

Universidad de La Laguna

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

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

**Estudio sobre la aplicación de sistemas de  
refrigeración por absorción en el buque Almudaina  
Dos**

Presentado por

**Jaime Salas Abarrategui**

Santa Cruz de Tenerife, 10 de septiembre de 2019



# Autorización

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

Jaime Salas Abarrategui, ha realizado bajo mi dirección el trabajo de fin de grado titulado: Estudio sobre la aplicación de sistemas de refrigeración por absorción en el buque Almudaina Dos.

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

Para que conste a los efectos oportunos, firmo el presente documento en Santa Cruz de Tenerife, a 10 de septiembre de 2019.

Fdo.: Pedro Rivero Rodríguez  
-Tutor del trabajo-



# Resumen

Este trabajo de fin de grado (TFG) reúne las cuestiones referidas al ahorro energético en la climatización de las cubiertas de pasaje haciendo una sustitución del equipo de refrigeración actual por compresión por otro propuesto de absorción.

Se estudian los requisitos energéticos del buque, así como los modelos existentes en el mercado de los diferentes equipos de absorción de varias marcas, teniendo en cuenta las características que más se adaptan al buque.

Se concluye con un estudio económico del posible ahorro que conlleva la sustitución por un equipo más eficiente con aprovechamiento de la energía térmica residual del buque. También se calcula la amortización del nuevo equipo, así como los costes de producción del frío generado.



# Abstract

This final degree project brings together the issues related to energy savings in the air conditioning of deck passenger by replacing the current refrigeration equipment with compression with another proposed absorption chiller.

The energy requirements of the ship are studied, as well as the specific models in the market of the different absorption equipment of various brands, taking into account the characteristics that best suit the ship.

It concludes with an economic study of the possible savings involved in replacing a more efficient equipment with the use of the ship's residual thermal energy. The amortization of the new equipment is also calculated, as well as the production costs the air conditioned.



# Índice general

<b>Lista de figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Revisión y antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Máquinas de absorción . . . . .	1
1.2.1. Absorbente . . . . .	1
1.2.2. <i>LiBr</i> como absorbente . . . . .	2
1.2.3. <i>NH<sub>3</sub></i> como absorbente . . . . .	2
1.3. Partes de la máquina de absorción . . . . .	2
1.4. Simple efecto o doble efecto . . . . .	4
1.5. Alcance del trabajo . . . . .	6
<b>2. Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>3. Metodología</b>	<b>9</b>
<b>4. Buque objeto de estudio</b>	<b>13</b>
4.1. Descripción del buque . . . . .	13
4.2. Motor RUSTON 20RK270 . . . . .	13
4.3. Motor auxiliar MTU 12V183 TE52 . . . . .	15
4.4. Equipo enfriador actual . . . . .	15
4.5. Unidades de tratamiento de aire . . . . .	16
4.6. Otros consumidores del buque . . . . .	17
<b>5. Instalación de climatización mediante máquina de absorción</b>	<b>21</b>
5.1. Elementos y especificaciones de las máquinas absorbedoras consideradas . . . . .	21
5.1.1. Modelo WE 2AB110 . . . . .	21
5.1.2. Modelo CHP010 . . . . .	22
5.1.3. Otro tipo de máquinas absorbedoras . . . . .	24
5.2. Máquina seleccionada para el buque objeto de estudio . . . . .	24
5.2.1. Efecto del balance del buque en el funcionamiento de las máquinas de absorción	25

<b>6. Resultados</b>	<b>27</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>31</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>33</b>

# Índice de figuras

1.1. Esquema de principio de la máquina absorbedora mediante agua caliente . . . . .	3
1.2. Imagen máquina por ciclo de absorción . . . . .	4
1.3. Esquema de la máquina absorbedora . . . . .	5
1.4. Transformaciones termodinámicas . . . . .	5
3.1. Esquema del estudio a realizar . . . . .	11
4.1. Superseacat One . . . . .	14
4.2. Buque Almudaina Dos . . . . .	14
4.3. Ilustración motor RUSTON 20RK270 . . . . .	15
4.4. Curvas potencia-par motor MTU 12V 183 TE 52 . . . . .	16
4.5. Compresor módulo 1 . . . . .	17
4.6. Esquema de una unidad tratamiento de aire . . . . .	18
4.7. Plano de ubicación de los chillers . . . . .	18
5.1. Diagrama de la planta general de refrigeración por absorción . . . . .	21
5.2. Esquema de principio de la máquina absorbedora por gases de escape . . . . .	23
5.3. Esquema de principio de la máquina absorbedora por llama directa . . . . .	24
5.4. Máquina sin sistema para el balanceo . . . . .	26
5.5. Máquina con sistema para el balanceo . . . . .	26



# Índice de tablas

4.1. Datos motor auxiliar MTU 12V183 TE52 . . . . .	15
4.2. Potencia instalada/demandada en servicios de propulsión . . . . .	17
4.3. Potencia instalada/demandada en servicios auxiliares de propulsión . . . . .	17
4.4. Potencia instalada/demandada en motores auxiliares . . . . .	19
4.5. Potencia instalada/demandada en sentinas, lastre y C.I. . . . .	19
4.6. Potencia instalada/demandada en servicios sanitarios . . . . .	19
4.7. Potencia instalada/demandada en servicios sépticos . . . . .	19
4.8. Potencia instalada/demandada en maquinaria de cubierta . . . . .	19
4.9. Potencia instalada/demandada en ventilación . . . . .	19
4.10. Potencia instalada/demandada en servicios de hotel . . . . .	20
4.11. Potencia instalada/demandada en servicios de alumbrado . . . . .	20
5.1. Tabla modelo WE 2AB110 . . . . .	22
5.2. Tabla modelo CHP010 . . . . .	23
5.3. Comparación de máquinas por gases de escape y agua caliente . . . . .	25
6.1. Potencia eléctrica, tiempo de funcionamiento diario y consumos eléctricos de los equipos en navegación . . . . .	27
6.2. Potencia eléctrica, tiempo de funcionamiento diario y consumos eléctricos de los equipos en puerto . . . . .	27
6.3. Ahorro energético en navegación . . . . .	28
6.4. Ahorro energético en puerto . . . . .	28
6.5. Ahorro de combustible (kg/día) . . . . .	28
6.6. Comparación entre los caudales en navegación y puerto( $m^3/h$ ) . . . . .	29
6.7. Total ahorro en navegación . . . . .	29
6.8. Total ahorro en puerto . . . . .	29
6.9. Costo del $m^3/h$ de aire climatizado en navegación . . . . .	29
6.10. Costo del $m^3/h$ de aire climatizado en puerto . . . . .	30
6.11. Cálculo del ahorro de combustible según precios mínimos y máximos del combustible diésel . . . . .	30
6.12. Comparación de precios para 320 kW de la instalación propuesta . . . . .	30



# 1 Revisión y antecedentes

## 1.1 Introducción

El transporte marítimo es un sector que tiene un alto consumo energético. A bordo, la energía es producida por generadores diésel. Esta energía sirve para la propulsión del buque, para la generación de electricidad y para el funcionamiento de los equipos auxiliares.

Por lo tanto, la concienciación por el medio ambiente y la optimización energética y económica, ha llevado al mundo marítimo a la investigación en nuevas técnicas para que la eficiencia aumente y se produzca una disminución de las emisiones a la atmósfera.

Los motores diésel marinos producen emisiones de óxido de nitrógeno y de azufre. Aproximadamente el 3,3% de las emisiones de  $CO_2$  son causadas por el tráfico marítimo[20].

Estos factores y el aumento del precio de los combustibles fósiles, ha propiciado la disminución del consumo de fuel. Una forma de disminuir el consumo está en la reducción del consumo de electricidad que consumen los sistemas de climatización.

Hay muchos tipos de tecnologías de refrigeración que han sido utilizados para aplicaciones marinas, incluidas la refrigeración por compresión y la refrigeración por absorción. La refrigeración por absorción utiliza la energía térmica para producir cambios de estado del fluido y muy poca energía eléctrica para su funcionamiento, y además se puede utilizar el calor residual del motor para mejorar su rendimiento.

## 1.2 Máquinas de absorción

La máquina de absorción es una máquina frigorífica que emplea el ciclo de absorción como método de producción de frío. Estas máquinas, al igual que las de compresión, evaporan un líquido a baja presión. La diferencia de estas dos tecnologías se basa en la recuperación de los vapores producidos por la evaporación del líquido, ya que uno lo hace de forma mecánica y otra térmica.

En el caso de la máquina por absorción, la compresión térmica se realiza usando una solución líquida absorbente/refrigerante y una fuente de calor. En el caso del método por compresión se utilizaría un compresor eléctrico para el aumento de la presión, lo que conlleva un gasto energético de electricidad[16].

La máquina de absorción tiene el siguiente principio de funcionamiento: en condiciones de baja presión, el agua evapora a baja temperatura. Utiliza el calor de un foco térmico como una llama, resistencia eléctrica, agua caliente, incluso recuperando el calor de los gases de escape, para producir refrigeración de una forma eficiente. El vapor de salida del generador se puede hacer pasar por una torre de rectificación adicional para una mejora de la separación de los fluidos.

### 1.2.1 Absorbente

Tras el análisis anterior, de los dos tipos de combinaciones para el absorbente, se puede comprobar que el par agua - bromuro de litio tiene las características idóneas para ser utilizado en el equipo propuesto, ya que se utilizan temperaturas positivas de refrigeración.

Las máquinas utilizan como absorbente dos tipos de mezclas binarias[1]:

- $H_2O - LiBr$ : El agua es el refrigerante. Usado para instalaciones de refrigeración.
- $H_2O - NH_3$ : El amoníaco es el refrigerante, usado para instalaciones de congelación.

### 1.2.2 $LiBr$ como absorbente

#### Ventajas

- Las sustancias empleadas en la máquina no son inflamables ni tóxicas.
- Tiene un coeficiente de funcionamiento (COP) mayor que el amoníaco.
- No hace falta rectificación de vapores a la salida del generador, puesto que la corriente que sale es solo vapor de agua[1].

#### Inconvenientes

- Solo se utiliza para temperaturas positivas, como venía al caso de este estudio.
- Existe el peligro de cristalización de la solución para ciertas condiciones de concentración y temperatura, formándose una disolución densa, que hace imposible el bombeo y por consecuencia el mal funcionamiento del equipo[1].

### 1.2.3 $NH_3$ como absorbente

#### Ventajas

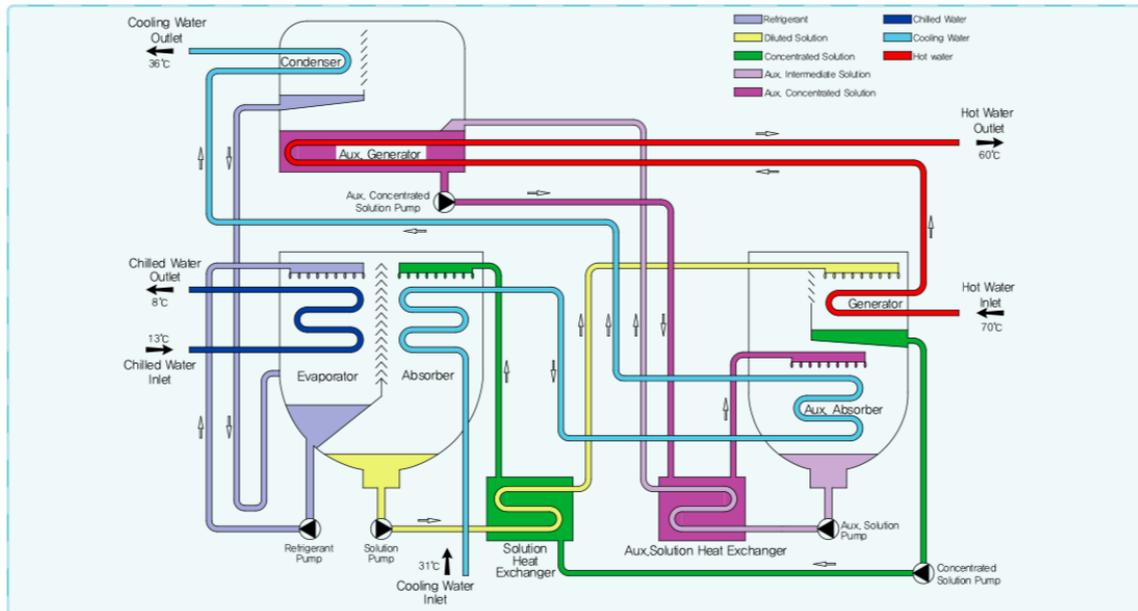
- Aplicaciones para temperaturas muy bajas ( $-60^\circ C$ )
- No hay problemas de disipación de aire.

#### Inconvenientes

- El amoníaco es altamente tóxico.
- En algunos casos se necesita rectificador de vapor a la salida del generador.
- No existen máquinas de amoníaco de doble efecto, ya que las presiones que alcanzaría serían muy elevadas.

## 1.3 Partes de la máquina de absorción

La máquina consta de dos partes bien diferenciadas (Fig 1.1), en la inferior se tiene el absorbedor, el evaporador, los tubos del evaporador, los tubos del absorbedor, los colectores de los pulverizadores del refrigerante, los colectores de los pulverizadores de la solución, la bomba del refrigerante, la bomba de la solución, el control cycle-guard de 3 etapas, el control extender, y el intercambiador de calor, mientras que en la parte de arriba tenemos el generador, el condensador, tubos de condensador, tubos del generador y los eliminadores.



**Figura 1.1:** Esquema de principio de la máquina absorbidora mediante agua caliente

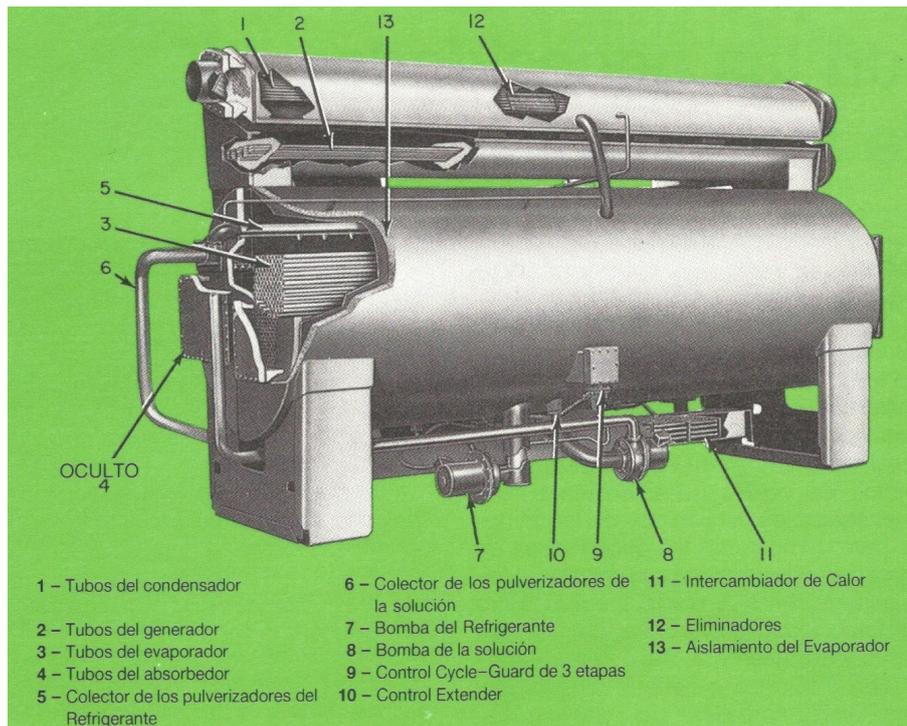
Fuente: [9]

### Inferior

- **Absorbedor:** Dentro del absorbedor el vapor de refrigerante es absorbido por el absorbente y al ser un proceso exotérmico este es evacuado al agua de enfriamiento que circula a través de los tubos en el interior del absorbedor.
- **Evaporador:** Este equipo es un intercambiador de calor, aquí el refrigerante cambia de fase y enfría el espacio a refrigerar.
- (3) Tubos del evaporador
- (4) Tubos del absorbedor
- (5) Colectores de los pulverizadores del refrigerante
- (8) Bomba de la solución
- (9) Control cycle - guard de 3 etapas
- (10) Control extender
- (11) Intercambiador de Calor
- (6) Colector pulverizadores de solución
- (7) Bomba del refrigerante
- (13) Aislamiento del evaporador

### Superior

- **Generador:** En este elemento se aplica la energía térmica para evaporar el refrigerante.
- **Condensador:** Su función es condensar el vapor del refrigerante que proviene del generador.
- (1) Tubos de condensador
- (2) Tubos de generador
- (12) Eliminadores



**Figura 1.2:** Imagen máquina por ciclo de absorción

Fuente: [11]

En el evaporador está el agua, que actúa como refrigerante. Aquí circula el agua del sistema de refrigeración del buque y es introducido en el evaporador para equilibrar el intercambio energético.

El refrigerante intercambia el calor del sistema de refrigeración, ya que la baja presión en el evaporador hace que a baja temperatura éste alcanza la temperatura de saturación y se evapora, así se enfría el agua del sistema. Todos los procesos después mencionados en el ciclo son para la recuperación del refrigerante.

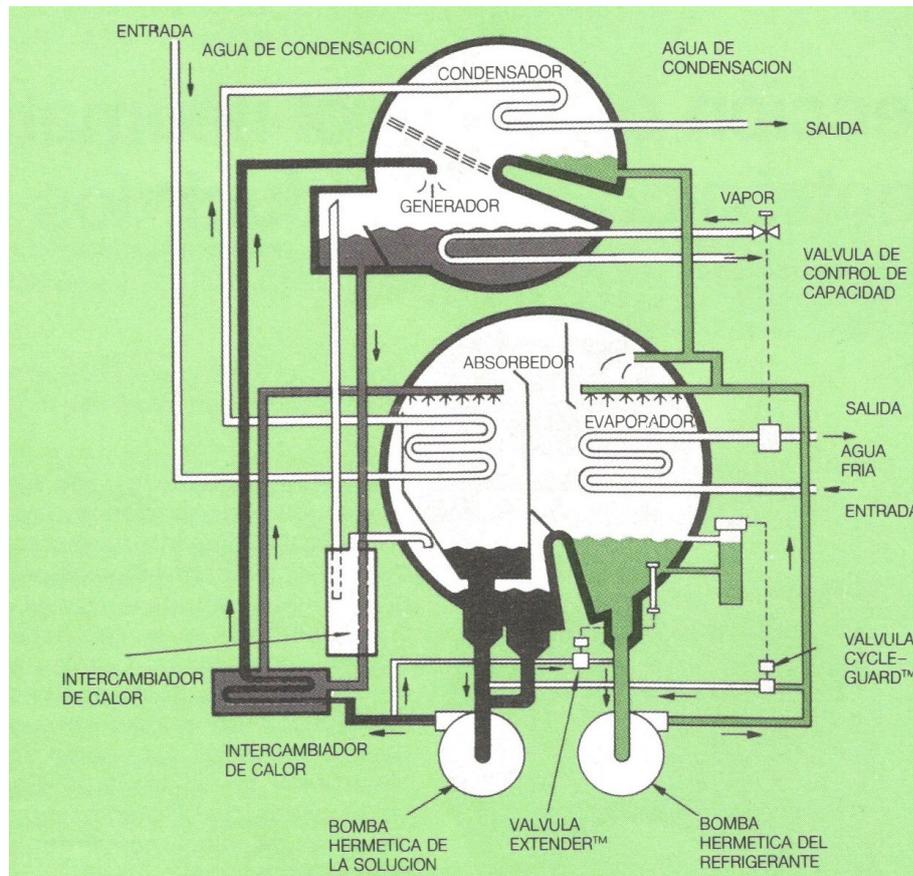
Gracias a la afinidad del bromuro de litio por el agua, hace que se absorba el vapor del refrigerante de la solución concentrada de bromuro de litio en la parte inferior de la máquina enfriadora, en el absorbedor. Cuando la solución ya está diluida, se bombea al generador, donde gracias a la fuente de calor, el agua de la disolución es liberada en forma de vapor. El vapor entra en el condensador y vuelve al estado líquido para retornar al evaporador. La solución concentrada de bromuro de litio del generador retorna al absorbedor, y así se repite el proceso de forma continua.

## 1.4 Simple efecto o doble efecto

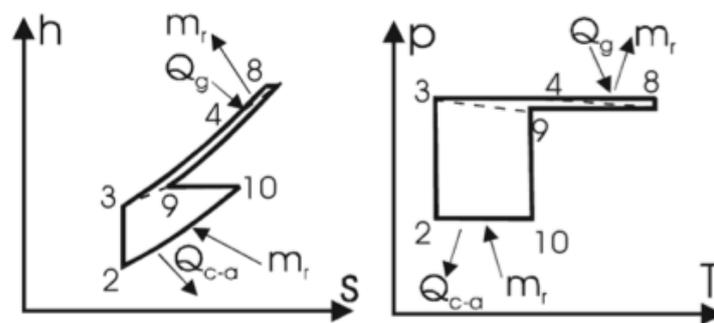
La consideración de utilizar una máquina de simple efecto o doble efecto se basa en la temperatura del foco caliente.

La máquina de simple efecto se utiliza para focos térmicos con una temperatura entre 80° C y 90° C obteniéndose un COP de 0,7. Las máquinas de doble efecto utilizan una temperatura más elevada, como puede ser gases de escape o llama directa y alcanzan un COP de 1,4[1].

La presencia del intercambio térmico (procesos 8-9 y 3-4) proporciona un ahorro del aporte energético en el generador y facilita la disipación de calor al absorbedor, por lo que mejora la eficacia del ciclo[12].



**Figura 1.3:** Esquema de la máquina absorbidora  
Fuente: [11]



**Figura 1.4:** Transformaciones termodinámicas sufridas por la solución absorbente/refrigerante  
Fuente: [12]

## 1.5 Alcance del trabajo

Para alcanzar el objetivo del proyecto propuesto, se ha realizado un estudio de las demandas energéticas del buque objeto de estudio, desde las demandas de cada intercambiador de calor o chillers, hasta el gasto de las bombas para el trasiego de los fluidos.

Se calculó el ahorro de combustible y posteriormente el costo que supone la sustitución del equipo actual por uno propuesto. Tras el cálculo de los consumos se realiza una comparación tanto energéticamente como económicamente de ambos equipos. Para ello se ha calculado los siguientes apartados:

- Energía eléctrica consumida por el sistema de refrigeración
- Ahorro energético obtenido al sustituir la máquina de refrigeración
- Ahorro de combustible por hora, día y año
- Ahorro económico anual
- Consumo de combustible asociada al equipo propuesto
- Cálculo del precio del metro cúbico de aire climatizado
- Cálculo de la amortización de la máquina de refrigeración con respecto al ahorro de combustible obtenido

## 2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo de fin de grado se organizan en dos grupos, generales y específicos.

### **Objetivos generales:**

- Estudiar las características generales de los sistemas convencionales de climatización a bordo de un buque
- Estudiar las características generales de sistemas de climatización mediante el método de absorción

### **Objetivos específicos:**

- Analizar los consumos eléctricos asociados al sistema de climatización actual del buque
- Valorar la posibilidad técnica de sustituir la máquina de compresión actual por otra de absorción
- Estudiar los nuevos consumos energéticos del buque tras la sustitución de la instalación de refrigeración
- Analizar la viabilidad de la sustitución teniendo en cuenta las características específicas de un buque de pasaje de alta velocidad



### 3 Metodología

Partiendo del dimensionamiento de la actual instalación frigorífica[17], se tiene el valor de la potencia eléctrica de la instalación para abastecer el buque. Este dato se usa como referencia del dimensionamiento del nuevo equipo.

Con los datos que se disponen se formula el consumo tanto del equipo actual como del propuesto.

$$E = P \cdot t \quad (3.1)$$

$E$  : Energía eléctrica en  $kWh$

$P$  : Potencia eléctrica demandada por la instalación frigorífica en  $kW$

$t$  : Tiempo en horas ( $h$ ) de funcionamiento diario

Con los datos del consumo se calcula el ahorro de energía eléctrica que se obtiene con la sustitución del equipo de compresión por el de absorción.

$$A = E_{equipo\ actual} - E_{equipo\ propuesto} \quad (3.2)$$

$A$  : Ahorro de energía eléctrica en un día en  $kWh$  (compresión)

$E_{equipo\ actual}$  : Consumo del equipo actual en  $kWh$

$E_{equipo\ propuesto}$  : Consumo del equipo propuesto en  $kWh$ (absorción)

Para calcular el ahorro se utiliza el consumo específico de combustible de los motores auxiliares, que representa la masa de combustible consumida para generar una unidad de energía.

$$C = \frac{A_{cd}}{A \cdot \eta_{el}} \quad (3.3)$$

$C$  : Consumo específico del motor en  $g/kWh$

$A_{cd}$  : Ahorro de combustible durante un día en  $g$

$\eta_{el}$  : Rendimiento eléctrico del alternador

Se realiza el cálculo anual del ahorro de combustible teniendo en cuenta el período de parada por las varadas anuales obligatorias para el mantenimiento y reparación del buque, llegando a estar 350 días en navegación.

$$A_{ca} = A_{cd} \cdot 350 \quad (3.4)$$

$A_{ca}$  : Ahorro anual de combustible en  $g$

$A_{cd}$  : Ahorro diario de combustible en  $g$

Una vez que se ha calculado la cantidad de combustible diésel que se consigue ahorrar anualmente con la sustitución del equipo de compresión por el de absorción, se continúa con el cálculo del ahorro económico.

$$A_e = P_d \cdot A_{ca} \quad (3.5)$$

$A_e$  : Ahorro económico anual en €  
 $A_{cd}$  : Ahorro diario de combustible en  $g$   
 $P_d$  : Precio del combustible diésel en €

Para analizar la viabilidad se tiene en cuenta el consumo de cada motor auxiliar para hallar cuánto cuesta producir frío en el barco. Una vez hecho el cálculo y averiguado cuánto consume el nuevo equipo, se puede tener una idea de la viabilidad de la nueva máquina de refrigeración.

El rendimiento del alternador, en este caso, 95 % [4]

$$\eta = \frac{C_{en}}{E \cdot C} \quad (3.6)$$

$\eta$  : Rendimiento del alternador  
 $C_{en}$  : consumo de combustible asociado al equipo nuevo en  $g$   
 $E$  : Energía eléctrica consumida por el nuevo equipo en  $kWh$   
 $C$  : Consumo del motor en  $g/kWh$

Con el caudal de los intercambiadores, se realiza un cálculo del precio del  $m^3$  generado.

Teniendo en cuenta que el kg de combustible cuesta 0,7 €[3].

$$C_c = C_{en} \cdot P_d \quad (3.7)$$

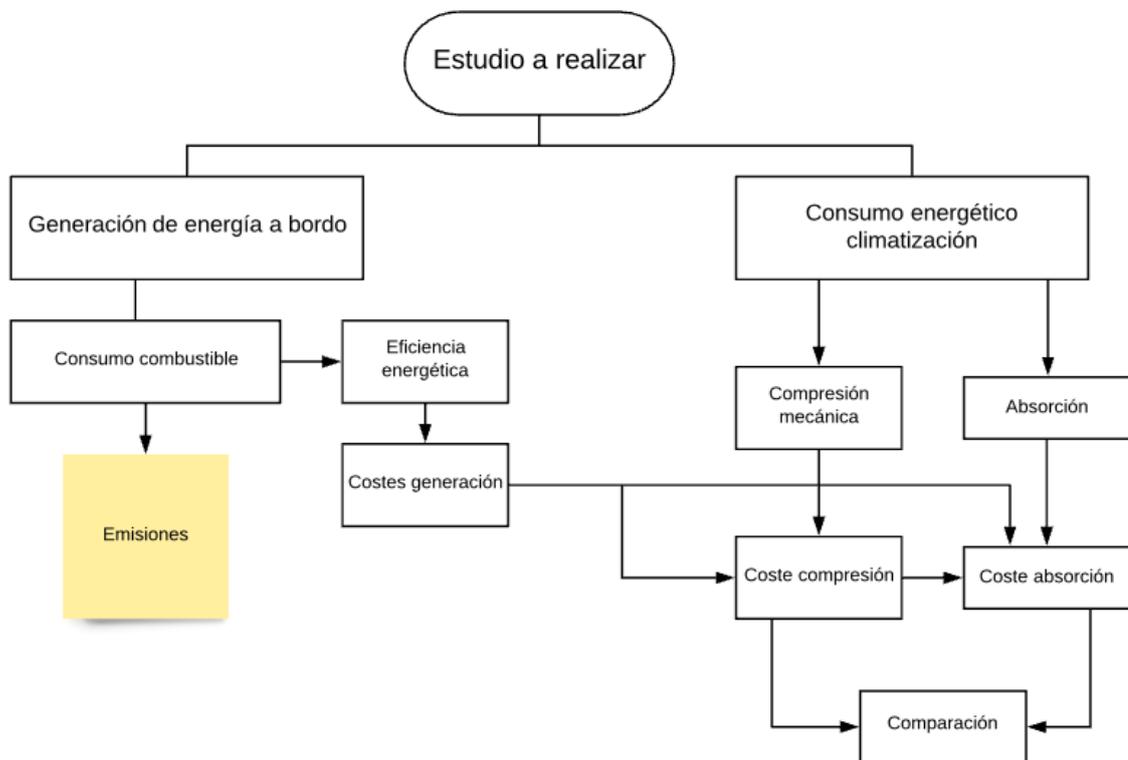
$C_c$  : Costo del combustible en €  
 $C_{en}$  : Consumo asociado al equipo nuevo en  $g$   
 $P_d$  : Precio del diésel en €

Se halla el precio por cada  $m^3$ , dividiendo el costo del consumo por hora del equipo entre el total del caudal impulsado por el sistema de climatización.

$$P_m = \frac{C_c}{Q} \quad (3.8)$$

$P_m$  : Precio del mémetro cúbico en €/m<sup>3</sup>  
 $C_c$  : Costo del consumo en €/h  
 $Q$  : Caudal impulsado total en m<sup>3</sup>/h

Para calcular la amortización del equipo nuevo, se parte de la base del costo del kW de los equipos a instalar, en este caso 350 €/kW en comparación con los 240 €/kW del equipo por compresión[8][13]



**Figura 3.1:** Esquema del estudio a realizar



# 4 Buque objeto de estudio

## 4.1 Descripción del buque

El buque estudiado es el “Almudaina Dos”, antiguamente denominado “Superseacat One”. Es un monocasco rápido construido por Fincantieri, en los astilleros de La Spezia en Italia en el año 1997 para Hoverspeed Ltd, ahora en propiedad de Trasmediterránea.

Este buque navega actualmente en las Islas Canarias, más concretamente entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, es decir, en una zona climática tropical, con una temperatura media del aire de 22° C, dónde en verano alcanza de media 24° C y en invierno 18° C[2].

Sus características principales son [18]:

- Desplazamiento: 4.662 GT
- Eslora total: 100 m
- Manga: 17.10 m
- Calado: 2,68 m
- Motor principal: 4 x RUSTON 20RK270
- Motores auxiliares: 3 x MTU 12V183 TE52
- 4 x KaMeWa S112 waterjet
- Reductora: 2 x RENK PLS 50z
- Potencia total: 28.532 kW
- Velocidad: 34 nudos

## 4.2 Motor RUSTON 20RK270

Especificaciones[5]

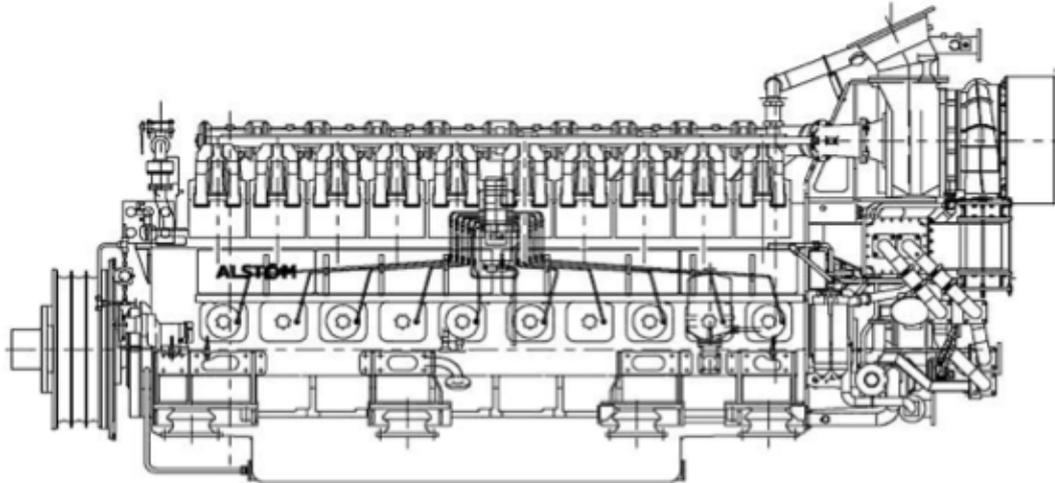
- Clasificación del motor: 20RK270
- Modelo del motor: 20 cilindros en V a 45°
- Ciclo: 4-Tiempos
- Tipo: Sobrealimentado con enfriador de aire
- Diámetro de cilindro: 270mm
- Carrera: 305mm
- Desplazamiento por cilindro: 17,5 l



**Figura 4.1:** Superseacat One  
Fuente: [6]



**Figura 4.2:** Buque Almudaina Dos  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.3:** Ilustración motor RUSTON 20RK270

Fuente: [5]

- Ratio de compresión: 12,3:1
- Potencia: 7080 kW
- Régimen de operación: 1030 r/min
- Régimen a ralentí: 320 r/min
- Caudal de gases de escape: 61.920 kg/h
- T<sup>a</sup> Gases de escape: 450<sup>o</sup> C

### 4.3 Motor auxiliar MTU 12V183 TE52

Los motores auxiliares del buque son 3 generadores diésel de 500 kW cada uno[19].

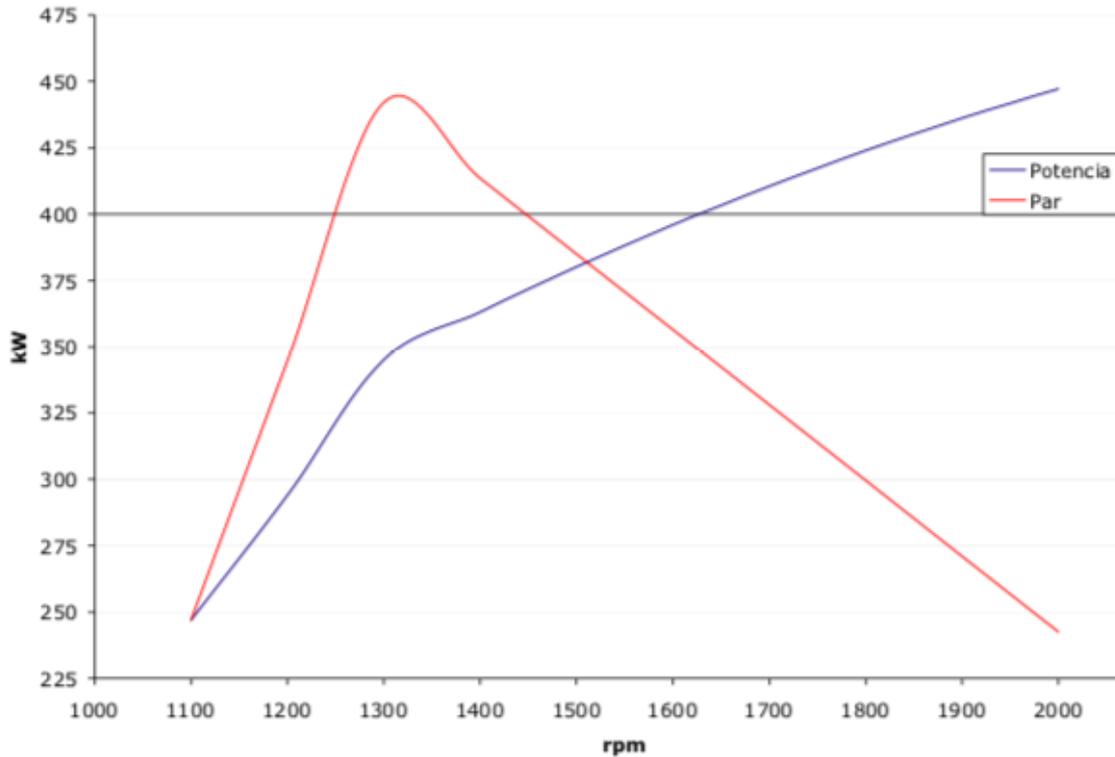
Éstos motores abastecen de electricidad al buque, estando arrancados y acoplados los 3 motores en navegación y dos en puerto, alternándose cada noche para que cada día esté apagado uno diferente al día anterior.

MTU 12V183 TE52	
Potencia	455 kW a 1500 rpm 550 kW a 1800 rpm
N <sup>o</sup> de cilindros	12
Disposición	V
Consumo	210 g/kWh
Temperatura de gases de escape	450 °C

**Tabla 4.1:** Datos motor auxiliar MTU 12V183 TE52

### 4.4 Equipo enfriador actual

Actualmente este buque, con capacidad para casi 800 pasajeros y más de 170 vehículos, tiene una demanda de 320 kW de potencia frigorífica, según proyecto.



**Figura 4.4:** Curvas potencia-par motor MTU 12V 183 TE 52

Fuente: [21]

La máquina enfriadora del buque es una estación enfriadora por compresión de la marca McQuay. Compuesta de dos módulos, cada uno consta de dos condensadores, dos compresores y un evaporador. Se ubica en el espacio "void 5" debajo del car deck inferior, con un volumen de  $224 m^3$ .

En este espacio se encuentra el tanque de agua sanitaria, un tanque de aluminio de  $7 m^3$ . También debajo de éste se encuentra el equipo de vacío de aguas negras y grises del buque, un equipo que bombea al void 4 donde se encuentra el tanque séptico.

Antiguamente éste equipo usaba como fluido frigorífico el R-22, un freón que a partir del 1 de enero de 2010 se prohibió por normativa de la unión europea el reglamento (CE) nº 1005/2009 sobre sustancias que agotan la capa de ozono.

Como reemplazo, se eligió el R-438A, un freón que combina características de presión y entalpía del R-22 con compatibilidad con el aceite mineral, haciéndolo un refrigerante hidrofluorocarbono de reemplazo del R-22 para un rango amplio de temperaturas del evaporador.

Este equipo de refrigeración es una planta que enfría agua para ser transportada por el circuito de tuberías del buque y en cada chiller o intercambiador de calor, enfría el aire que es repartido mediante los ventiladores por la cubierta climatizada.

## 4.5 Unidades de tratamiento de aire

Repartidos por la cubierta de pasajeros, se encuentran 17 unidades de tratamiento de aire, de tipo marino, fabricados de acero galvanizado y aislado y constan de[7]:

- Caja de mezcla de aire exterior y su retorno
- Sección de filtro, con filtros de aire lavables e ignífugos.
- Intercambiador de agua



**Figura 4.5:** Compresor módulo 1

Fuente: Elaboración propia

- Sección de ventilación, con ventilador centrífugo y motor eléctrico.
- Caja de conexión de suministro de aire.

En esta propuesta de modificación de la instalación de climatización, se mantienen, ya que se utilizará la misma distribución que en la antigua instalación, ya que el caudal del agua fría producida será el mismo y se mantendrá la misma temperatura, tuberías, etc.

## 4.6 Otros consumidores del buque

A continuación se indican los consumidores energéticos del buque, tanto en navegación como en puerto[17].

	Navegación (kW)	Puerto(kW)
Extractores del cárter	2,8	0
Sistema hidráulico Water jet	4,8	0
Calentador aceite lub. MMPP	0	7,2
Pre calentador AD MMPP	0	28,8
Bba. Prelubricación MMPP	0	3,6
Bba. Preca. AD MMPP	0	2,8

**Tabla 4.2:** Potencia instalada/demandada en servicios de propulsión

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Compresor Arr. MMPP	2,4	0
Bbas. Tras. Comb. DO	2,5	0
UPS	7,4	2,8

**Tabla 4.3:** Potencia instalada/demandada en servicios auxiliares de propulsión

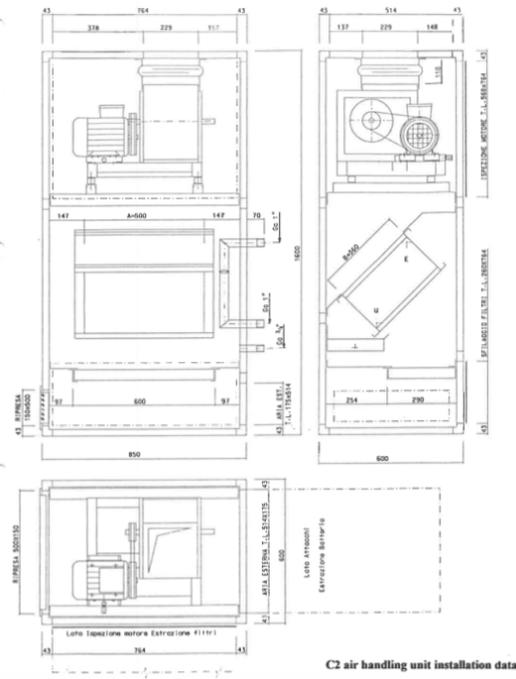


Figura 4.6: Esquema de una unidad tratamiento de aire  
Fuente: [7]

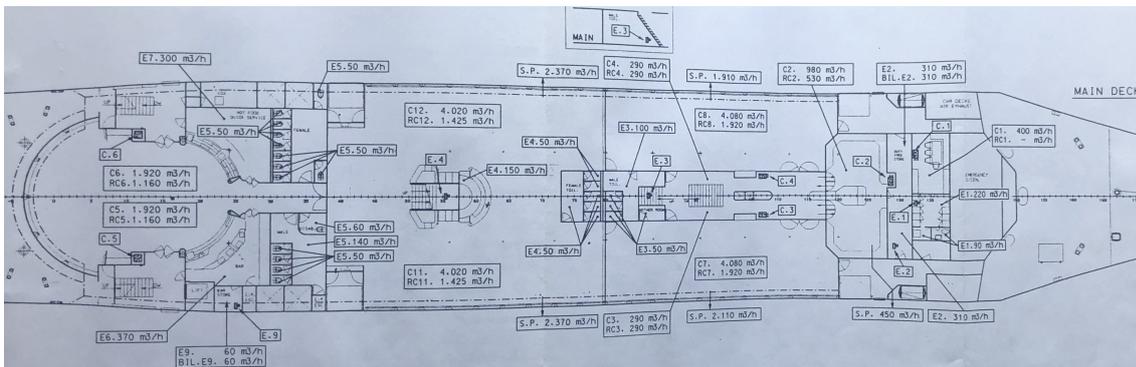


Figura 4.7: Plano de ubicación de los chillers  
Fuente: [7]

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Bba. Preca. AD MMAA	0,9	1,8
Bbas. AS Refrig. MMAA	0,3	0,6

**Tabla 4.4:** Potencia instalada/demandada en motores auxiliares

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Separador sentinas	0,5	0
Bba. Aceite sucio máq.	0	0,5
Bba. Trasiego Ac. sucio	0	0,5
Bba. Agua aceitosa Void 3	0	0,9

**Tabla 4.5:** Potencia instalada/demandada en sentinas, lastre y C.I.

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Calentador AD Sanitaria	4,1	1,5
Bba. AD sanitaria	0,7	0,3

**Tabla 4.6:** Potencia instalada/demandada en servicios sanitarios

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Plta. Séptica	4,7	1,8
Bba. Vacío aguas negras	8,8	8,8

**Tabla 4.7:** Potencia instalada/demandada en servicios sépticos

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Grupo hidráulico trim. tab.	23,3	0
Grupo hidráulico estabilizadores fin	22,3	0
Sistema Corrintec	0,9	0,9
Limpiapuentes	0,1	0
Desempeñado	1,2	0
Ayudas navegación	4,3	0
Sistema de comunicación ext.	1,2	0
Sistemas de comunicación int.	3,3	2,4
Luces navegación	0,4	0,2

**Tabla 4.8:** Potencia instalada/demandada en maquinaria de cubierta

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Ventilación MMPP	60,6	3,6
Extracción MMPP	25	12,5
Extracción Void 3	1,7	1,7
Ventilador Void 3	1,3	1,3
Extractor Void 5	0,8	0,8
Extracción Void	1,8	1,8
Extractor garaje bodega	1,7	0
Ventilación garaje ppal. superior	2,4	0

**Tabla 4.9:** Potencia instalada/demandada en ventilación

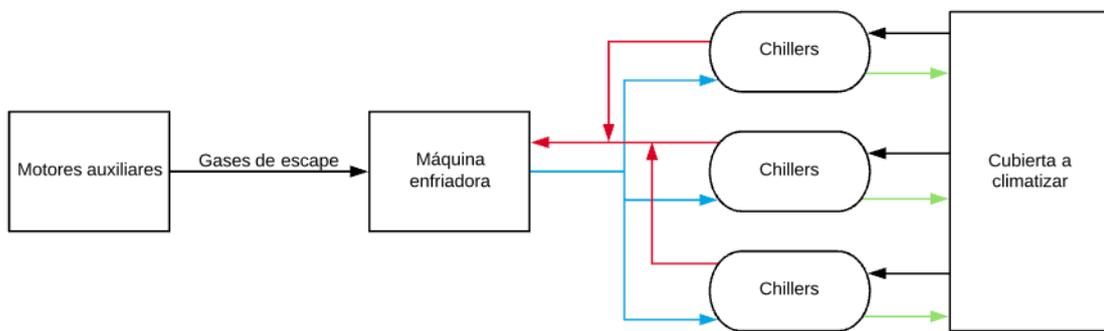
	Navegación(kW)	Puerto(kW)
Televisores	1,3	0,3
Secadores	5,4	0
Nevera	0,9	0,9
Congelador	0,9	0,9
Microondas	4,3	0
Combi	13,4	0
Alacena	4,5	0
Monitor	3,7	0,9

**Tabla 4.10:** Potencia instalada/demandada en servicios de hotel

	Navegación(kW)	Puerto(kW)
General alumbrado	69,3	38,5
Maquina Café/té	5,2	0
Máquina expreso	10,4	0
Tostadora	2,2	0
Refrigerador	1,3	0,9
Caja registradora	0,6	0
Máquina	1,9	0
Basura	1,5	0
Dispensador cerveza/refresco	0,6	0
Nevera bar cappuccino	0,2	0,2
Cámara de máquinas	4,9	3,9
Lavaplatos	1,9	0
Máquina hielo	1,6	1,1

**Tabla 4.11:** Potencia instalada/demandada en servicios de alumbrado

# 5 Instalación de climatización mediante máquina de absorción



**Figura 5.1:** Diagrama de la planta general de refrigeración por absorción  
Fuente: Elaboración propia

En el diagrama 5.1 se puede observar un esquema del funcionamiento general de la planta frigorífica.

En línea de color azul se indica el agua fría que sale de la máquina enfriadora, que es la encargada de llegar a los intercambiadores de calor para su intercambio con el aire que se indica en color verde, con la ayuda de los ventiladores, se distribuye por la cubierta a climatizar. En color rojo se indica el retorno del agua después de haberse intercambiado en los chillers, para su vuelta a la máquina y así cerrar el circuito. En color negro se indica la extracción del aire del local a climatizar[12].

## 5.1 Elementos y especificaciones de las máquinas absorbedoras consideradas

### 5.1.1 Modelo WE 2AB110

Como primera propuesta de máquina a tener en cuenta, está el modelo que utiliza el agua caliente de alto salto térmico como fuente de energía para el proceso de refrigeración [9].

En esta máquina de simple efecto, se utiliza el agua caliente procedente del circuito de baja temperatura a  $70^{\circ}\text{C}$  de la refrigeración del motor principal para pasar por el generador y separar la solución.

Al ser de simple efecto alcanza un COP del orden de 0,7.

#### Ventajas

- No necesita temperaturas elevadas para el generador.

## Inconvenientes

- Tiene un COP bajo, (0,7).
- Necesitan mayor espacio que las máquinas de doble efecto para la misma potencia frigorífica.
- Tienen mayor peso.

Datos máquina WE 2AB110			
Potencia frigorífica	387 kW	<i>Electricidad</i>	
<i>Temperatura enfriada</i>		Suministro trifásico	400 V. 50 Hz
Temperatura de entrada	12 <sup>o</sup> C	Bomba solución	2,3 kW
Temperatura de salida	7 <sup>o</sup> C	Bomba refrigerante	0,3 kW
Caudal	66,5 m <sup>3</sup> /h	Bomba de vacío	0,4 kW
Caída de presión	4,6 mH <sub>2</sub> O	Panel de control	0,2 kW
Conexión	110 mm	Total	3,2 kW
<i>Agua de refrigeración</i>		<i>Medidas</i>	
Temperatura de entrada	31 <sup>o</sup> C	Largo	3678 mm
Temperatura de salida	36,5 <sup>o</sup> C	Ancho	1843 mm
Caudal	157 m <sup>3</sup> /h	Alto	2084 mm
Caída de presión	5,2 mH <sub>2</sub> O	<i>Peso</i>	
Conexión	150 mm	En vacío	5,7 t
<i>Agua caliente</i>		En carga	6,6 t
Temperatura foco caliente	95 <sup>o</sup> C	<i>Volumen de agua de la máquina</i>	
Caudal	13,7 m <sup>3</sup> /h	Circuito de agua enfriada	152 l
Caída de presión carcasa	2,9 mH <sub>2</sub> O	Circuito de agua de refrigeración	548 l
Caída de presión válvula de control	1,7 mH <sub>2</sub> O	Circuito agua caliente	316 l
Conexión salida	65 mm		
Válvula de control	40 mm		

**Tabla 5.1:** Tabla modelo WE 2AB110

### 5.1.2 Modelo CHP010

Como segunda propuesta se tiene esta máquina de absorción de doble efecto aprovechando los gases de escape de los motores auxiliares[9].

Esta máquina es más pequeña que el modelo anterior, ya que al aumentar la temperatura en el generador, no necesita tanto caudal, disminuyendo el volumen general de la máquina.

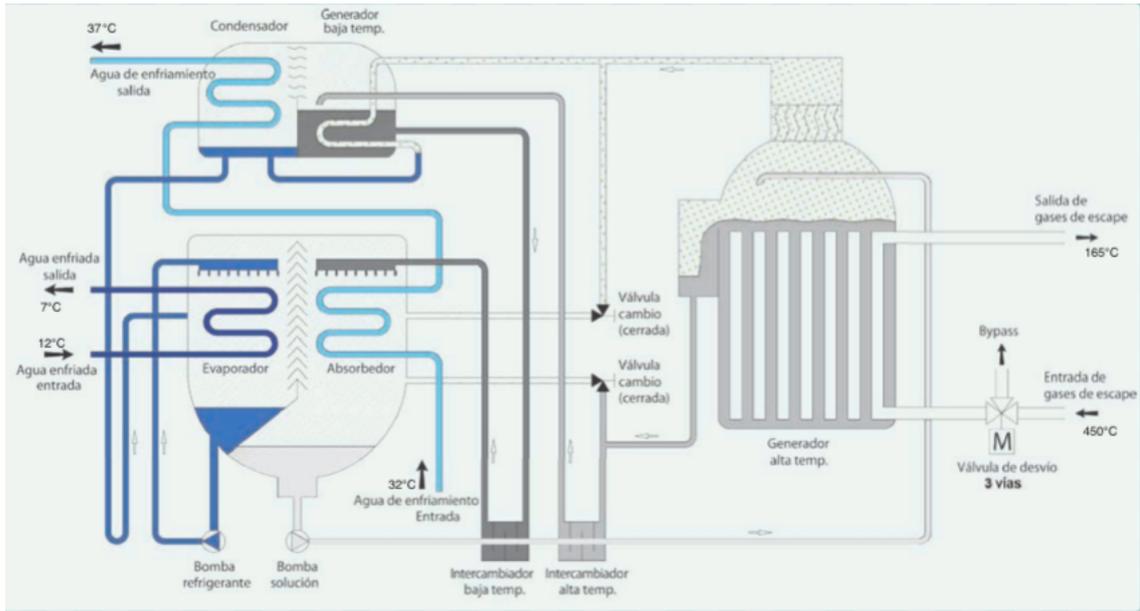
En este caso, puede funcionar utilizando los 450° C de los gases de escape de los motores auxiliares. Esta máquina está compuesta de un evaporador, un condensador, un absorbedor y un generador de alta temperatura y otro de baja temperatura, intercambiadores de calor de solución, bomba de refrigerante y solución.

La máquina operando en el modo de enfriamiento, utiliza el vacío para provocar que el agua se evapore a baja temperatura, unos 4,4° C, por lo que el agua que pasa por los tubos se enfría.

Esta máquina tiene la ventaja de que al ser de doble efecto alcanza un COP de 1,4 [1].

#### Ventajas

- Se pueden reutilizar los gases de escape para su funcionamiento, ya que funciona con altas temperaturas (450° C)
- Tiene un alto COP, 1,4.
- No pesa tanto como uno de simple efecto (5,4 t frente a 6,6 t)



**Figura 5.2:** Esquema de principio de la máquina absorbidora por gases de escape  
Fuente: [9]

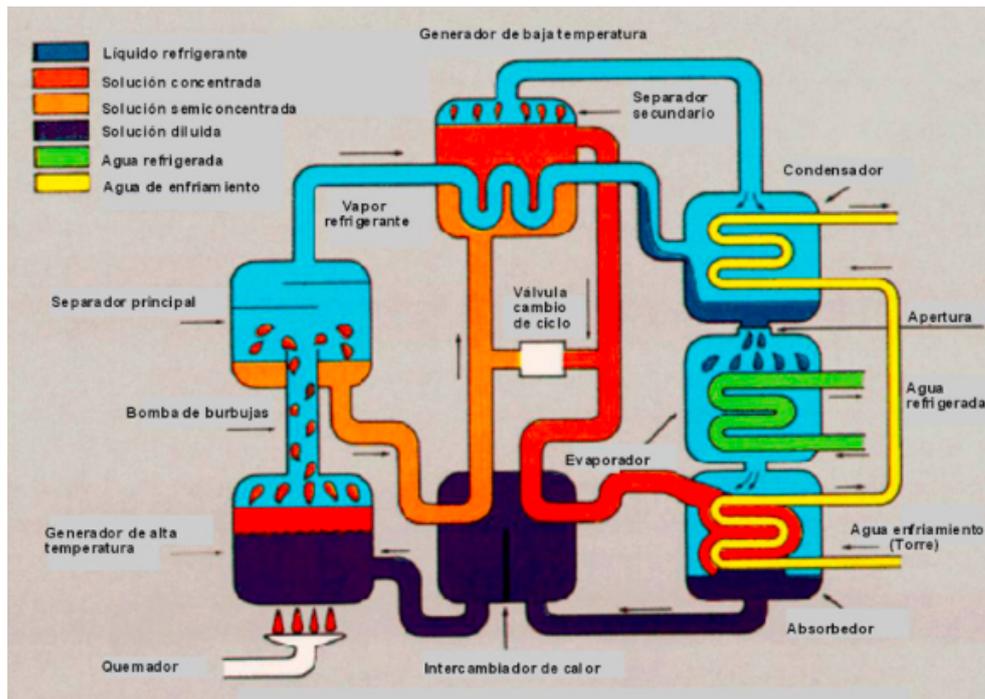
- Ocupa menos espacio. ( $10,23 \text{ m}^3$  frente a  $14,12 \text{ m}^3$ )
- El efecto de enfriamiento por unidad de calor puede llegar a ser el doble, tal y como indica el COP, comparativamente el doble que el de la máquina anterior.

**Inconvenientes**

- Se necesita una mayor temperatura para el generador.

Datos máquina CHP 010			
Potencia frigorífica	351 kW	Caudal	0,88 kg/s
Temperatura enfriada		Caída de presión	77 mH <sub>2</sub> O
Temperatura de entrada	12º C	Conexión salida	100 mm
Temperatura de salida	7º C	Válvula de desvío	100 mm
Caudal	60,5 m <sup>3</sup> /h	Electricidad	
Caída de presión	4,8 mH <sub>2</sub> O	Suministro trifásico	400 V. 50 Hz
Conexión	100 mm	Bomba solución	2 kW
Agua de refrigeración		Bomba refrigerante	0,3 kW
Temperatura de entrada	32º C	Bomba de vacío	0,4 kW
Temperatura de salida	37,5º C	Sealing blower	0,4 kW
Caudal	100m <sup>3</sup> /h	Panel de control	0,2 kW
Caída de presión	11,1 mH <sub>2</sub> O	Total	3.3 kW
Conexión	125 mm	Medidas	
Agua caliente		Largo	2638 mm
Temperatura de entrada	55,3º C	Ancho	1857 mm
Temperatura salida	60º C	Alto	2090 mm
Caudal	60,5 m <sup>3</sup> /h	Peso	
Caída de presión	4,8 mH <sub>2</sub> O	En vacío	5 t
Conexión	125 mm	En carga	5,4 t
Gases de escape			
Temperatura foco caliente	150/165º C		

**Tabla 5.2:** Tabla modelo CHP010



**Figura 5.3:** Esquema de principio de la máquina absorbidora por llama directa  
Fuente: [9]

### 5.1.3 Otro tipo de máquinas absorbedoras

#### Llama directa

Existen máquinas enfriadoras que utilizan una fuente de llama directa, como el caso del modelo de máquina DW, dónde se utiliza un quemador para generar una fuente de calor. Éste tiene el inconveniente de que se hace un gasto de combustible para el quemador, disminuyendo así la rentabilidad del equipo propuesto en comparación con el actual[11].

#### Vapor

Otra de las máquinas de absorción que se utilizan son las que aprovechan el vapor sobrante de cualquier proceso con una caldera para utilizarse como fuente de calor. Para el fabricante seleccionado, el modelo de máquina es la serie SW[11].

## 5.2 Máquina seleccionada para el buque objeto de estudio

Tras estudiar varias máquinas de absorción, se ha tenido en cuenta el COP de cada máquina, el espacio que ocupa y el peso. Comparando los datos, se elige la máquina que aprovecha los gases de escape de los motores auxiliares como la instalación que más se adapta al buque de estudio.

Se descartan las máquinas de llama directa por su alto coste para generar el calor necesario en su funcionamiento: teniendo fuentes de calor disponibles en la sala de máquinas, no tiene sentido la instalación de un quemador de diésel adicional.

La idea de la instalación de la máquina de absorción por vapor se desecha por motivos operacionales con la línea de vapor. Como se ha mencionado anteriormente, el buque de estudio es un fast ferry que utiliza para su propulsión diésel marino, el cual no es necesario precalentar con vapor para su trasiego y combustión. En consecuencia, el buque no dispone de caldera para la generación del vapor, por lo tanto no hay vapor que se pueda utilizar para la máquina de absorción propuesta.

En este caso, la instalación de un economizador o intercambiador de calor para generar vapor con ayuda de los gases de escape, se descarta por dos motivos:

- Falta de espacio en el buque para su instalación.
- Existencia de modelos de máquinas que ya utilizan los gases de escape para su funcionamiento. Por lo tanto no es necesario un recuperador de gases de escape para la generación del vapor.

Tras descartar estos modelos, las dos posibilidades restantes son las máquinas de absorción por agua caliente y por gases de escape.

Para la elección de la máquina ideal para el buque objeto de estudio, se llega a la conclusión de que la máquina alimentada por gases de escape es la idónea por tres motivos[11]:

- El volumen ocupado por la máquina por gases de escape es de  $9,82 m^3$  frente a los  $13,61 m^3$  de la máquina accionada por agua caliente.
- El peso de la máquina de gases de escape es de 5,4 ton en carga, mientras que la de agua caliente pesa 6,6 ton.
- El COP de la máquina de gases de escape es de 1,4 al ser por doble efecto, mientras que la de agua caliente es 0,7, al ser de simple efecto.

	Máquina por agua caliente	Máquina por gases de escape
<b>Volumen</b>	13,61 $m^3$	9,82 $m^3$
<b>Peso</b>	6,6 ton	5,4 ton
<b>COP</b>	0,7	1,4

**Tabla 5.3:** Comparación de máquinas por gases de escape y agua caliente

El local donde se ubica la máquina enfriadora del buque es un void debajo del car deck inferior, con un volumen de  $224 m^3$  y el equipo propuesto ocupa un volumen de  $10 m^3$ , por lo tanto la sustitución del actual equipo es compatible con el espacio en el local de la máquina enfriadora.

El modelo propuesto y también con el actual, dan un caudal de  $100 m^3/h$  de agua de refrigeración, por lo tanto el sistema de tuberías y bombas es el mismo para ambos sistemas[9][7].

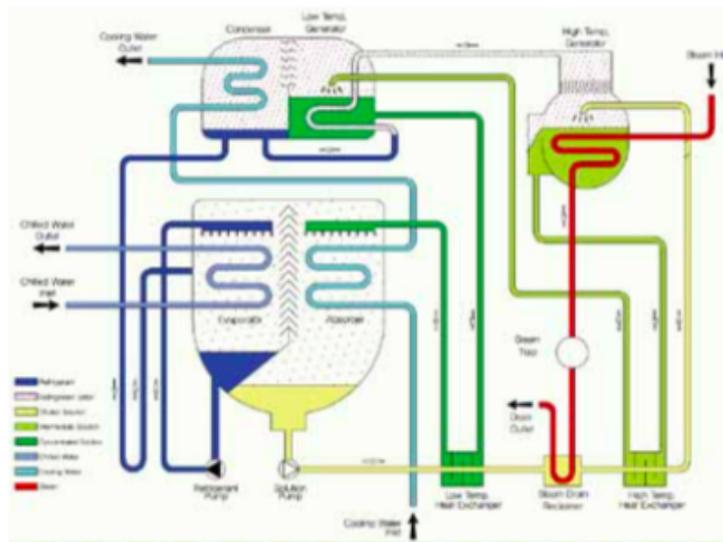
### 5.2.1 Efecto del balance del buque en el funcionamiento de las máquinas de absorción

Uno de los problemas más importantes en el funcionamiento de las máquinas de absorción en un buque son los balances, vibraciones y movimientos indeseados a que están sometidos los buques en el mar.

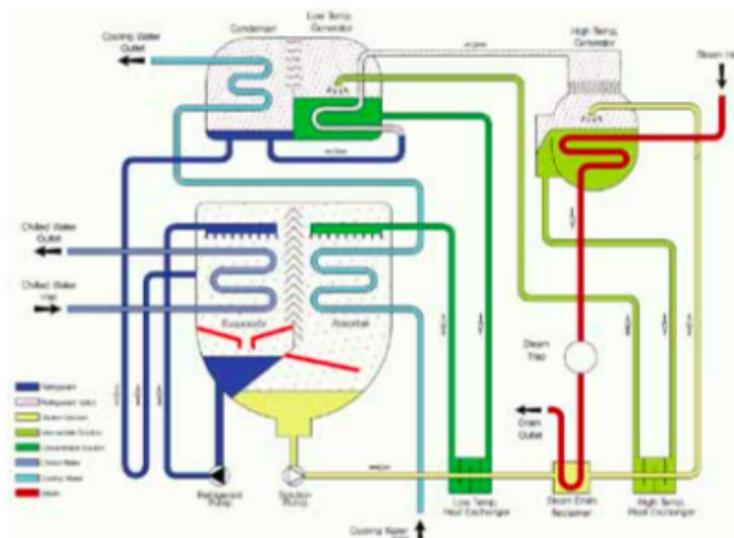
Este efecto puede provocar la mezcla indeseada de sus fluidos y el rebose de los mismos[14].

La máquina de absorción tiene que someterse a ciertas modificaciones para que el efecto de escora en la navegación se vea minimizada. Algunas modificaciones son[10][15]:

- Los depósitos de recolección deben diseñarse con elevaciones leves hacia las salidas para garantizar un flujo adecuado en cualquier momento.
- Las tuberías deben estar dispuestas en forma longitudinal.
- Se debe colocar pantallas perforadas en el evaporador y absorbedor, para evitar durante el balanceo del buque la mezcla de los dos componentes separados.



**Figura 5.4:** Máquina sin sistema para el balanceo  
Fuente: [10]



**Figura 5.5:** Máquina con sistema para el balanceo  
Fuente: [10]

## 6 Resultados

A continuación, se recogen los datos del estudio para valorar la viabilidad del nuevo equipo, partiendo de la base de los consumos energéticos del equipo actual (compresión) y del equipo propuesto (absorción).

En particular, este buque hace cuatro trayectos diarios entre Santa Cruz de Tenerife - Las Palmas de Gran Canaria.

Es decir, un total de 16 horas de navegación. Las 8 horas restantes el barco está en puerto, y se mantiene con dos motores auxiliares.

En puerto, tanto el equipo de refrigeración actual como el propuesto se mantiene al mínimo de servicio.

Equipo	Actual(kW)	Propuesto(kW)	horas (h) funcionamiento	Consumo energético (actual) en kWh	Consumo energético (propuesto) en kWh
Bomba circulación	8	8	16	128	128
Chillers (C1-C17)	13,63	13,63	16	218,1	218,1
Compresor A/C	106,4	-	16	1702,4	-
Bomba A/S	6,9	6,9	16	110,4	110,4
Extractores	4	4	16	64	64
<b>TOTAL</b>	<b>139</b>	<b>32,53</b>		<b>2224</b>	<b>520,5</b>

**Tabla 6.1:** Potencia eléctrica, tiempo de funcionamiento diario y consumos eléctricos de los equipos en navegación

Equipo	Actual(kW)	Propuesto(kW)	horas (h) funcionamiento	Consumo energético (actual) en kWh	Consumo energético (propuesto) en kWh
Bomba circulación	4	4	8	32	32
Chillers (C1-C17)	4,2	4,2	8	33,6	33,6
Compresor A/C	26,6	-	8	212,8	-
Bomba A/S	6,9	6,9	8	55,2	55,2
Extractores	1,2	1,2	8	9,6	9,6
<b>TOTAL</b>	<b>42,9</b>	<b>16,3</b>		<b>343,2</b>	<b>130,4</b>

**Tabla 6.2:** Potencia eléctrica, tiempo de funcionamiento diario y consumos eléctricos de los equipos en puerto

Si se hace un cálculo del consumo energético en las horas de navegación, se deduce lo siguiente.

	Equipo actual	Equipo propuesto
Consumo (kWh)	2224	520,5
Total ahorro (kWh)	1703,5	

**Tabla 6.3:** Ahorro energético en navegación

	Equipo actual	Equipo propuesto
Consumo (kWh)	343,2	130,4
Total ahorro (kWh)	212,8	

**Tabla 6.4:** Ahorro energético en puerto

Como se puede observar, la sustitución de un equipo por otro consigue un ahorro diario del consumo eléctrico de 1703,5 kWh en navegación y de 212,8 kWh en puerto.

Como se ha mencionado anteriormente, el buque dispone de 3 motores auxiliares para generar la energía necesaria para abastecer las necesidades energéticas.

Los 3 motores MTU 12v183 TE 52, generan 1032 kW a 1500 rpm, con un consumo de 210 g/kWh de diésel marino[19].

Ahorro energético en navegación (kWh)	Ahorro energético en puerto (kWh)	Ahorro total combustible (kg/día)
1703,5	212,8	402,4

**Tabla 6.5:** Ahorro de combustible (kg/día)

Es decir, con la sustitución del equipo se calcula un ahorro del combustible diésel de 402,4 kg al día.

Contando con las paradas técnicas, el buque está en navegación 350 días al año. Si se calcula el ahorro de combustible éste dato anualmente, se llega a:

$$402,4 \frac{kg}{dia} \cdot 350 dias = 140840 \frac{kg}{año}$$

Actualmente el diésel marino tiene un coste de unos 750 €[3] cada tonelada. Por lo tanto se llega a que el ahorro del coste de combustible anualmente es de **105.630€** al sustituir la máquina de compresión por la de absorción.

### Precio del metro cúbico de aire acondicionado

La regulación de la temperatura se realiza mediante termostatos que regulan la cantidad de agua fría que sale del equipo, por lo tanto, el caudal de aire se mantiene en cada chiller.

Con los datos del caudal de cada uno de los chillers se halla el caudal que genera el equipo de aire acondicionado en total.

En navegación los ventiladores van a plena carga, pero en puerto la velocidad se reduce a un 31 % de su velocidad según se indica en el manual[7].

Chiller	Caudal en navegación	Caudal en puerto
C1	1780	551,8
C2	2220	688,2
C3	1620	502,2
C4	1620	502,2
C5	1780	551,8
C6	2220	688,2
C7	1780	551,8
C8	1620	502,2
C9	1620	502,2
C10	1620	502,2
C11	2220	688,2
C12	1780	551,8
C13	1620	502,2
C14	1780	551,8
C15	2220	688,2
C16	1780	551,8
C17	1620	502,2
<b>TOTAL</b>	<b>30900</b>	<b>9579</b>

**Tabla 6.6:** Comparación entre los caudales en navegación y puerto ( $m^3/h$ )

Una vez se calcula la cantidad total de aire que se genera en una hora, se dispone a calcular cuánto cuesta el  $m^3$  del equipo actual y del equipo propuesto.

Con la potencia del motor auxiliar, rendimiento del alternador y el consumo combustible de diésel por hora se calcula el consumo de los equipos, tanto en navegación como en puerto.

	Equipo actual	Equipo propuesto
Consumo diésel	27,73 kg	6,5 kg
Coste	19,41 €	4,5 €
Total ahorro	14,9 €	

**Tabla 6.7:** Total ahorro en navegación

	Equipo actual	Equipo propuesto
Consumo diésel	8,5 kg	3,25 kg
Coste	5,95 €	2,3 €
Total ahorro	3,65 €	

**Tabla 6.8:** Total ahorro en puerto

Para generar los 30900  $m^3/h$  en navegación el costo asciende a:

	Equipo actual	Equipo propuesto
Coste total	19,41 €	4,5 €
1 $m^3$	0,000628 €	0,000145 €

**Tabla 6.9:** Costo del  $m^3/h$  de aire climatizado en navegación

Es decir, 4,3 veces menos que el actual.

Para generar los 9579  $m^3/h$  en puerto el costo asciende a:

	<b>Equipo actual</b>	<b>Equipo propuesto</b>
Coste total	5,95 €	2,3 €
1 m <sup>3</sup>	0,000621 €	0,000240 €

**Tabla 6.10:** Costo del m<sup>3</sup>/h de aire climatizado en puerto

Es decir, 2,6 veces menos que el actual.

Se justifica la amortización del equipo con el cálculo del costo del equipo nuevo, ya que la potencia frigorífica necesaria es de 320 kW y el promedio del costo de una máquina de absorción es de 350 €/kW [13]. Por lo tanto, el costo del equipo es de 112.000 €.

Como se ha mencionado anteriormente, el ahorro de combustible anual asciende a 105.630 €, por lo tanto se amortizaría el equipo en casi un 95 % en un solo año.

Con la fluctuación del precio del combustible se puede calcular los márgenes de coste máximos y mínimos del equipo, teniendo en cuenta que el precio puede variar entre 700 y 800 € la tonelada de combustible.

Mínimo y máximo ahorro del ahorro del combustible		
Precio Diésel	Mínimo (700€)	Máximo (800€)
Ahorro total	98.588€	112.672€

**Tabla 6.11:** Cálculo del ahorro de combustible según precios mínimos y máximos del combustible diésel

Haciendo una comparación entre la máquina de compresión y la de absorción, y teniendo en cuenta los precios por kW de ambas máquinas se llega a [13][8]:

	<b>Absorción</b>	<b>Compresión</b>
<b>Precio (€/kW)</b>	350	240
<b>Total (€)</b>	112.000	76.800

**Tabla 6.12:** Comparación de precios para 320 kW de la instalación propuesta

Como se ve reflejado en la tabla 6.12, el costo del equipo de compresión para generar el frío es más barato que el de absorción, pero el consumo de combustible asociado a su funcionamiento es mayor.

# 7 Conclusiones

1. Se ha hecho un estudio del sistema de climatización de un buque y las características de un equipo de refrigeración por el método de absorción.
2. Se ha analizado el consumo de la climatización actual por compresión y, en base a su demanda, se investiga una propuesta de máquina de absorción para dicho buque que satisfaga las necesidades energéticas.
3. Se han analizado alternativas con diversas máquinas de absorción, eligiéndose la máquina de absorción que aprovecha los gases de escape de los motores auxiliares como foco caliente del equipo.
4. Se ha determinado el ahorro económico que se obtendría al sustituir el equipo actual por uno más eficiente basado en refrigeración por absorción, llegando a un ahorro de 105.630 € al año.
5. La amortización de la máquina en un año es de un 95 %, por lo que en poco más de un año se recuperaría el coste de la nueva máquina de refrigeración por absorción.



# Bibliografía

- [1] *Análisis de los sistemas de refrigeración solar por absorción*. URL: [www.bibing.us](http://www.bibing.us).
- [2] *El clima de Canarias*. URL: [www.visitarcanarias.com](http://www.visitarcanarias.com).
- [3] *Entrevista a trabajador de la empresa Disa*. 2019. Disa.
- [4] BARLOWORLD FINANZAUTO CAT, *Grupo motor-generator Caterpillar G3508*.
- [5] CHINEA, A. C., *Descriptiva, funcionamiento y averías del buque F/F Bonanza Express*. Universidad de La Laguna, Tenerife, España, 2015.
- [6] FAKTAOMFARTYG, *HSC Superseacat One*. 2019. URL: [www.faktaomfartyg.se](http://www.faktaomfartyg.se).
- [7] FINCANTIERI, *Heating, ventilation and air conditioning system*. 1996. Hull 5999.
- [8] GIA GROUP, *Catálogo precios*. 2018.
- [9] GRUPO NOVA ENERGÍA, *Catálogo Nova Energía*. 2019. URL: [www.tecsostenible.com](http://www.tecsostenible.com).
- [10] HAINNEN AND HOPMAN, *Maritime Absorption Chiller catalogue*.
- [11] INTERCLISA - CARRIER S.A., *Enfriadoras de líquido por absorción 16JB*. REF: CE-124-90.
- [12] MAGÍN LAPUERTA AMIGO, O. A. V., *Frío industrial y aire acondicionado*. 2012.
- [13] MAYO, R. L., *Evaluación experimental de absorción de simple efecto*. Universidad Carlos III, Madrid, 2016.
- [14] PROF. DR.-ING. A. HAFNER, D. C. G.; WIDELL, D. K., *Refrigeration units in marine vessels*. Denmark, 2019.
- [15] RUIZ, V., *Analysis of existing refrigeration plants onboard fishing vessels and improvement possibilities*. Vicus Desarrollos Tecnológicos, Vigo, Spain, Mayo 2012.
- [16] TAYLOR; FRANCIS, *Absorption refrigeration system utilising engine exhaust gas for bulk gas carriers*. London, 11 de septiembre de 2014.
- [17] TRASMEDITERRÁNEA, *Plan de gestión de la eficiencia energética del buque*. 2018.
- [18] TRASMEDITERRÁNEA, *Datos buque Almudaina Dos*. 2019. [www.trasmediterranea.com](http://www.trasmediterranea.com).
- [19] TRASMEDITERRÁNEA, *MTU 12V183 TE52*. 2019. [www.nautipedia.it](http://www.nautipedia.it).
- [20] VÁZQUEZ, Y. R., *Nuevas tendencias en propulsión naval*. Escuela de especialidades Antonio de Escaño, 2018.
- [21] ZORRILLA, C. F., *Motores diesel*. 2012.