornar a posar en funcionament el sistema altre cop.
- Elèctric: És el sistema més comú degut a la facilitat d'instal·lació, ús i control. S'acoblen unes resistències elèctriques a l'evaporador que, amb el calor que dissipen, fonen el gelbre que s'ha generat a l'interior dels tubs.

- Amb gas calent: En aquest sistema s'injecta gas calent a l'interior de l'evaporador que provoca que es fonguin els cristalls de gel generats.

Dins dels evaporadors cal destacar els següents dos tipus:

Evaporador d'expansió seca

Son un tipus d'evaporadors en els quals a la part final el vapor està completament sec. El gran avantatge que tenen aquest tipus d'evaporadors és la gran diferència de preu, simplicitat de disseny i menor càrrega de fluid refrigerant en comparació amb els inundats. Tot i tenir pitjors rendiments que la seva contrapart, son el tipus d'evaporadors més utilitzats en instal·lacions frigorífiques.

Evaporador inundat

El seu interior està ple de fluid refrigerant i controla la seva alimentació mitjançant l'ús d'una vàlvula de flotador, que permet un nivell constant dins de l'evaporador. Tot i posseir rendiments superiors que els evaporadors d'expansió seca, les múltiples avantatges que presenta l'altre tipus fan que els de categoria inundada siguin menys usats en les instal·lacions frigorífiques.

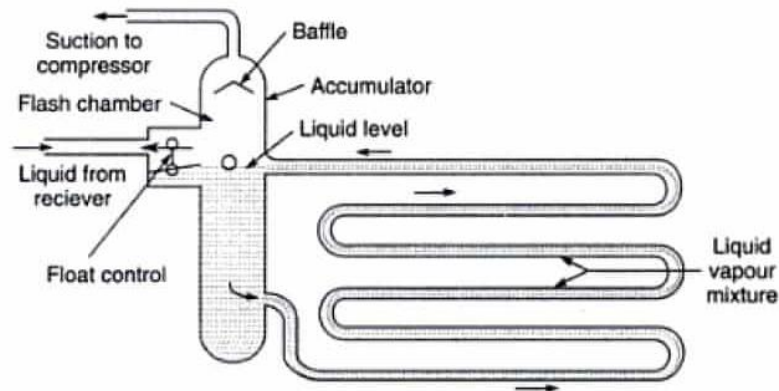


Figura 14: Evaporador inundat – Font: LearnMech

3.1.4. Vàlvules d'expansió

Són un component dels sistemes de refrigeració. En elles arriba el fluid refrigerant com a líquid subrefredat a alta pressió i surt com a barreja líquid-vapor a baixa pressió. Han de tenir la capacitat de regular el flux de fluid refrigerant que entra en l'evaporador.

Dins de les vàlvules les més usades son les següents categories:

Vàlvules d'expansió manual

S'usen en instal·lacions en les quals la seva càrrega tèrmica és constant. Tenen poc ús per si mateixes, però s'usen com a "by-pass" amb una altra vàlvula d'expansió o com a complement de regulació.

Vàlvules de tubs capil·lars

S'usen en instal·lacions petites a on la seva càrrega tèrmica varia lleument, com instal·lacions domèstiques, aire condicionat o instal·lacions comercials de refrigeració. Aquestes vàlvules estan formades per un tub, de diàmetre reduït, en el qual el fluid que viatja a través d'ell perd, gradualment, temperatura i pressió.

Vàlvules d'expansió termostàtica

Són un tipus de vàlvula les quals disposen d'un bulb sensor de temperatura, el qual és l'encarregat de l'obertura de l'element per regular el caudal de fluid refrigerant que entra a l'evaporador i mantenir un sobreescalfament constant a la sortida d'aquest.

Aquest tipus de vàlvula, al regular el flux de refrigerant en funció de la seva càrrega tèrmica, millora, considerablement, l'eficiència del sistema de refrigeració. Per evitar dur a terme un redimensionament de les tuberies es col·loquen el més pròxim possible a l'evaporador.

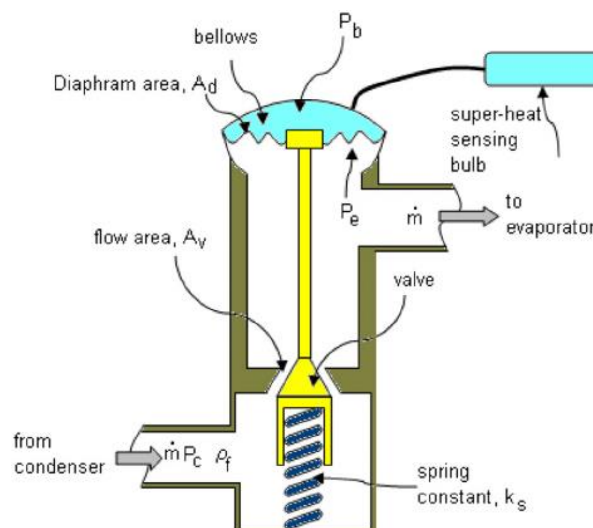


Figura 15: Vàlvula d'expansió termostàtica – Font: ResearchGate "Modelling thermostatic expansion valves"

Vàlvules d'expansió de flotador

En aquest tipus de vàlvula, aquesta s'obre segons el nivell de fluid refrigerant, que esta regulat per un flotador. Segons a on estiguin situades dins de la instal·lació poden se d'alta o baixa pressió.

Vàlvules d'expansió electrònica

És el tipus de vàlvula amb millor rendiment del sistema de refrigeració. Mantenen constantment l'evaporador ple de fluid refrigerant i només deixen sortir el fluid com a vapor sobreescalfat d'aquest, per així no danyar el compressor.

3.2. Refrigerants

Un refrigerant és un fluid que s'usa per transportar calor entre dos punts, amb l'objectiu d'absorbir calor en un primer punt per, posteriorment, alliberar-lo en un segon punt.

Segons l'establert a l'article 4 del "Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas" els refrigerants es denominaran per la seva fórmula, la denominació química o per la seva denominació simbòlica alfanumèrica. La denominació comercial mai serà suficient per denominar al fluid refrigerant i s'usarà, com a màxim, com a un complement.

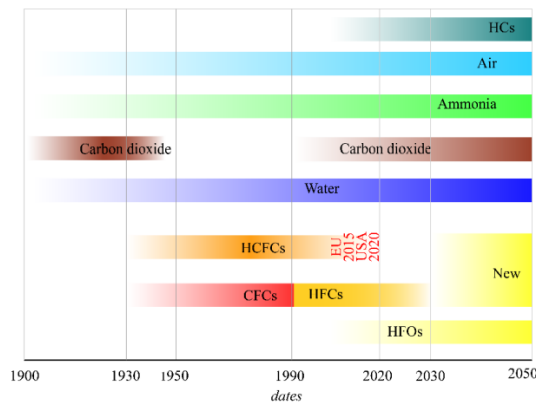


Figura 16: Histograma de l'ús de refrigerants en bucs – Font: Natural Refrigerant on Board Marine Vessels

3.2.1. Classificació dels refrigerants

Els fluids refrigerants es poden classificar en funció de diferents factors:

Classificació en funció de la pressió de treball

Aquesta classificació ordena els diferents tipus de refrigerants segons les seves respectives pressions de treball:

- De baixa pressió: son els fluids refrigerants que posseeixen una temperatura d'evaporació elevada a pressió atmosfèrica (s'encarreguen de les temperatures superiors als 20 °C).
- De mitja pressió: aquests refrigerants es corresponen a aquells que tenen temperatures molt baixes a la zona de baixa pressió i baixa en la zona d'alta (s'encarreguen de les temperatures entre 20 °C i -30 °C).
- D'alta pressió: aquest tipus tenen temperatures d'ebullició a pressió atmosfèrica baixes i hi ha una gran diferència de pressions entre les zones d'alta i baixa pressió (s'encarreguen de les temperatures entre -30 °C i -80 °C).
- De molt alta pressió: finalment, en aquesta categoria les temperatures d'ebullició a pressió atmosfèrica son molt baixes i les pressions de treball molt altes. (s'encarreguen de les temperatures inferiors a -80 °C).

Classificació establerta pel Reglament de Seguretat

Segons el "Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas"⁶ es classifiquen els refrigerants en tres grups diferents, segons el seu grau de perillositat. Els tres grups de fluids refrigerants que estableix son:

- Alta seguretat (L1): Fluids refrigerants no inflamables i d'acció tòxica lleugera o nul·la.
- Mitja seguretat (L2): Fluids refrigerants d'acció tòxica, corrosiva, inflamables o explosius barrejats amb aire en un percentatge en volum igual o superior al 3,5 %.

⁶ Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Ir a la página de inicio* [en línia]. [Consultat el: 16 de març de 2023]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-15228>

- **Baixa seguretat (L3):** Fluids refrigerants inflamables o explosius barrejats amb aire en un percentatge en volum inferior al 3,5 %.

Classificació establerta per l'estàndard americà ANSI/ASHRAE

L'estàndard americà ANSI/ASHRAE⁷ va crear la següent classificació, en funció de les propietats tòxiques i inflamables del refrigerant.

Segons les propietats tòxiques s'han establert dos grups diferenciats:

- **Grup A:** No posseeixen característiques de toxicitat, no mostren efectes adversos en un treballador exposat al refrigerant en jornades de 40 hores setmanals, en concentracions inferiors a 400 ppm.
- **Grup B:** Posseeixen característiques de toxicitat, efectes adversos en un treballador exposat al refrigerant en jornades de 40 hores setmanals, en concentracions inferiors a 400 ppm.

I realitzen tres grups diferenciats a l'hora de la classificació en funció de les seves propietats inflamables:

- **Grup 1:** Refrigerants que no permeten la propagació de la flama.
- **Grup 2:** Refrigerants amb baixa inflamabilitat. El seu límit inferior d'inflamabilitat és superior a 0,1 kg/m³ i el calor de combustió inferior a 19.000 kJ/kg.
- **Grup 3:** Refrigerants amb alta inflamabilitat. El seu límit inferior d'inflamabilitat és inferior a 0,1 kg/m³ i el calor de combustió superior a 19.000 kJ/kg.

Finalment, combinant ambdues classificacions es genera la següent taula resum:

⁷ ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 180-2018 [en línia]. [Consultat el: 9 de març de 2023]. Disponible en: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/previews_2016639_pre.pdf

Altament inflamable	A3	B3
Lleugerament inflamable	A2	B2
No inflamable	A1	B1
	Baixa toxicitat	Alta toxicitat

Taula 1: Classificació dels refrigerants establerta per ANSI/ASHRAE – Font: ANSI/ASHRAE

Si es compara la taula anterior amb la classificació establerta pel “Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas” es poden equiparar els següents grups:

L1 = A1

L2 = A2, B1, B2

L3 = A3, B3

Cal destacar que en cas de dubte a l'hora d'escollir de quin grup és un refrigerant, aquest sempre haurà de ser classificat en el grup més exigent.

Classificació en funció de la composició química

Finalment, es poden classificar els diferents fluids refrigerants segons la seva composició química. En aquesta classificació es poden separar primer entre refrigerants orgànics i inorgànics. El primer grup estan basats en el carboni i, la gran majoria d'ells, son fabricats per l'ésser humà. L'altra categoria, els inorgànics, son els que la seva composició química no està basada en el carboni i, generalment, son fluids naturals com l'amoníac NH₃.

Dins del grup de refrigerants orgànics apareixen els refrigerants halogenats i es diferencien segons la classificació següent:

Tipus de refrigerant	Composició química	Característiques
CFC	Formats per clor, fluor i carboni.	Destruïxen la capa d'ozó i contribueixen a l'efecte hivernacle.
HCFC	Formats per hidrogen, clor, fluor i carboni.	Destruïxen la capa d'ozó, menys que els CFC, i contribueixen a l'efecte hivernacle.
HFC	Formats per hidrogen, fluor i carboni.	Contribueixen a l'efecte hivernacle.

HC	Format per hidrogen i carboni.	Contribueixen a l'efecte hivernacle i son altament inflamables
-----------	--------------------------------	--

Taula 2: Classificació refrigerants halogenats – Font: Pròpia

Capítol 4. Cicles de refrigeració i tecnologies del fred en embarcacions

4.1. Cicle de refrigeració

En els vaixells es solen usar, usualment, dos tipus de sistemes de refrigeració. Els dos mètodes emparats son els sistemes directes i els sistemes indirectes amb un segon refrigerant.

El primer tipus, els sistemes directes, s'usen en cambres refrigerades de vaixells petits o per conservar provisions a bord. Degut a que a les grans instal·lacions és difícil controlar i detectar les possibles fuites que poden generar les tuberies, no es el sistema que es sol escollir ja que es malbarataria fluid refrigerant.

En canvi, el segon mètode esmentat, funciona fent ús d'un refrigerant secundari. El refrigerant primari s'encarrega de refrigerar un tanc amb salmorra, i serà aquesta la que es farà circular pel sistema com a fluid refrigerant.

Aquesta salmorra posseeix un punt de congelació baix, entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, depenent de la seva concentració i composició.

Per ajustar la temperatura desitjada, es deixa circular més o menys salmorra i es combina amb circulació d'aire fresc.

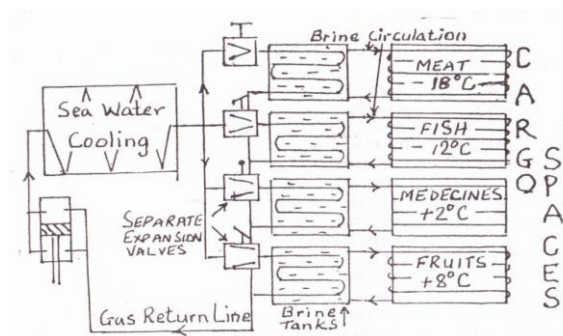


Figura 17: Mètode de refrigeració indirecte – Font: Oways Online “Refrigerated Cargoes”

4.2. Containers refrigerats

Els contenidors refrigerats o reefers, son un tipus de container que han estat dissenyats per el transport, al seu interior, de càrrega la qual necessita un control constant de la seva temperatura durant tot el període del transport.

Per dur a terme aquest objectiu establert, aquest tipus de contenidors porten una unitat de refrigeració integrada dins del propi contenidor. Aquesta unitat és l'encarregada de subministrar les condicions desitjades per la càrrega situada a l'interior del container.

La part davantera de la unitat de refrigeració és la que permet l'accés a la majoria de parts de la unitat, ja que es la que més estarà en contacte amb l'operari. Adicionalment, la part frontal ha de portar inclòs el model, el número de sèrie i una ajuda per identificar les diferents parts del contenidor.

Els panells superiors permeten l'accés frontal a la secció de l'evaporador i el central a la vàlvula d'expansió termostàtica i a l'evaporador.

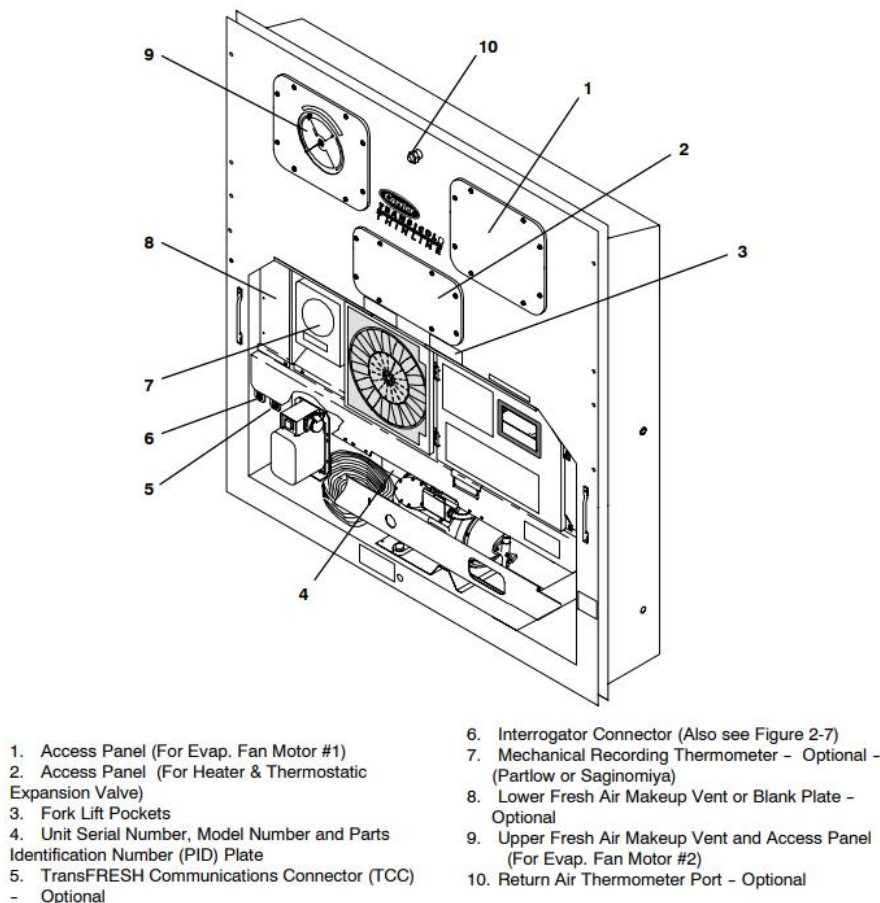


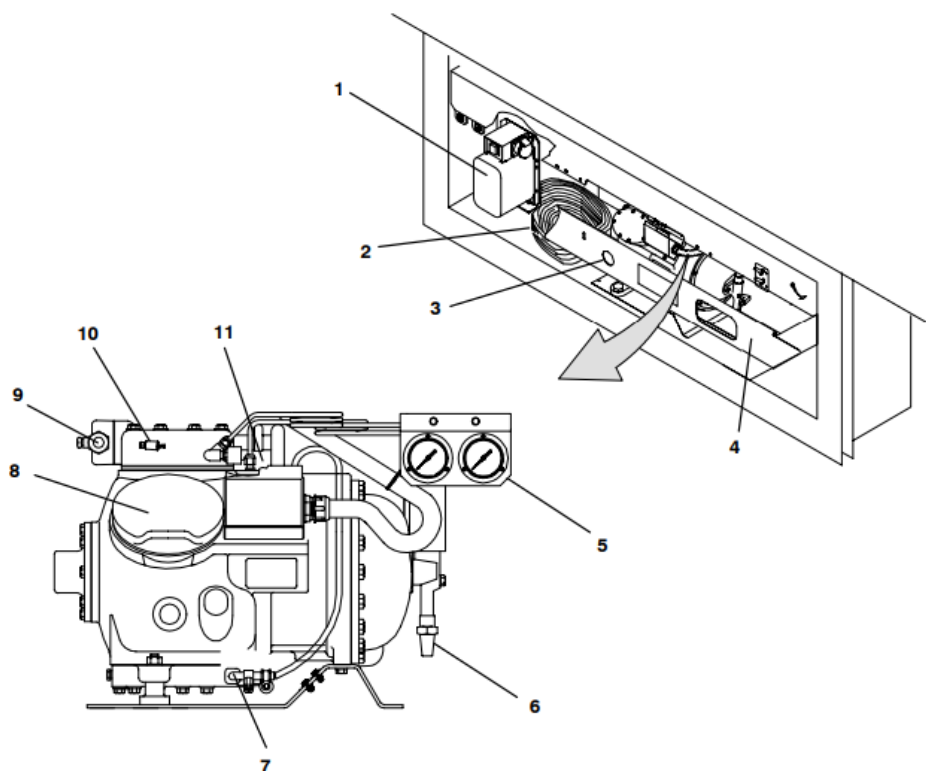
Figura 18: Vista frontal d'una unitat de refrigeració de container refrigerat – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”

4.2.1. Parts d'un contenidor refrigerat

Els ventiladors de l'evaporador fan circular l'aire pel reefer, introduint aire per la part superior de la unitat de refrigeració. Aquest aire viatja a través de l'evaporador a on s'escalfa o es refreda, en funció de la necessitat de la càrrega, per posteriorment descarregar l'aire a l'interior del contenidor per la part inferior.

La secció del compressor està formada per el propi compressor i, a més a més, el cable d'alimentació del contenidor i el lloc on es guarda aquest en cas de no estar connectat. Addicionalment, si es tingués un transformador, aquest aniria situat a l'esquerra del compressor.

Els sensors de temperatura i de registre de subministrament i el sensor de temperatura i humitat ambiental estan situats a la part dreta del compressor.



- | | |
|---|--|
| 1. Power Autotransformer - Optional | 7. Compressor Crankcase Heater (CCH) - Optional |
| 2. Power Cables and Plug | 8. Compressor Motor (CP) |
| 3. Compressor Sight Glass View Port | 9. Discharge Service Valve |
| 4. Compressor Guard | 10. Discharge Pressure Transducer (DPT) - Optional |
| 5. Suction/Discharge Pressure Gauges - Optional | 11. Suction Pressure Transducer (SPT) - Optional |
| 6. Suction Service Valve | |

Figura 19: Secció del compressor d'un contenidor refrigerat – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”

La zona del condensador, en canvi, consisteix en el condensador, el seu ventilador i el motor que acciona al ventilador.

Finalment, està la part on es situa la vàlvula d'expansió. Alhora també estan situats diverses vàlvules, filtres, un indicador de humitat i un tanc receptor.

4.2.2. Funcionament d'un contenidor refrigerat

Aquest tipus de contenidors mantenen la càrrega refrigerada mitjançant una unitat de refrigeració. Aquesta s'encarrega de distribuir i de refredar l'aire que entrarà dins del recipient que conté la càrrega.

Aquest aire circula a l'interior del contenidor mitjançant dos ventiladors que creen un cycle tancat, en el que finalment l'aire torna a la unitat de refrigeració. Inicialment, els ventiladors impulsen l'aire per la part inferior del contenidor, concretament pel terra. Aquest terra està format per perfils T que travessen, longitudinalment, el container. Aquesta peculiar forma permet a l'aire circular per sota de tota la càrrega, per així aconseguir una refrigeració del total de càrrega.

L'aire refrigerat llavors s'eleva a la part superior del contenidor i torna a la unitat de refrigeració, on es refredarà per poder continuar el cycle de forma contínua.

Per assegurar que el flux de l'aire no s'interromp, ja que impediria la correcta refrigeració de tota la càrrega, els contenidors presenten unes línies de càrrega màxima, tant verticalment com horitzontalment.



Figura 20: Flux de l'aire en contenidor refrigerat – Font: Kuehne + Nagel

Dins de la unitat de refrigeració, el fluid refrigerant inicialment s'introdueix dins del compressor. Aquí, aquest fluid augmenta de pressió i temperatura.⁸

Seguidament, si el *reefer* està treballant usant un condensador d'aire, el gas refrigerant passarà a través de la vàlvula de descàrrega fins a la vàlvula reguladora de pressió, la qual estarà, en condicions normals, oberta. Aquesta vàlvula s'encarrega de restringir el flux de fluid refrigerant amb l'objectiu de mantenir una pressió de descàrrega mínima (5 kg/cm²). A continuació, el gas entra dins del propi condensador d'aire; aquest aire refreda el gas fins que aconseguix transformar-lo en líquid saturat. Eliminant el calor latent, el gas es condensa en un líquid a alta pressió i alta temperatura que, posteriorment, es dirigirà al tanc receptor.

Des del tanc, el líquid refrigerant passa per una vàlvula manual per dirigir-se a un filtre deshidratador. Després el fluid entra a un intercanviador de calor, el qual s'encarrega de subrefredar-lo prèviament a la seva següent entrada a la vàlvula d'expansió termostàtica.

Un cop el líquid ha entrat a la vàlvula d'expansió, una part del fluid s'evapora a gas, obtenint així una barreja líquid-vapor. A continuació entra dins de l'evaporador on s'obté gas sobreescalfat, que serà el que posteriorment tornarà a entrar al compressor, completant així el cicle tancat.

La vàlvula termostàtica funciona, o s'obre, en funció del bulb d'aquesta. Aquest bulb està situat el més pròxim possible a l'evaporador i manté un subministrament de fluid refrigerant que garanteixi, de forma constant, el sobreescalfament del gas, independentment de les condicions de càrrega (menys en situacions en que el recipient estigui a temperatures anormalment elevades).

Si el contenidor opera en ambients inferiors als 27 °C, el ventilador del condensador s'encén i s'apaga en funció de la pressió i temps operatiu del condensador:

- El ventilador s'engegarà si la pressió és superior als 14 kg/cm² o si ha estat apagat durant més de 60 segons.
- El ventilador s'apagarà si la pressió és inferior als 9 kg/cm² o si ha estat encès durant més de 30 segons.

En contrapart, si s'actua en ambients superiors als 27 °C, el control de pressió del condensador roman apagat i el seu ventilador funciona contínuament.

⁸ *Container Refrigeration Unit - Fricon Reefer* [en línia]. [Consultat el: 30 de març de 2023]. Disponible a: https://www.friconreefer.nl/products_specs/69NT40-511.pdf

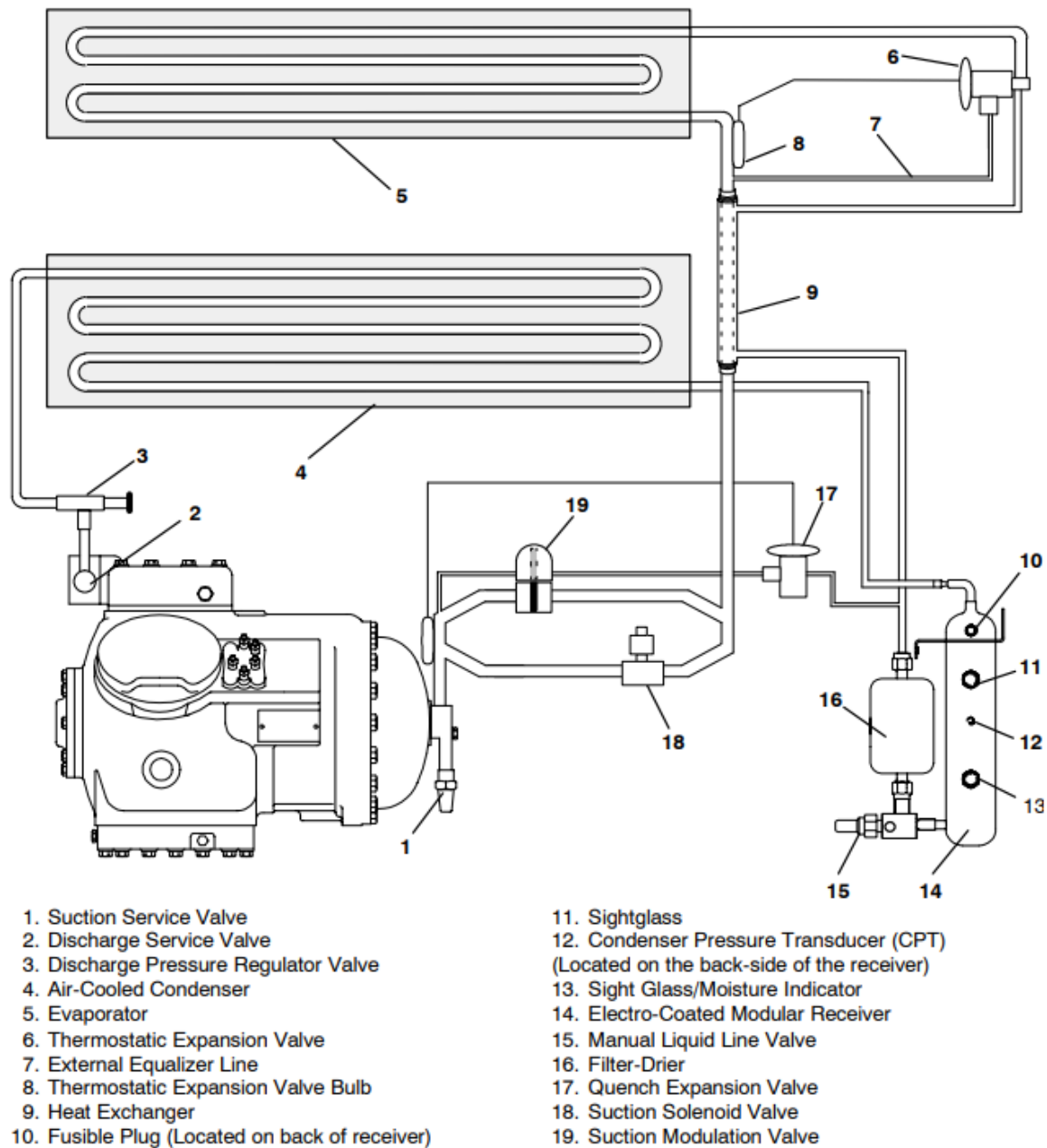


Figura 21: Circuit de refrigeració – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”

Els propis contenidors refrigerats compten amb diferents sistemes de seguretat per no malmetre la unitat de refrigeració. Aquests sistemes monitoren les diferents condicions d’operació de la unitat i son capaços d’obrir una sèrie de contactes elèctrics si es produeix una condició operacional insegura. Per exemple, una temperatura excessivament alta en el ventilador del compressor obriria el contacte IP-CP i aturaria el compressor. Tota la unitat es parerà si un dels següents dispositius de seguretat salta: un disjuntor (si hi ha un excés de consum de corrent

elèctrica), el fusible F3 (si l'excés del consum es produeix en el circuit de control) o si hi ha un excés de temperatura en el ventilador de l'evaporador.

Table 2-1. Safety and Protective Devices		
UNSAFE CONDITION	SAFETY DEVICE	DEVICE SETTING
Excessive current draw	Circuit Breaker (CB-1) - Manual Reset	Trips at 29 amps (460 vac)
	Circuit Breaker (CB-2, 50 amp) -Manual Reset	Trips at 62.5 amps (230 vac)
	Circuit Breaker (CB-2, 70 amp) -Manual Reset	Trips at 87.5 amps (230 vac)
Excessive current draw on the control circuit	Fuse (F3)	15 amp rating
Excessive current draw by the Controller/DataCORDER	Fuse (F1 & F2)	5 amp rating
Excessive condenser fan motor winding temperature	Internal Protector (IP-CM) - Automatic Reset	N/A
Excessive compressor motor winding temperature	Internal Protector (IP-CP) - Automatic Reset	N/A
Excessive evaporator fan motor(s) winding temperature	Internal Protector(s) (IP-EM) - Automatic Reset	N/A
Abnormal pressures/temperatures in the high refrigerant side	Fusible Plug - Used on the Receiver	93 °C = (200 °F)
	Rupture Disc - Used on the Water-Cooled Condenser	35 kg/cm ² = (500 psig)
Abnormally high discharge pressure	High Pressure Switch (HPS)	Opens at 25 kg/cm ² (350 psig)

Taula 3: Llistat de dispositius de seguretat d'un contenidor refrigerat – Font: Carrier Transicold “Operation and Service Manual for Container Refrigeration Unit”

El principal problema d'aquests contenidors és el seu control i monitoreig en grans instal·lacions amb una quantitat elevada de *reefers*. Cada contenidor permet veure el seu estat, temperatura, humitat i alarmes a la seva pròpia pantalla interactiva. Malgrat això, no hi ha una forma de veure i poder controlar remotament aquesta informació. Això representa un gran problema si es compta amb un número elevat de contenidors, ja que requereixen un control periòdic i individual de cada *container*, traduint-se això en una gran pèrdua de temps i recursos.

En un futur, l'evolució dels contenidors refrigerats crec que passa per crear un mètode el qual permeti realitzar un control remot de la diferent informació que genera cada contenidor. Seria particularment interessant, invertir en la bidireccionalitat d'aquesta informació, això permetria dur a terme un control de la càrrega molt més efectiu i suposaria un estalvi de temps i recursos. Aquesta bidireccionalitat permetria, per exemple, després d'una caiguda de planta, connectar els diferents contenidors de manera esglaonada, enlloc de tots alhora. Aquesta forma, s'evitarien possibles sobrecàrregues i permetria a la planta poder aguantar de forma molt més efectiva la demanda elèctrica en el moment de reconexió. Addicionalment també permetria realitzar un

control de demanda del tipus *peak shaving*, actuant en els pics de demanda es desconnectarien les diferents càrregues no crítiques, per millorar l'eficiència del sistema.

Actualment, varis ports i terminals estant invertint en sistemes que funcionen mitjançant l'ús de intel·ligència artificial (IA). Un exemple d'això són les terminals que han desenvolupat sistemes per mantenir un control constant de la posició i condició de la seva maquinària. Això permet a les terminals prendre decisions de forma molt més ràpida i poder planificar tant l'operativa com el manteniment de manera més efectiva.

Aquesta idea, crec, que es podria aprofitar, alhora, pels diferents contenidors. Seria necessària la instal·lació d'antenes i aplicar un protocol per poder gestionar la informació que arribés des dels *containers*. Addicionalment, i a la llarga, es podria crear un protocol mundial pels contenidors, que funcionés donant, a les terminals o embarcacions, la informació de cada *container* un cop aquest arribés a les seves instal·lacions. Aquesta informació, tant en un vaixell com en una terminal, consistiria en grans volums de dades, per tant seria necessari o la contractació de personal únicament dedicat al seu tractament, o el desenvolupament d'un protocol, fent ús d'IA per tractar les dades.

L'aplicació d'aquestes mesures contribuiria, en la meua opinió, en una gran millora per a ajudar a prendre decisions més ràpidament, a planificar de forma més eficient tant l'operativa com el manteniment i reduir, a la llarga, costos i el malgast energètic. En contrapart, dur a terme aquestes mesures implica una dedicació i una inversió inicial molt forta, juntament amb la dificultat i problemes de instal·lació i aplicació que pot comportar.

4.3. Transport de LNG: Recuperació del Boil-Off Gas

Quan es va començar a plantejar aquest treball va sorgir la idea d'usar el *Boil-Off Gas* com a fluid refrigerant. D'aquesta forma, els vaixells que generaven, de manera indirecta, BOG podrien aprofitar aquest recurs enlloc d'haver de crear una planta o unitat de refrigeració. Durant el transcurs del treball s'ha buscat informació respecte a casos en els quals s'utilitzés aquest gas com a refrigerant però no s'ha pogut identificar cap cas similar.

Actualment, les solucions que s'apliquen al BOG son les següents⁹:

⁹ AISYAH, R., 2018. Boil-off gas handling. *Chemical Engineering Portal* [en línia]. [Consultat el: 23 d'abril de 2023]. Disponible a: <https://missrifka.com/energy/lng/boil-off-gas-handling.html>

- BOG com a combustible: El gas es comprimeix mitjançant compressor. A continuació, s'augmenta la seva temperatura i, finalment, alimenta al motor de gas. Tot i ser un mètode bo per a manejar el BOG, no tot el gas pot ser usat com a combustible, això fa que aquest mètode sigui considerat secundari.
- Compressió del BOG a un gasoducte: és un mètode que s'usa a terra quan el subministrament de gas al client es realitza de forma contínua. En ell, el gas es comprimeix fins que compleix els requisits de pressió en el gasoducte.
- Re-condensació del BOG: En ell el gas es re-condensa per convertir-lo en Gas Natural Lliquat (LNG) altre cop. Les instal·lacions de Recondensació consten d'una bomba de baixa pressió de LNG, un re-condensador, una bomba d'alta pressió de LNG i un compressor de BOG. El gas comença comprimint-se en el compressor i, seguidament, es posa en contacte amb el LNG, procedent de la bomba de baixa pressió, dins del re-condensador. El flux de LNG dins del recondensador es va ajustant per assegurar que tot el BOG es recondensa. Finalment, es bombegen els dos fluids mitjançant la bomba d'alta pressió.

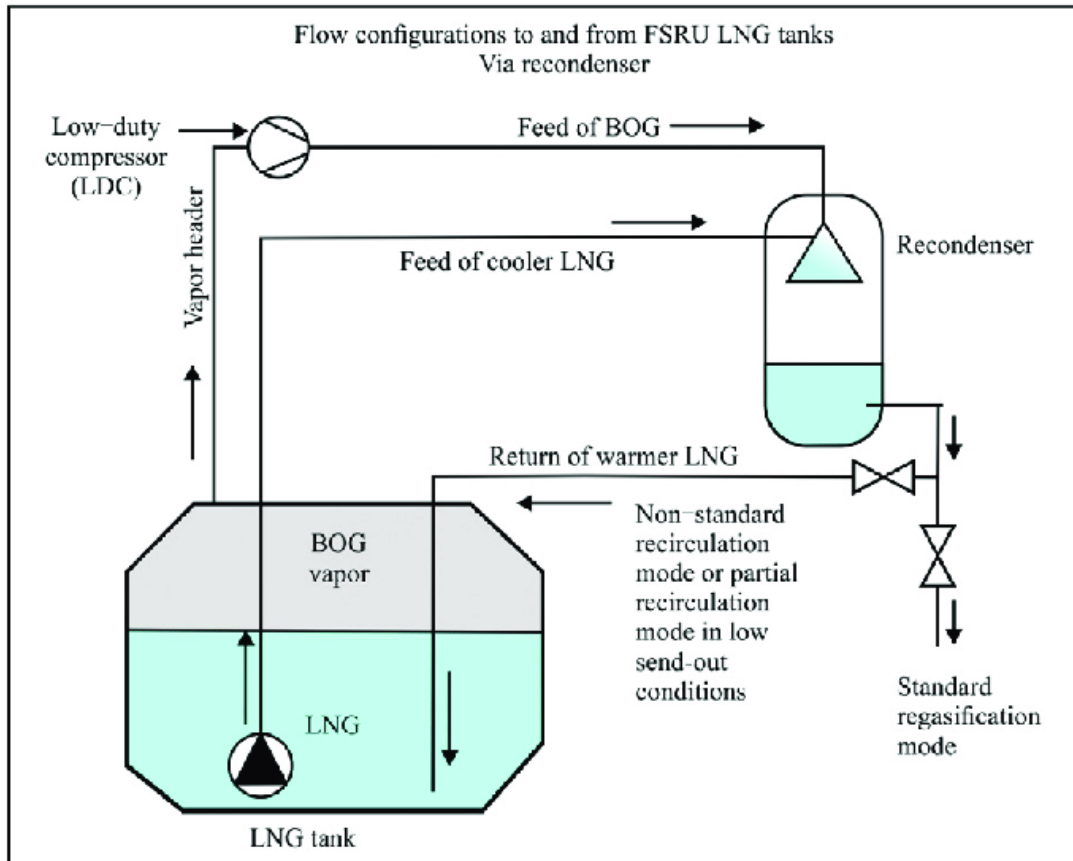


Figura 22: Esquema típic d'una planta de Recondensació de BOG – Font: ResearchGate “Enhanced application for FSRU recondensing equipment during periods of low or no gas send out to minimize LNG cargo losses”

- Re-liquació del BOG: L'objectiu d'aquest mètode es refredar i liquar el BOG, fent ús d'un intercanviador de calor. A continuació, el LNG es vaporitza o es torna a guardar en el tanc d'emmagatzematge. La re-liquació es pot fer usant LNG o nitrogen com a agent refrigerant.

Després de l'estudi realitzat s'ha pogut arribar a la conclusió que no es una solució assequible actualment. La hipòtesis plantejada inicialment semblava una bona idea i una solució enfront a la contaminació que implica no donar un segon ús al BOG, però finalment s'ha vist que era una hipòtesis poc fonamentada. Malgrat això, gràcies a l'anàlisi que s'ha realitzat, s'ha pogut veure que existeixen diferents tècniques que eviten les emissions del gas en gran mesura, ja que aconseguixen donar una segona vida a aquest.

4.4. Relació fred-aïllant

Una part molt important de les plantes de refrigeració és l'aïllant del propi sistema. Aquest, al aïllar tèrmicament la part a refrigerar de l'exterior, fa disminuir les demandes energètiques del sistema, disminuint així costos.

Ara bé, l'aïllant també té el seu cost, així que la solució passa en realitzar un balanç entre el gruix de l'aïllant i les necessitats de fred a la zona a refrigerar.

Per poder veure el balanç o relació que s'estableix entre ambdós paràmetres, s'han analitzat tres propostes de dimensionament de cambres frigorífiques, en forma de Treballs Finals de Grau^{10 11 12}.

Tots tres treballs realitzen el càlcul d'una forma similar amb les següents formules:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}$$
$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

On:

Q és el flux de calor.

U és el coeficient global de transmissió de calor.

Δt és la diferència de temperatura entre l'exterior i l'interior de la instal·lació frigorífica.

A és la superfície de la paret.

¹⁰ MONTOYA GÓMEZ, L., 2017. Cálculo y Diseño de una instalación de frío para un barco de pesca atunero. *Repositorio Principal* [en línia]. [Consultat el: 5 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.upct.es/xmlui/handle/10317/5710?show=full>

¹¹ SASTRE CORREA, J., 2017. Diseño de una instalación de refrigeración para un Buque Frigorífico. *UCrea* [en línia]. [Consultat el: 8 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12675>

¹² YÚFERA ACOSTA, C., 1970. Diseño de una instalación de frío para un buque pesquero arrastrero. *Repositorio Principal* [en línia]. [Consultat el: 8 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5711>

α_e és el coeficient de transmissió de calor per convecció de la cara externa.

α_i és el c.oefficient de transmissió de calor per convecció de la cara interna.

δ_i és l'espessor de l'aïllant.

λ_i és la conductivitat tèrmica de l'aïllant.

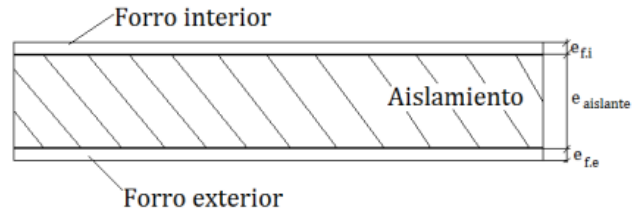


Figura 23: Dibuix aïllament – Font: Cálculo y dissenyo de una instalación de frío para un barco de pesca atunero (2016)

Finalment tots coincideixen en la utilització d'un valors ja establerts per G. Giacchetta i A. Gac, els quals van calcular els valors ideals de flux de calor que condueixen a l'espessor òptim en espais tancats:

	Q parets (W/m ²)		Q terra (W/m ²)
	Temperatura (-10°C/10°C)	Temperatura (-20°C/-30°C)	
G. Giacchetta	11 – 14	9,3 – 10,5	8,1
A. Gac	8 - 12	6 – 9,5	

Taula 4: Flux de calor òptim – Font: Tablas para el balance en cámaras

Capítol 5. Normativa actual

La Normativa considerada és l'aplicable a Espanya.

5.1. Real decreto 552/2019, del 27 de setembre

El *Reglament de seguretat per plantes i instal·lacions frigorífiques*¹³, que va ser aprovat per el Real Decret 552/2019, del 27 de setembre, va ser creat per substituir i derogar el Real Decret 3099/1977, del 8 de setembre i a les seves instruccions tècniques complementaries. Es va actualitzar degut al gran salt tecnològic que s'ha produït i per poder-ho adaptar a les exigències actuals mediambientals i d'eficiència energètica.

El reglament, fins i tot l'anterior, ha contribuït a potenciar i fomentar la seguretat a les instal·lacions frigorífiques.

5.2. Reglamentació relativa a Instruccions Tècniques Complementaries

El Real Decret anterior ve acompanyat d'una sèrie de Instruccions Tècniques Complementaries que es defineixen a continuació:

ITC-MI-IF-01: Terminologia

ITC-MI-IF-02: Classificació dels refrigerants

ITC-MI-IF-03: Classificació dels sistemes de refrigeració

¹³ Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Ir a la página de inicio* [en línia]. [Consultat el: 29 de març de 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-15228>

- ITC-MI-IF-04: Utilització dels diferents refrigerants
- ITC-MI-IF-05: Disseny, construcció, material i aïllament usats en els components frigorífics
- ITC-MI-IF-06: Components de les instal·lacions
- ITC-MI-IF-07: Sala de màquines específica, disseny i construcció
- ITC-MI-IF-08: Protecció d'instal·lacions contra sobrepressions
- ITC-MI-IF-09: Assajos, proves i revisions prèvies a la posada en servei
- ITC-MI-IF-10: Marcat i documentació
- ITC-MI-IF-11: Cambres frigorífiques, cambres d'atmosfera artificial i locals refrigerats per procés
- ITC-MI-IF-12: Instal·lacions elèctriques
- ITC-MI-IF-13: Medis tècnics mínims requerits per a l'habilitació com a empresa frigorista
- ITC-MI-IF-14: Manteniment, revisions i inspeccions periòdiques de les instal·lacions frigorífiques
- ITC-MI-IF-15: Posada en servei de les instal·lacions frigorífiques
- ITC-MI-IF-16: Mesures de prevenció i de protecció personal
- ITC-MI-IF-17: Manipulació de refrigerants i reducció de fugues a les instal·lacions frigorífiques
- ITC-MI-IF-18: Identificació de tuberies i símbols a utilitzar en els esquemes de les instal·lacions frigorífiques
- ITC-MI-IF-19: Relació de normes UNE de referència

5.3. ITC-MI-IF-12: Instal·lacions elèctriques

És la instrucció complementària en la qual es regulen els projectes, construcció, muntatge, verificació i utilització de les instal·lacions elèctriques en instal·lacions frigorífiques.

Aquesta instrucció complementària s'ajusta al que s'estableix en el *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)*. Addicionalment estableix que:

- Els circuits elèctrics d'alimentació de sistemes frigorífics s'instal·laran de forma que la corrent s'estableixi o s'interrompi independentment de l'alimentació d'altres parts de la instal·lació, en especial, de la xarxa d'il·luminació (normal i d'emergència), dispositius de ventilació i sistemes d'alarma.

- En instal·lacions en règim de neutre TT s'ha d'incorporar protecció diferencial i magnetotèrmica per cada element principal (compressors, ventiladors dels condensadors, evaporadors, etc.) i per circuit de maniobra. Per instal·lacions amb règims de neutre diferents s'han d'usar proteccions d'eficàcia equivalent o superior.

- Amb independència del prescrit en el REBT i les seves instruccions tècniques complementaries, les instal·lacions frigorífiques han d'estar protegides contra contactes indirectes de la següent manera:
 - En cas d'instal·lacions centralitzades, cada element principal ha d'estar degudament protegit: compressor, condensador, evaporador i bomba de circulació.

 - En cas de circuits independents, formats per un únic conjunt compressor, condensador i evaporador, serà suficient una protecció única pel conjunt.

 - Les resistències elèctriques de desgebrar de tots els evaporadors poden ser protegides per un únic dispositiu.

Amb aquestes normes es pretén, a part de la protecció de les persones, afegir mesures que redueixin al mínim el deteriorament dels productes emmagatzemats o assegurin el funcionament permanent d'una part raonable de la instal·lació.

5.4. DB-HE

Es tracta d'un Documento Básico (DB) que té per objectiu establir regles i procediments que permetin complir el requisit bàsic de l'estalvi d'energia. El document es divideix en 7 seccions que es corresponen amb 7 exigències bàsiques. L'aplicació correcta de cada secció implica el compliment de l'exigència bàsica corresponent:

HE 0: Limitació del consum energètic.

HE 1: Condicions pel control de la demanda energètica.

HE 2: Condicions de les instal·lacions tèrmiques.

HE 3: Condicions de les instal·lacions d'il·luminació.

HE 4: Contribució mínima d'energia renovable per a cobrir la demanda d'aigua calenta sanitària.

HE 5: Generació mínima d'energia elèctrica procedent de fonts renovables.

HE 6: Dotacions mínimes per a la infraestructura de recàrrega de vehicles elèctrics.

Arrel del DB-HE, els edificis queden tèrmicament definits segons els següents conceptes:

- La transmissió global de calor a través del conjunt del tancament i la individual de cada un dels elements que el formen.
- El comportament higrotèrmic dels tancaments.
- La permeabilitat a l'aire dels tancaments.

Aquest document bàsic va derogar el Real Decreto 2429/79, del 6 de juliol, el qual aprovava la normativa bàsica d'edificació NBE-CT-79.

5.5. MARPOL

El MARPOL 73/78¹⁴, o Conveni Internacional per Prevenir la Contaminació dels Vaixells, és el principal conveni internacional amb l'objectiu de minimitzar la contaminació de mars i oceans des de vaixells, ja sigui per causes operatives o accidentals.

El conveni va ser adoptat el 1973 la IMO, Organització Marítima Internacional, i modificat pel Protocol de 1978. El conveni actual és la fusió del conveni de 1973 i el protocol de 1978.

L'annex que aplica al treball és l'Annex VI: Prevenció de la pol·lució de l'aire des de bucs. Aquest es va adoptar l'any 1997 i va entrar en vigor el 19 de maig de 2005. D'aquest apartat cal destacar la situació actual dels diferents refrigerants usats en l'àmbit marí:

HFC	R-134a	HFC-134a	1,1,1,2 - Tetrafluoroethane	No current limitations
------------	--------	----------	-----------------------------	------------------------

¹⁴ IMO, Virtual publications. *Virtual Publications* [en línia]. [Consultat el: 17 marzo de 2023]. Disponible a: <https://vp.imo.org/>

HFC	R-227ea	HFC-227ea	1,1,1,2,3,3,3 - Heptafluoropropane	No current limitations
HFC	R-23	HFC-23	Trifluoromethane	No current limitations
HCFC	R-22	HCFC-22	Chlorodifluoromethane	No new installations as from 1 January 2020
CFC	R-11	CFC-11	Trichlorofluoromethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-12	CFC-12	Dichlorodifluoromethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-13	CFC-13	Chlorotrifluoromethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-113	CFC-113	Trichlorotrifluoroethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-114	CFC-114	1,2 – Dichloro – 1,1,2,2 – tetrafluoroethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-115	CFC-115	1 – chloro – 1,1,2,2,2 – pentafluoroethane	No new installations as from 19 May 2005
CFC	R-116	CFC-116	hexachloroethane	No new installations as from 19 May 2005

Taula 5: Situació actual del refrigerants – Font: MARPOL Annex VI

5.6. SOLAS

El conveni SOLAS (Safety of Life at Sea) és un conveni internacional de seguretat marítima, que té com a objectiu establir uns estàndards mínims de seguretat en la construcció, equipament i operació dels vaixells.

El conveni es va crear l'any 1914 com a conseqüència de l'enfonsament del *Titanic*. Inicialment el conveni preestablia el número de bots salvavides i altre equipament d'emergència. La versió actual del SOLAS es la de 1974 i té un total de 167 països signataris, en total un 99% dels vaixells mercants.



Figura 24: Logo Organització Marítima Internacional – Font: IMO

En aquest treball cal destacar el “Capítol II-1 Construcció – Estructura, compartiment i estabilitat, instal·lacions de màquines i instal·lacions elèctriques”. Aquest apartat està format per cinc parts diferents:

- Part A: Regula aspectes estructurals, mecànics, elèctrics i mesures relatives a la protecció contra la corrosió en tanc de llast d'aigua de mar.
- Part B: Regula instruccions especials relatives al compartimentat i estabilitat de vaixells de passatge i de transport rodat. Addicionalment regula altres temes com dobles fons o portes estanques.
- Part C: Regula la màquina i el seu sistema de control, sistemes d'aire comprimit i ventilació en espais de màquines, entre d'altres.
- Part D: Regula la font d'energia elèctrica principal i d'emergència i precaucions sobre descàrregues elèctriques, incendis elèctrics i altres riscos.
- Part E: Regula espais de màquines sense dotació permanent.

5.7. Altres normatives

Altres normatives que apliquen, o poden aplicar, en l'àmbit del treball:

- Normativa UNE 100-171-89 per la climatització, aïllament tèrmic i materials per cambres frigorífiques.
- Reglamentació tècnico-sanitària sobre les condicions generals d'emmagatzematge frigorífic d'aliments (R. D. 168/1985 de 6 de febrer).

- Reglament d'equips a pressió i les seves Instruccions Tècniques Complementaries. Real Decreto 2060/2008 de 12 de Desembre.
- Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió i les seves Instruccions Tècniques Complementaries. Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo.
- Protocol de Montreal de 1989.
- CAC/RCP 8-1976.

Capítol 6. Present i futur de les càrregues refrigerades

6.1. Present

L'any 2019 els experts de *Dynamar* intuïen poc futur per a les embarcacions convencionals refrigerades, ja que entraria, l'any 2020, en vigor la normativa IMO2020, amb l'objectiu de limitar les emissions de sofre. Aquest fet perjudicava especialment a la flota de vaixells refrigerats, que al ser el tipus d'embarcació amb una edat mitjana més elevada, haurien de navegar a velocitats inferiors. Malgrat les restriccions que s'esperaven per l'any 2020, amb motiu de la pandèmia per COVID-19 que s'estengué per tot el món durant l'any 2020, la realitat va ser totalment diferent.¹⁵

A l'inici d'any, va entrar en vigor la IMO2020, fet que va comportar que la diferència de preus entre el HFO i els combustibles amb baix sofre s'incrementés fins a, aproximadament, 300 USD/tona. La solució de varis armadors de vaixells portacontenidors va ser invertir en *scrubbers*, però aquesta solució no era viable en el cas dels vaixells refrigerats.

A mitjans de gener, però, van començar a aparèixer notícies d'un nou virus que afectava a Xina. A finals de gener el país va implementar dures mesures per intentar contenir el virus tancant totes les fàbriques i parant, així, la producció del país. Aquesta mesura va comportar una aturada en les exportacions xineses ja que no hi havia cap producte a exportar.

La situació va empitjorar substancialment quan les infeccions van començar a sorgir a altres llocs del planeta. Mentre Xina millorava lentament, la resta del món va començar a entrar en quarantena. Fent-se així un gir total del problema, la falta d'oferta es va convertir en una falta de demanda. La situació semblava apuntar a un desastre financer pel sector naval.

¹⁵ *Reefer analysis 2020 - Dynamar B.V. maritime reports* [en línia]. [Consultat el: 13 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2021/07/Dynamar-2020-Reefer-Analysis-Contents-Overview-and-Introduction.pdf>

Enlloc d'això, va col·lapsar el preu dels combustibles i la diferència entre el HFO i el VLSFO es va reduir a tan sols 50 USD/tona. Això va comportar un fracàs pels armadors que havien invertit en *scrubbers* a curt termini, però va ser una gran notícia per les embarcacions convencionals refrigerades. Enlloc d'esdevenir totalment incompetents en comparació amb els vaixells portacontenidors, va fer baixar els costos d'usar vaixells refrigerats. Malgrat que la demanda de productes xinesos es va reduir molt considerablement, la demanda de menjar es va mantenir o, fins i tot, va pujar. Això va afectar, òbviament, a la logística dels frigorífics, però el nivell constant de la demanda i la baixada de preus van resultar en una combinació profitosa pels armadors d'embarcacions frigorífiques. Com a resultat, un únic vaixell refrigerat es va desballestar durant la primera meitat de 2020.

A meitat d'any, la pitjor part de la pandèmia ja havia passat, tant per Amèrica del Nord com per Europa. Els països es van començar a reabastir i la demanda a augmentar, però la oferta de capacitat a bord va romandre constant. L'augment de la demanda, la baixa capacitat i el baix cost del combustible va comportar uns beneficis econòmics molt considerables. La demanda va seguir creixent fins a nivells superiors als nivells previs a la pandèmia fins a tal punt que es va crear la necessitat de més embarcacions, contenidors i capacitat portuària. A finals d'any la necessitat seguia vigent, les tarifes de noliejament a nivells mínims i les fàbriques productores de contenidors refrigerats treballaven hores extres per satisfer la demanda. Finalment, només sis vaixells refrigerats es van desballestar durant l'any 2020.



Figura 25: Vaixell "Ever Given" bloquejant el canal de Suez – Font: The New York Times

La demanda a l'inici de l'any següent¹⁶, una època típicament amb baixa demanda, es va mantenir a nivells elevats. Amb el comerç en ple apogeu, la situació va esdevenir més tensa encara quan el vaixell portacontenidors "Ever Given" va bloquejar el Canal de Suez durant sis dies. Aquest fet va provocar que els bucs arribessin tard a Europa i tornessin encara més tard a Àsia, per tant va deixar d'haver capacitat extra per compensar les pèrdues. Mentrestant, als Estats Units, els ports van resultar incapaçs de descarregar les embarcacions que arribaven i de retirar els contenidors de les seves terminals, fent així que molts bucs estiguessin a l'espera fondejats.

Amb la demanda a l'alça i els vaixells congestionats, les tarifes de noli, que ja estaven cares, es van encarir encara més. Els preus van pujar, de mitjana, de tres a quatre vegades els nivells de l'any anterior. Les empreses van començar a pagar xifres estratosfèriques només per poder assegurar que les seves càrregues fossin a bord. Fins i tot això no va ser suficient, ja que alguns transportistes van preferir pagar al comptat enlloc de les tarifes contractuals més baixes i es van negar a complir les seves obligacions. Com a resultat, van haver-hi alguns transportistes que van decidir armar els seus propis bucs. Per desgràcia, aquests vaixells petits extra que es van desplegar a les principals rutes van contribuir a empitjorar la situació. Mentre que, teòricament, havien d'ajudar a ampliar la capacitat a bord, van augmentar la congestió i, amb fins a un 12% de la flota fent cua a les principals rutes, al final la capacitat de càrrega de contenidors es va reduir considerablement. En canvi, aquest desastre pels vaixells portacontenidors, va afavorir als bucs refrigerats, ja que moltes càrregues que s'haurien transportat mitjançant contenidors refrigerats, les van dur ells, degut a què els portacontenidors optaven per *containers "secs"* a causa de la seva simplicitat.

Amb els nivells de demanda i les tarifes de noli a preus tant elevats, de fins a 200.000 USD/dia per un vaixell portacontenidors petit, algunes companyies transportistes, com CMA CGM i MS, van optar per comprar vaixells enlloc de pagar les altes tarifes.

Per exemple, la companyia "Great White Fleet", que va abandonar les embarcacions refrigerades convencionals fa anys per dedicar-se als contenidors, va decidir noliejar tres dels bucs frigorífics convencionals més grans, pel transport entre el Carib i Europa, ja que els seus propis portacontenidors van esdevenir quatre cops més cars.

L'any va resultar un èxit pels operadors de vaixells convencionals, ja que molta càrrega que hagués anat en contenidors la van transportar les seves embarcacions. En conseqüència, es van desballestar molt pocs bucs durant el 2021, sent el principal motiu que s'apropava la seva revisió quinquennal i hagués sigut massa costós mantenir-los en funcionament.

¹⁶ *Reefer analysis 2021 - Dynamar B.V. Maritime Reports* [en línia]. [Consultat el: 18 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2022/02/Dynamar-2021-Reefer-Analysis-BASIS-Contents-Overview-Introduction.pdf>

A l'any 2022¹⁷, des del punt de vista de la demanda, la guerra a Ucraïna, amb l'encariment de l'energia conseqüent i l'elevada inflació, va provocar una reducció d'aquesta. Alhora, a causa del coronavirus, la Xina mantenia la política "zero-covid", reduint o fins i tot parant ocasionalment la producció del país. Com a conseqüència, el comerç de contenidors es va reduir un 2,5% durant els tres trimestres inicials i, superiors la resta de l'any. Això va provocar que la taxa de creixement interanual disminuís, però sempre mantenint la tendència a l'alça.

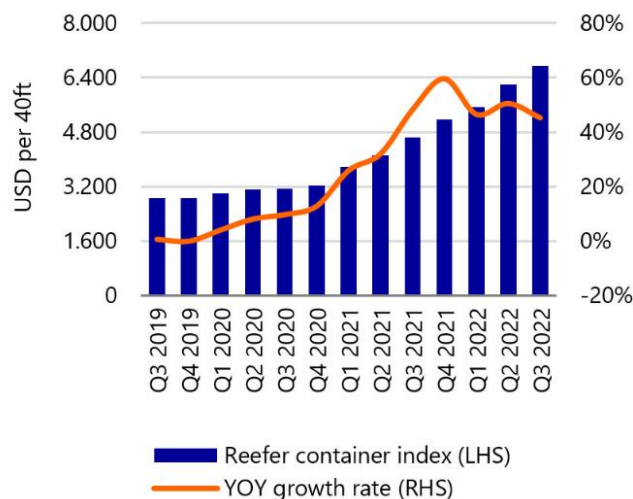


Figura 26: Índex de nolis de contenidors refrigerats – Font: Drewry

Des del punt de vista de l'oferta, durant l'any 2022 es va posar fi a la congestió. Això, juntament amb una menor demanda, va provocar que la falta de bucs disminuís. En comparació amb el punt àlgid, en el qual un 12% de la capacitat dels vaixells estava atrapada enmig de la congestió; al novembre de 2022, la flota inactiva era propera als 500.000 TEU, quatre vegades superior als nivells dels dos primers mesos de l'any.

A finals de 2022, però, les tarifes dels contenidors van caure en picat, fins a recuperar als nivells previs a la pandèmia. En canvi, els preus dels vaixells frigorífics convencionals es van suavitzar en menor mesura.

¹⁷ Reefer Analysis 2022 - Dynamar B.V. maritime reports [en línia]. [Consultat el: 27 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2022/12/Contents-Overview-and-Introduction-Reefer-Analysis-2022.pdf>

6.2. Futur

Al 2023 la IMO ha aplicat la normativa *Carbon Intensity Indicator* (CII), amb l'objectiu de reduir l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i reduir el consum màxim de combustible per part dels vaixells, amb els seus requeriments pujant amb el pas dels anys. Aquesta normativa farà navegar als bucs més antics a velocitats menors o fins i tot els forçarà fora del mercat, ja que la seva explotació pot esdevenir econòmicament inviable.

Els vaixells frigorífics convencionals seran, probablement, els més afectats per la normativa CII. Molts d'ells, antics i amb consums elevats, hauran de navegar a velocitats inferiors per estar dins dels marges de la normativa. L'avantatge que encara mantenien respecte als portacontenidors, al perdre menys temps en terminals, es perdrà. Malgrat els nous vaixells frigorífics que s'estan acabant de construir, segurament no seran suficient per parar el declivi de la flota, però demostra que encara hi ha armadors convençuts del futur del comerç amb bucs frigorífics convencionals.

En canvi, els contenidors refrigerats s'espera que segueixin creixent, amb una demanda que s'estima que creixerà, per part de "Seabury Cargo" i "Drewry"¹⁸, un 3,1% i un 3% respectivament. Des del punt de vista de la oferta, s'espera que augmenti fins a un 3,9% respecte als nivells de 2022. Aquest creixement es deu, principalment, a l'arribada dels nous vaixells portacontenidors durant 2023 i 2024.

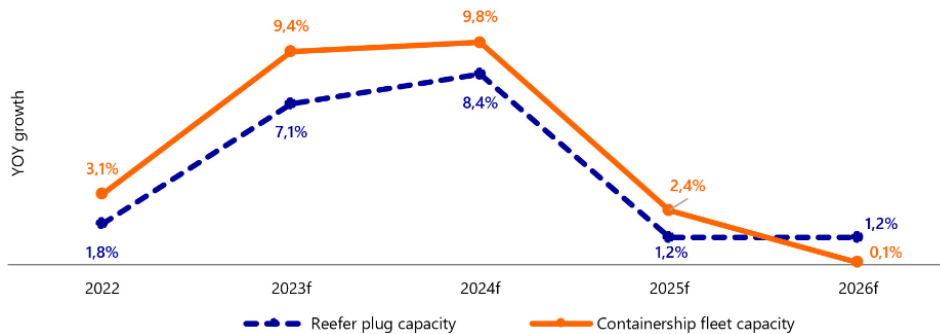


Figura 27: Índex de creixement interanual de la capacitat de contenidors refrigerats – Font: Drewry

¹⁸ *Ocean Reefer Container Rate Outlook 2023* [en línia]. [Consultat el: 3 de juny de 2023]. Disponible a: <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/fa-supply-chains/ocean-reefer-container-rate-outlook-2023.html>

Capítol 7. Operativa containers refrigerats

7.1. Situació

Per veure l'operativa i funcionament que es duu a terme amb els contenidors refrigerats en una terminal portuària, s'ha realitzat un anàlisi d'aquests *reefers* a la terminal de contenidors APM Terminals Barcelona¹⁹.

Aquesta terminal està situada al Moll Sud del Port de Barcelona i té una capacitat anual de 1.560.000 TEUS. La terminal compta amb el gran avantatge d'estar situada en el canal d'entrada al port, facilitant així, de gran manera l'accés d'una embarcació portacontenidors a ella. Addicionalment, posseeix una connexió ferroviària pròpia, un sistema automàtic d'entrada i accés quasi immediat a la xarxa d'autopistes. També hi ha, a l'interior de la terminal, oficines d'aduanes per l'optimització en el procés logístic.

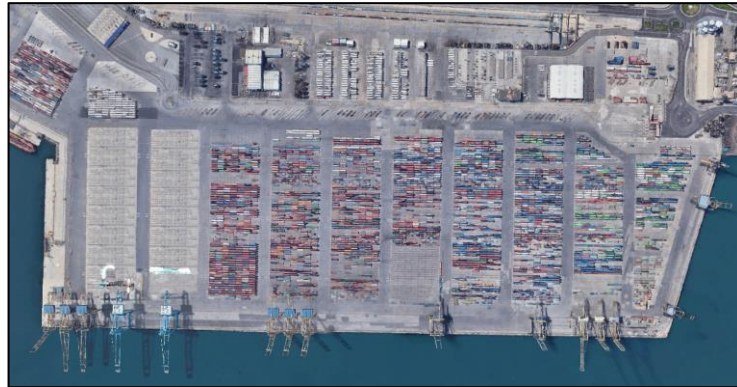


Figura 28: Vista aèria d'APMT Barcelona – Font: Google Earth

¹⁹ APM Terminals Barcelona. *Barcelona - APM Terminals* [en línia]. [Consultat el: 16 de juny de 2023]. Disponible a: <https://www.apmterminals.com/es/barcelona>

La terminal compta amb un total de 632 places per contenidors refrigerats, un número, que en cas de necessitat, podria arribar a un màxim de 975 endolls. Malgrat això, en el moment àlgid dels *reefers*, durant la pandèmia, es van arribar a manejar quantitats superiors a les 1000 unitats refrigerades.

Per facilitar l'operació i gestió d'aquest tipus de contenidors, la terminal posseeix unes zones específiques en les quals només s'hi emmagatzema càrrega refrigerada. Aquestes àrees són, normalment, passarel·les de tres pisos amb endolls a banda i banda. En elles els contenidors es situen perpendicularment a l'estructura i fins a un total de tres pisos, situats contenidor sobre contenidor. Aquests s'endollen directament als diferents endolls que té equipats la plataforma i són alimentats a 440 V i 30 A directament des de la xarxa elèctrica.



Figura 29: Vista aèria de les plataformes de *reefers* – Font: APM Terminals Barcelona

Adicionalment, es compta amb una àrea addicional de connexió de *containers* refrigerats. Aquí desapareixen les plataformes, per tant, els diferents endolls estan situats tots a nivell de terra i per operar els contenidors situats als nivells superiors s'ha d'accedir a ells mitjançant l'ús d'una plataforma elevadora. Finalment, enlloc d'anar connectats directament a la xarxa, aquí els contenidors són alimentats gràcies a generadors de dièsel.

7.2. Operativa a la terminal

Per poder estudiar com s'opera amb els reefers a la terminal, es necessari primer analitzar el procediment d'entrada i de sortida d'aquests a la terminal. Els contenidors refrigerats que arriben poden accedir a ella de dues formes diferents: mitjançant un vaixell o a través d'un camió. Normalment, els contenidors marxen de les instal·lacions utilitzant el mètode de transport contrari al del seu ingrés. Per realitzar el transport dels contenidors per la terminal s'usen, principalment, dues màquines:

- **Grua pòrtic portacontenidors:** és una estructura de grans dimensions dissenyada per a la càrrega i descàrrega de contenidors ISO. Consisteix en una estructura en forma de pòrtic, un sistema de rails i una grua muntada en un carro que llisca pels rails. L'estibador opera des d'una cabina situada a la part superior del pòrtic, des d'aquesta es maneja el *spreader* perquè es desplaci fins al contenidor i acciona els *twistlocks* per agafar el contenidor.
- **Straddle Carrier:** és una màquina mòbil dissenyada pel transport de contenidors ISO. Consisteix en una estructura en forma de pòrtic, un sistema amb un *spreader* per alçar els *containers* i un tren de conducció, que compta amb vuit rodes. El contenidor va situat en el forat de l'estructura mentre aquesta es desplaça i, aquest, pot arribar a ser col·locat a una alçada màxima de quatre contenidors apilats. El conductor va situat en una cabina a la part superior de l'estructura. En aquesta cabina es situa de forma que es pot veure la part frontal i la part del darrere del vehicle.



Figura 30: Grua portacontenidors operant – Font: APM Terminals Barcelona

En el cas de que la càrrega arribi a través d'un buc, son les grues portacontenidors les encarregades de descarregar els diferents contenidors a terra. Aquestes deixen els contenidors sota seu, preparats perquè les *Straddle Carriers* (SC) agafin els contenidors i els dipositin als seus llocs respectius, establerts per la terminal.

En canvi, si l'entrada a la terminal es realitza mitjançant un camió, aquest es disposarà en una zona preestablerta, esperant que arribi una màquina SC per descarregar la seva càrrega. Finalment, la *Straddle* és l'encarregada de dipositar el contenidor al seu lloc respectiu.

A l'hora de dur a terme la sortida de la terminal, es repeteixen els dos mateixos processos, però amb el seu ordre de passos invertit.

Un cop els contenidors refrigerats estan al seu lloc pertinent, els encarregats del seu maneig deixen de ser els estibadors i passen a ser els frigoristes.



Figura 31: *Straddle Carrier* amb un contenidor refrigerat – Font: APM Terminals Barcelona

Els frigoristes generalment s'encarreguen de dues funcions principals, revisió de les diferents alarmes que presenten els contenidors refrigerats i operacions de connexió, desconexió o remoció dels *containers*.

- Revisió de les alarmes: Cada dia es duen a terme dues revisions de les alarmes de cada contenidor individualment. Els operaris miren a la interfície de cada contenidor si apareix alguna alarma en el panell dedicat a elles. En cas de que un contenidor presenti una alarma i aquesta té fàcil solució, l'operari es fa càrrec d'ella, en cas contrari, es posa en contacte amb el coordinadors de manteniment perquè sigui una empresa externa,

dedicada al manteniment de contenidors refrigerats, l'encarregada de solucionar el problema.

- Connexió, desconexió i remoció: És la principal tasca a realitzar per part dels frigoristes. Aquests reben les diferents sol·licituds mitjançant un aparell electrònic, popularment anomenat com a "Tamagotchi", o través d'un llistat en paper. Un cop rebudes aquestes sol·licituds, els operaris es dirigeixen a la ubicació de cada un dels diferents contenidors afectats. Abans de dur a terme cap operació, s'ha de comprovar que el contenidor estigui situat a la posició pertinent, que presenti un bon estat i no tingui cap alarma. A continuació d'haver realitzat les comprovacions anteriors, es pot procedir a la connexió, desconexió o remoció del *reefer*. El cas de remoció és quan el *container* s'ha de moure, però sense sortir de la terminal. Un exemple seria quan el contenidor situat a una de les altures inferiors surt de la terminal. Llavors aquest seria desconnectat i en els dos nivells superiors es duria a terme la remoció. En el cas de la remoció el cable es situa d'una forma concreta com es mostra a la figura 32.

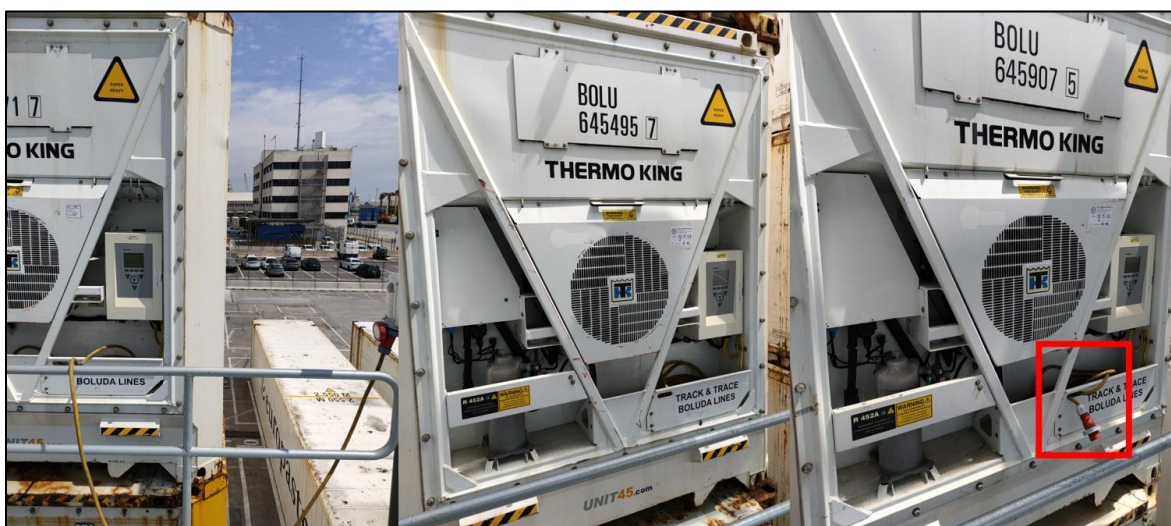


Figura 32: D'esquerra a dreta, connexió, desconexió i remoció d'un container refrigerat – Font: Pròpia

Capítol 8. Dimensionament màquina elèctrica

Per realitzar el dimensionament elèctric d'un vaixell el qual transporta càrrega refrigerada s'ha escollit una embarcació portacontenidors, la qual disposa d'una sèrie d'endolls pel transport de contenidors refrigerats a bord. El buc en qüestió té les següents característiques:

- Eslora: 345 m
- Màniga: 43 m
- Puntal: 27 m
- Calat amb càrrega: 14 m
- Tonatge de pes mort: 140.000 tones
- Número de contenidors: 12.200 TEU
- Número d'endolls per contenidors refrigerats: 800 endolls

Per calcular el consum elèctric del total de contenidors s'ha usat les dades publicades per el web *Container Handbook*²⁰ basant-se en les dades recollides per la *German Insurance Association*.

Els diferents valors que apareixen a la Taula 6 son valors màxims en una temperatura externa de 37,8 °C. Aquest valor màxim es dona quan la càrrega està refredant-se, baixant el consum quan s'arriba a la temperatura objectiu.

S'ha usat el valor màxim exposat sent el consum de 12 kW per contenidor. En total, comptant els 800 possibles contenidors operant alhora, s'obté un consum màxim de 9.600 kW. Per aconseguir suplir amb aquesta demanda elèctrica, s'han escollit quatre generadors de 6,6 kV de tensió (AC),

²⁰ *Container Handbook* [en línia]. [Consulta: 20 de juny de 2023]. Disponible a:

https://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html?%2Fchb_e%2Fwild%2Fwild_08_01_02.html

sent aquests dos de 3.640 kW i dos de 2.730 kW, per així poder alimentar, també, els altres consumidors del buc.

REFRIGERATION CAPACITY									
Zer-O™ system net cooling capacities at 37.8°C (100°C) ambient and 60 Hz electric power:									
Scroll w/R404A:					Reciprocating w/R134a:				
Container Temperature	Cooling Capacity			Power Consp.	Container Temperature	Cooling Capacity			Power Consp.
	Watts	KCal/hr	Btu/hr	KW		Watts	KCal/hr	Btu/hr	KW
21°C (70°F)	13,771	11,844	47,000	10.7	21°C (70°F)	13,507	11,617	46,100	12.0
2°C (35°F)	9,962	8,568	34,000	9.1	2°C (35°F)	11,456	9,853	39,100	10.5
-18°C (0°F)	5,860	5,040	20,000	6.1	-18°C (0°F)	5,604	4,820	19,127	6.0
-29°C (-20°F)	3,809	3,275	13,000	5.3	-29°C (-20°F)	3,023	2,600	10,317	4.5

Taula 6: Consum elèctric d'un contenidor refrigerat segons la seva temperatura i refrigerant – Font: Container Handbook

Els diferents endolls dels contenidors refrigerats treballen a un voltatge de 440 V, ja que es el voltatge requerit pels *containers*. Per aconseguir aquesta tensió, s'ha fet ús de sis transformadors per adaptar el valor a les necessitats. Addicionalment, s'han instal·lat tres transformadors extra. El primer redueix la tensió 6.600/440 V, i és l'encarregat d'alimentar els equips auxiliars del motor i els equips de control. Els altres dos, en canvi, son transformadors 440/220 V, i s'encarreguen del subministrament de tensió als equips d'habilitació.

S'han establert tres condicions d'operació bàsiques per a la navegació, tenint en compte, a més a més, als consumidors externs als contenidors. El sistema ha estat dissenyat de forma que, quan un generador supera el 90% de la seva capacitat, entra un altre generador en paral·lel. En les condicions més extremes, les de sortida de port, el transformador de servei del buc es podria arribar a sobrecarregar, en el cas de que tots els *containers* estiguessin endollats amb els consums més alts. Malgrat això, la probabilitat d'un funcionament simultani de tots els consumidors es molt baixa i, si succeís, el temps de simultaneïtat seria molt reduït. Per tant no influeix en sobre manera a la fiabilitat del sistema.

Condicions d'Operació			
Potència	Navegació	Sortida de port	Al port
Generadors 3700 kW (G1, 2); 2800 kW (G3, 4)	G1, 3 i 4 encesos	G1, 2, 3 i 4 encesos	G1, 3 i 4 encesos
Hèlix de proa (1250 kW x2)	Apagades	1 i 2 enceses	Apagades
Bomba d'oli (250 kW x1)	Encès	Encès	Apagada
Ventiladors auxiliar (125 kW x2)	Apagats	1 i 2 encesos	Apagats
Compressors d'aire (80 kW x2)	Apagats	1 i 2 encesos	Apagats

Engranatges de direcció (100 kW x4)	1 i 2 encesos	1, 2, 3 i 4 encesos	Apagats
-------------------------------------	---------------	---------------------	---------

Taula 7: Diferents condicions d'operació – Font: Pròpia

Per aconseguir evitar aquestes sobrecàrregues i després d'haver analitzat els diferents problemes que presenten els contenidors refrigerats en capítols anteriors, es proposa la següent estratègia. Aquesta consistiria en dur a terme una classificació de la càrrega en funció de la seva criticitat. Inicialment es plantejarien dos nivells bàsics, el nivell crític i el nivell no crític, amb la possibilitat d'afegir diferents nivells addicionals segons la necessitat del buc. Amb els nivells amb una criticitat més gran costant un preu més elevat i viceversa. Això juntament amb el protocol de control de càrrega mencionat, prèviament, al Capítol 4 permetria poder proporcionar un control i un seguiment més complet a les càrregues més crítiques i prioritat elèctrica en cas de sobrecàrrega del sistema. Inclús seria possible crear un nivell no crític de càrrega. Aquest nivell seria el més econòmic però permetria treballar durant un període específic en condicions limitades, per exemple treballar el 50% del temps en un període de dues hores.

Aquest sistema actualment no s'usa, ja que de moment no es tenen o no s'ha invertit en les tecnologies adequades per poder dur a terme el control i monitoreig remot de la càrrega refrigerada. Però, si es aconseguix el sistema mencionat, crec que una estratègia basada en la criticitat de la càrrega ajudaria a produir un estalvi, ja que no forçaria a dimensionar totes les càrregues com a crítiques i es reduiria el malgast energètic.

Capítol 9. Avaluació dels resultats

Durant el transcurs d'aquest projecte s'han assolit la majoria dels objectius marcats a l'inici d'aquest. Actualment, hi ha dues formes establertes de realitzar el transport de càrregues refrigerades, sent aquestes l'ús de vaixells frigorífics convencionals i els contenidors refrigerats, transportats mitjançant bucs portacontenidors. Addicionalment, hi ha altres tipus d'embarcacions que realitzen transport de càrregues refrigerades, però atenen a necessitats molt més específiques, com és el cas de vaixells pesquers o gasers.

Durant el temps de desenvolupament del treball s'ha aconseguit estudiar les diferents tecnologies referents als principals mètodes de transport de càrregues refrigerades. S'ha fet especial èmfasi en el funcionament dels *reefers*. Arrel d'aquest estudi cal destacar el problema que genera la falta d'informació que es pot obtenir remotament de cada contenidor. Això representa un gran inconvenient a l'hora de realitzar una gestió i monitoreig eficaç en situacions en les quals es maneja un nombre elevat d'unitats. Addicionalment, caldria, en un futur, invertir en la bidireccionalitat de la informació que es rebés dels contenidors; per així aconseguir una millor gestió de l'alimentació dels *containers*.

També s'ha dut a terme un anàlisi elèctric de la càrrega d'un vaixell portacontenidors amb capacitat per dur fins a 800 *containers* refrigerats. Durant l'estudi s'ha aconseguit dimensionar la planta elèctrica mitjançant l'ús de quatre generadors i establint diferents condicions operacionals. També existeix un marge d'error en la planta ideada, ja que, per exemple, no s'han tingut en compte pèrdues o condicions extremes.

Actualment la situació que viuen les càrregues refrigerades és incerta. En el passat, els bucs convencionals preveien un futur poc clar, les normatives referents a les emissions des dels bucs semblaven dictaminar sentència en contra d'aquest tipus de vaixells. Aquestes restriccions combinades amb l'edat mitjana més alta d'entre tots els tipus de vaixells portarien a la reducció de la velocitat dels vaixells per reduir emissions, i a la seva expulsió del mercat en favor dels portacontenidors. En contrast, els contenidors refrigerats esperaven rebre tota la càrrega anteriorment transportada en les embarcacions convencionals. Ara bé, l'any 2020 va començar la pandèmia de la COVID-19 i, aquesta, combinada juntament amb altres esdeveniments importants com el bloqueig del canal de Suez o la guerra a Ucraïna, va alterar totes les prediccions realitzades. Durant la duració de la pandèmia el comerç amb càrregues refrigerades es va disparar en gran mesura. Això va comportar un gran èxit tant pels contenidors refrigerats com pels vaixells convencionals, que van aconseguir retardar substancialment el desballestament dels vaixells refrigerats. Malgrat això, la situació actual torna a convidar a pensar en un ràpid declivi de la flota de vaixells frigorífics convencionals, un cop passat l'apogeu de la pandèmia i amb noves normatives per limitar les emissions de gasos emeses per embarcacions. Cal destacar que, en

contra de la majoria de prediccions, hi ha petits sectors que confien i segueixen invertint en bucs convencionals.

El principal objectiu que no s'ha aconseguit ha estat poder justificar l'ús del *Boil-Off Gas* com a fluid refrigerant, aconseguint així abaratir costos i trobar una solució sostenible i verda. En contrapart s'han vist les diferents solucions utilitzades per donar un ús a aquest gas. Malgrat no haver confirmat la hipòtesis inicial, l'estudi de l'ús del BOG ha demostrat que actualment hi ha solucions per evitar perdre aquest gas i aprofitar-lo al màxim contaminant el mínim possible.

Alhora, durant l'estudi de les operacions referents a contenidors refrigerats en una terminal portuària de gran escala, s'ha pogut apreciar la immensa inversió que es dur a terme en el sector de càrregues refrigerades. Una inversió tant gran és només justificable si es confia, realment, en el futur i la rendibilitat econòmica d'aquest sector.

Finalment, i un cop acabat el projecte, es considera el sector com un sector en creixement amb molt potencial per part dels contenidors refrigerats i un futur poc prometedor pels vaixells convencionals. Serà vital, pel futur d'aquests, que es realitzi una gran inversió per rejuvenir la flota i poder navegar sota les condicions que requereix el mercat; tot i que aquesta evolució sembla, al meu entendre i en l'actualitat, molt poc probable.

Capítol 10. Conclusions

Finalment, es pot concloure que els contenidors refrigerats tenen un futur pròsper a curt termini, amb un creixement de la demanda esperat en els pròxims tres anys del 3,9%. Amb uns anys 2023 i 2024 amb creixements superiors al 9%, arrel de l'arribada de nous vaixells portacontenidors.

Malgrat el bon futur que s'augura pels *containers* refrigerats, cal destacar una evolució necessària, tant per ells com per les terminals i els bucs. Aquesta evolució passaria per la implementació d'un sistema que permeti la bidireccionalitat en la informació del contenidor. Això permetria dur a terme un control de la càrrega molt més efectiu i suposaria un estalvi de diners i recursos.

En contrapart als contenidors, les restriccions imposades per la IMO afectaran substancialment als vaixells frigorífics convencionals, arribant, en els casos d'embarcacions més antigues, a forçar-los fora del mercat. Tot i els esforços d'algunes companyies per rejuvenir la flota convencional, no crec que sigui suficient per aturar el declivi d'aquest tipus d'embarcació en favor dels vaixells portacontenidors.

Bibliografia i referències

- ¹ Marina mercante y transporte marítimo 2021/2022 - ANAVE [en línia]. [Consultat el: 6 de febrer de 2023]. Disponible a: https://www.anave.es/images/informes/marina_mercante/2022/MMTM2022_ESP_webOK.pdf
- ² MOON REFRIGERATION, 2021. History of the reefer container. *Moon Refrigeration* [en línia]. [Consultat el: 9 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://www.moonminisrefrigeration.com/history-of-the-reefer-container/>
- ³ THEMIS KARALIS, 2020. Imo 2020 will result in scrapping of older reefer tonnage, says Dynamar. *Container News* [en línia]. [Consultat el: 7 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://container-news.com/imo-2020-scrapping-older-reefer-tonnage-dynamar/>
- ⁴ INGENIERO MARINO, 2019. Tipos de tanques en buques gaseros.sistemas de Contención. *Ingeniero Marino* [en línia]. [Consultat el: 25 de febrer de 2023]. Disponible a: [https://ingenieromarino.com/tipos-de-tanques-en-buques-gaseros-sistemas-de-contencion/#3-Tanques de Membrana](https://ingenieromarino.com/tipos-de-tanques-en-buques-gaseros-sistemas-de-contencion/#3-Tanques_de_Membrana)
- ⁵ Reefer containers - A 2023 guide. *Trade Finance Global* [en línia], 2023. [Consultat el: 27 de febrer de 2023]. Disponible a: <https://www.tradefinanceglobal.com/freight-forwarding/reefer-containers/>
- ⁶ Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Ir a la página de inicio* [en línia]. [Consultat el: 16 de març de 2023]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-15228>
- ⁷ ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 180-2018 [en línia]. [Consultat el: 9 de març de 2023]. Disponible a: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/previews_2016639_pre.pdf
- ⁸ *Container Refrigeration Unit - Fricon Reefer* [en línia]. [Consultat el: 30 de març de 2023]. Disponible a: https://www.friconreefer.nl/products_specs/69NT40-511.pdf
- ⁹ AISYAH, R., 2018. Boil-off gas handling. *Chemical Engineering Portal* [en línia]. [Consultat el: 23 d'abril de 2023]. Disponible a: <https://missrifka.com/energy/lng/boil-off-gas-handling.html>

- ¹⁰ MONTOYA GÓMEZ, L., 2017. Cálculo y Diseño de una instalación de frío para un barco de pesca atunero. *Repositorio Principal* [en línia]. [Consultat el: 5 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.upct.es/xmlui/handle/10317/5710?show=full>
- ¹¹ SASTRE CORREA, J., 2017. Diseño de una instalación de refrigeración para un Buque Frigorífico. *UCrea* [en línia]. [Consultat el: 8 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12675>
- ¹² YÚFERA ACOSTA, C., 1970. Diseño de una instalación de frío para un buque pesquero arrastrero. *Repositorio Principal* [en línia]. [Consultat el: 8 de maig de 2023]. Disponible a: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5711>
- ¹³ Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Ir a la página de inicio* [en línia]. [Consultat el: 29 de març de 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-15228>
- ¹⁴ IMO, Virtual publications. *Virtual Publications* [en línia]. [Consultat el: 17 de març de 2023]. Disponible a: <https://vp.imo.org/>
- ¹⁵ *Reefer análisis 2020 - Dynamar B.V. maritime reports* [en línia]. [Consultat el: 13 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2021/07/Dynamar-2020-Reefer-Analysis-Contents-Overview-and-Introduction.pdf>
- ¹⁶ *Reefer analysis 2021 - Dynamar B.V. Maritime Reports* [en línia]. [Consultat el: 18 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2022/02/Dynamar-2021-Reefer-Analysis-BASIS-Contents-Overview-Introduction.pdf>
- ¹⁷ *Reefer Analysis 2022 - Dynamar B.V. maritime reports* [en línia]. [Consultat el: 27 de maig de 2023]. Disponible a: <https://dynamar.com/media/2022/12/Contents-Overview-and-Introduction-Reefer-Analysis-2022.pdf>
- ¹⁸ *Ocean Reefer Container Rate Outlook 2023* [en línia]. [Consultat el: 3 de juny de 2023]. Disponible a: <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/fa-supply-chains/ocean-reefer-container-rate-outlook-2023.html>
- ¹⁹ APM Terminals Barcelona. *Barcelona - APM Terminals* [en línia]. [Consultat el: 16 de juny de 2023]. Disponible a: <https://www.apmterminals.com/es/barcelona>
- ²⁰ *Container Handbook* [en línia]. [Consulta: 20 de juny de 2023]. Disponible a: https://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html?%2Fchb_e%2Fwild%2Fwild_08_01_02.html

Annex A1. Generadors instal·lats

A1.1. Fitxa tècnica dels generadors

STX - MAN B&W

Main Particulars

Engine Type	rpm	720	750
Working cycle		4 - stroke	
Bore	mm	320	
Stroke	mm	400	
Stroke/Bore ratio		1.25 : 1	
Piston area per Cyl.	cm ²	804	
Swept volume per Cyl.	liter	32.2	
Compression ratio		14.5 : 1	
Mean effective pressure	bar	24.9	23.9
Max. combustion pressure	bar	180	180
Mean piston speed	m/sec	9.6	10.0
Output per Cylinder	kW	480	
Combustion process		Direct fuel injection	
Fuel Quality Acceptance	cSt	HFO up to 700/50 °C	

Rated Output

Engine Type	720RPM/60Hz		750RPM/50Hz	
	ENG.(KW)	GEN.(KW)	ENG.(KW)	GEN.(KW)
6L32/40	2,880	2,730	2,880	2,730
7L32/40	3,360	3,190	3,360	3,190
8L32/40	3,840	3,640	3,840	3,640
9L32/40	4,320	4,100	4,320	4,100
12V32/40	5,760	5,470	5,760	5,470
14V32/40	6,720	6,380	6,720	6,380
16V32/40	7,680	7,290	7,680	7,290
18V32/40	8,640	8,200	8,640	8,200

(Generator Efficiency : min. 95%)

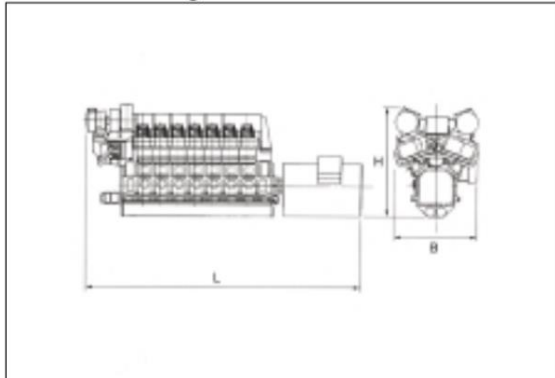
Reference Condition (ISO 3046)

Air temperature °C 25 (298K)
 Cooling water temperature °C 25 (298K)
 before charge air cooler
 Total barometric pressure mbar 1000 (110m above sea level)
 Fuel lower calorific value kJ/kg 42,700 (10,200 kcal/kg)

* 32/40DG (Dual fuel) Gen-set is also available of 2,000 ~ 7,200kW

	720RPM	750RPM	TOLERANCE
Specific Fuel Oil Consumption (g/kWh)	184		5%
Lubrication Oil Consumption (g/kWh)	0.8		20%

Dimensions & Weights



Engine Type	Length (L)	Breadth (B)	Height (H)	Engine Weight	Weight of Genset
	mm	mm	mm		
6L32/40	9,755	3,057	2,383	38	75
7L32/40	10,285	3,057	2,383	43	79
8L32/40	11,035	3,147	2,815	47	87
9L32/40	11,565	3,147	2,815	52	91
12V32/40	11,486	3,882	4,750	90	113
14V32/40	12,116	3,882	4,750	103	132
16V32/40	13,208	3,882	4,855	117	152
18V32/40	13,838	3,882	4,855	131	170

Figura A 1: Fitxa tècnica dels generadors instal·lats – Font: stx Engine

A1.2. Esquema generador 6L32/40

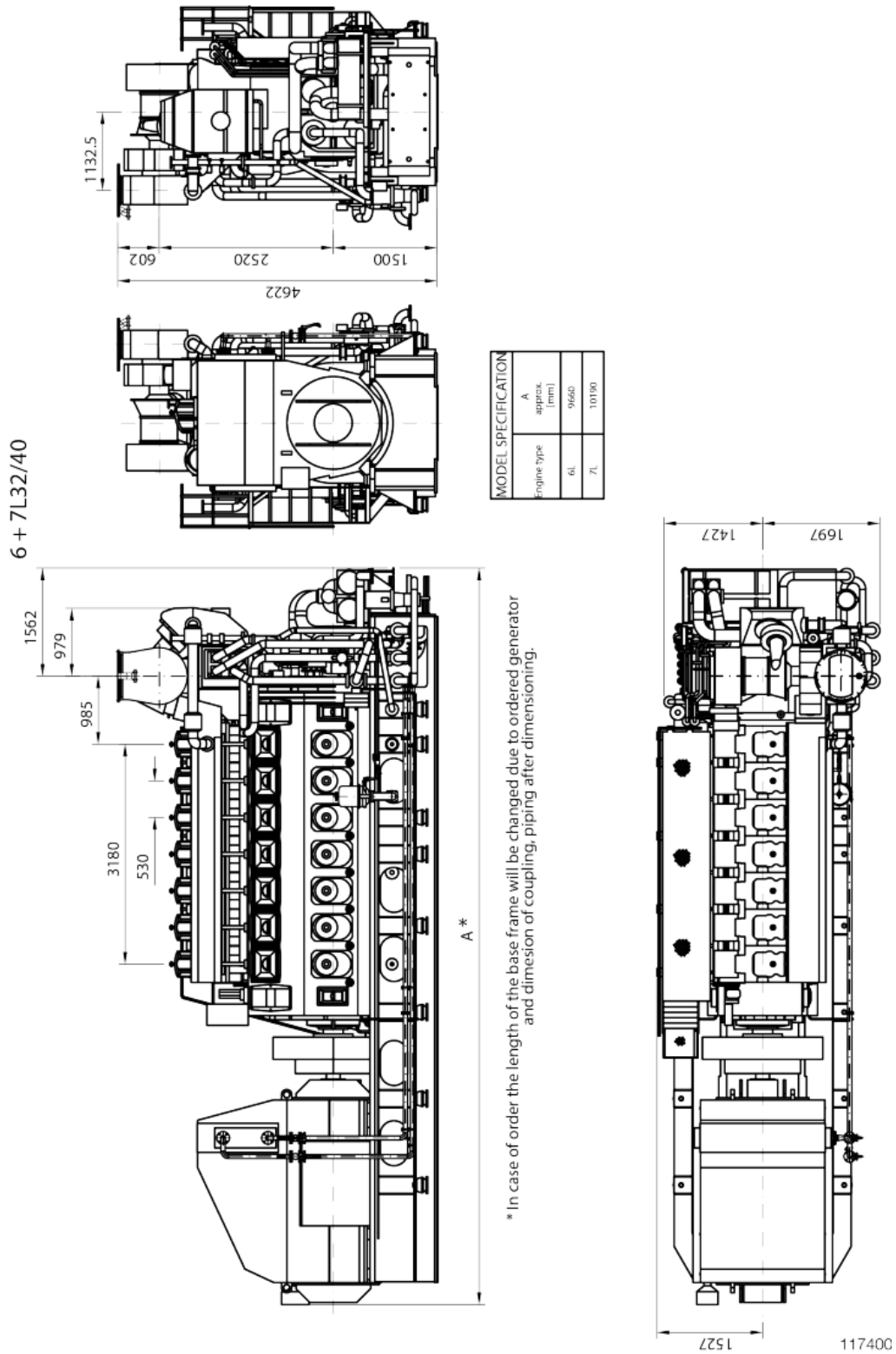


Figura A 2: Esquema generador 6L32/40 – Font: MAN L32/40 GenSet

A1.3. Esquema generador 8L32/40

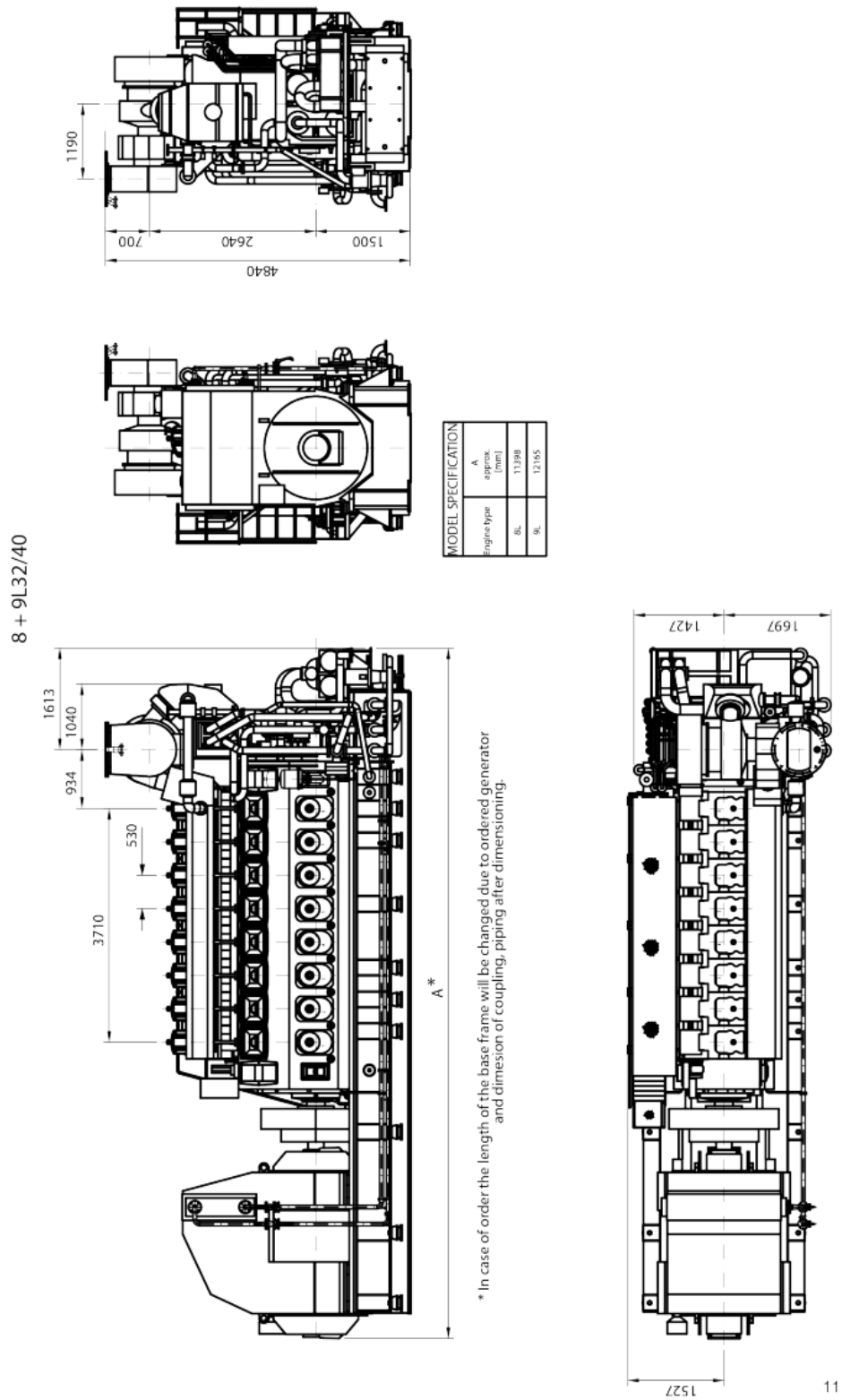


Figura A 3: Esquema generador 8L32/40 – Font: MAN L32/40 GenSet