



LNG TANKER 160.000m³

NÚMERO 17-05

AUTORA: CARMEN SEOANE FERNÁNDEZ
TUTOR: VICENTE DÍAZ CASÁS

CUADERNO 12

EQUIPOS Y SERVICIOS





GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.017-2018

PROYECTO NÚMERO 17/05

TIPO DE BUQUE: LNG carrier.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL, CIG.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: LNG con una capacidad de 160.000 m³.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 19.5 knots a velocidad de servicio, al 85% MCR + 15% MM y 5000 millas de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: bombas de carga y de vapor habituales en buques de este tipo.

PROPULSIÓN: dual-fuel diesel-electric (DFDE)

TRIPULACIÓN Y PASAJE: capacidad para 40 tripulantes en camarotes dobles e individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 18 Setiembre 2017

ALUMNA: D^a Carmen Seoane Fernández

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. EQUIPOS DE AMARRE Y FONDEO.....	5
2.1. CÁLCULO POTENCIA DEL MOLINETE.....	6
2.2. CÁLCULO VOLUMEN CAJA DE CADENAS.	7
2.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL ESCOBÉN.	9
3. EQUIPOS DE SALVAMENTO.	9
3.1. MEDIOS INDIVIDUALES DE SALVAMENTO.....	9
3.2. EMBARCACIONES DE SUPERVIVENCIA.	10
4. SERVICIO CONTRA INCENDIOS.	10
4.1. CONEXIÓN A TIERRA NORMALIZADA.....	11
4.2. NÚMERO DE EXTINTORES.....	12
4.3. MANGUERAS, BOCAS Y LANZAS CONTRA INCENDIOS.....	16
4.4. NÚMERO DE EQUIPOS DE BOMBERO.....	17
4.5. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS ZONA DE CARGA.	17
4.6. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS CÁMARA DE MÁQUINAS.	20
4.7. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS ZONA HABILITACIÓN.	21
4.8. CÁLCULO BOMBAS CONTRA INCENDIOS.	21
4.9. CÁLCULO POTENCIA BOMBA CONTRA INCENDIOS.	24
4.10. CÁLCULO BOMBA EMERGENCIA.	24
5. VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS.	25
6. GENERACIÓN DE AGUA DULCE.	27
6.1. CÁLCULO BOMBA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.....	29
6.2. CÁLCULO CALENTADOR DE AGUA.	30
7. SISTEMA DE LASTRE.....	30
7.1. CÁLCULO BOMBAS DE LASTRE.	31
8. SERVICIO DE SENTINAS.....	32
8.1. CÁLCULO BOMBA DE SENTINAS.....	32
9. EQUIPOS DE CARGA Y DESCARGA.	33
9.1. LÍNEA DE LÍQUIDO.....	34
9.2. LÍNEA DE VAPOR.	35
9.3. LÍNEA DE SPRAY.....	36
9.4. LÍNEA DE VENDEO.....	36
9.5. LÍNEA DE INERTIZACIÓN.	37

9.6. LÍNEA DE NITRÓGENO.....	37
9.7. COMPRESORES.....	38
9.8. VAPORIZER.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	41

1. INTRODUCCIÓN.

En este cuaderno se calcularán los equipos y servicios del buque. Serán dimensionados de acuerdo con las pautas de la IACS, Bureau Veritas y reglamentación UNE. A continuación se muestran las características principales del buque:

Lpp (m)	271,3
B (m)	45,4
D (m)	26,4
T (m)	12,7
Δ (t)	118826,0
LBD (m ³)	324682,4
Cb	0,745
Cf	0,829
Cm	0,991
Cp	0,752

2. EQUIPOS DE AMARRE Y FONDEO.

En este punto se calcularán aquellos equipos necesarios para el fondeo, maniobras con anclas o maniobras con estachas.

El cálculo referente a anclas y cadenas se basa en la normativa que especifica la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas Pt B, Ch 9, Sec. 4 EQUIPMENT.

2.1.2 Equipment Number for ships with perpendicular superstructure front bulkhead

The Equipment Number EN is to be obtained from the following formula:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 h B + 0,1 A$$

Δ es el desplazamiento para la condición de carga máxima, calculado en el cuaderno 5, 118.826 t

$$h = a + \sum h_n$$

- a: Francobordo a la cubierta superior a la mitad de la eslora de flotación, 13,7 m.
- $\sum h_n$: Sumatorio de los puntales de las superestructuras con manga mayor a B/4, 17,70 m

A es el área lateral del casco y superestructuras con manga mayor a B/4 por encima de la línea de flotación dentro de L_E . L_E será un valor comprendido entre el 96% y 97% de la eslora de flotación. Este dato se obtiene midiendo en el plano dichas áreas resultando 5.418 m²

El numeral de equipo será:

$$EN = 118.826^{2/3} + 2 * 17,70 * 45,4 + 0,1 * 5.418$$

$$EN = 4566$$

A partir de las tablas de Bureau Veritas Pt B, Ch 9, Sec 4

Equipment number EN A < EN ≤ B		Stockless bower anchors		Stud link chain cables for bower anchors			
		N (1)	Mass per anchor, in kg	Total length in m	Diameter, in mm		
A	B				Q1	Q2	Q3
4400	4600	3	13500	715,0	117,0	102,0	90,0

Equipment number EN A < EN ≤ B		Towline (1)		Mooring lines (1)		
A	B	Minimum length, in m	Breaking load, in kN	N (2)	Length of each line, in m	Breaking load, in kN (3)
4400	4600	300	1471	7	200	667

Se adjunta una tabla resumiendo los resultados obtenidos.

Nº ANCLAS	3
PESO POR ANCLA (Kg)	13.500
LONG CADENA TOTAL (m)	715
DIÁMETRO CADENA (mm)	102
LONGITUD LINEA REMOLQUE (m)	300
MÍNIMA CARGA ROTURA LINEA REMOLQUE (kN)	1471
LÍNEAS DE FONDEO	7
LONGITUD DE CADA LÍNEA DE FONDEO (m)	200
MÍNIMA CARGA ROTURA FONDEO (kN)	667

La longitud de los largos está estandarizada en 27,5 m, por tanto, tendremos 13 largos a cada costado del buque.

2.1. CÁLCULO POTENCIA DEL MOLINETE.

Para dimensionar el molinete utilizaremos las fórmulas del artículo técnico “Normas prácticas para el diseño de molinetes de ancla” de la revista “Ingeniería Naval”:

$$POTENCIA_{MEDI A} = \frac{0,87 * (P_A + 0,02 * d_c^2 * L) * V_S}{4500 * \eta_m * \eta_e}$$

P_A El peso del ancla 13.500 Kg

d_c Diámetro de la cadena 102 mm

L longitud de la cadena 357,5 m

V_S Velocidad de izada que se considerará 9 m/min

η_m y η_e El rendimiento del molinete y del escobén, se considerarán 0,6 en los dos casos.

La potencia media, una vez pasada a kW resulta:

$$POTENCIA = 312,4 \text{ kW}$$

Para zarpar el ancla del fondo, el motor debe vencer el poder de agarre de esta. El motor durante 2 minutos deberá ejercer la potencia instantánea calculada mediante la siguiente expresión:

$$POTENCIA_{INST} = \frac{(2,1 * P_A + 0,02 * d_c^2 * L) * V_S}{4500 * \eta_m}$$

Los datos son los mismos que los utilizados para calcular la potencia media salvo que no se tiene en cuenta el rendimiento del escobén y se considera un factor que aumenta el peso del ancla al ser la subida del ancla la situación más desfavorable para el equipo. La potencia instantánea, pasada a kW será:

$$POTENCIA_{INST} = 723,6 \text{ kW}$$

2.2. CÁLCULO VOLUMEN CAJA DE CADENAS.

El volumen de la caja de cadenas se define como:

$$V_{CC} = 0,082 * d^2 * L * 10^{-4}$$

d Es el diámetro de la cadena 102 mm
L La longitud de la cadena 715 m

$$V_{CC} = 61 \text{ m}^3$$

El buque llevará dos cajas de cadenas a cada costado del buque, el volumen individual de cada caja será 30,5 m³.

En la zona más estrecha donde puede ubicarse esta caja hay unas dimensiones de 7,20 en eslora y 5,55 en manga, lo que supone que no habrá problemas para encajar dichas cajas. Hay que tener en cuenta que la caja de cadenas en su parte inferior lleva un sistema de achique que ocupará un espacio y que se debe permitir la entrada de un hombre por la parte superior estando la cadena estibada si fuera necesario.

A continuación se calcula las dimensiones de dichas cajas.

Donde:

h = Altura de la caja de cadenas (m)

h_1 = Altura para caída de la cadena y acceso ($1,5 \leq h_1 \leq 2,8$ m)

$$h_2 = h_2 = \frac{l}{2} \tan 30$$

h_3 = Para las cajas cilíndricas:

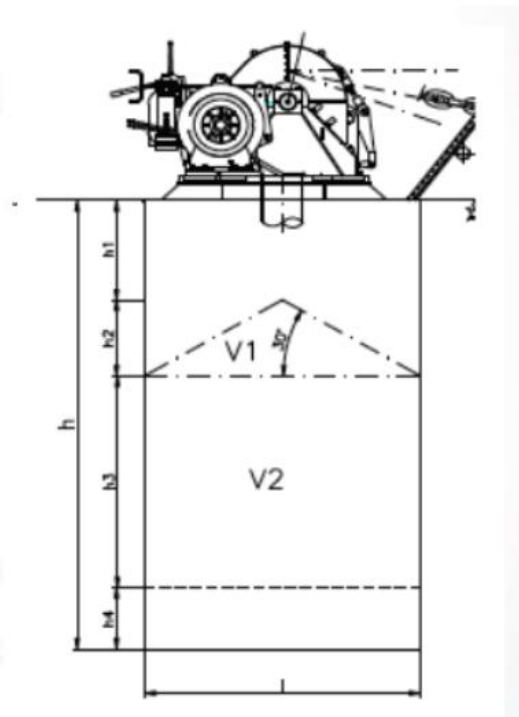
$$h_3 = \frac{V_2}{\pi \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

Para las cajas prismáticas:

$$h_3 = \frac{V_2}{l_1 \cdot l_2}$$

Donde l_1 y l_2 son los lados de la base de la caja de cadenas (m)

h_4 = Altura para drenaje de la cadena ($0,6 \leq h_4 \leq 0,8$ m)



Se considerarán las siguientes alturas:

La caja de cadenas será con forma prismática y de lados iguales de 3 m

$h_1=2$ m, facilitando la entrada de un operario de ser necesario

$$h_2 = \frac{l}{2} \tan(30) = 0,87 \text{ m}$$

Para calcular V_2 será necesario restar al volumen calculado antes el volumen de la parte cónica superior.

$$V_2 = V_{CC} - V_1 = V_{CC} - \frac{h_2}{3} * \pi * \left(\frac{l}{2}\right)^2$$

$$V_2 = 30,5 - \frac{0,87}{3} * \pi * \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 28,45$$

Por tanto,

$$h_3 = \frac{V_2}{l * l} = \frac{28,45}{3 * 3} = 3,16 \text{ m}$$

$h_4 = 0,7$ m Espacio para el sistema de achique

Por tanto, la altura total de cada caja de cadenas será la suma de las cuatro alturas calculadas,

$$h = 2 + 0,87 + 3,16 + 0,7$$

$$h = 6,73 \text{ m}$$

La base de la caja de cadenas es de 3x3 m.

2.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL ESCOBÉN.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D = [(100 - d) * 0,03867 + 7,5] * d$$

Siendo d el diámetro de la cadena, 102 mm.

$$D = 757 \text{ mm}$$

3. EQUIPOS DE SALVAMENTO.

Los equipos y dispositivos necesarios para realizar el salvamento vienen fijados en el SOLAS, Capítulo III, Parte B.

El buque cuenta con 40 tripulantes. El armador también dispondrá de camarotes. Se considerarán los medios suficientes para evacuar a 46 personas, tomando un margen por posibles técnicos que puedan ir a bordo.

3.1. MEDIOS INDIVIDUALES DE SALVAMENTO.

- Aros salvavidas: distribuidos de modo que estén fácilmente disponibles a ambas bandas del buque y en la medida de lo posible, en todas las cubiertas expuestas que se extiendan hasta el costado del buque habrá por lo menos uno en las proximidades de la popa. Estarán estibados de modo que sea posible soltarlos rápidamente y no estarán sujetos de ningún modo por elementos de fijación permanente. Habrá al menos un aro a cada banda dispuesto con una rabiza flotante. Al menos la mitad de los aros salvavidas irán provistos de luces de encendido automático y de estos al menos dos irán provistos de una señal fumígena y deberán poder soltarse rápidamente desde el puente de navegación.

Eslora del buque en metros	Número mínimo de aros salvavidas
Menos de 100	8
de 100 a menos de 150	10
de 150 a menos de 200	12
200 o más	14

Se ha decidido disponer de 20 aros salvavidas, cumpliendo así el mínimo exigido.

- Chalecos salvavidas: Habrá un chaleco salvavidas para cada una de las personas que vayan a bordo. Estibados en una caja próxima al punto de reunión en cámara de máquinas y en el puente en caso de abandono del buque. Todos los chalecos irán provistos de luz.
- Trajes de inmersión: Se dotará a cada tripulante y pasajero de un traje de supervivencia, de una talla adecuada, que deberá almacenar en su camarote. Por lo tanto, se dispondrá de, al menos, un total de 46 trajes de supervivencia.
- Se dispondrá de un aparato lanzacabos, de un alcance de 230 m. como mínimo.
- Se dispondrán 25 cohetes lanza bengalas con paracaídas de socorro instalados en una caja de acero situada en el puente de navegación o cerca de este.

- Tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales portátiles de ondas métricas.
- Dos respondedores de radar, uno a cada banda. Que deberán estar colocados en lugares donde se pueda colocar rápidamente en cualquier embarcación de supervivencia.

3.2. EMBARCACIONES DE SUPERVIVENCIA.

- El buque dispondrá de un bote de caída libre por popa. Este bote irá estibado en un pescante que será el que lo ponga a flote cuando sea necesario. Tendrá una capacidad para evacuar a todos los tripulantes del buque, por tanto tendrá una capacidad para 46 personas. Tendrá un servicio autónomo de abastecimiento de aire.
- Balsas salvavidas auto inflables con capacidad para todas las personas del buque, situadas lo más a proa posible. Su instalación es obligatoria cuando la distancia horizontal desde el extremo de la roda hasta el extremo más próximo de la embarcación de supervivencia más cercana sea superior 100m. Se instalarán, 3 balsas salvavidas distribuidas entre la eslora entre perpendiculares, cada 90 m, estibadas de tal forma que puedan moverse de banda a banda de la cubierta expuesta. Tendrán capacidad para toda la tripulación.
- Bote de rescate: Se instalará en el buque una lancha semirrígida rápida de plástico reforzado con fibra de vidrio, con una capacidad de 6 personas y propulsada con motor fueraborda y colocada en el lado de babor.

4. SERVICIO CONTRA INCENDIOS.

Este sistema será de los más importantes del buque debido a la volatilidad que presenta la carga y el riesgo de atmósferas explosivas. Se utilizará el SOLAS y el código CIG para su diseño, así como normas UNE.

Se ha optado por un sistema de extinción por agua nebulizada. Este sistema proporciona, para un mínimo volumen de agua, una gran superficie a extinguir. Esto se debe a que el agua se distribuye en forma de gotas muy pequeñas produciendo una fina niebla capaz de sofocar el incendio. Las ventajas de este sistema son:

- Menor coste y mayor disponibilidad del agente extintor, es agua.
- Inocuo para las personas, a diferencia de los utilizados habitualmente como el CO₂.
- Mínima inundación de los espacios por agua, ya que se nebuliza.
- Disminución de la temperatura del recinto, el vapor de agua ocupa un mucho volumen.
- Mínimo impacto sobre los equipos.

El “Código internacional de sistemas de seguridad contra incendios” indica que el buque deberá de llevar, a fin de proteger la zona de cubierta de la zona de carga, un sistema fijo de extinción de incendios de espuma en cubierta. El sistema de espuma debe ser capaz de sofocar un fuego producido en cualquier punto de la superficie de cubierta y en cualquier tanque de carga cuando la cubierta correspondiente haya sufrido daños. Se calculará posteriormente.

Los espacios tipo A son los que tienen especial riesgo de aparición de vapores inflamables, deberán instalar un sistema pasivo estructural que consistirá en mamparos recubiertos con aislamiento tipo A 60, que deberán evitar el paso de humos y/o llama a la cara no expuesta, mediante la estanqueidad del propio mamparo y evitará que la cara no expuesta al fuego no incrementará su temperatura en más de 140 °C durante 60 minutos.

Se considerarán como zonas tipo A los siguientes espacios:

- Cámara de máquinas.
- Cocina.
- Zonas y pasillos de evacuación del buque.
- El frente central de las superestructuras así como ventanas y portillos de la misma debido al riesgo de acumulación de vapores al estar al frente de la carga.

4.1. CONEXIÓN A TIERRA NORMALIZADA.

El Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios especifica las dimensiones exigidas para la conexión a tierra del buque. El SOLAS obliga a colocar una toma a cada costado del buque.

Cuadro 2.1 – Dimensiones normalizadas de las conexiones internacionales a tierra

Descripción	Dimensiones
Diámetro exterior	178 mm
Diámetro interior	64 mm
Diámetro del círculo de pernos	132 mm
Ranuras en las bridas	4 agujeros de 19 mm de diámetro espaciados de forma equidistante en el círculo de pernos del diámetro citado y prolongados por una ranura hasta la periferia de la brida
Espesor de las bridas	14,5 mm como mínimo
Pernos y tuercas	4 juegos de 16 mm de diámetro y 50 mm de longitud

4.2. NÚMERO DE EXTINTORES.

El SOLAS, establece para buques de carga con un arqueo bruto igual o superior a 1000 deberán tener un mínimo de 5 extintores portátiles.

En espacios de alojamiento no se podrán instalar extintores del tipo anhídrido carbónico, pudiendo instalarse en estas zonas extintores de polvo seco o de espuma, por motivos de seguridad de la tripulación.

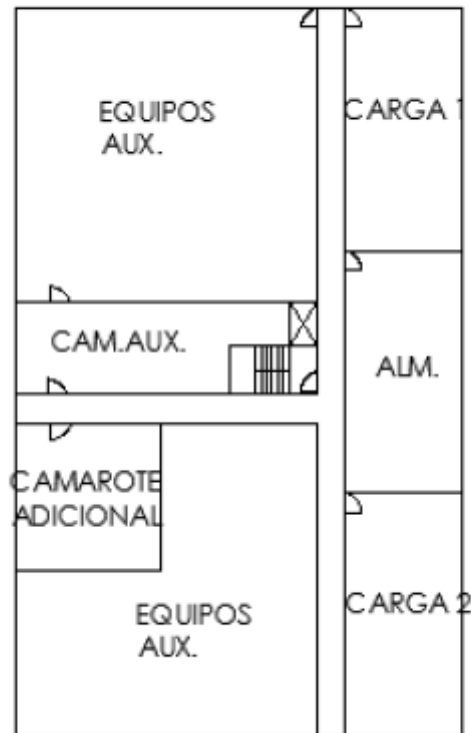
Todo extintor de polvo seco o de anhídrido carbónico tendrá una capacidad mínima de 5 kg y todo extintor de espuma, una capacidad mínima de 9 l. La masa de los extintores portátiles de incendios no será superior a 23 kg y su capacidad de extinción será al menos equivalente a la de un extintor de carga líquida de 9 l.

Los extintores serán de polvo polivalente (ABC) de 12 kg para los espacios de habilitación y de tipo polvo normal (AB) de 12 kg en la cámara de máquinas.

Por motivos de prevención, en este buque se instalarán los siguientes extintores:

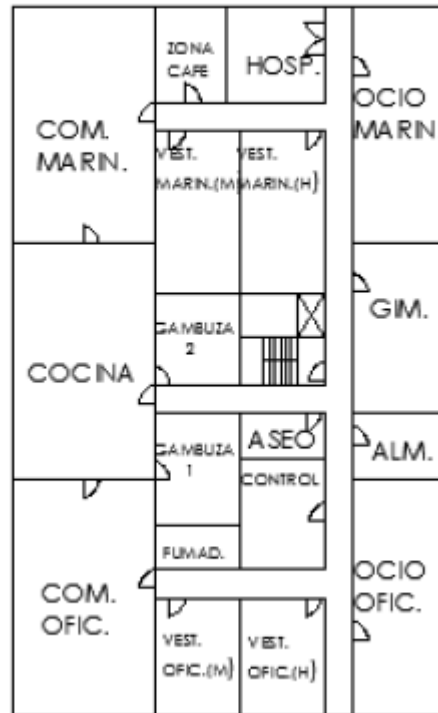
ZONA HABILITACIÓN (21 extintores)

CUBIERTA PRINCIPAL



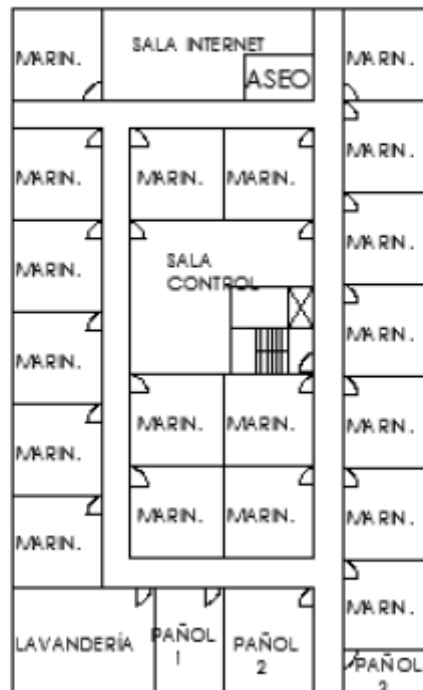
Se instalarán 6 extintores, uno por cada sala de equipos y cargas y dos en los pasillos.

CUBIERTA A



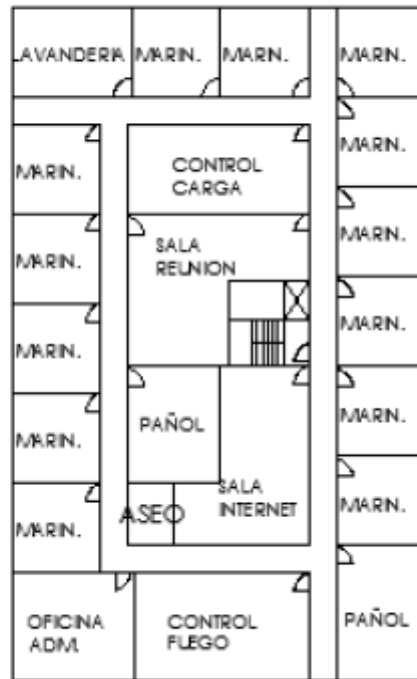
Se instalarán 3 extintores, uno en la cocina y dos en los pasillos.

CUBIERTA B



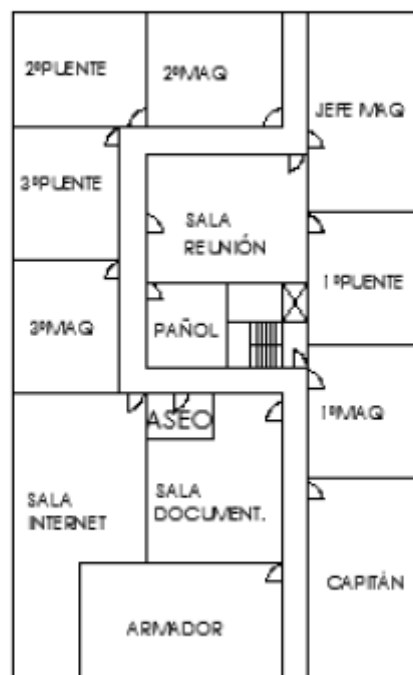
Se instalarán 3 extintores, uno en la sala de control y dos en los pasillos.

CUBIERTA C

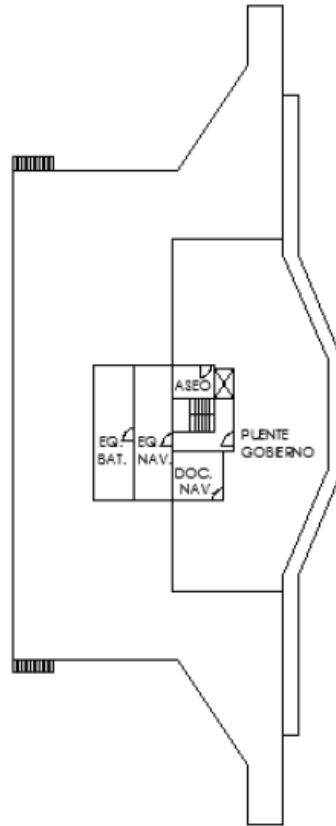


Se instalarán 4 extintores, uno en la sala de control de carga, uno en la sala de control de fuego y dos en los pasillos.

CUBIERTA D



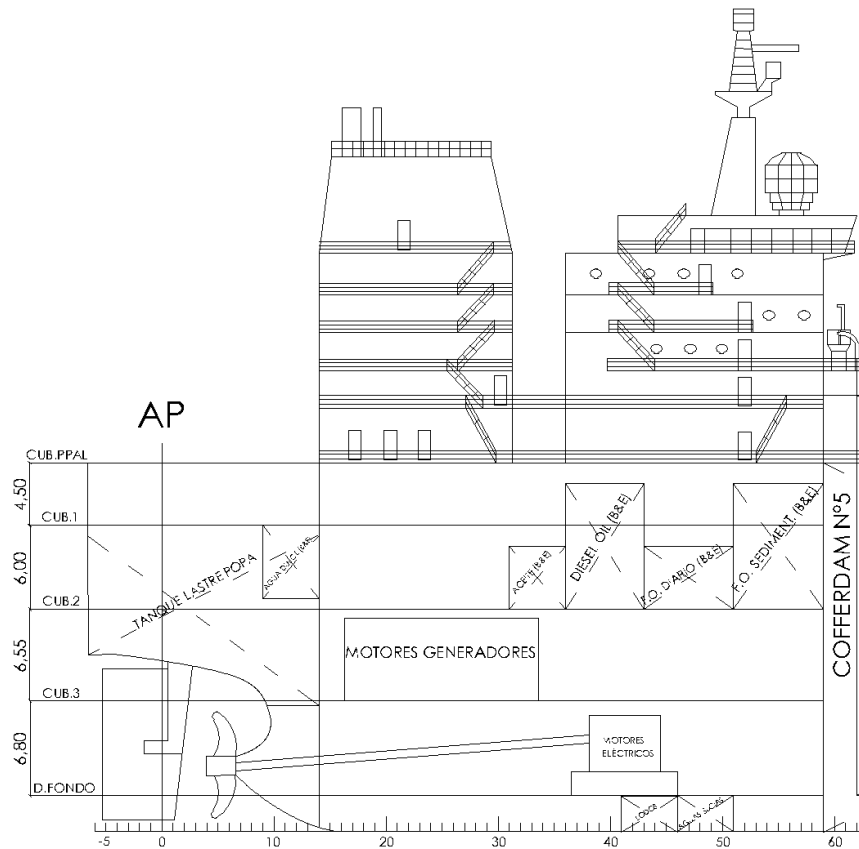
Se instalarán 3 extintores distribuidos por el pasillo.



Se instalarán 2 extintores, uno en la sala del puente y otro en la sala de equipos de baterías.

ZONA CÁMARA DE MÁQUINAS (16 extintores)

Se colocarán uno a proa, uno a popa, y dos situados a cada costado en cada una de las plataformas disponibles.



El buque consta de cuatro cubiertas en la zona de cámara de máquinas, por tanto esta zona tendrá 16 extintores.

4.3. MANGUERAS, BOCAS Y LANZAS CONTRA INCENDIOS.

La distribución de las bocas deberá permitir que por lo menos dos chorros, que no procedan de la misma boca contra incendios, uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza y que pueda alcanzar cualquier parte del buque que sea accesible para la tripulación o cualquier espacio de carga cuando este se encuentre vacío.

En los buques de carga de arqueo bruto igual o mayor de 1000 deberá haber una manguera por cada 30 m de eslora más una de respeto, pero nunca menor que 5. Estas mangueras son independientes a las de cámara de máquinas y habitación.

$$N^{\circ} \text{ MANGUERAS} = \frac{L}{30} + 1 = 10 \text{ MANGUERAS}$$

Se utilizarán mangueras estandarizadas de 15 m de longitud.

En cámara de máquinas se instalará para, cada cubierta, dos mangueras situadas cada una a un costado en la zona media de la cámara, con el fin de abarcar la superficie. El número de mangueras en cámara de máquinas será de 8.

En la zona de habilitación tendremos que para la cubierta principal, dado que hay equipos auxiliares se dispondrá de 5 mangueras, una para cada sala de equipos auxiliares y de carga y otro colocado en una zona media del pasillo.

4.4. NÚMERO DE EQUIPOS DE BOMBERO.

El código CIG establece:

Capacidad total de carga	Número de equipos
igual o inferior a 5 000 m ³	4
superior a 5 000 m ³	5

El buque constará de 5 equipos de bombero con aparatos respiratorios autónomos de aire cuya capacidad mínima será de 1200 l. de aire libre.

4.5. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS ZONA DE CARGA.

El “Código internacional de sistemas de seguridad contra incendios” indica que el buque deberá de llevar, a fin de proteger la zona de cubierta de la zona de carga, un sistema fijo de extinción de incendios de espuma en cubierta. El sistema de espuma debe ser capaz de sofocar un fuego producido en cualquier punto de la superficie de cubierta y en cualquier tanque de carga cuando la cubierta correspondiente haya sufrido daños.

La solución espumosa deberá tener un caudal no inferior al mayor de los siguientes:

- $C1=0,6 \cdot B \cdot L_c$
- $C2=6 \cdot A$
- $C3=3 \cdot E$

Siendo

B la manga del buque 45,4 m.

L_c es la longitud de la zona de carga 197 m.

A es la sección horizontal del tanque de mayor sección. Este dato se obtiene del plano 2.068 m².

E superficie protegida por el mayor cañón lanzador encontrándose toda esa superficie a proa del cañón.

La superficie se puede estimar sabiendo que la distancia del cañón al extremo de la zona protegida a proa de él no debe ser superior al 75% del alcance del cañón, y que este se puede estimar en 36 m dado los datos de la siguiente tabla.

Monitor type	Pressure loss at 1000 l/min	Typical nozzle throw
Single waterway fabricated stainless steel	0.2 bar (3.0 psi)	38 m
Single waterway cast bronze	0.3 bar (4.5 psi)	37 m
Dual path waterway cast aluminium	1.0 bar (15 psi)	33 m

Como dimensión longitudinal tenemos:

$$\sqrt{(0,75 \cdot \text{alcance})^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

$$\sqrt{(0,75 * 36)^2 - \left(\frac{45,4}{2}\right)^2} = 14,62 \text{ m}$$

Por tanto, la superficie que resulta será multiplicando esta longitud por la manga:

$$E = 14,62 * 45,4 = 663,7 \text{ m}^2$$

Los caudales a comparar resultan:

- $C_1 = 5.367 \text{ l/min}$
- $C_2 = 12.408 \text{ l/min}$
- $C_3 = 1.992 \text{ l/min}$

El caudal de salida de la espuma será de:

$$C_2 = 12.408 \text{ l/min}$$

Se suministrará concentrado de espuma en cantidad suficiente para asegurar que se produce espuma durante 20 minutos en los buques tanque provistos de un sistema de gas inerte, como es el caso. La relación de expansión de la espuma (es decir, la relación entre el volumen de espuma producida y el volumen de la mezcla de agua y concentrado espumógeno suministrado) no excederá de 12 a 1. Según lo indicado, la capacidad del tanque de espumógeno será la siguiente:

$$V_{esp} = 7.445 \text{ l} \approx 8 \text{ m}^3$$

La eslora protegida por cada cañón será de 12,5 m, considerando un alcance de los mismos de 36 m. Teniendo en cuenta que la eslora de la zona de carga es de 197 metros, el número mínimo de cañones a disponer sobre cubierta será:

$$N^{\circ}CAÑONES = \frac{197}{12,5} = 16$$

El caudal mínimo de cada cañón será el mayor caudal obtenido en:

- $C_3 = 3 \cdot E = 1.992 \text{ l/min}$
- 50% de la solución espumosa máxima $0,5 * C_2 = 6.204 \text{ l/min}$

Por tanto, el caudal que entregarán los cañones será de:

$$Q = 6.204 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 373 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por otra parte, los lanza espuma deberán disponerse de forma que “aseguren flexibilidad de operación en la extinción de incendios y cubran las zonas que los cañones no puedan alcanzar porque estén interceptadas”.

El número mínimo, según reglamento, es de 4 lanza-espumas con un alcance mínimo de 15 m. y una capacidad superior a los 400 l/min.

El CIG establece que el buque dispondrá de un sistema de aspersión por agua en cubierta, destinado a la refrigeración de la misma. Con esto se conseguirá reducir la tasa de evaporación del gas durante el transporte. Deberá cubrir la cubierta y zonas de carga con una aspersión mínima de agua uniformemente distribuida de 10 l/m² por minuto para superficies de proyección horizontal y de 4 l/m² por minuto para las superficies verticales.

4.6. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS CÁMARA DE MÁQUINAS.

En la cámara de máquinas el sistema de contraincendios estará formado por agua nebulizada, extintores de espuma y sistemas de aplicación local. Se ha decidido no instalar un sistema de CO₂ debido al alto coste y al peligro para la tripulación. Actualmente, los buques han dejado de utilizar ese sistema. Presenta las siguientes características:

- Lavado y decantado de los humos y los gases tóxicos (seguridad humana).
- Mantenimiento del nivel de oxígeno.
- Economía, coste mínimo del agente extintor.
- No conduce la electricidad.
- Muy eficaz en fuegos de líquidos inflamables.
- Daños por el agua muy reducidos.
- Reducción de la temperatura del recinto.
- Agente extintor ecológico y económico.
- Eficacia extintora por varios principios físicos.

Los sistemas utilizados por el agua nebulizada constan de los siguientes elementos:

- Cabezales atomizadores: son válvulas de agua que pueden estar siempre abiertas, en caso de sistemas de inundación total, o cerradas mediante un bulbo térmico en caso de sistemas de tubería húmeda.
- Sistema de abastecimiento de agua: es el conjunto de fuentes de agua, equipos de impulsión y red general destinados a asegurar el caudal y la presión de agua necesarios durante el tiempo de autonomía.
- Red de distribución: son las conducciones del agua del sistema, que discurren desde el sistema de abastecimiento hasta las cabezas atomizadoras distribuidas a lo largo del buque.
- Válvulas direccionales: son las válvulas que permiten dirigir la descarga al riesgo seleccionado.

Posteriormente se calcularán las bombas contra incendios y demás elementos.

4.7. SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS ZONA HABILITACIÓN.

El buque contará con 21 extintores en la zona de habilitación, se ha calculado al inicio de este cuaderno. Adicionalmente, se instalará un sistema de rociadores automáticos.

El sistema de será del tipo “tubería llena” y estará siempre llena de agua dulce y mantenida a presión. Instalaremos una bomba centrífuga independiente del resto de bombas contraincendios, destinada a mantener automáticamente la descarga continua de agua en los rociadores a la presión requerida, de modo que aseguro un suministro capaz de cubrir el área estipulada a un régimen de aplicación de 5 l/min·m².

4.8. CÁLCULO BOMBAS CONTRA INCENDIOS.

En la cámara de máquinas se encuentran la toma de agua de mar y las bombas de impulsión del sistema contraincendios. La línea principal del colector distribuirá el flujo en dos líneas, una para la zona de habilitación y otra línea para la zona de carga. EL buque llevará dos bombas contra incendios y por otro lado la bomba de emergencia. EL SOLAS establece el caudal total que deben ofrecer las bombas y será no inferior a 4/3 del caudal de la bomba de sentinas. Esta bomba está calculada en puntos posteriores de este cuaderno resultando 382 m³/h.

$$Q_{CI} = \frac{4}{3} * Q_S$$

$$Q_{CI} = 510 \text{ m}^3/\text{h}$$

El SOLAS establece que la capacidad máxima de cada bomba será de 180 m³/h. En este buque se instalarán 4 bombas contra incendios con una capacidad de 140 m³/h, cumpliendo así el flujo necesario y dejando cierto margen ya que el SOLAS establece que las bombas operarán con un valor superior al 80% de la capacidad total. Se considerará que trabajan al 90%, de ahí el resultado de los caudales seleccionados.

Para el cálculo de la sección de la línea contraincendios principal se tendrá en cuenta la velocidad del fluido que se considerará a 6 m/s.

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{510}{6 * 3600}$$

$$S = 0,024 \text{ m}^2$$

El diámetro del tubo se calcula de la siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = 0,175 \text{ m}$$

Se escogería un tubo comercial de 175 mm de diámetro.

Ahora va a calcularse el caudal necesario en la línea de aspiración de la bomba.

Para fijar la velocidad debemos tener en cuenta la posible cavitación que sería muy perjudicial para las bombas. Por ello se decide escoger una velocidad de aspiración de 1,8 m/s. Definida la velocidad, calculamos la sección del conducto:

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{510}{1,8 * 3600}$$

$$S = 0,078 \text{ m}^2$$

Calculando el diámetro estaríamos en disposición de escoger de un catálogo comercial el que mejor se adaptase.

$$D = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = 0,317 \text{ m}$$

Este valor no lo habrá en un catálogo, por tanto, nos adaptaríamos al valor más cercano superior y recalculáramos la velocidad de entrada para comprobar si es satisfactoria.

PÉRDIDAS DE CARGA

Se tendrán en cuenta tanto las pérdidas de carga manométrica, debidas a la altura que alcanza el fluido, como las pérdidas de carga por fricción.

Las pérdidas de carga manométrica se definen como:

$$P = \rho * g * h$$

Siendo h la altura máxima que alcanzará el fluido.

Para las pérdidas de carga por fricción en los elementos de la línea, se tendrá en cuenta que dicha pérdida en un tramo recto de tubería vendrá determinada por la ecuación de Hazen-Williams:

$$P = \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} * d^{4,87}} * 6,05 * 10^5 * L$$

C es una constante que dependerá del tipo del material, se obtiene de la siguiente fórmula:

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

El diámetro d se calculará a partir de las velocidades del fluido en cada tramo. Esto será una aproximación ya que sólo se tendrán en cuenta estos tramos y no válvulas o accesorios.

$$Q = A * V = \left(\frac{\pi}{4} * d^2\right) * V$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

EL caudal Q se ha definido anteriormente en 510 m³/h y la velocidad dependerá del tramo:

- Velocidad de aspiración 1,8 m/s → $d=0,315$ m
- Velocidad en cámara de máquinas 2,5 m/s → $d=0,270$ m
- Velocidad conducto 6 m/s → $d=0,175$ m

Se considerará la línea que concurre en el puente de gobierno al considerarse el punto más desfavorable y la línea para la cubierta de carga. Se considerará también que la línea llegará al punto más alejado posible.

LÍNEA ZONA PUENTE	d(mm)	Leq(m)	H(m)	Q(m ³ /h)	Q(l/min)	HAZEN WILLIAMS	ρgH
VERTICAL- DOBLE FONDO/C.MÁQUINAS	275	2,60	2,60	510	8500	0,006456944	0,2548
VERTICAL-C.MÁQUINAS	235	23,80	23,80	510	8500	0,127080931	2,3324
VERTICAL-C.MÁQUINAS/PUENTE	150	17,70	17,70	510	8500	0,841419852	1,7346
HORIZONTAL PUENTE	150	18,40		510	8500	0,874696344	
TOTAL						1,85	4,32
LÍNEA CUBIERTA DE CARGA							
VERTICAL- DOBLE FONDO/C.MÁQUINAS	275	2,60	2,60	510	8500	0,006456944	0,2548
VERTICAL-C.MÁQUINAS	235	23,80	23,80	510	8500	0,127080931	2,3324
VERTICAL-C.MÁQUINAS/CUBIERTA CARGA	150	26,40	26,40	510	8500	1,254999102	2,5872
HORIZONTAL CUBIERTA	150	216,00		510	8500	10,26817447	
TOTAL						11,66	5,17

Se considerará por tanto, la pérdida más desfavorable, que será la suma de la pérdida por fricción de la línea de cubierta. Se tendrá en cuenta que queremos una presión en la punta de lanza de 6 bares.

$$P = 11,66 + 6$$

$$P = 17,7 \text{ bar}$$

4.9. CÁLCULO POTENCIA BOMBA CONTRA INCENDIOS.

Una vez conocido el caudal y la presión a la que debe trabajar la bomba puede estimarse la potencia que absorberán.

Como ya se ha mencionado, se instalarán 4 bombas con una capacidad cada una de 140 m³/h. La potencia de cada bomba será:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

El peso específico es 1025 kg/m³, el rendimiento se ha considerado 0,85 y la altura será las pérdidas de carga calculadas anteriormente en m.c.a.

$$P = \frac{140 * 1025 * 177}{3600 * 75 * 0,85}$$

$$P = 110,7 \text{ kW}$$

4.10. CÁLCULO BOMBA EMERGENCIA.

Los buques de carga deben estar provistos de un dispositivo auxiliar para el caso de que un incendio inutilizara todas las bombas del sistema contra incendios. Este dispositivo ha de ser una bomba fija de emergencia, de accionamiento independiente, con capacidad para suministrar los chorros de agua que se consideren suficientes, situada en una zona no susceptible de incendios, normalmente en la zona de proa, y en situación de tener presión positiva suficiente para su accionamiento.

La capacidad de esta bomba no será inferior al 40% de la capacidad total de las bombas contra incendios y, en ningún caso inferior a 25 m³/h.

$$Q = 0,40 * Q_{CI}$$

$$Q = 204 \text{ m}^3/\text{h}$$

La presión a la que trabajará será la misma que la calculada anteriormente, ya que tendrá que vencer las mismas pérdidas de carga y buscamos una presión en la salida de la boquilla igual a 6 bares.

Por tanto, la potencia será.

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

$$P = \frac{204 * 1025 * 177}{3600 * 75 * 0,85}$$

$$P = 161,3 \text{ kW}$$

5. VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS.

Como ya se ha mencionado con anterioridad el SOLAS, cap.II establece este espacio como categoría A.

La cámara de máquinas deberá estar ventilada para que cuando se encuentren trabajando a plena potencia, en todas las condiciones meteorológicas, siga llegando aire suficiente a dichos espacios para la seguridad y confort del personal y el funcionamiento de las máquinas.

Se considerará que el aire debe realizar dos tareas: aportar el oxígeno necesario para la combustión tanto del motor principal como de los auxiliares y rebajar la temperatura del ambiente de la sala.

El caudal de aire necesario para cumplir con los requisitos se calcula según la normativa UNE-EN ISO 8861.

Se consideran unas condiciones de trabajo entre 5 °C y 40 °C y una humedad relativa del 90%.

Se calculará el flujo necesario para los diesel generadores (dg) y el flujo para evacuar el calor(h). El flujo de aire total Q a la sala de máquinas debe ser, al menos, el valor más alto de:

- $Q = Q_{dg} + Q_h$
- $Q = 1,5 * Q_{dg}$

A continuación se calcularán dichos caudales.

FLUJO AIRE DIESEL GENERADORES

Se considerará el consumo de aire obtenido del catálogo de los motores 18V50DF. Operarán de manera habitual tres motores 18V50DF.

El flujo de los motores 18V50DF será de 33,8 kg/s.

Considerando la densidad del aire 1,13 kg/m³, obtenemos el caudal necesario

$$Q_{dg} = \frac{3 * 33,8}{1,13}$$

$$Q_{dg} = 89,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

FLUJO AIRE EVACUACIÓN CALOR

El flujo de aire necesario para evacuar el calor generado por radiación de los equipos de la cámara de máquinas se calcula mediante la fórmula:

$$Q_h = \frac{\phi_{dg} + \phi_g + \phi_o}{\rho * c * \Delta T} - 0,4 * Q_{dg}$$

Siendo,

ϕ_{dg} Emisión de calor de los generadores (kW)

ϕ_g Emisión de calor del generador eléctrico (kW)

ϕ_o Emisión de calor de otros componentes (kW), al no conocerse no se tendrán en cuenta

ρ Densidad del aire 1,13 kg/m³

c Calor específico del aire 1,01 kJ/kgK

ΔT Incremento de T^a en la cámara de máquinas (K), se considerará 10 K

Q_{dg} Flujo de aire de los diesel generadores 89,7 m³/s

Para el cálculo de la emisión de calor de diesel generadores se utilizará la siguiente fórmula:

$$\phi_{dg} = 0,396 * P^{0,70}$$

Siendo P la potencia de servicio de los generadores, estimada en el cuaderno 10 en 42.330 kW.

$$\phi_{dg} = 686,04 \text{ kW}$$

La emisión de calor del generador eléctrico se calcula:

$$\phi_g = P_g * \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = 42.330 * \left(1 - \frac{94}{100}\right)$$

$$\phi_g = 2.539,80 \text{ kW}$$

El flujo de aire necesario para evacuar el calor será:

$$Q_h = \frac{686,04 + 2.539,80}{1,13 * 1,01 * 10} - 0,4 * 89,7$$

$$Q_h = 246,77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se recuerda que estos flujos se calculan para poder comparar el valor que se necesita de flujo de aire total.

- $Q = Q_{dg} + Q_h = 336,47 \frac{m^3}{s}$
- $Q = 1,5 * Q_{dg} = 134,55 \frac{m^3}{s}$

El flujo total necesario de aire en la cámara de máquinas será el mayor de los calculados:

$$Q = 336,47 \frac{m^3}{s}$$

Se considerará que trabaja a una presión baja de 60 mm.c.a.

La potencia será:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

$$P = \frac{336,47 * 3600 * 1,13 * 0,06}{3600 * 75 * 0,60}$$

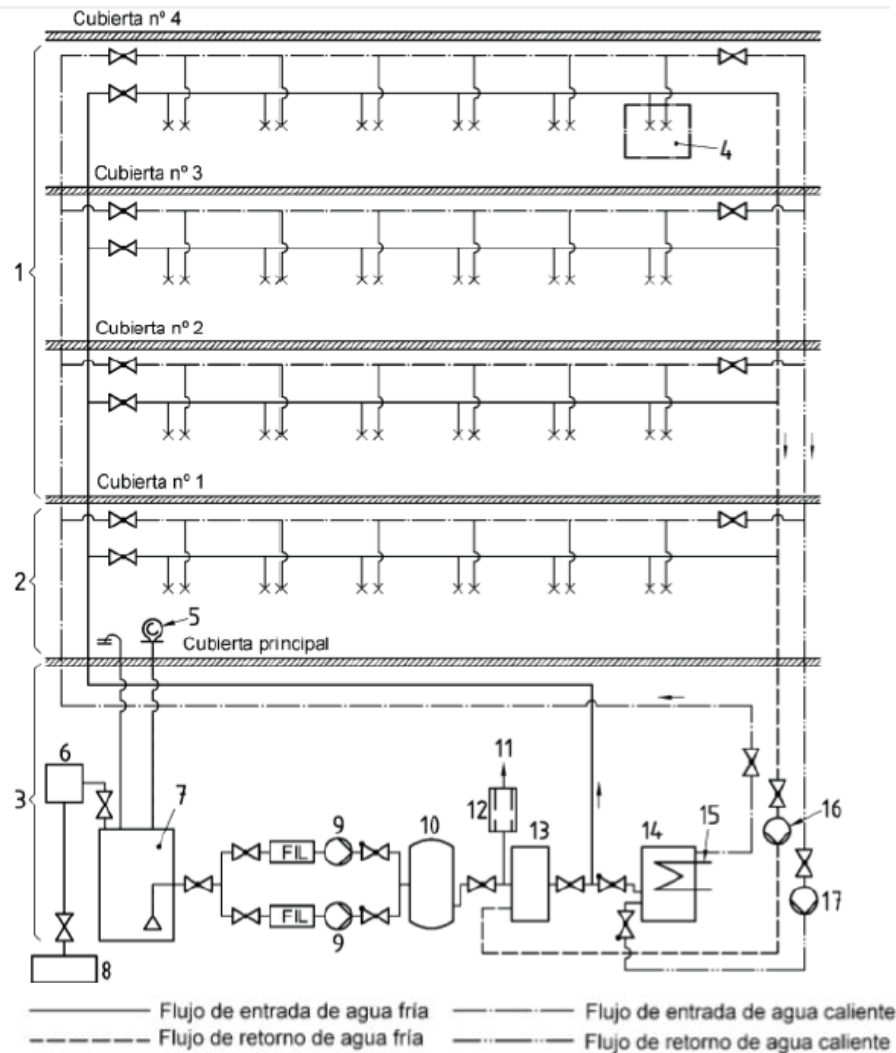
$$P = 0,5 \text{ kW}$$

El sistema de extracción demandará la misma potencia que el de ventilación.

6. GENERACIÓN DE AGUA DULCE.

Estos cálculos se realizarán considerando la norma UNE-EN ISO 15478.

El siguiente esquema muestra la configuración de un sistema de suministro de agua potable. Desde la caja o toma de mar (8) se introduce el agua salada al sistema hacia el generador de agua potable (6). Una vez tratada el agua, esta se dirige al tanque de almacenaje. Desde el tanque, se hace circular el agua mediante unas bombas de circulación hacia el tanque de presión (10) que elevará la presión del agua acorde con los requisitos del sistema dirigiendo el agua hacia un proceso de esterilización (13), proceso tras el cual el agua fría se puede bombear al sistema de circulación de agua fría para distintos usos en las cubiertas (aseos, duchas, fuentes, etc.) o se bombea hacia un calentador de agua (14) cuyo cometido es elevar la temperatura del agua potable dirigiéndola posteriormente hacia las cubiertas en donde se requiera su uso, del mismo modo que se hizo con el agua fría. Ambas líneas de suministro de agua (tanto la fría como la caliente) se recirculan mediante una serie de bombas de circulación (16 y 17) hacia el proceso de esterilización para volver al punto inicial.



Leyenda

- | | |
|--|--|
| 1 Área habitable con duchas/WC | 9 Bomba de suministro de agua potable |
| 2 Área de servicios de abastecimiento | 10 Tanque de presión |
| 3 Sala de máquinas | 11 Carga técnica |
| 4 Ducha/WC | 12 Desconector de tubería |
| 5 Conexión de alimentación a los tanques de agua potable (véase la Norma ISO 5620-1) | 13 Esterilización |
| 6 Generador de agua potable | 14 Calentador de agua |
| 7 Tanque de agua potable | 15 Elemento calentador |
| 8 Caja de mar | 16 Bomba de circulación de agua fría |
| | 17 Bomba de circulación de agua caliente |

El volumen necesario para el tanque de agua potable se ha estimado en el cuaderno 4.

La norma considera 175 litros por persona y día. El buque tiene capacidad para 40 tripulantes y 11 días de autonomía, por tanto y teniendo en cuenta un permeabilidad de 0,97 se obtiene:

$$Vol_{AD} = 79.382 \text{ l} \approx 80 \text{ m}^3$$

Se instalarán un tanque a cada banda del buque a popa del pique de popa. Cada tanque con una capacidad de 40 m³.

La potabilizadora constará de filtros de carbón activo que mejoran el sabor, la apariencia del agua y eliminan los microorganismos y de esterilizadores ultravioletas que eliminan las bacterias del agua para que pueda considerarse potable.

6.1. CÁLCULO BOMBA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.

El grupo generador de agua potable se encuentra en la cubierta principal, en la sala de equipos auxiliares. Se instalará un colector en cada cubierta, habiendo un total de 5 colectores.

El caudal de esta bomba puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{N * C * 3600 * 10^{-3}}{B}$$

N es el número de personas que se considerará 40 tripulantes más el Armador, 41

C el pico de consumo, estimado en 0,09 l/s.persona.

B el número de bombas que trabajarán simultáneamente, serán 2 bombas y una de respeto.

$$Q = \frac{41 * 0,09 * 3600 * 10^{-3}}{2}$$

$$Q = 6,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para vencer las pérdidas de carga, se considerará que la bomba trabaja 6,5 bar.

La potencia de cada bomba de agua potable será:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

$$P = \frac{6,7 * 1000 * 65}{3600 * 75 * 0,60}$$

$$P = 2,7 \text{ kW}$$

Son potencias muy bajas que podrían no tenerse en cuenta en balance eléctrico.

6.2. CÁLCULO CALENTADOR DE AGUA.

Se seguirá la misma norma UNE-EN ISO 15478. Los calentadores de almacenamiento se deben seleccionar de modo que la demanda punta de agua caliente se pueda calentar en 2 horas.

La potencia de dicho calentador se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla A.6
Valores guía de los volúmenes de los calentadores de agua, potencia de calentamiento y calentadores adicionales

Número de personas	Volumen del calentador de agua	Potencia de calentamiento	Tiempo de calentamiento desde 10 °C hasta 65 °C	Cantidad en l de agua mezclada de 40 °C a producir en		Potencia de calentamiento adicional
				1 h	2 h	
1 a 10	200	15	51	660	1 030	8
	300	10	115	680	930	5
11 a 20	400	30	51	1 320	2 060	15
	650	20	125	1 440	1 940	10
21 a 30	650	40	62	1 940	2 920	20
	1 000	20	192	1 960	2 450	10
31 a 50	1 000	40	96	2 450	3 440	20
	1 500	25	230	2 820	3 440	13

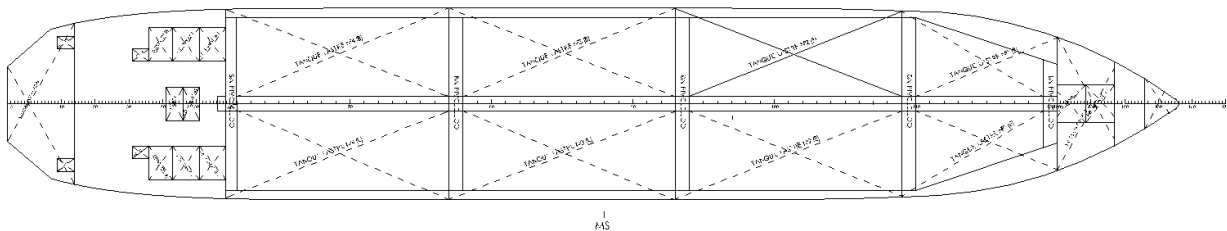
Se escogerá un calentador de agua de un volumen igual a 1.500 litros, con una potencia de calentamiento de 25 kW de manera que se produzca una cantidad de agua mezclada de 40 °C en 2 horas igual a 3.440 litros.

$$P = 25 \text{ kW}$$

7. SISTEMA DE LASTRE.

En el cuaderno 5 se ha calculado el volumen de lastre que llevaba el buque resultando un valor de:

$$V_{\text{lastre}} = 48.376 \text{ m}^3$$



7.1. CÁLCULO BOMBAS DE LASTRE.

Este buque llevará 3 bombas de lastre, ya que es lo habitual en estos buques.

Se considerará que el buque tarda 12 horas en lastrarse o deslastrarse completamente:

$$Q_{LASTRE} = \frac{Volumen}{tiempo} = \frac{48.376}{12}$$

$$Q_{LASTRE} = 4.032 \text{ m}^3/h$$

Como habrá tres bombas, cada bomba tendrá:

$$Q_{LASTRE} = 1.344 \text{ m}^3/h$$

La presión que se considerará será la más desfavorable, es decir, el llenado del tanque del pique de proa, se considerará las pérdidas debidas al puntal (26,4 metros de altura) más un cierto margen por pérdidas de carga, es decir, se considerará una presión de 4 bar (40 m.c.a).

La potencia se calcula como:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

$$P = \frac{1.344 * 1025 * 40}{3600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 255,1 \text{ kW}$$

El diámetro de la tubería de lastrese calcula a partir del caudal, teniendo en cuenta que la velocidad del agua en el conducto será de 2 m/s.

$$Q = A * V = \left(\frac{\pi}{4} * d^2\right) * V$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1.344}{\pi * 2 * 3600}}$$

$$d = 0,488 \text{ m} = 488 \text{ mm}$$

8. SERVICIO DE SENTINAS.

El servicio de sentinas está compuesto por los siguientes elementos:

- Bombas de sentinas. Se instalarán tres bombas, una de ellas será de emergencia.
- Separador de sentinas.
- Pocetes de sentinas.

EL convenio SOLAS indica que el buque dispondrá de un sistema efectivo que permita bombear y agotar, cualquier compartimiento estanco distinto de lo que son tanques estructurales del buque. Las bombas de sentinas aspirarán el agua de todos los pocetes de sentinas y espacios vacíos al tanque de lodos.

El separador de sentinas lleva un medidor de contenido de aceite con alarma. El objetivo de este equipo es separar el aceite del agua de sentinas dejando una proporción de aceite en el agua inferior a 15 ppm antes de descargar el agua al mar.

DIÁMETRO DEL COLECTOR

El diámetro del colector de sentinas no debe ser inferior al diámetro de ninguna de las ramificaciones del mismo y se determina mediante la expresión dada por el SOLAS:

$$d = 25 + 1,68 * \sqrt{L * (B + D)} = 260 \text{ mm}$$

8.1. CÁLCULO BOMBA DE SENTINAS.

El SOLAS establece como mínimo dos bombas conectadas al colector de achique del buque. Su capacidad estará dada por la velocidad a la que debe de bombear agua al colector, velocidad que no debe ser inferior a 2m/s.

El caudal de las bombas se puede calcular a través de la sección del colector y la velocidad de impulsión del agua en el colector.

$$Q = V * S$$

El área de la sección de la tubería se calcula con la siguiente fórmula, utilizando el diámetro del colector en metros

$$S = \pi * \frac{d^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

Por tanto, el caudal de cada una de las bombas de sentinas será:

$$Q = 191 \text{ m}^3/\text{h}$$

La potencia necesaria para esta bomba será:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

Se considerará una altura que será el puntal más un margen debido a las pérdidas de carga, se considerarán 31 metros. El rendimiento del conjunto será de 0,8

$$P = \frac{191 * 1.000 * 31}{3.600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 27,4 \text{ kW}$$

9. EQUIPOS DE CARGA.

Las operaciones de carga y descarga de un buque que transporta gas licuado son complejas, en este punto se detallará el proceso así como los equipos principales necesarios para el cálculo.

Esta operación se efectúa en las dos líneas de cruce ubicadas en el medio del buque y se lleva desde los domos de los cuatro tanques por la línea de carga, la cual recorre la cubierta de proa a popa.

Las líneas se cruzan en el medio del buque y se separan en dos conexiones, haciendo un total de cuatro conexiones de carga y descarga para cada manifold.

Los domos de vapor de los tanques se comunican unos con otros por medio de la línea de vapor. El vapor también tendrá una conexión con los manifolds ubicada en el centro de las líneas de líquido para poder retornar el vapor a tierra. Esta línea de vapor se alimenta con compresores High duty.

La línea de spray o reachique se puede conectar con las de líquido y puede ser utilizada para bajarle la temperatura al tanque antes de llenarlo (operación llamada "cooling down"), así como enfriar los tanques en la descarga si el vapor de retorno no va lo suficientemente frío.

La línea de spray y la de vapor tienen una bifurcación para conectar con los compresores, el vaporizador y los calentadores, para funciones auxiliares del buque.

La línea de vapor conecta con los domos de vapor de los tanques para ventear el BOG a la atmósfera por el palo de venteo de proa si fuese necesario (sobre-presión). La línea de vapor también envía el BOG a la máquina, a través de los compresores de low duty y los calentadores/enfriadores; según sea necesario.

La tubería de los sistemas de líquido y vapor están diseñadas para que la contracción y expansión de la tubería sea absorbida por las líneas.

Todas las secciones de líquido pueden aislarse y así dejar el líquido atrapado entre dos válvulas cerradas, teniendo válvulas de seguridad que devuelven el exceso de presión al domo de vapor del tanque más cercano.

Hay válvulas de no retorno colocadas a la salida de la descarga de cada bomba así como de los compresores.

Las bombas de spray y de emergencia también tienen válvulas de no retorno situadas justo después del hidráulico que maneja las válvulas de descarga.

A continuación se describirá cada línea de una manera más concreta y se calcularán los equipos necesarios en cada una de ellas.

9.1. LÍNEA DE LÍQUIDO.

La línea de líquido consiste en una tubería criogénica de acero inoxidable con un diámetro habitual comprendido entre 600 y 400 milímetros, conectado a cada uno de los cuatro tanques de carga con los manifold, por medio de una línea común.

Cada domo de líquido de los tanques se conecta con la línea de descarga desde las bombas de babor y estribor, con la línea de carga, con la bomba de emergencia y con la línea de spray. A lo largo de la línea de líquido, hay una serie de salidas para tomar muestras del líquido, y también facilitar la inertización y la aireación del sistema.

Todas las secciones de la línea de líquido fuera de los tanques de carga están aisladas con espuma de poliuretano rígido, así como juntas para evitar fracturas por dilatación/contracción debido al choque térmico que se produce.

La potencia que demanda esta bomba se define como:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

La altura será de 70 m.c.a venciendo el puntal del buque, las pérdidas de carga y obteniendo la presión de salida deseada. El peso específico del gas es 450 kg/m³ y el rendimiento de las bombas 0,8.

Se considerará que el buque tendrá 2 bombas sumergidas con capacidad para cargar o descargar en un tiempo de 12 horas. En el cuaderno 4 se han definido los volúmenes de cada tanque, por tanto se obtienen caudales y potencias. Se presenta los resultados de las dos bombas, ya que trabajarán las dos simultáneamente.

	m ³	Q (m ³ /h)	P (kW)
TANQUE Nº1	29685,6	2473,8	360,8
TANQUE Nº2	47292,0	3941,0	574,7
TANQUE Nº3	47112,0	3926,0	572,5
TANQUE Nº4	44828,9	3735,7	544,8

Las bombas escogidas serán del mismo tamaño, por tanto, las ocho bombas instaladas

(dos por tanque) demandarán:

	Q (m ³ /h)	P (kW)
TOTAL	15.763,99	2.298,91

9.2. LÍNEA DE VAPOR.

La línea de vapor también consiste en una tubería criogénica de acero inoxidable, de diámetro comprendido entre 600 y 400 mm, conectado a los 4 tanques de carga por medio de una línea común a los manifolds, al cuarto de compresores y al palo de venteo ubicado en proa. La línea al cuarto de compresores permite que el vapor sea utilizado para las siguientes funciones:

- Durante la carga, envía a tierra, por medio de los compresores high duty el vapor, controlando así las sobrepresiones en estas operaciones. Esta será la función más importante.
- Durante el viaje cargado o descargado enviar el BOG a la máquina, esta vez por medio de los compresores low duty y previamente pasado por calentador/enfriador antes de usarse como combustible en los motores o para quemar en la GCU (Unidad de combustión de gas) para disminuir la presión en los tanques.
- La línea de vapor que va hacia el palo de proa actúa como válvula de seguridad para todos los tanques y se utiliza para controlar la presión de los tanques durante las operaciones.

Tomando como referencia buques tipo, se considerará que esta línea demanda un caudal aproximado:

$$Q = 7.000 \frac{Kg}{h} * \frac{m^3}{450 Kg}$$

$$Q = 15,6 m^3/h$$

La potencia que demanda esta bomba se define como:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

La presión será baja, ya que se evitan las presiones altas gracias a esta línea. De manera habitual estos conductos tienen la alarma de presión manométrica entre 45 y 150 mbar. Para el cálculo de la potencia se considerará 150 mbar más la ambiente 1013 mbar.

$$P = \frac{15,6 * 450 * 11,63}{3600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 0,378 kW$$

9.3. LÍNEA DE SPRAY.

Esta línea tendrá tubería criogénica de acero inoxidable de un diámetro habitual comprendido entre 20 y 70 mm conectando las bombas de spray que hay en cada uno de los cuatro tanques con la línea de spray/reachique. Esta línea de gas licuado realizará las siguientes funciones:

- Esta línea conecta con los tubos de spray ubicados en cada uno de los tanques, que se utilizarán tanto para el enfriamiento de los tanques antes de ser cargados, como para la generación de gas si fuera necesaria.
- Conecta con la línea de líquido principal usada para el enfriamiento de las líneas antes de comenzar las operaciones de carga y descarga.
- Ceba las líneas de descarga para evitar la sobre presión cuando arranquen las bombas.
- Proporciona gas licuado a los vaporizadores que generarán gas para enviar a los compresores y calentadores.

Esta línea, tomando buques tipo, demandará un caudal de:

$$Q = 2.950 \frac{kg}{h} = 6,6 m^3/h$$

Considerando de nuevo una presión de 150 mbar más 1013 mbar de presión ambiente, se obtiene una potencia:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{3600 * 75 * \eta_m}$$

$$P = \frac{6,6 * 450 * 11,63}{3600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 0,160 kW$$

9.4. LÍNEA DE VENTEO.

Durante las operaciones normales, la presión en los tanques es controlada quemando el BOG en los motores o por medio de la GCU, aunque en caso de sobrepresiones que ni los motores ni la GCU pudieran controlar se enviaría a través de la línea de vapor al palo de proa. Cada tanque de carga tiene medios independientes de venteo que salen del tanque hacia su propia válvula de seguridad. Desde ahí el gas pasa por el palo de venteo donde es expulsado a la atmósfera. Todos los palos de venteo están protegidos con un sistema de purga de nitrógeno para sofocar un posible incendio.

9.5. LÍNEA DE INERTIZACIÓN.

Esta línea suministrará gas inerte seco al resto de líneas y a los tanques con el fin de eliminar una posible existencia de oxígeno. La composición de este gas es:

Delivery pressure:	25kPa
Inert gas/dry air dew point:	-45°C
Inert gas composition (% vol)O ₂ :	0.5
Inert gas composition CO ₂ :	14%
Inert gas composition CO (max):	100ppm
Inert gas composition NO _x (max):	65ppm
Inert gas composition SO _x (max):	2ppm

Lo habitual en estos buques es que lleven una planta generadora de gas inerte aun que es posible que lo carguen desde tierra y lo almacenen.

Este buque llevará un generador de gas inerte con una capacidad de 15,000 Nm³ /h, siendo metros cúbicos en condiciones normales por hora.

La presión de trabajo será de 250 mbar más la ambiente. El peso específico será de 1,14 kg/m³.

$$P = \frac{15.000 * 1,14 * 12,63}{3600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 1,14 \text{ kW}$$

9.6. LÍNEA DE NITRÓGENO.

Se usa para inertizar espacios cerrados como las barreras, tanto primaria como secundaria, de los tanques, la separación de los huecos de los mamparos por los que pasan los ejes de los motores eléctricos que van a los compresores o para apagar cualquier fuego que pueda producirse en los palos de venteo.

Estas barreras están formadas por dos capas de cajas de aglomerado llenas de perlita a modo de aislante. El asilamiento secundario tiene un espesor de 300mm y el principal de 230mm. Las chapas que forman estas membranas tienen 700 mm de espesor y 530 mm de ancho.

El nitrógeno actuará entre el lastre y estas barreras consiguiendo una atmósfera segura. Teniendo en cuenta buques similares, se estima que esta línea demandará un caudal de:

$$Q = 120 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Este buque dispondrá de una bomba de respeto.

La presión de trabajo será de 8 bares, ya que deberá existir una sobrepresión en esa zona para evitar posibles fugas de gas.

$$P = \frac{120 * 1,25 * 80}{3600 * 75 * 0,8}$$

$$P = 0,06 \text{ kW}$$

9.7. COMPRESORES.

Serán los responsables del control de la presión y de gestión del BOG que se produce a bordo. Será necesaria la regulación constante de la temperatura de entrada o salida del vapor de gas que entra en ellos debido a que se utilizará como combustible para los motores generadores.

Habrán dos tipos de compresores:

- Dos compresores “High duty”: para comprimir el vapor de LNG para su retorno a tierra durante las operaciones de carga y purgado de los tanques. A la salida de estos compresores se encuentran los “gas heater” que controlarán la temperatura deseada en la operación. A partir de buques similares se estima una potencia de 1020 kW cada uno.
- Dos compresores “Low Duty”: para comprimir el vapor de LNG, producido de forma natural (BOG) o por la vaporización forzada, a una suficiente presión, para ser utilizada por los motores como combustible. A la salida de estos compresores se encuentran los cooler/heater cuya misión será la de modificar la presión del gas para así variar su temperatura hasta adaptarla a la necesidad que tengan los motores. Se considerará que exigen una potencia de 600 kW.

La diferencia entre estos compresores está en que los HD son de 1 etapa los LD son de doble etapa; por lo que comprimen el gas 2 veces, permitiendo temperaturas de salida mucho mayores. Estas temperaturas son necesarias para poder utilizar el gas como combustible.

9.8. VAPORIZER.

Se definirán dos vaporizadores de importancia en este buque:

- FORCING VAPORIZER: provoca una evaporación forzada de LNG líquido con objeto de crear más BOG para alimentar los motores en caso de que el BOG producido naturalmente no sea suficiente. Se considerará un consumidor de 500 kW.
- LNG VAPORIZER: evapora LNG líquido con objeto de reintroducir el vapor generado en los tanques para aumentar su presión en caso de que la Terminal de descarga no proporcionase gas durante la operación. Se considerará un consumidor de 200 kW.

9.9. DOMOS DE LOS TANQUES.

La entrada y salida de las líneas en los tanques se hacen por medio de los domos. Cada tanque tiene un domo de vapor y un domo de líquido. Por el domo de líquido es por donde se accede al interior del tanque por medio de una estructura y por donde entrará el gas en estado líquido.

El domo de vapor es por donde se aspira el boil-off (por medio de los compresores), por donde se espraya LNG para aumentar la presión del tanque si fuera necesario, por donde se expulsa LNG en estado vapor por el palo de venteo si se produjese un aumento de presión dentro del tanque o en operaciones de inertizado.

9.10. DESCRIPCIÓN MANIFOLDS.

La operación de carga y descarga se realiza por medio de los manifolds, que están situados en la zona central del buque, colocado uno a cada banda. Tendrán un total de 5 conexiones a cada banda, 4 dedicadas a la carga y descarga del gas licuado y 1 para la salida o entrada de GNL en estado vapor.

La tubería dedicada al paso del vapor, estará conectada a tierra y recibirá o expulsará el gas en estado vapor que se genere en el proceso de descarga o carga respectivamente.

Desde los Manifolds, las líneas descritas recorren toda la cubierta superior (Trunk deck) hasta llegar a cada tanque, donde se introduce por el domo de líquido de cada tanque y también se conecta a los domos de vapor de cada tanque.

La línea de vapor, como ya se ha mencionado, es la encargada de controlar la presión mediante la adición o extracción de gas en los tanques durante las operaciones de carga y descarga; y también será la encargada de expulsar a la atmósfera el exceso de boil-off generado dentro de un tanque, de manera natural.

Las líneas de carga y descarga, no están fijadas en la cubierta, si no que se apoyan en unas estructuras que las dejan una ligera libertad de movimiento evitando así posibles fracturas o roturas debidas a las dilataciones del material.

Las líneas de líquido van serpenteando por la cubierta haciendo formas de "u", disminuyendo las tensiones que se producen durante las contracciones y dilataciones.

9.11. CUARTO DE COMPRESORES.

Este cuarto está localizado en la cubierta, en el costado de estribor y colocado a proa de la habitación; en el plano se ha llamado “equipos de carga”.

Dentro del, se encuentran los compresores de gas antes descritos, por ello, esta estancia será considerada una zona con riesgo de explosiones. Los motores eléctricos que accionan estos compresores se encontrarán separados por un mamparo de dichos compresores. Evitando que las posibles pérdidas generadas en los compresores puedan estar en contacto con los motores eléctricos. Lógicamente, el mamparo será atravesado por el eje que une los motores eléctricos con los compresores.

Otra medida de seguridad que se toma al respecto, será la de disminuir la presión en la sala de los compresores, asegurando así que no salga el aire de esa zona; y aumentar la presión en la zona de los motores para evitar la entrada de aire contaminado con las fugas de gas.

9.12. VÁLVULAS DE SEGURIDAD.

El código IGC exige que cada tanque de carga tenga dos válvulas de seguridad para evitar el exceso de presión y el aumento de vacío. Las barreras primaria y secundaria también tienen cada una de ellas dos válvulas de seguridad con la misma finalidad.

Las válvulas de seguridad de los tanques se encuentran en los domos de vapor de cada tanque y van directamente al palo de venteo de cada tanque. Se activarán si hay un exceso de presión o de depresión dentro del tanque.

Las barreras primaria y secundaria de cada tanque tienen 2 válvulas de seguridad cada una. La barrera secundaria suelta los gases a la atmósfera a la altura de la cubierta pero de la barrera primaria se enviarán al palo de venteo de cada tanque

BIBLIOGRAFÍA

- PROYECTOS DE BUQUES Y ARTEFACTOS. Fernando Junco – EPS – UDC – Ferrol.
- EL PROYECTO BÁSICO DEL BUQUE MERCANTE. Ricardo Alvariño, Juan J. Aspiroz, Manuel Meizoso – FEIN Madrid.
- CÓDIGO CIG, SOLAS, MARPOL
- UNE – EN – ISO 15748
- UNE – EN – ISO 8847