



# CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

---

## PFC

**ALEJANDRO PÉREZ PASTOR**



En el siguiente trabajo se verán los principales sistemas de carga y descarga de un buque metanero haciendo especial hincapié en el ciclo desde salida de dique hasta que se vuelve a dique para reparar e inspeccionar. Además se añadirá un cálculo de descarga real.

## **PRÓLOGO**

Después de haber completado el periodo de alumno se tiene una perspectiva del mundo del shipping diferente a la que se tiene nada más llegar a la Universidad. Han sido cinco años de carrera junto a un año de prácticas aprendiendo constantemente día tras día, de esfuerzos después de largas jornadas, de muchas horas de guardia y de una formación interminable. Aunque después de todo esto solo se tiene un conocimiento muy básico de un mundo profesional que no ha hecho nada más de abrirse ante nuestros ojos y en el que la experiencia, el control y la serenidad marcan la diferencia.

El último periodo de prácticas lo he realizado en un buque gasero durante seis meses. Lo cual me ha permitido indagar y completar mis conocimientos sobre este tipo de buques que quiero plasmar en este proyecto. El trabajo que he realizado he intentado que sea lo más completo posible y sobretodo sincero, en el sentido de que he obtenido toda la información de fuentes existentes que he interiorizado haciendo un resumen y añadiendo todo lo que me parecía indispensable.

La finalidad del proyecto es complementar la formación que he recibido durante mi embarque y poder estar listo para desempeñar una función de piloto con la máxima profesionalidad posible.

## ÍNDICE

Portada

Prólogo

Índice

Introducción

### SECCIÓN 1: DISEÑO DEL BUQUE

1. Características principales
2. Plano general del buque
3. Plano de capacidad de los tanques
4. Sistemas de contención de la carga
5. Sistema de aislamiento de los tanques Gaz Transport
6. Plano de las zonas de gas peligrosas

### SECCIÓN 2: PROPIEDADES DEL LNG

1. Propiedades físicas y composición del LNG
2. Inflamabilidad de la mezcla: metano, nitrógeno y oxígeno
3. Características adicionales del LNG
4. Características adicionales del nitrógeno y del gas inerte
5. Evitar el choque térmico con el acero

### SECCIÓN 3: SISTEMA AUTOMATIZADO INTEGRADO

1. Distribución del control de carga
2. Sistema de automatización integrado (IAS)
3. Watch alarm system
4. Sistema de alarma del hombre muerto
5. Sistema de control del boil-off gas
6. Custody Transfer System (CTS) y sonda Saab tank radar
7. Sonda de flotador
8. Sistema de alarma de alto nivel y muy alto nivel
9. Indicadores de escora y asiento
10. Ordenador de carga

### SECCIÓN 4: SISTEMAS DE CARGA Y LASTRE

1. Detección de pérdida de líquido
2. Sistema de líneas de carga
3. Bombas de carga
4. Compresores
5. Calentadores
6. Vaporizadores

7. Separador
8. Generador de nitrógeno
9. Generador de gas inerte y aire seco
10. Sistema de detección de gas
11. Sistema de control remoto de válvulas y cerrado de emergencia (ESD)
12. Conexión buque-tierra
13. Sistemas de seguridad de presión
14. Sistema de lastre y sonda
15. Bombas de vacío

#### SECCIÓN 5: SISTEMAS DE CUBIERTA Y AUXILIARES DE CARGA

1. Sistema de monitorización de la temperatura
2. Sistema de control y presurización de nitrógeno en los espacios de aislamiento primario y secundario
3. Sistema de calefacción de los cofferdam
4. Sistema de refrigeración de la maquinaria de carga
5. Sentina de proa

#### SECCIÓN 6: OPERACIONES POSTERIORES A DIQUE, CARGA/DESCARGA Y OPERACIONES PREVIAS A LA ENTRADA A DIQUE.

1. Presurización de los espacios de aislamiento
2. Operaciones posteriores a dique seco
3. Viaje en lastre
4. Carga
5. Viaje cargados quemando gas en la máquina
6. Descarga con retorno de vapor de tierra
7. Operaciones anteriores a dique seco

#### Anexo

1. Plan de descarga

#### Conclusiones

#### Bibliografía

ÍNDICE DE FIGURAS

Fuentes de las ilustraciones: Alejandro Pérez Pastor (FP) y Cargo Operating Manual (COM)

- Figura 1: Plano general del buque (COM)
- Figura 2: Plano de capacidad de los tanques de carga (COM)
- Figura 3: Plano de capacidad de los tanques de lastre (COM)
- Figura 4: Forma de los tanques de carga (COM)
- Figura 5: Construcción del aislamiento Gaz Transport (COM)
- Figura 6: Fijación del aislamiento (COM)
- Figura 7: Fijación del aislamiento II (COM)
- Figura 8: Soporte de la columna de la bomba de descarga (COM)
- Figura 9: Clase del acero del casco (COM)
- Figura 10: Plan de zonas peligrosas (COM)
- Figura 11: Propiedades físicas del LNG (COM)
- Figura 12: Composición del LNG en Arzew (COM)
- Figura 13: Diagrama de presiones de vapor del LNG (COM)
- Figura 14: Densidad relativa del LNG y del aire (COM)
- Figura 15: Diagrama de la atmosfera explosiva del LNG (COM)
- Figura 16: Diagrama de LEL (FP)
- Figura 17: Distribución del control de carga (CCR) (COM)
- Figura 18: Control de carga (CCR) (FP)
- Figura 19: Consola de carga (COM)
- Figura 20: Consola de carga (FP)
- Figura 21: Pantalla principal del menú del IAS (COM)
- Figura 22: Pantalla de la planta de carga del IAS (COM)
- Figura 23: Paneles del sistema de watch call (COM)
- Figura 24: Paneles del sistema del hombre muerto (FP)
- Figura 25: Ajustes de presión de los tanques (COM)
- Figura 26: Monitor de nivel Saab Tank Radar (COM)
- Figura 27: Sonda Saab Tank radar (FP)
- Figura 28: Ejemplo del Custody Transfer Data (COM)
- Figura 29: Certificado de carga (COM)
- Figura 30: CTS (FP)
- Figura 31: Sonda de flotador (FP)
- Figura 32: Sonda de flotador (COM)
- Figura 33: Sistema de alarma de alto nivel y sobrellenado (COM)
- Figura 34: Sistema de alarma de alto nivel y sobrellenado (OMICRON) (FP)
- Figura 35: Indicadores de escora y asiento (COM)
- Figura 36: Ordenador de carga (FP)
- Figura 37: Bomba neumática del cofferdam (FP)
- Figura 38: Pocete del cofferdam (FP)

- *Figura 39: Pocetes de sentina para el agua del cofferdam y del espacio secundario (COM)*
- *Figura 40: Sistema de líneas de carga (COM)*
- *Figura 41: Sistema de líneas (FP)*
- *Figura 42: Brazos del manifold (L-L-V-L-L) (FP)*
- *Figura 43: Domo de líquido y líneas de líquido (FP)*
- *Figura 44: Conexión de las líneas al cuarto de compresores (FP)*
- *Figura 45: Válvula de seguridad de la línea de líquido (FP)*
- *Figura 46: Válvulas de no retorno de las bombas de descarga (FP)*
- *Figura 47: Válvulas ESD del brazo de vapor (FP)*
- *Figura 48: Línea de vapor conectada al domo y palo de venteo (FP)*
- *Figura 49: Domos de vapor (arriba) y líquido (abajo) (COM)*
- *Figura 50: Línea de gas (FP)*
- *Figura 51: Bomba principal de carga (COM)*
- *Figura 52: Bomba de stripping/spray (COM)*
- *Figura 53: Bomba de emergencia estibada en el deck house (arriba) y caja de conexiones en el domo de líquido (abajo) (FP)*
- *Figura 54: Esquema de compresores high duty (COM)*
- *Figura 55: Compresor high duty (FP)*
- *Figura 56: Esquema de compresores low duty (COM)*
- *Figura 57: Compresor low duty (FP)*
- *Figura 58: Esquema de los calentadores (COM)*
- *Figura 59: Calentador (FP)*
- *Figura 60: Esquema del vaporizador de LNG (FP)*
- *Figura 61: Forcing vaporiser (FP)*
- *Figura 62: Esquema del vaporizador forzado (COM)*
- *Figura 63: Separador (FP)*
- *Figura 64: Esquema del generador de nitrógeno (COM)*
- *Figura 65: Generador de nitrógeno (FP)*
- *Figura 66: Esquema del generador de gas inerte y aire seco (COM)*
- *Figura 67: Generador de gas inerte y aire seco (FP)*
- *Figura 68: Cuarto del ingeniero de carga con las botellas de calibración y los analizadores infrarrojos de los puntos de muestreo exteriores (FP)*
- *Figura 69: Sistema de detección de gas (COM)*
- *Figura 70: Panel del sistema de detección de gas (COM)*
- *Figura 71: Detector de gas en la acomodación (FP)*
- *Figura 72: Sistema remoto de control de válvulas de carga, lastre, diesel y fuel oil (COM)*
- *Figura 73: Domo de líquido con las válvulas de cerrado de emergencia (FP)*
- *Figura 74: Conexión buque-tierra esquema (COM)*
- *Figura 75: Conexión buque-tierra (FP)*
- *Figura 76: Válvulas de alivio de los tanques de carga (FP)*
- *Figura 77: Válvula de alivio de los espacios de aislamiento (COM)*

- *Figura 78: Válvula de alivio de la barrera primaria (FP)*
- *Figura 79: Válvula de alivio de la barrera secundaria (FP)*
- *Figura 80: Válvulas de seguridad del espacio vacío del domo de líquido (COM)*
- *Figura 81: Válvulas de seguridad en las líneas (FP)*
- *Figura 82: Sistema de líneas de lastre (COM)*
- *Figura 83: Bomba de lastre N.2 (FP)*
- *Figura 84: Sistema remoto de indicadores de nivel y calado (COM)*
- *Figura 85: Tipos de sondas (COM)*
- *Figura 86: Sistema de cambio de lastre (COM)*
- *Figura 87: Eductor de lastre (FP)*
- *Figura 88: Bomba de vacío (FP)*
- *Figura 89: Sensores de temperatura en la barrera secundaria (COM)*
- *Figura 90: Sensores de temperatura en el casco intermedio (COM)*
- *Figura 91: Sistema de carga de nitrógeno (COM)*
- *Figura 92: Válvulas de regulación de presión de nitrógeno (FP)*
- *Figura 93: Sistema de glicol/agua esquema (COM)*
- *Figura 94: Sistema de glicol/agua (FP)*
- *Figura 95: Sistema de calentamiento de los cofferdam (COM)*
- *Figura 96: Passageways (FP)*
- *Figura 97: Bombas de agua dulce de refrigeración (FP)*
- *Figura 98: Sistema de refrigeración de la maquinaria de carga (COM)*
- *Figura 99: Enfriadores de agua dulce (arriba) y bomba de agua salda que alimenta los enfriadores (abajo) (FP)*
- *Figura 100: Sentina de proa (COM)*
- *Figura 101: Eductor de proa (arriba) y pocete de sentina (abajo) (FP)*
- *Figura 102: Sistema de carga de nitrógeno (COM)*
- *Figura 103: Evacuación de los espacios de aislamiento (COM)*
- *Figura 104: Secado de los tanques de carga (COM)*
- *Figura 105: Inertado de los tanques de carga (COM)*
- *Figura 106: Secado e Inertado de los tanques de carga con nitrógeno líquido de tierra (COM)*
- *Figura 107: Purga con nitrógeno antes del gaseado con LNG (COM)*
- *Figura 108: Desplazamiento del gas inerte con vapor de LNG venteado la mezcla (COM)*
- *Figura 109: Desplazamiento del gas inerte con vapor de LNG descargando a tierra (COM)*
- *Figura 110: Enfriamiento de los tanques con retorno de vapor a tierra (COM)*
- *Figura 111: Enfriamiento de los tanques antes de la llegada a la terminal (COM)*
- *Figura 112: Enfriar un solo tanque durante el viaje en lastre (COM)*
- *Figura 113: Preparación para la carga (COM)*
- *Figura 114: Enfriamiento de las líneas (COM)*
- *Figura 115: Carga con retorno de vapor a tierra con compresor HD (COM)*

- *Figura 116: Ajuste del nitrógeno durante la carga (COM)*
- *Figura 118: Sistema de eductores (COM)*
- *Figura 119: Viaje con carga enviando boil-off natural a la máquina (COM)*
- *Figura 120: Viaje con carga enviando boil-off forzado a la máquina (COM)*
- *Figura 121: Preparación de la descarga (COM)*
- *Figura 122: Enfriamiento de líneas antes de la descarga (COM)*
- *Figura 123: Enfriamiento de brazos antes de la descarga (COM)*
- *Figura 124: Procedimiento de descarga (COM)*
- *Figura 125: Descarga con retorno de vapor a tierra (COM)*
- *Figura 126: Lastre (COM)*
- *Figura 127: Achique del tanque de carga N.4 (COM)*
- *Figura 128: Achique y drenado de las líneas (COM)*
- *Figura 129: Calentamiento de los tanques – Venteo – 1r paso (filling) (COM)*
- *Figura 130: Calentamiento de los tanques – Venteo – 2n paso (domo vapor) (COM)*
- *Figura 131: Desgaseado de los tanques (COM)*
- *Figura 132: Inertado de líneas (COM)*
- *Figura 133: Inertado de la maquinaria de carga (COM)*
- *Figura 134: Aireado de los tanques de carga (COM)*

## **INTRODUCCIÓN**

Este proyecto explica de manera teórica todo lo relacionado con los buques gaseros. Este tipo de barcos se han ido sofisticando con el tiempo debido a las mejoras tecnológicas haciendo de ellos una obras de ingeniería perfectas que permiten transportar gas licuado muy eficientemente y satisfacer la demanda de gas natural a escala mundial.

En el primer tema se exponen las características y diseño de este tipo de barcos. El segundo tema nos presenta las propiedades del LNG y para que se entienda porque los buques tienen las características que tienen. En el tercer tema, los sistemas de monitorización de la carga, es decir, como se distribuye el control de carga, el sistema de automatización integrado, sistemas de alarmas control del gas, cálculos de volúmenes y cantidades, indicadores de niveles y el ordenador de carga. El cuarto tema habla sobre los equipos y sistemas de carga y lastre como por ejemplo las líneas de carga, vaporizadores, compresores, calentadores... En el siguiente se explica los sistemas de cubierta y auxiliares de carga. Pero el proyecto se centra en el ciclo completo desde la salida del buque de dique, que sale con una atmosfera respirable dentro de los tanques. Como se pone el buque con una atmosfera de gas con un procedimiento seguro. La operación de carga y el viaje cargados consumiendo gas en la máquina. La descarga y stripping de los tanques, cómo después se vuelve a quitar esta atmosfera de gas para que vuelva a ser respirable de forma segura con la finalidad de entrar a dique y realizar reparaciones e inspecciones. Para completar el trabajo realizado se encontrará adjunto un plan de descarga real en el puerto de Guayanilla en Puerto Rico.

El proyecto cuenta con una gran cantidad de fotografías y gráficos para hacer más fácil la comprensión de lo que se va explicando.

# SECCIÓN 1: DISEÑO DEL BUQUE

## 1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES<sup>1</sup>

Nombre del Buque: Sestao Knutsen

Puerto de Registro: Santa Cruz de Tenerife, España

Distintivo de Llamada: ECBK

Número IMO: 9338797

MMSI: 225 372 000<sup>2</sup>

Clase: Lloyds Register of Shipping +100A1, Liquefied Gas Tanker, Methane in Membrane Tanks, Maximum Pressure 0.25 bar, Minimum Temperature -163°C, +LMC, UMS, PORT, SDA, IWS, SCM, LI, FDA, NAVI, IBS, ES, CCM, CCS.

Manager: Knutsen OAS Shipping

Armador: Norspan LNG IV

Peso Muerto<sup>3</sup>: 77329 T

Eslora<sup>4</sup>: 284.379 m

Manga<sup>5</sup>: 42.500 m

Calado<sup>6</sup> de Verano: 12.318 m

Calado en lastre: 9.76 m

Desplazamiento de Verano: 106890 T

Tonelaje de Registro Bruto<sup>7</sup>: 98478 T

Tonelaje de Registro Neto<sup>8</sup>: 27147 T

Propulsión: Turbina Kawasaki, 28000 kW<sup>9</sup>, 83rpm

Hélice de Proa: Paso Variable, 1830 kW, 270 rpm

<sup>1</sup> Fuente de Información: Cargo Operating Manual del buque Sestao Knutsen.

<sup>2</sup> MMSI: Número identificativo del buque. Los españoles empiezan por 224 y 225.

<sup>3</sup> Peso Muerto: Diferencia entre el desplazamiento en máxima carga y desplazamiento en rosca, es decir, cantidad de peso que puede contener el buque.

<sup>4</sup> Eslora: Distancia longitudinal del buque.

<sup>5</sup> Manga: Distancia transversal del buque.

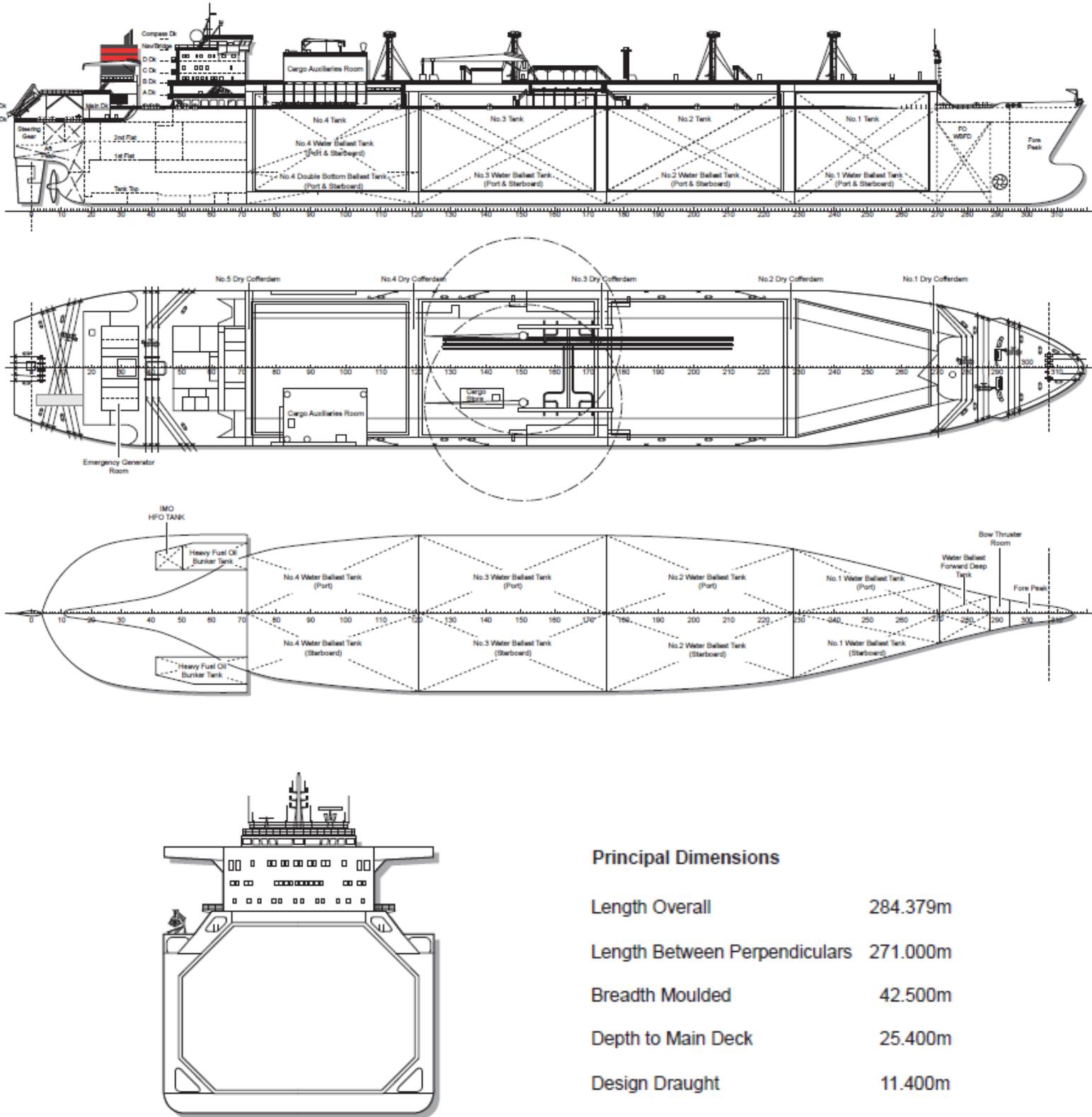
<sup>6</sup> Calado: Distancia vertical de la línea de flotación a la quilla.

<sup>7</sup> Tonelaje de Registro Bruto: Cantidad volumétrica de todos los espacios cerrados del buque.

<sup>8</sup> Tonelaje de Registro Neto: Cantidad volumétrica de los espacios dedicados a la carga del buque.

<sup>9</sup> 1 kW = 1.36 CV.

2. **PLANO GENERAL DEL BUQUE**



**Principal Dimensions**

Length Overall	284.379m
Length Between Perpendiculars	271.000m
Breadth Moulded	42.500m
Depth to Main Deck	25.400m
Design Draught	11.400m

Figura 1: Plano general del buque

### 3. PLANO DE CAPACIDAD DE LOS TANQUES

LNG Cargo Tanks			Centre Of Gravity		Cargo Capacity		Inertia Ix <sub>D</sub>	Heeling Moment At 30 M <sup>4</sup>
Nr.	Compartment	Frames	A/Base	Long.O +Aft.-Fwd.	100% Full M <sup>3</sup>	98.5% Full D=0.46t		
CT1	No.1 Cargo Tank	229-268	16.016	-83.558	22,653.4	10,264.2	9,791.0	21,080.9
CT2	No.2 Cargo Tank	175-226	16.165	-41.088	40,102.5	18,170.4	38,893.2	43,740.2
CT3	No.3 Cargo Tank	121-172	16.165	+8.863	40,099.6	18,169.1	38,893.2	43,735.6
CT4	No.4 Cargo Tank	73-118	16.165	+56.038	35,263.8	15,978.0	34,206.4	38,459.4
<b>Total Capacity</b>			<b>16.140</b>	<b>-8.754</b>	<b>138,119.3</b>	<b>62,581.8</b>		

Figura 2: Plano de capacidad de los tanques de carga

Water Ballast Tanks			Centre Of Gravity		Water Ballast		Inertia Ix <sub>D</sub>	Heeling Moment At 30 M <sup>4</sup>
Nr.	Compartment	Frames	A/Base	Long.O +Aft.-Fwd.	100% Full M <sup>3</sup>	100% Full D=1.025 M.Tons		
WBFD	W.B Fore Deep Tank	270-288	11,524	-112,525	2.021,5	2.072,0	0,0	2.134,1
AP	After Peak Water Ballast	Aft-17	14,088	+128,889	2.324,4	2.382,5	0,0	6.486,9
1WBP	No.1 W.Ballast Tank (Port)	229-270	12,591	-86,558	4.683,8	4.800,9	0,0	1.984,6
1WBS	No.1 W.Ballast Tank (Stbd)	229-270	12,591	-86,558	4.683,8	4.800,9	0,0	1.984,6
2WBP	No.2 W.Ballast Tank (Port)	175-229	8,337	-41,543	6.065,2	6.216,8	0,0	2.548,3
2WBS	No.2 W.Ballast Tank (Port)	175-229	8,337	-41,543	6.065,2	6.216,8	0,0	2.548,3
3WBP	No.3 W.Ballast Tank (Port)	121-175	7,932	+7,435	6.524,5	6.687,6	0,0	2.843,2
3WBS	No.3 W.Ballast Tank (Stbd)	121-175	7,932	+7,435	6.524,5	6.687,6	0,0	2.843,2
4WBP	No.4 W.Ballast Tank (Port)	71-121	8,651	+54,472	5.391,1	5.525,9	0,0	2.219,2
4WBS	No.4 W.Ballast Tank (Stbd)	71-121	8,651	+54,472	3.391,1	3.525,9	0,0	2.219,2
<b>Total Capacity</b>			<b>9,500</b>	<b>-11,239</b>	<b>49675,0</b>	<b>50916,9</b>		

Figura 3: Plano de capacidad de los tanques de lastre<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Tanque de lastre: Tanque de agua de mar cuyo propósito es mantener la estabilidad del buque.

#### 4. SISTEMA DE CONTENCIÓN DE LA CARGA

Este buque dispone de cuatro tanques de carga de LNG. Estos tanques son octogonales en su sección transversal con el fin de reducir las superficies libres<sup>11</sup> cuando el buque va completamente cargado. Además disponen de doble aislamiento y están numerados del 1 al 4 de proa a popa. Cada tanque es independiente y está separado del resto mediante cofferdams<sup>12</sup>. El tanque número 1 tiene una forma poligonal diferente a los demás debido a su situación en el buque afectado por los finos de proa<sup>13</sup>.

En los espacios que quedan entre los tanques y el casco se disponen los tanques de lastre que protegerían los tanques en caso de una emergencia como podría ser una colisión o varada<sup>14</sup>. Éstos cubren el doble fondo y los costados de los tanques de carga. Además los N.4 de babor y estribor se utilizan para adrizar<sup>15</sup> el buque.

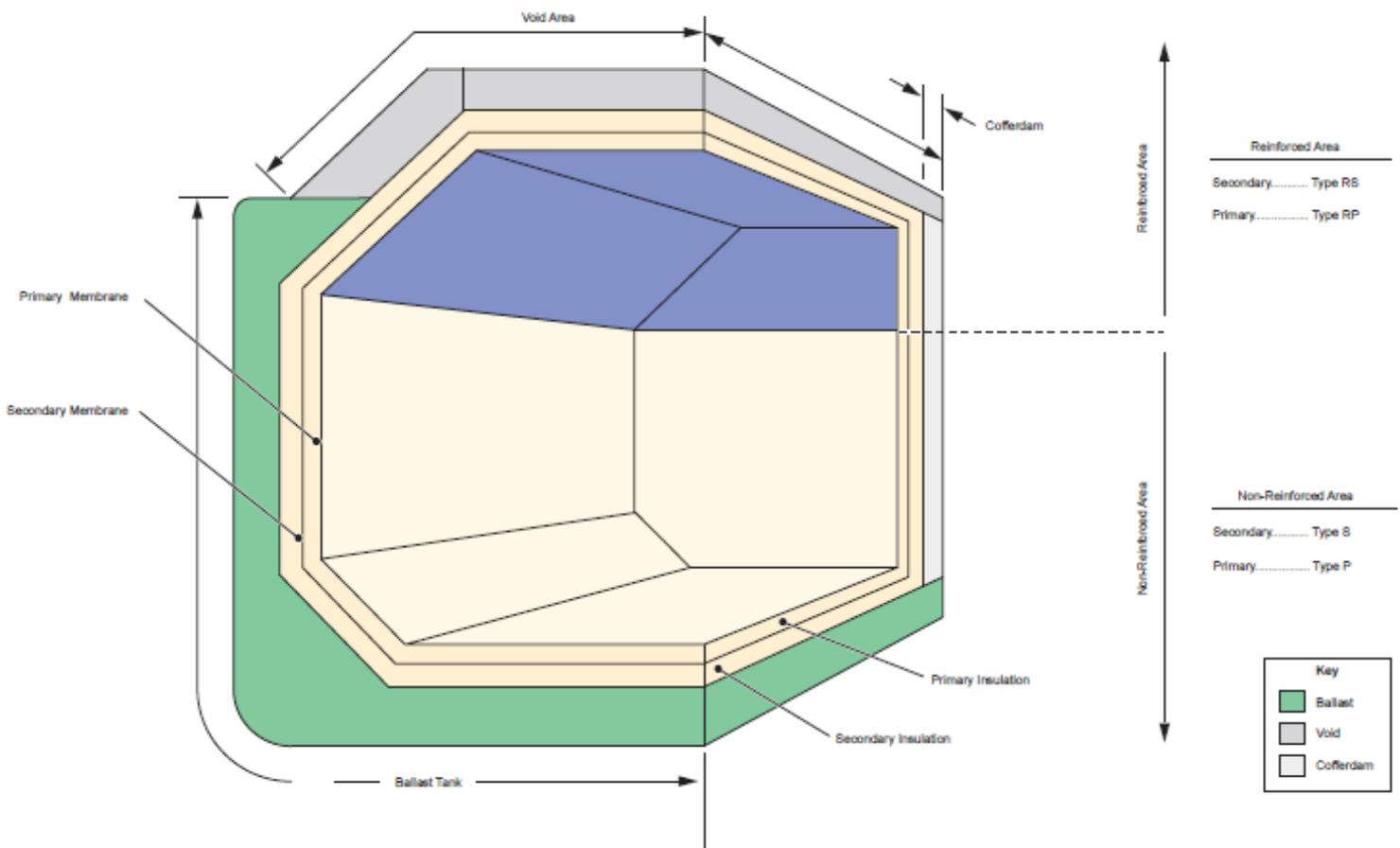


Figura 4: Forma de los tanques de carga

<sup>11</sup> Superficies libres: Efecto que se produce cuando un tanque a bordo se encuentra parcialmente lleno, y la superficie del líquido contenido en su interior está libre de mantener la horizontal durante el movimiento de balance, se experimenta una pérdida de estabilidad.

<sup>12</sup> Cofferdam: Espacio vacío .

<sup>13</sup> Finos de proa: Parte proel del buque donde las formas se empiezan a estrechar hasta la roda.

<sup>14</sup> Varada: Embarrancar con un bajo.

<sup>15</sup> Adrizar: Colocar el buque en posición vertical sin escora.

## 5. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LOS TANQUES GAZ TRANSPORT

### INTRODUCCIÓN

La parte exterior de los tanques perteneciente al casco va protegida por este sistema de aislamiento Gaz Transport. Este sistema consiste en 4 capas:

Espacio de aislamiento primario:

- Membrana Primaria: membrana fina y flexible, en contacto con el gas natural licuado.
- Aislamiento Primario: capa de cajas de madera contrachapada rellenas de perlita<sup>16</sup>. Se dispone entre la membrana primaria y la secundaria.

Espacio de aislamiento secundario:

- Membrana secundaria: membrana similar a la primaria.
- Aislamiento secundario: capa similar al aislamiento secundario, se dispone entre la membrana secundaria y el casco intermedio.

Este sistema de doble membrana en cada tanque cumple todos los requisitos para evitar que haya pérdidas o alguna fuga de la carga.

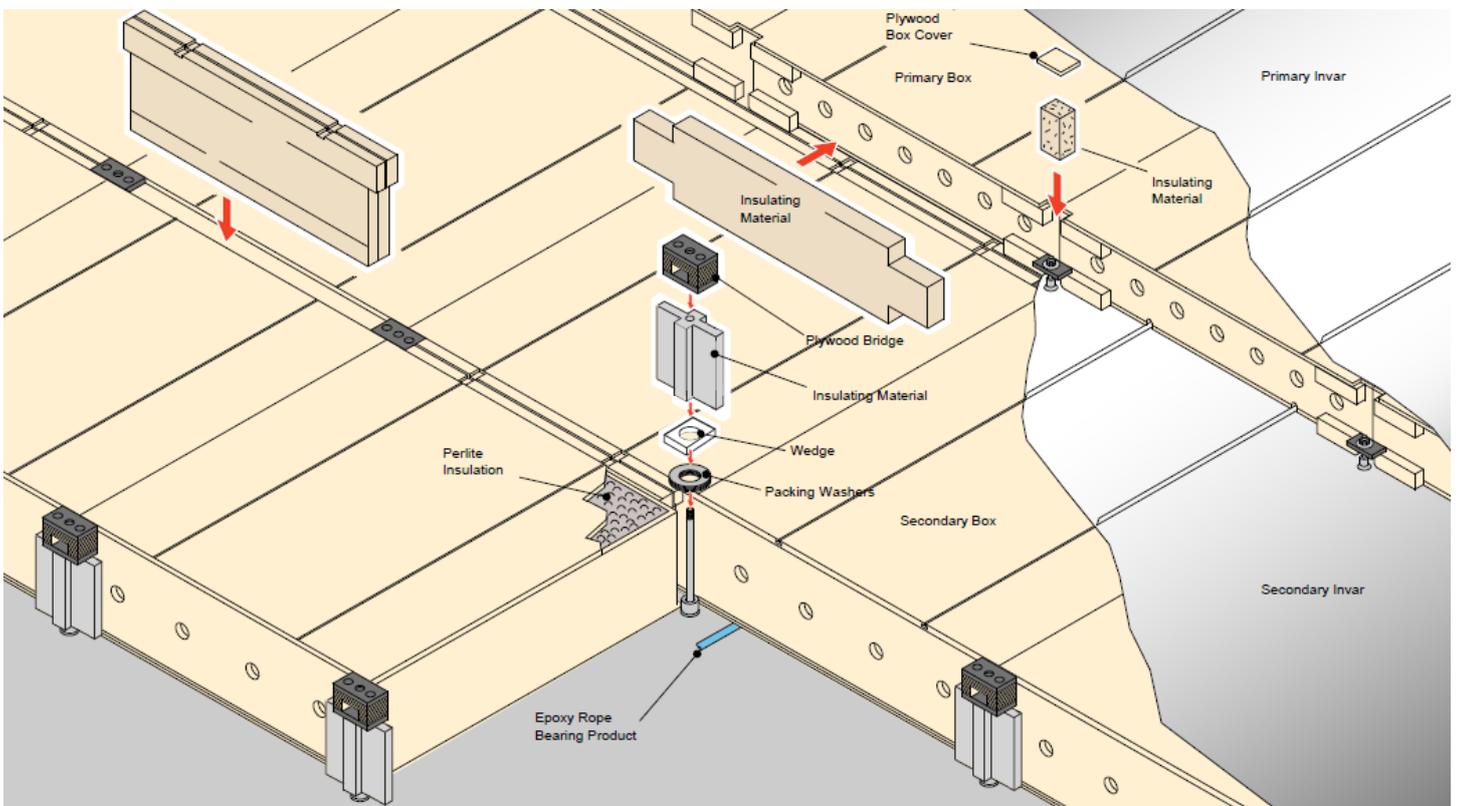


Figura 5: Construcción del aislamiento Gaz Transport

<sup>16</sup> Perlita: Vidrio volcánico amorfo con propiedades de aislamiento en usos industriales.

De esta manera, el tanque de carga dispone de dos capas de membrana y aislamientos idénticos por si se diera el caso de una pérdida en la primera poder contener la carga con la segunda indefinidamente. El sistema está montado de tal forma que todos los esfuerzos que sufre se transmiten al casco. La función de la membrana es la de impedir las pérdidas mientras que la del aislamiento es la de soportar y transmitir las cargas además de minimizar el intercambio de temperatura entre la carga y el casco. Por otra parte, la membrana y aislamiento secundario además de contener una posible fuga, refuerzan el aislamiento por lo que al gradiente de temperatura se refiere.

Ambos espacios de aislamiento están presurizados<sup>17</sup> con una atmósfera de nitrógeno. El primer espacio de aislamiento nunca debe tener una presión mayor que el tanque para evitar la explosión de la membrana. Y el espacio de aislamiento secundario debe mantenerse con una presión de 0.2 kPa por debajo de la presión del aislamiento primario con el fin de evitar una posible contaminación del segundo espacio al primero.

**P tanque > P espacio primario > P espacio secundario**

## CONSTRUCCIÓN DE LOS AISLAMIENTOS Y BARRERAS

Como se comentó con anterioridad, la barrera primaria y secundaria son idénticas y están fabricadas con invar criogénico<sup>18</sup> de un grosor de 0.7 mm. La composición del invar es la siguiente:

Ni:	35 - 36.5%
C:	< 0.04%
Si:	< 0.25%
Mn:	< 0.2 to 0.4%
S:	< 0.003%
P:	< 0.008%
S + P:	< 0.02%
Fe:	Remainder

El coeficiente térmico de **expansión del invar es diez veces menor que el del acero común**. Así es que se utilizan laminas planas en vez de corrugadas quedando toda la superficie en contacto con el aislamiento permitiendo una mayor transmisión de esfuerzos al casco.

Los aislamientos primario y secundario estan hechos de cajas prefabricadas de madera contrachapada rellenas de perlita expandida. De esta manera se permite la libre circulación de nitrógeno permitiendo también inertar<sup>19</sup> o airear cuando se requiera.

La perlita se obtiene de una roca de origen volcánico que cuando se calienta por encima de 800°C se transforma en pequeñas

<sup>17</sup> Presiones: 1 atm = 1 bar = 100 kPa.

<sup>18</sup> Invar criogénico: Acero con 36% de níquel. Tiene un coeficiente térmico de expansión muy bajo.

<sup>19</sup> Inertar: Proceso que forma una capa protectora evitando la reacción de los productos en un espacio confinado.

esferas. Estas esferas tienen un diámetro que va de centésimas a décimas de milímetro. Debido a su estructura celular y mediante un proceso se obtiene la perlita expandida que tiene una gran ligereza y una gran capacidad de aislamiento. Además esta se trata con silicona para que repela el agua.

El aislamiento se distribuye por el casco en dos áreas diferenciadas:

- **Área reforzada:** en la parte superior del tanque que cubre el 30% de la altura. Esta área lleva cajas de madera contrachapada reforzadas.
- **Área estándar** (o área no reforzada): cubre el 70% de la altura inferior del tanque. Esta área lleva cajas de madera contrachapada normales.

Las cajas de los aislamientos primario y secundario disponen de unos refuerzos internos más gruesos (12mm) para resistir los impactos que se producen debido al “sloshing”<sup>20</sup>.

Aislamiento secundario            300mm de grosor

Aislamiento primario            230mm de grosor

Las dimensiones de los aislamientos aseguran que:

- El intercambio de calor dentro del tanque produzca un “boil-off rate”<sup>21</sup> del 0.15%/día.
- La temperatura del casco en contacto con los tanques no descienda por debajo de su temperatura mínima de diseño, aunque haya una rotura de la primera barrera.

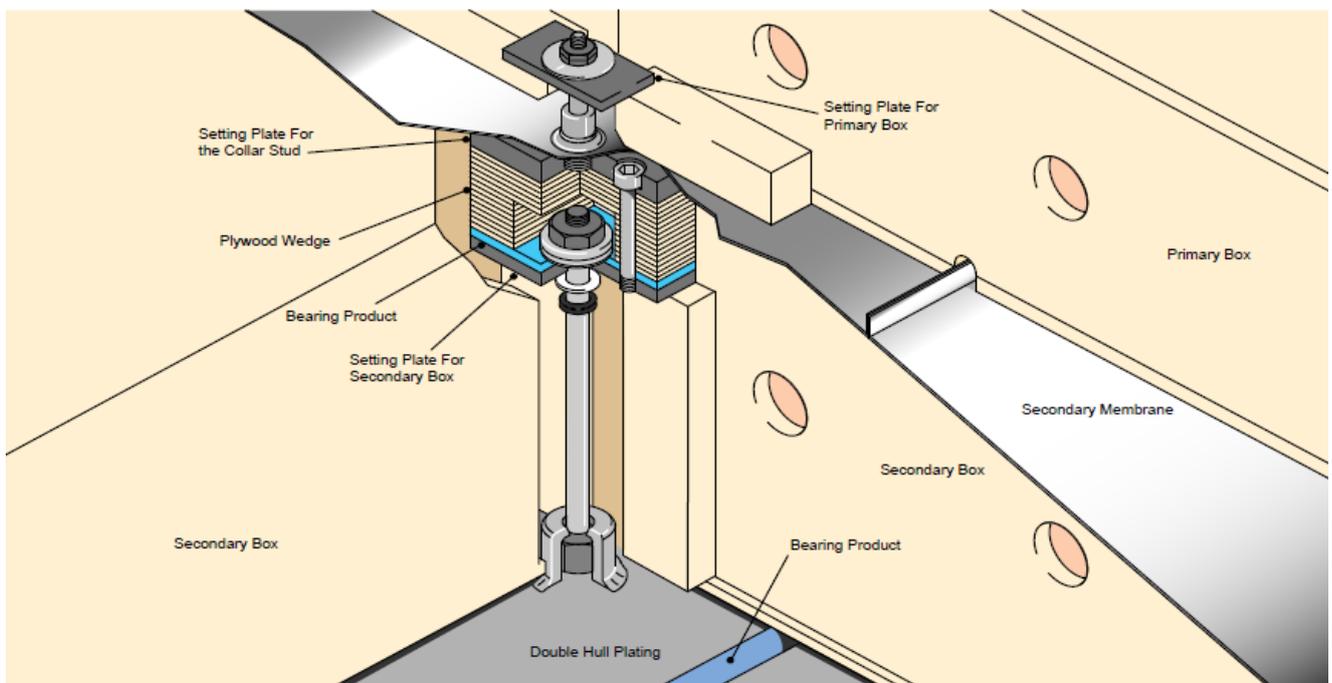


Figura 6: Fijación del aislamiento

<sup>20</sup> Sloshing: Movimiento de la superficie libre de líquidos dentro de contenedores (entre el 10% - 80%).

<sup>21</sup> Boil-off rate: Flujo de evaporización.

Además, el aislamiento actúa previniendo cualquier contacto entre el agua de lastre y la barrera primaria en el hipotético caso de una pérdida en el casco.

El aislamiento secundario está fijado al casco mediante unos pernos de acero inoxidable y una resina que amolda la caja al casco. Para absorber las deformaciones del casco entre las cajas se dispone un acople elástico. De esta manera la membrana está directamente conectada con el casco pudiendo transmitir cualquier esfuerzo de manera uniforme y continua para mejorar su absorción.

Los huecos entre los espacios primario y secundario están aislados con una combinación de aislamientos rígidos, elásticos y fibra de vidrio.

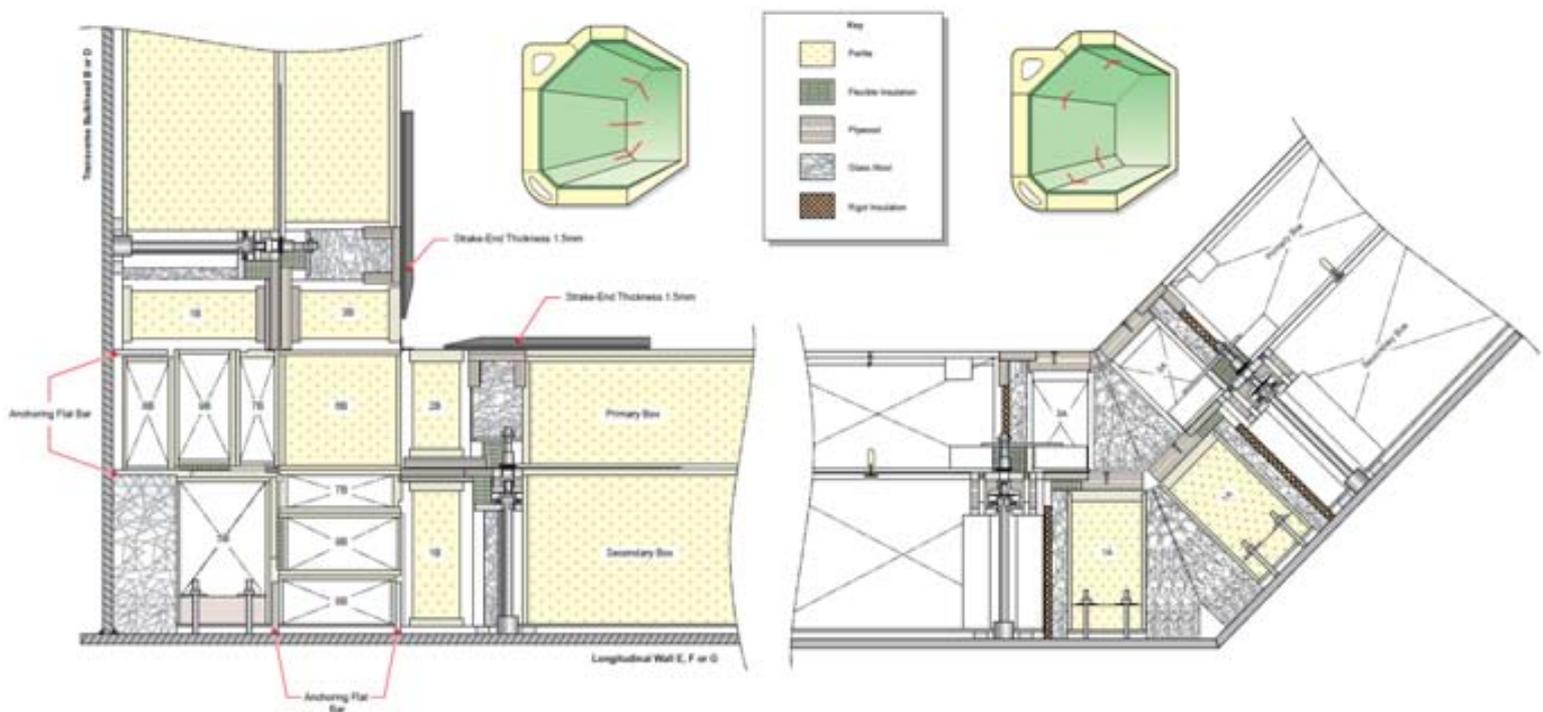


Figura 7: Fijación del aislamiento II

## EQUIPAMIENTO DE CARGA DE LOS TANQUES

Cada tanque dispone de un domo<sup>22</sup> de vapor y otro de líquido. **El de vapor** está situado en la parte superior del centro geométrico de cada tanque y dispone de:

- Una línea de vapor para:
  - o abastecer al tanque en la descarga para mantener la presión.
  - o ventear el vapor fuera del tanque en la carga.
  - o ventear el boil-off cuando el tanque contiene carga.

<sup>22</sup> Domo: Instalación por la que las líneas entran al tanque desde la cubierta.

- Una línea de espray para enfriar.
- Dos válvulas de alivio de presión/vacío taradas a 25kPa y -1kPa conectadas al palo de venteo más próximo.
- Sensores de presión.
- Una válvula de seguridad para ventear el líquido.

El **domo de líquido** está situado en la línea central del tanque a popa. Éste contiene una estructura de acero inoxidable llamada “tripod mast” que forma un triedro con tres piernas que va del tope<sup>23</sup> del tanque al plan<sup>24</sup> soportado por un cojinete que permite la expansión o contracción térmica dependiendo del estado del tanque. El “tripod mast” contiene las líneas de descarga y la tubería para la bomba de descarga de emergencia, además de la escalera de acceso al tanque, otras líneas y equipamiento de instrumentación (sensores de temperatura y nivel, alarmas de alto nivel y bajo nivel, cables eléctricos de las bombas de descarga). Las dos bombas de descarga están montadas en el plan del tanque en el “tripod mast” mientras que la bomba de stripping/spray<sup>25</sup> se encuentra adyacente a éste. Dentro de dicho domo también se encuentran la línea de llenado y la columna de la sonda<sup>26</sup> de flotador.

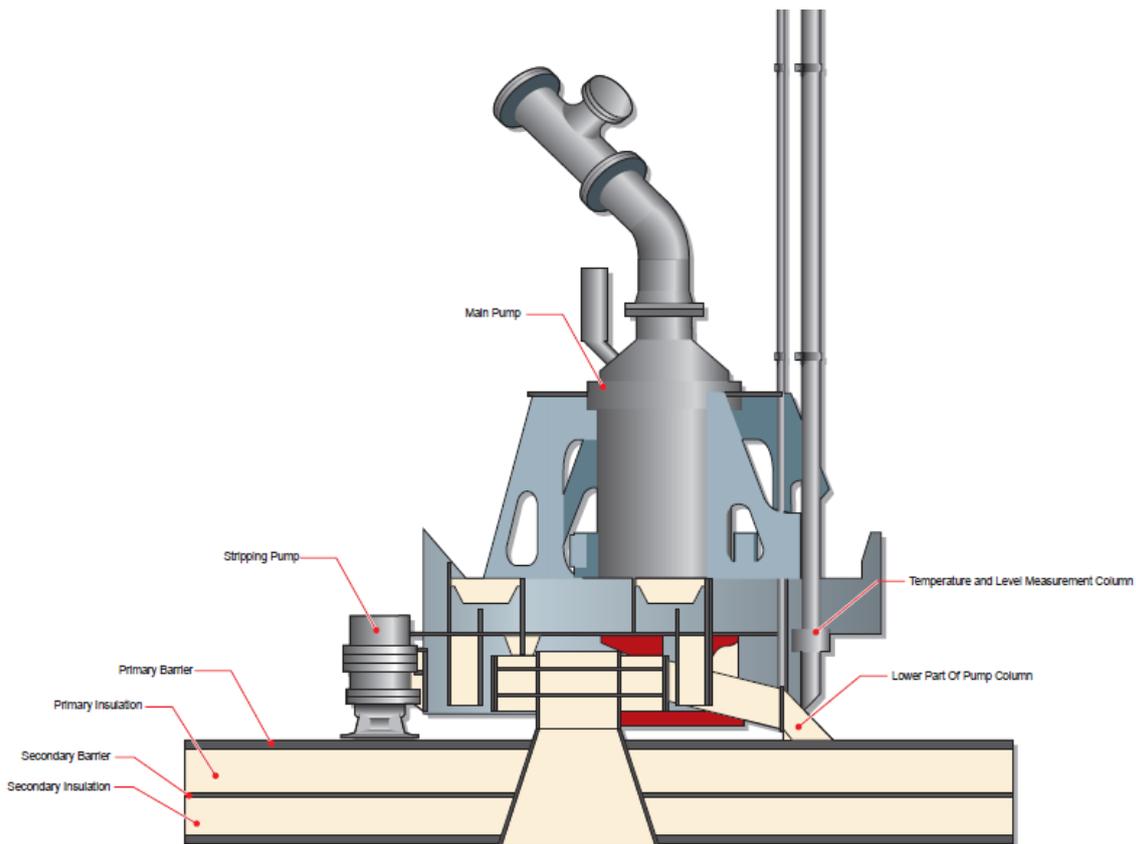


Figura 8: Soporte de la columna de la bomba de descarga

<sup>23</sup> Tope: parte superior, techo.

<sup>24</sup> Plan: suelo del tanque.

<sup>25</sup> Stripping/spray: De achique o espray.

<sup>26</sup> Sonda: Aparato cuya función es medir el nivel.

Los cuatro tanques están conectados mediante las líneas de líquido, vapor y stripping/spray y estas líneas se sitúan en el trunk deck<sup>27</sup>. Las líneas de nitrógeno que abastecen a los espacios primario y secundario también se sitúan en el trunk deck así como otros servicios asociados a los sistemas de carga.

## DETERIORO O FALLO

El sistema de aislamiento de los tanques está diseñado para mantener las pérdidas por boil-off de la carga dentro de unos límites aceptables (0.15%/día) y para proteger la parte del casco exterior de los tanques de las bajísimas temperaturas. Si la eficiencia del aislamiento se deteriorase supondría una bajada en la temperatura del casco en el exterior del tanque por lo que al perderse frío de la carga aumentaría el boil-off de ésta. Un aumento del boil-off no es un gran problema porque se puede ventear por un palo de venteo pero la temperatura del acero del casco se debe mantener entre unos límites establecidos para evitar la fractura por frío del mismo. Sobre la superficie del casco hay dispuestos unos sensores de temperatura pero que a menos que la pérdida sea muy próxima a un sensor éstos solo sirven como una indicación general de la temperatura del acero. Actualmente la única forma totalmente fiable para detectar una congelación en el acero es mediante inspecciones visuales dentro de los tanques de lastre en los viajes a plena carga.

**La calidad del acero del exterior de los tanques viene dada por la temperatura que tiene que soportar a la mínima temperatura ambiente teniendo en cuenta que la membrana primaria ha fallado y la carga está en contacto con la membrana secundaria.**

Además de un fallo de la membrana, las secciones congeladas del casco también se pueden dar por fallo del aislamiento. Para evitar problemas de formación de hielo en el casco debido a operaciones prolongadas a temperaturas por debajo de 0°C. El buque dispone de un sistema de líneas de glycol<sup>28</sup> para calentar los mamparos situados en los cofferdams. Con suficiente capacidad como para mantener el casco a 0°C en las peores condiciones. En caso de una hipotética congelación pequeña del mamparo no se daría una situación crítica y se debería actuar estableciendo rondas para chequear que la congelación no se extiende. Si la congelación fuera grande o se extendiera con rapidez se debería esprayar la zona con agua salada. Si este método no fuera suficiente para solucionar el problema y se considerara que no es seguro esperar al puerto de descarga para vaciar los tanques, se procedería con el echazón<sup>29</sup> de la carga a la atmosfera utilizando una sola bomba de descarga.

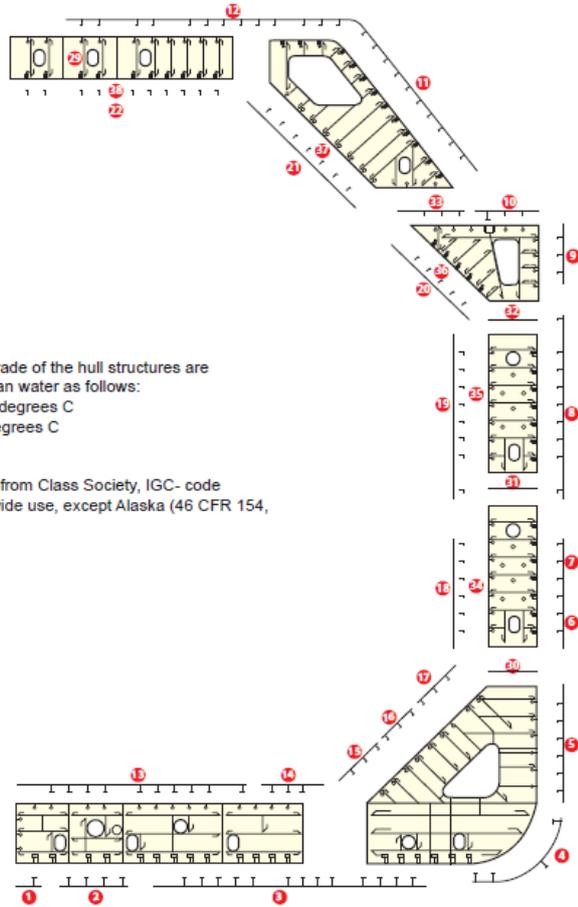
<sup>27</sup> Trunk deck: Cubierta de carga.

<sup>28</sup> Glycol: Compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles, se utiliza como anticongelante.

<sup>29</sup> Echazón: Acción o efecto de arrojar al agua la totalidad o parte de la carga de un buque para evitar peligros.

# CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

PFC



Ambient conditions for determining material grade of the hull structures are based on the worldwide service, except Alaskan water as follows:

- Air temperature (at 5 knots) : -18 degrees C
- Sea water temperature : 0 degrees C
- LNG supposed on secondary barrier

The hull structure complies with requirements from Class Society, IGC- code requirements and USCG regulation for worldwide use, except Alaska (46 CFR 154, Statement of Compliance issued).

Item	Temperature °C	th ≤ 15 mm	15th ≤ 20 mm	20th ≤ 25 mm
1	0	/	A	B
2	0	/	A	/
3	0	/	A	/
4	0	/	D	/
5 to 8	0	/	A	/
9 and 10	0	E	/	/
11 and 12	0	A	A	/
13	-7	/	B	D
14	-7	/	BZ	DZ
15 to 17	-7	/	B	/
18	-14	E	E	/
19	-24	E	E	/
20	-27	E	E	/
21 and 22	-29	E	E	/
23	-7	A	B	B
24	-3	A	B	B
25	-12	D	D	/
26	-20	D	/	/
27	-23	E	/	/
28	-25	E	/	/
29	-25	E	/	/
30	-7	EZ	/	/
31	-16	D	/	/
32	-22	EZ	/	/
33	-24	E	/	/
34	-14	E	/	/
35	-24	E	/	/
36	-27	E	/	/
37 and 38	-29	E	/	/

Figura 9: Clase del acero del casco

## 6. PLANO DE LAS ZONAS DE GAS PELIGROSAS

En el código IMO según la construcción y equipamiento de los buques que transportan gas a granel se consideran zonas peligrosas:

- En las cubiertas al aire libre, cualquier zona a 3 metros de una salida de gas o vapor de un tanque, línea de carga, válvula de carga así como entradas y ventilaciones del cuarto de compresores y motores eléctricos.
- Toda la cubierta de carga además de 3 metros de margen en sentido proa y popa y 2.4 metros por encima y a los costados.
- Todas las líneas de carga, tanques y palos de venteo<sup>30</sup>.

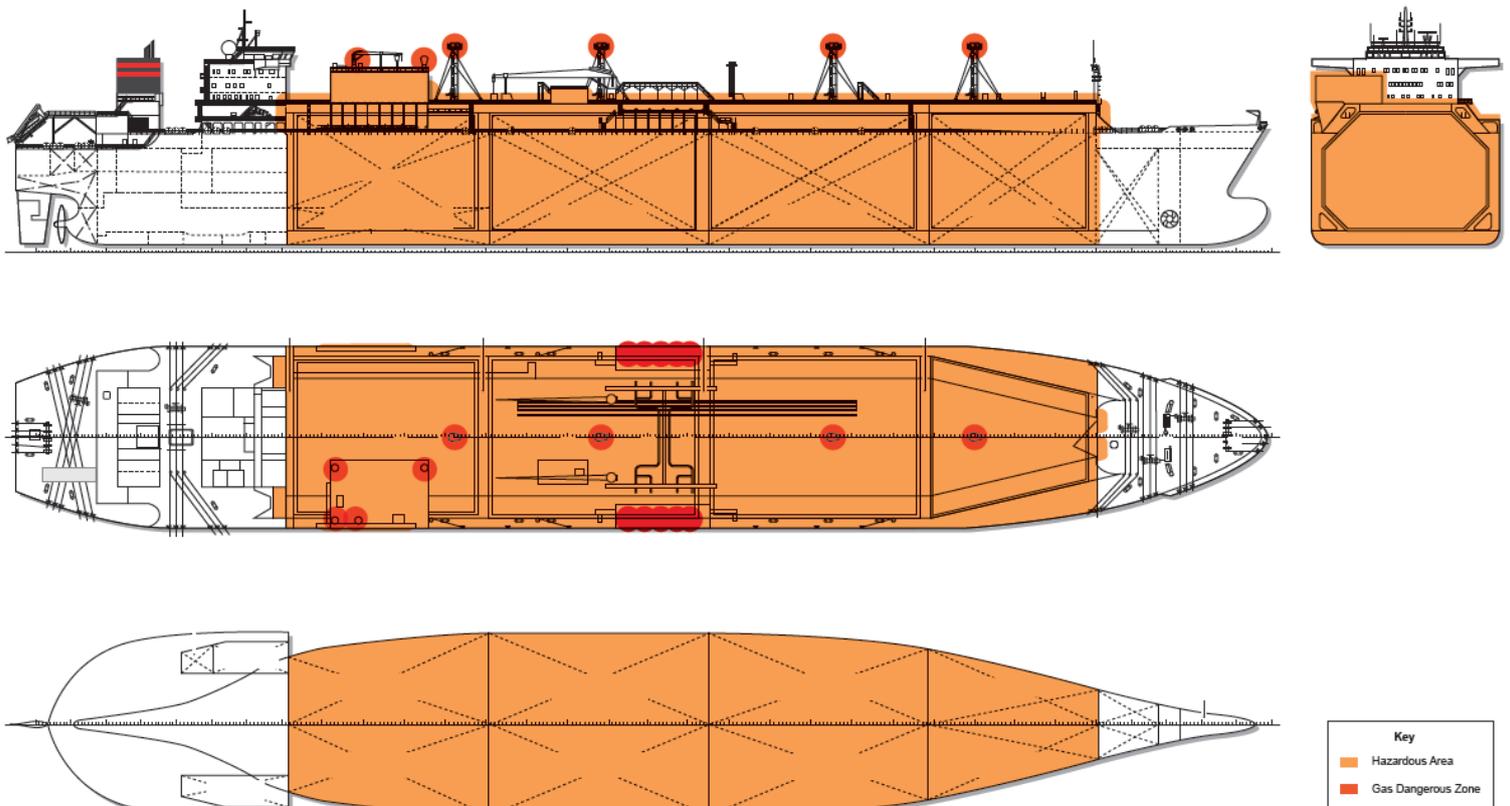


Figura 10: Plan de zonas peligrosas

Todas las instalaciones eléctricas tanto fijas como portátiles deben estar certificadas como equipamiento seguro. Eso incluye equipo eléctrico intrínsecamente seguro, equipos resistentes al fuego y equipos presurizados. Se exceptúa la certificación de equipos cuando la zona se ha denominado libre de gas. Por ejemplo, cuando se airean los tanques en astillero.

<sup>30</sup> Palo de venteo: Estructura de seguridad diseñada para echar gas a la atmosfera en caso emergencia de forma segura.

# SECCIÓN 2: PROPIEDADES DEL LNG

## 1. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN DEL LNG

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos<sup>31</sup> que cuando se licúan forman un líquido inodoro e incoloro. Este LNG se transporta a una temperatura muy próxima a su punto de ebullición<sup>32</sup> a presión atmosférica (aproximadamente -160°C).

	Methane CH <sub>4</sub>	Ethane C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Butane C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Pentane C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Nitrogen N <sub>2</sub>
Molecular Weight	16.042	30.068	44.094	58.120	72.150	28.016
Boiling Point at 1 bar absolute (°C)	-161.5	-88.6	-42.5	-5	36.1	-196
Liquid Density at Boiling Point (kg/m <sup>3</sup> )	426	544.1	580.7	601.8	610.2	0.8086
Vapour SG at 15°C and 1 bar absolute	0.554	1.046	1.540	2.07	2.49	0.97
Gas Volume/Liquid Ratio at Boiling Point and 1 bar absolute	619	413	311	311	205	649
Flammable Limits in Air by Volume (%)	5.3 to 14	3 to 12.5	2.1 to 9.5	2 to 9.5	3 to 12.4	Non-flammable
Auto-ignition Temperature (°C)	595	510	468	365/500		
Gross Heating Value at 15°C (kJ/kg)	Normal: 55559 Iso: 49404	51916	50367	49530 49404	49069 48944	
Vaporisation Heat at Boiling Point (kJ/kg)	510.4	489.9	426.2	385.2	357.5	199.3

Figura 11: Propiedades físicas del LNG

La composición del LNG de Qatar, Omán, Indonesia o Malaysia puede variar dependiendo de la fuente de extracción y del proceso de licuefacción pero el componente principal es siempre el metano. Otros constituyentes son pequeños porcentajes de hidrocarburos más pesados (etano, propano, butano, pentano y posiblemente un pequeño porcentaje de nitrógeno). Se puede asumir que las propiedades del metano representan las del LNG. Aunque cuando se hacen los cálculos del “custody transfer<sup>33</sup>” se utilizan los valores más precisos posibles de todos los componentes.

	Methane CH <sub>4</sub>	Ethane C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Butane C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Nitrogen N <sub>2</sub>	C5+	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Arzew	87.4	8.6	2.4	0.05	0.35	0.02	466

Figura 12: Composición del LNG en Arzew

Durante un viaje normal el calor se transmite a la carga a través del casco y los aislamientos produciendo una evaporación de la carga, el boil-off. La composición de LNG cambia durante esta evaporación debido a que los componentes más ligeros se evaporan primero al tener un punto de ebullición más bajo a presión atmosférica. Por lo

<sup>31</sup> Hidrocarburo: El metano (del griego *methy* vino, y el sufijo *-ano*) es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>.

<sup>32</sup> Punto de ebullición: Temperatura a la cual la materia cambia del estado líquido al estado gaseoso.

<sup>33</sup> Custody transfer: Cálculos de cantidad inicial y final realizados por una persona ajena a la terminal y a la naviera.

tanto el LNG descargado tiene un porcentaje menor de nitrógeno y metano que el cargado ya que se ha ido evaporando una pequeña parte durante el viaje.

El rango de inflamabilidad<sup>34</sup> del metano en el aire (21% oxígeno) es entre 5.3 – 14% en volumen. Para evitar este rango se reduce el oxígeno al 2% inertando el tanque con gas inerte<sup>35</sup> antes de la primera carga después de salir de dique<sup>36</sup>. En teoría, por debajo del 13% de oxígeno no se puede producir una mezcla explosiva independientemente de la cantidad de metano. Pero por razones de seguridad se aplica este margen reduciendo el oxígeno al 2%.

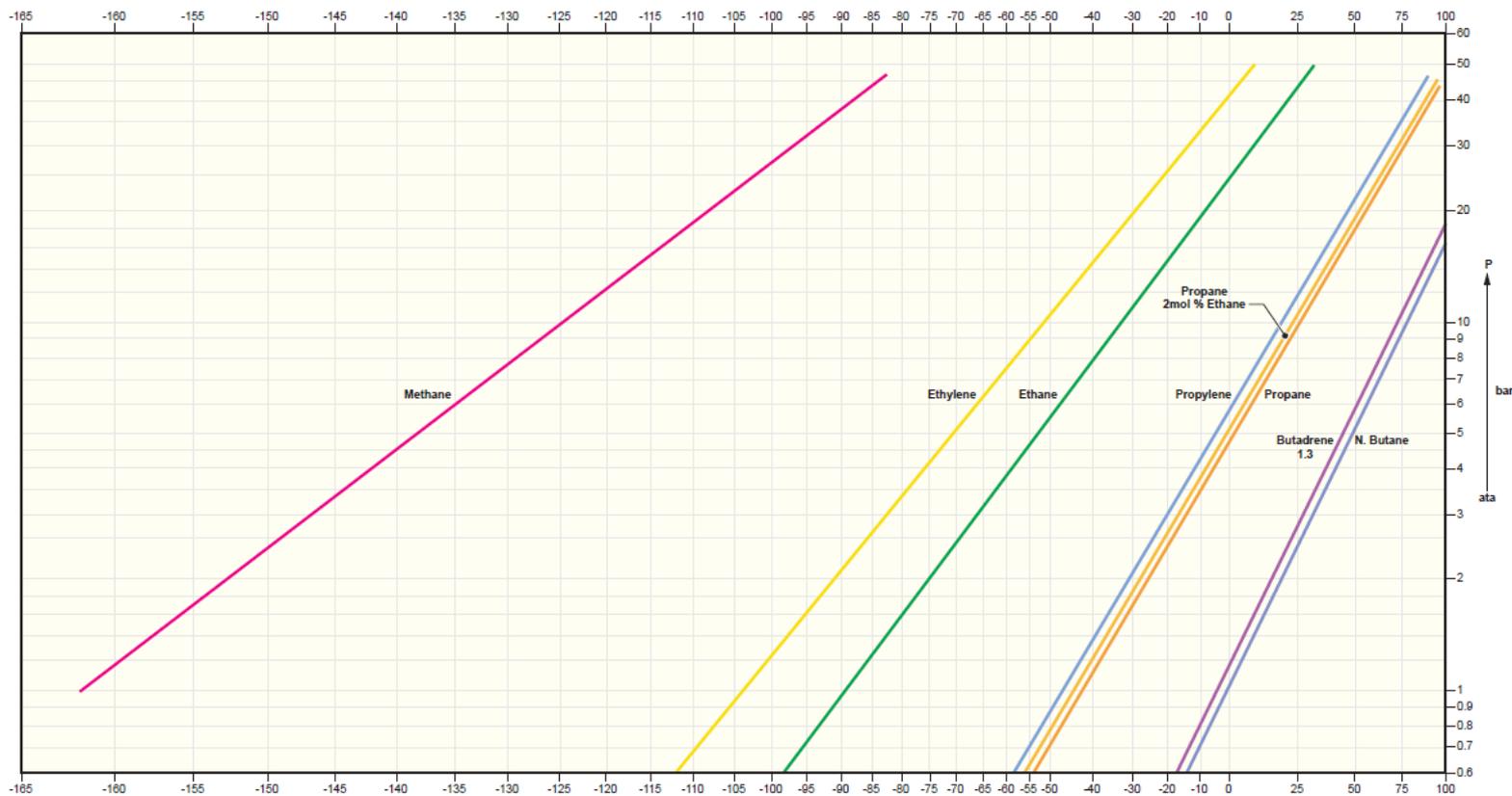


Figura 13: Diagrama de presiones de vapor del LNG

El boil-off del LNG es más ligero que el aire a temperaturas superiores a -110°C. Por lo que si se ventea el boil-off por el palo de venteo a más de -110°C éste tenderá a ascender y dispersarse rápidamente. Pero si se ventea boil-off por debajo de los -110°C se crea una mezcla con el aire que forma una nube blanca al condensar toda la humedad del aire debido a la baja temperatura. Se asume que no hay riesgo de inflamabilidad más

<sup>34</sup> Inflamabilidad: El punto de inflamabilidad es el conjunto de condiciones de entorno en que una mezcla de una sustancia combustible inflamable, está en condiciones de iniciar una combustión si se le aplica una fuente de calor a suficiente temperatura pero luego de ser retirada la fuente de calor el fuego se apagará.

<sup>35</sup> Gas inerte: Un gas inerte es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Los gases inertes más comunes son el nitrógeno y los gases nobles.

<sup>36</sup> Dique: Astillero.

allá del perímetro de la nube de LNG vaporizado y aire. Este gas debe ser calentado a 595°C para que produzca auto-ignición.

El punto de ebullición del metano aumenta con la presión. La presencia de componentes más pesados del LNG aumenta el punto de ebullición de la carga para una presión dada. La relación entre el punto de ebullición y la presión del LNG es una línea paralela a la del metano mostrada en el gráfico anterior.

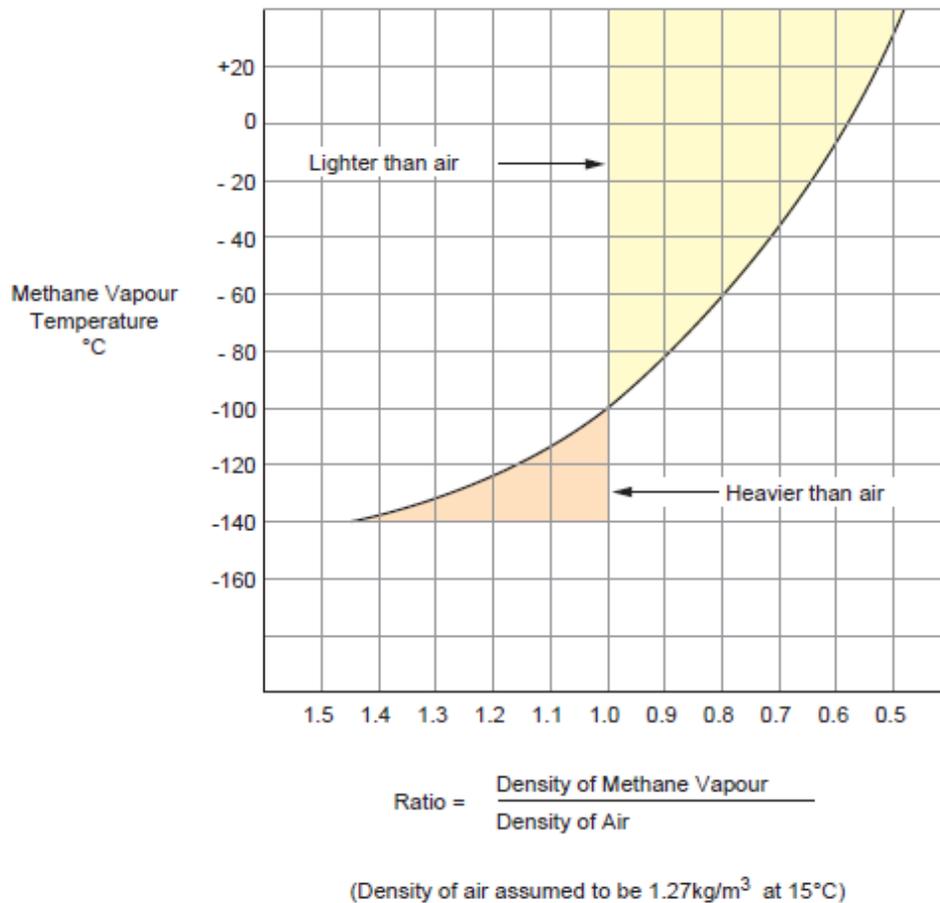


Figura 14: Densidad relativa del LNG y del aire

## 2. INFLAMABILIDAD DE LA MEZCLA DEL METANO, OXÍGENO Y NITROGENO

En las operaciones del buque nunca se debe producir una mezcla de LNG y oxígeno explosiva. En el diagrama se puede observar la relación de composición y inflamabilidad de gas/aire de todas las mezclas que se pueden producir con metano, oxígeno y nitrógeno.

El eje vertical A-B representa la mezcla oxígeno-nitrógeno sin metano presente. El rango va del 0% oxígeno (o 100% nitrógeno) en el punto A hasta el 21% oxígeno (o 79% nitrógeno) en el punto B. Este último punto representa el aire atmosférico. El eje horizontal A-C representa la mezcla metano-nitrógeno sin oxígeno presente. El rango va del 0% metano (o 100% nitrógeno) en el punto A hasta el 100% metano (o 0% nitrógeno) en el punto C.

Cualquier punto contenido en el triángulo ABC representa una mezcla de metano, oxígeno, nitrógeno cada uno representa una parte del volumen total.

El diagrama tiene tres zonas diferenciadas:

- **Zona inflamable EDF.** Cualquier mezcla cuyo punto esté dentro de este sector es una mezcla inflamable.
- **Área HDFC.** Cualquier mezcla cuyo punto esté dentro de este sector es una mezcla inflamable cuando se mezcla con aire pero contiene demasiado metano para explotar.
- **Área ABEDH.** Cualquier mezcla cuyo punto esté dentro de este sector no es capaz de producir una mezcla explosiva cuando se mezcla con aire.

### EL DIAGRAMA

Si una mezcla de oxígeno-nitrógeno de composición Y (ver diagrama) se mezcla con una de metano-nitrógeno de composición Z la mezcla resultante estaría representada por un punto X que se movería por la línea YZ dependiendo de si lleva más metano o más oxígeno. Aplicando esta teoría a una situación en la que tenemos el tanque lleno de aire, en el punto B, porque se quiere inertar con nitrógeno antes de gasear y enfriar. Se procedería llenando con nitrógeno hasta que el oxígeno baje al 13% en el punto G. Entonces al añadir metano la mezcla se movería sobre la línea GDC la cual no pasa por la zona inflamable pero es casi tangente en el punto D. Teóricamente la mezcla no necesita estar por debajo del 13% en oxígeno para no pasar por la zona inflamable pero en la práctica se reduce hasta el 2% para ganar margen de seguridad ya que la mezcla total de las masas nunca se da al 100% debido a las formas de los tanques.

Cuando tenemos un tanque lleno de metano, en el punto C, y queremos airearlo primero se inerta con nitrógeno y después se airea. Añadiríamos nitrógeno hasta que el metano bajara al 14% en el punto H. Entonces, añadiríamos aire y la mezcla se movería por la línea HDB que también es tangente a la zona inflamable en el punto D pero no pasa por

ella. Igual que en el caso anterior cuando se inerta un tanque lleno de metano este se reduce hasta el 5% para ganar margen de seguridad.

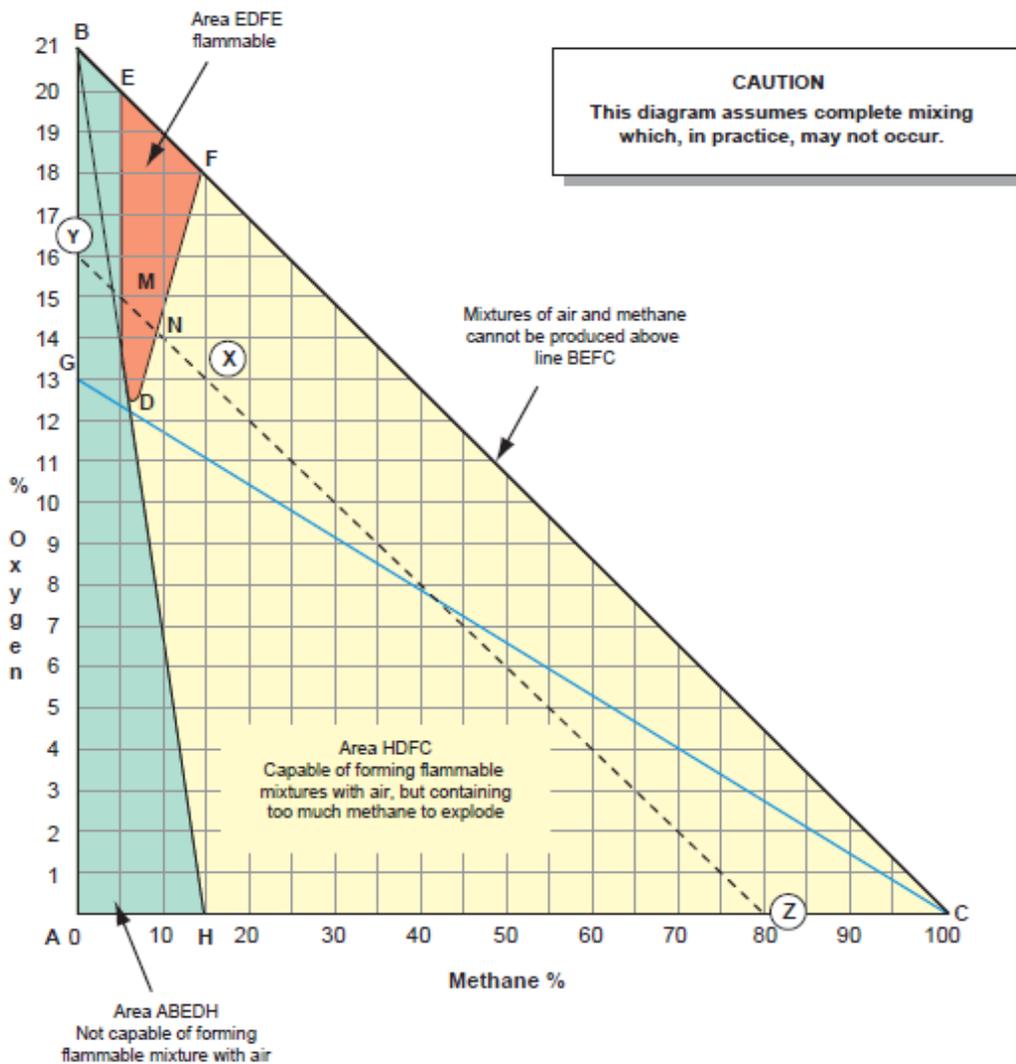


Figura 15: Diagrama de la atmosfera explosiva del LNG

Para evitar mezclas inflamables en los tanques y líneas de carga:

- Conteniendo aire se inertizará con NITRÓGENO hasta que en los puntos de muestreo la mezcla  $\longrightarrow$  5% de OXIGENO o menos.
- Conteniendo metano se inertizará con NITRÓGENO hasta que en los puntos de muestreo la mezcla  $\longrightarrow$  5% de METANO o menos.

Siempre que se entra en espacios cerrados cada persona debe llevar un aparato de rayos infrarrojos que detecta los gases de la atmosfera y nos avisa en caso de altos niveles de metano o bajos niveles de oxígeno.

## LEL

El LEL es el límite inferior de explosividad del LNG. Cuando se analiza una mezcla de hidrocarburo y aire se puede medir:

- En volumen de metano: el metano puede estar presente en la mezcla entre un 0% -100%. Mientras no esté entre el 4.5%-14% no habrá mezcla inflamable.
- En LEL: el metano puede estar presente en la mezcla entre un 0% LEL -100% LEL. Siendo el 0% LEL un 0% en volumen de metano y un 100% LEL un 4.5% en volumen de metano. De esta manera siempre mantenemos un margen de seguridad haciendo lecturas de 0 – 30% LEL.

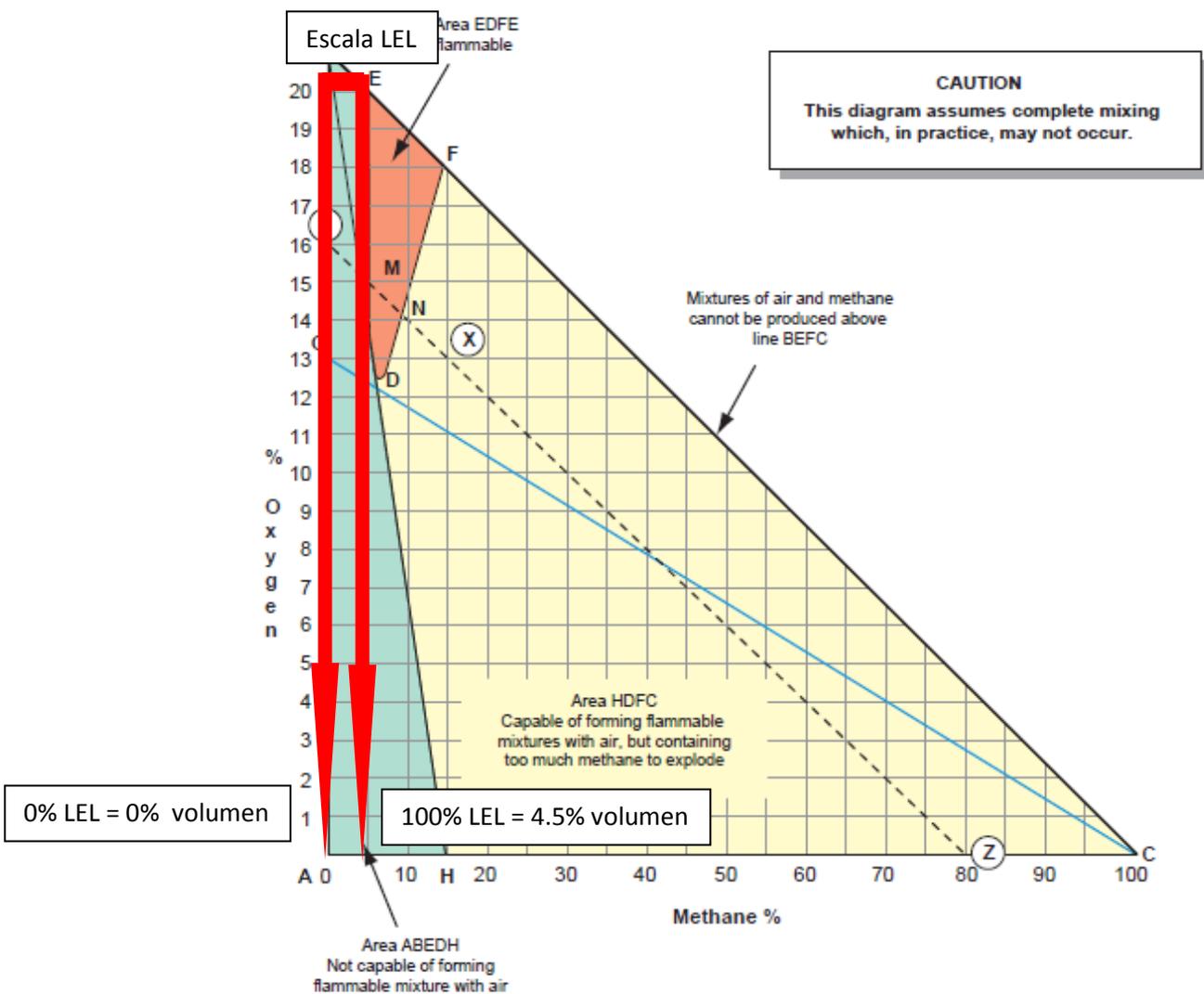


Figura 16: Diagrama de LEL

### 3. CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL LNG

#### CUANDO SE DERRAMA EN EL AGUA

- La evaporación del LNG es rápida debido a la diferencia de temperatura entre este producto y el agua.
- El LNG se extiende indefinidamente sobre una superficie y aumenta su evaporación hasta que esta ha finalizado.
- No forma capa de hielo al caer sobre el agua.
- Bajo unas circunstancias especiales, cuando el LNG tiene una concentración del 40% o menos se pueden dar explosiones sin llama en el contacto con el agua. Eso se da por un fenómeno en el que el metano se calienta localmente hasta un límite máximo en el que la evaporación es casi instantánea. Pero el LNG que se carga tiene un porcentaje de metano muy superior al 40%.
- La nube inflamable de LNG y aire se puede extender en largas distancias debido a la falta de accidentes geográficos en la mar.
- En el caso de que se llenara un compartimento exterior de LNG debido a una pérdida nunca se debe direccionar un chorro de agua directo ya que se produciría una reacción violenta. Se debe actuar esprayando agua sobre los costados del compartimento o base para acelerar la evaporación del hidrocarburo.

#### NUBE DE VAPOR

- Si no hay ignición inmediata del derrame se formará una nube de vapor. Dicha nube es alargada, delgada con forma tubular y puede llegar a viajar largas distancias hasta que su concentración deje de ser inflamable. Esta concentración es muy importante porque la nube puede inflamarse y tanto si se dirige para la acomodación<sup>37</sup> o un palo de venteo puede ser peligroso. El vapor frío tiene una densidad superior a la del aire con lo que la nube no ascenderá sino que se quedara a nivel de cubierta y de la superficie del mar. Las condiciones meteorológicas determinan la disolución de la nube de vapor.
- El mayor peligro se da cuando la nube se inflama. Todos aquellos dentro del radio de la nube sufrirán quemaduras por radiación térmica pero no supone una amenaza para aquellos aislados de la nube dentro de un espacio cerrado.

#### REACTIVIDAD

El metano es asfixiante en ciertas cantidades porque desplaza el oxígeno y lo reduce por debajo 21%. Debido a su inactividad no contamina el aire de manera importante y debido a su inactividad, insolubilidad y su volatilidad no es contaminante para el agua.

---

<sup>37</sup> Acomodación: Parte del buque donde se hospeda la tripulación.

## TEMPERATURA CRIOGÉNICA

El contacto con el LNG o materiales que estén a su temperatura de  $-160^{\circ}\text{C}$  puede producir quemaduras térmicas. Muchos materiales a esas temperaturas pierden su ductilidad y se pueden producir fracturas. En caso de un derrame de LNG en cubierta, los esfuerzos generados en el casco no pueden ser absorbidos debido a la incapacidad de contracción por la baja temperatura del casco produciéndose fracturas en el acero.

## COMPORTAMIENTO DEL LNG EN LOS TANQUES DE CARGA

Cuando se carga en los tanques el vapor de LNG se mantiene casi a presión constante, un poco por encima de la presión atmosférica. El calor externo que se transmite a través del casco y de los aislamientos hace que el LNG caliente ascienda y una parte se evapore. Como en el buque no existen medios para enfriar lo que se hace es mantener una ausencia de calor extrayendo el vapor que se genera y manteniendo el LNG a una presión constante. De esta manera el hidrocarburo se mantiene en su temperatura de evaporación ( $-160^{\circ}\text{C}$ ). Si por otra banda, se extrae más vapor del que se genera la temperatura desciende para mantener el equilibrio de la presión con la temperatura correspondiente. Así aumenta la vaporización de LNG absorbiendo calor.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

P = presión; V = volumen; n = número de mol; R = constante; T = temperatura;<sup>38</sup>

El LNG es una mezcla de varios componentes con propiedades físicas diferentes. En este caso los puntos de evaporación, los componentes más volátiles se evaporan antes por lo que a lo largo de viaje el punto de evaporación del hidrocarburo y la densidad tenderán a elevarse.

<sup>38</sup> Fórmula de los gases nobles: El estado de una cantidad de gas se determina por su presión, volumen y temperatura.

#### **4. CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL NITRÓGENO Y DEL GAS INERTE**

##### **NITRÓGENO**

El nitrógeno se utiliza a bordo para presurizar los espacios de aislamiento, purga de líneas de carga y calentadores<sup>39</sup>, líneas de las calderas y de las sondas y para los sellos de los compresores con los motores eléctricos. Se produce mediante el generador de nitrógeno cuyo principio es hacer pasar aire por una membrana de fibras huecas que permite separar el oxígeno y el nitrógeno del aire.

El nitrógeno es el gas más común en la naturaleza ya que representa el 79% del volumen del aire. En condiciones estándar el nitrógeno es incoloro e inodoro y su densidad parecida a la del aire. En cambio, cuando se licúa su temperatura es de  $-196^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica, su densidad de  $810 \text{ Kg}/\text{m}^3$ . Éste se considera un gas inerte, es inflamable y no tiene ninguna afinidad química. Aunque a altas temperaturas se puede combinar con diferentes gases y metales.

Molecular weight:	28.016
Boiling point at 1 bar absolute:	$-196^{\circ}\text{C}$
Liquid SG at boiling point:	0.8086
Vapour SG at $15^{\circ}\text{C}$ and 1 bar absolute:	0.97
Gas volume/liquid volume ratio at $-196^{\circ}\text{C}$ :	649
Flammable limits:	None
Dew point of 100% pure $\text{N}_2$ :	Below $-80^{\circ}\text{C}$

##### **PELIGROS DEL NITRÓGENO**

Debido a la ausencia o bajo contenido de oxígeno, el nitrógeno es asfixiante. En estado líquido debido a su baja temperatura puede producir quemaduras o en caso de derrame sobre la cubierta puede producir fracturas en el acero.

##### **GAS INERTE**

El gas inerte se utiliza para reducir el contenido de oxígeno en los sistemas de carga, tanques, líneas, espacios vacíos<sup>40</sup> y compresores. Su finalidad es evitar una mezcla de aire/metano cuando se van a hacer operaciones para entrar a dique y cambiar la atmósfera de los tanques:

- Antes de airear los tanques una vez ya se han calentado  para poder entrar a ellos.

<sup>39</sup> Calentadores: Equipo de carga cuya función es la de aumentar la  $T^{\circ}$  del LNG en estado vapor.

<sup>40</sup> Espacio vacío: Espacios del buque destinados a aislar un compartimento.

- Después de la reparaciones antes de gasear y enfriar  para poder volver a cargar en ellos.

El gas inerte se produce a bordo en unos generadores a  $15000\text{Nm}^3/\text{h}$ <sup>41</sup> con una temperatura de punto de rocío<sup>42</sup> de  $-45^\circ\text{C}$  quemando un gasoil bajo en azufre. Esta planta puede generar también aire seco a  $14000\text{Nm}^3/\text{h}$  con una temperatura de punto de rocío de  $-45^\circ\text{C}$ .

La composición del gas inerte es la siguiente:

Oxygen:	<2.5% in volume
Carbon dioxide:	<15% in volume
Carbon monoxide:	<65ppm by volume
Sulphur oxides (SOx):	<1ppm by volume
Nitrogen oxides (NOx):	<65ppm by volume
Nitrogen:	Balance
Dew point:	< $-45^\circ\text{C}$
Soot:	Complete absence

El gas inerte es un poco más denso que el aire  $1.35\text{ Kg}/\text{m}^3$  a  $0^\circ\text{C}$ .

### PELIGROS DEL GAS INERTE

Debido a la ausencia o bajo contenido de oxígeno, el gas inerte es asfixiante.

<sup>41</sup>  $\text{Nm}^3/\text{h}$  :  $\text{m}^3/\text{h}$  medición normal a una presión y temperatura determinadas.

<sup>42</sup> Temperatura punto de rocío: Temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire

## 5. EVITAR EL CHOQUE TÉRMICO EN EL METAL

Los aceros estructurales sufren fracturas a bajas temperaturas. Dichas fracturas pueden ser muy peligrosas porque en el acero quebrado hace falta muy poca energía para propagar la brecha. Los aceros tienen un comportamiento de transición de quebradizo a dúctil en un rango de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+30^{\circ}\text{C}$ . Esto desgraciadamente no es suficiente para el transporte de LNG cuya temperatura de carga es  $-162^{\circ}\text{C}$ . Pero se han encontrado materiales como el invar (acero con 36% níquel), acero con 9% de níquel, algunas aleaciones de acero inoxidable y aluminio que presentan un comportamiento dúctil a  $-162^{\circ}\text{C}$  con lo que el riesgo de fractura desaparece.

Para evitar esta fractura se han tomado medidas para que el LNG o el nitrógeno líquido no lleguen a entrar en contacto con el acero del buque en caso de derrame o pérdida:

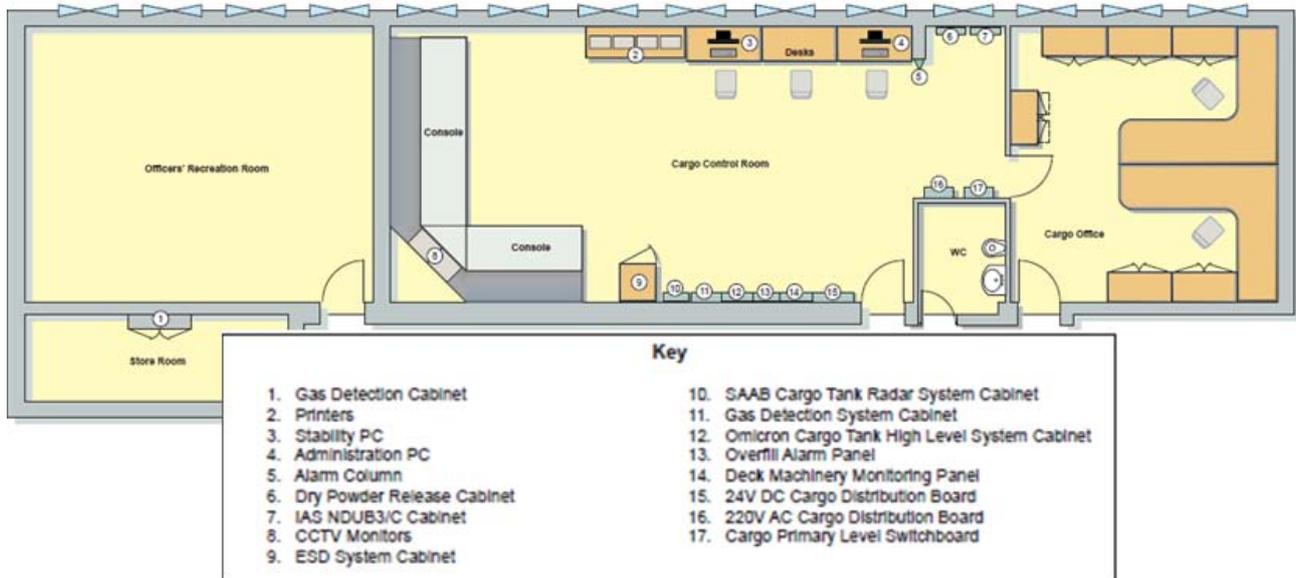
- Las áreas de los manifolds<sup>43</sup> van equipadas en su parte inferior con unas bandejas de goteo de acero inoxidable que recogerían todo el derrame y lo evacúan al mar. Además, a partir de los manifolds se abre una cortina de agua abastecida por el sistema contraincendios que va pegada al casco hasta el mar. El sistema contraincendios y dicha cortina tienen que estar siempre en funcionamiento cuando se hacen operaciones de carga y descarga.
- A lo largo de toda la cubierta de carga se dispondrán mangueras contraincendios en cada domo de líquido para poder solventar pequeñas pérdidas en válvulas.
- Debajo de los sistemas más propensos a que puedan tener pérdidas se disponen bandejas de goteo como medida adicional.
- Durante las operaciones de carga y descarga se harán rondas para patrullar y que ninguna hipotética pérdida pase desapercibida.
- En caso de derrame o pérdida, se esprayaría agua sobre la zona para evaporar el metano y proteger el acero. La pérdida debería parar y si fuera necesario se pararían las operaciones.
- En caso de un derrame mayor cesarían las operaciones de carga o descarga inmediatamente, sonaría la alarma y se pondría en funcionamiento todo el sistema fijo de espray<sup>44</sup> de cubierta.

<sup>43</sup> Manifolds: Zona de la cubierta de carga donde se hacen las conexiones del barco con tierra.

<sup>44</sup> Sistema fijo de espray de cubierta: Línea dispuesta en la cubierta trunk con aspersores para proteger.

# SECCIÓN 3: SISTEMA INTEGRADO DE AUTOMACIÓN (IAS)

## 1. DISTRIBUCIÓN DEL CONTROL DE CARGA



*Figura 17: Distribución del control de carga (CCR)*

El espacio del control de carga (CCR) está situado en la acomodación con vista directa a la cubierta de carga o “trunk deck”<sup>45</sup>. Dicho espacio se utiliza para la monitorización y control de las operaciones, sistemas y equipos de carga. La consola principal del Sistema Integrado de Automación (IAS) se sitúa a popa babor del control de carga y se utiliza para la supervisión de la maquinaria de carga y equipos asociados.

Además en el control de carga también encontramos un ordenador dedicado para la administración del buque y otro para cálculos de estabilidad.



*Figura 18: Control de carga (CCR)*

<sup>45</sup> Trunk deck: Cubierta de carga.

## 2. SISTEMA DE AUTOMACIÓN INTEGRADO (IAS)

La mayoría de los equipos de carga se pueden controlar y monitorizar a través del IAS. Des del CCR se lleva a cabo la supervisión, monitorización y control de todos los equipos. La supervisión de alarmas se lleva a cabo con un sistema llamado “watch alarm system” que permite al oficial de guardia poder atender las alarmas des de los paneles de alarma situados en camarotes o cualquier espacio de recreo. Las estaciones del IAS están situadas:

- 3 en el control de carga (CCR)
- 2 en el control de la máquina (ECR)
- 1 en el puente
- 1 en el pañol de las UPS (Switchboard control room)

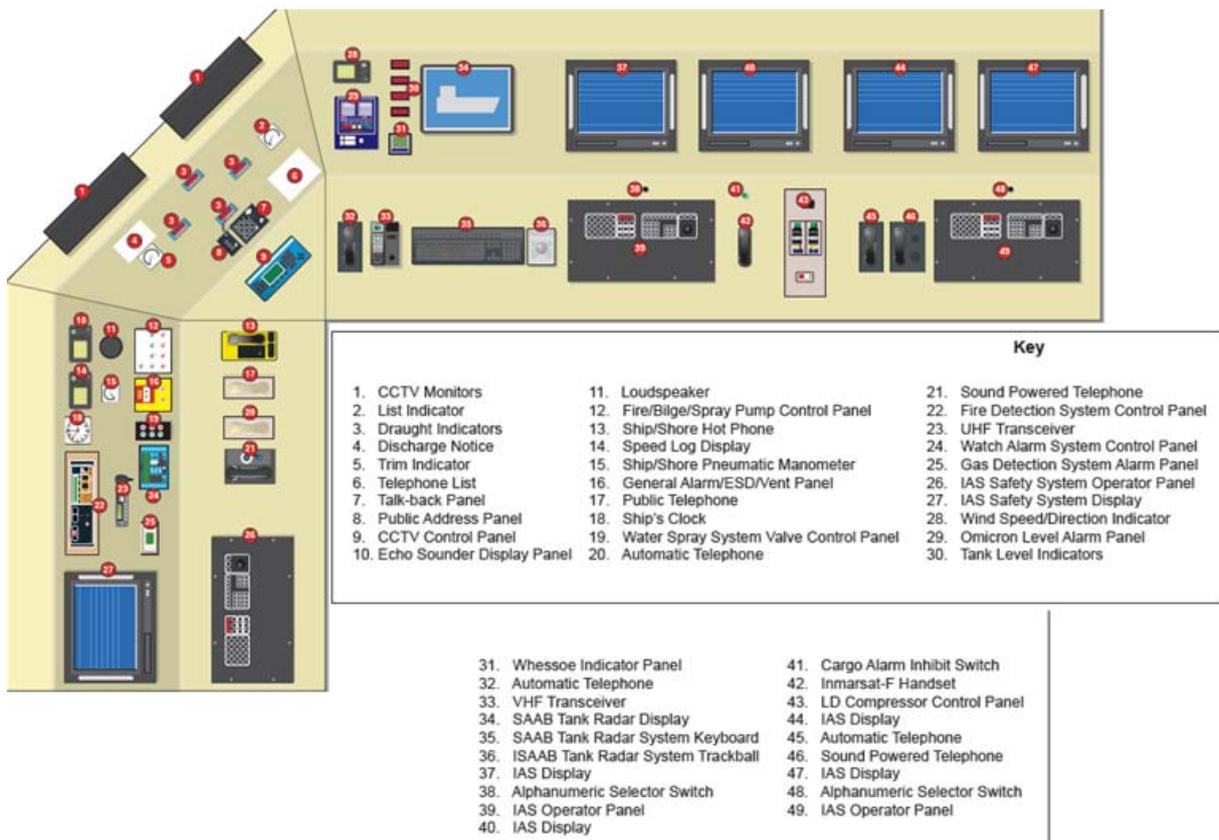


Figura 19: Consola de carga

Las funciones principales del IAS incluyen:

- Control de sistemas de carga y lastre.
- Control de la propulsión (caldera/máquina).
- Manejo del gas (compresores, calentadores, vaporizadores).
- Control de la planta eléctrica.
- Monitorización de alarmas de carga y máquinas.
- Control del generador de emergencia diesel.
- Monitorización de las alarmas de navegación.

- Sistema de alarmas de carga y máquinas (watch call system).
- Función de gráficas (trend function).

Des de estos tres espacios se controlan los siguientes grupos:

- **Puente:** Sistemas de navegación, carga, lastre, contra incendios, alarmas del IAS, alarmas comunes.
- **CCR:** Sistemas de carga, lastre, contra incendios, fuel-oil, gas, compresores y calentadores, nitrógeno, gas inerte, alarmas del IAS, alarmas comunes.
- **ECR:** Sistemas de la caldera, contra incendios, fuel-oil, gas, compresores y calentadores, nitrógeno, gas inerte, planta eléctrica, alarmas del IAS, alarmas comunes.



*Figura 20: Consola de carga*

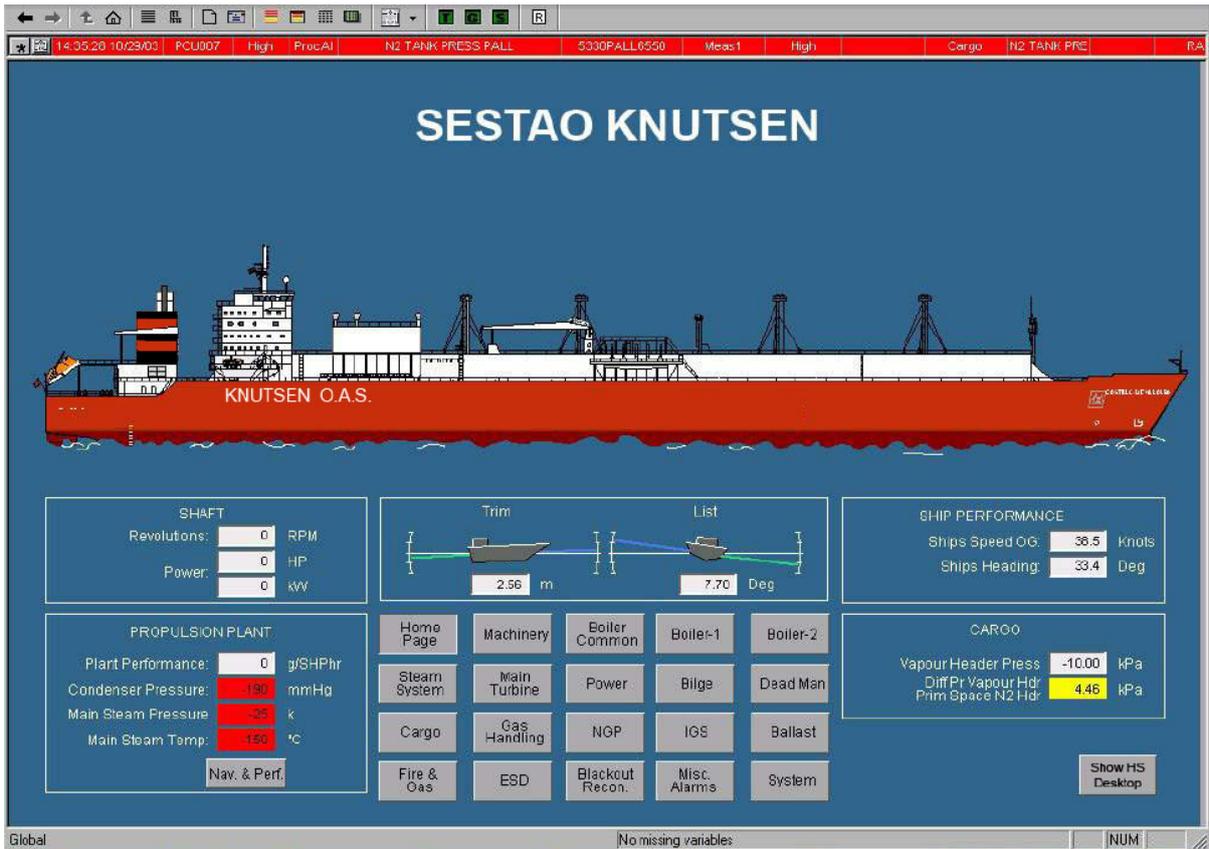


Figura 21: Pantalla principal del menú del IAS

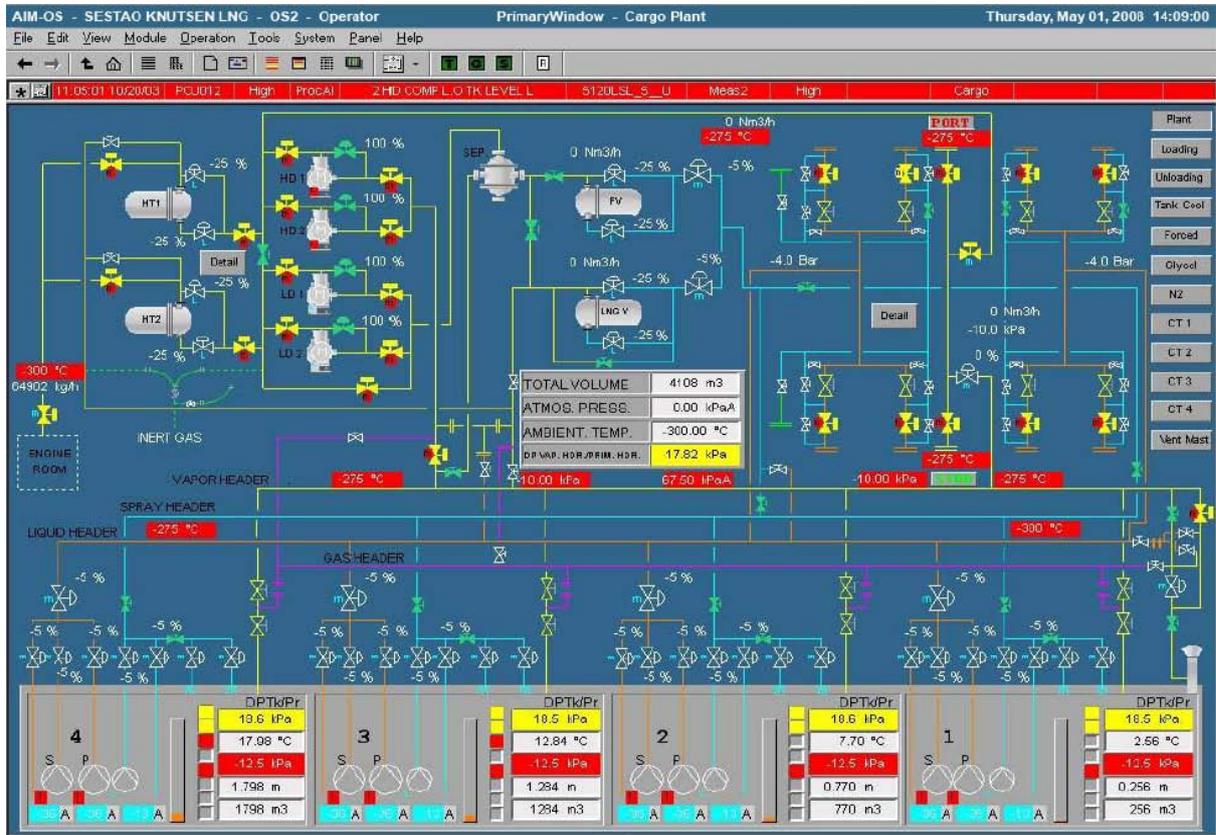


Figura 22: Pantalla de la planta de carga del IAS

### 3. WATCH ALARM SYSTEM

Este sistema monitoriza los espacios del control de carga y el control de la máquina durante las operaciones de máquina desatendida (UMS)<sup>46</sup>. El sistema dispone de unos paneles montados en el mamparo de ciertos espacios como los camarotes o espacios comunes. Los paneles se controlan desde las pantallas del IAS y sirven para avisar al puente y al oficial de guardia de la condición de las alarmas.

Hay dos tipos de paneles:

- La unidad del puente (WBU)
- Las unidades de los camarotes y espacios comunes (WCU)

Cuando aparece una alarma en la máquina suena en el camarote del oficial de máquinas de guardia, en el puente y en los espacios comunes. Si éste no la ha aceptado en tres minutos la alarma se volverá a repetir en todos los paneles.

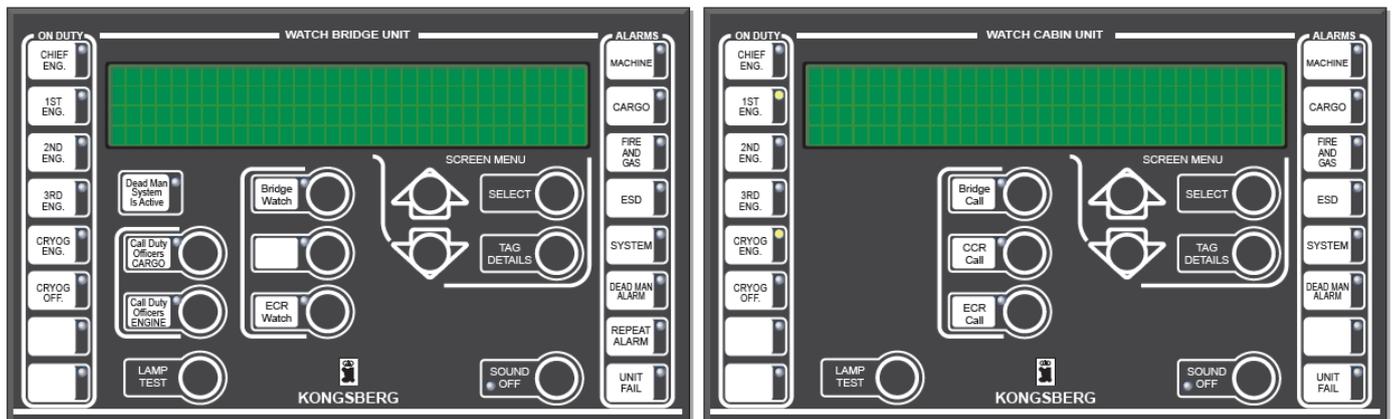


Figura 23: Paneles del sistema de watch call

<sup>46</sup> Máquina desatendida (UMS): Situación en la que los oficiales de máquinas monitorizan la máquina mediante alarmas sin estar presentes.

#### 4. SISTEMA DEL HOMBRE MUERTO

Este sistema está situado tanto en el puente como en la máquina de manera independiente y su función es la de asegurarse de que el oficial de guardia está en buenas condiciones ya que le obliga a resetear una alarma cada 20 minutos, en caso de no resetearla sonaría en el camarote del capitán o del jefe de máquinas según corresponda. Su finalidad es que en caso que el oficial falleciera o tuviera cualquier problema hubiera una respuesta dentro de un límite de tiempo relativamente corto.



*Figura 24: Paneles del sistema del hombre muerto*

## 5. SISTEMA DE CONTROL DEL BOIL-OFF GAS

La transferencia de calor del exterior del tanque hasta el líquido a través del casco y de los aislamientos primario y secundario produce una evaporación del líquido con lo cual se forma vapor. Este vapor es llamado boil-off gas y se debe extraer para mantener una presión adecuada a la del diseño de los tanques. El volumen del boil-off aumenta durante el viaje debido a la energía disipada por la agitación debido al movimiento del buque.

Este boil-off se extrae mediante el domo de vapor por la línea de gas y va dirigido al cuarto de compresores<sup>47</sup> donde es comprimido por el compresor low duty (LD)<sup>48</sup> y calentado en los calentadores para enviarlo a las calderas en la máquina.

Todas las válvulas, compresores, calentadores y vaporizadores están controlados desde el IAS en el control de carga (CCR) y el control de la máquina (ECR).

### CONTROL DE PRESIÓN DE LOS TANQUES DE CARGA

El sistema monitoriza la presión de la línea de vapor de dos modos:

- En absoluto: Presión atmosférica + Presión manométrica
- En manométrico: Únicamente presión leída en el manómetro.

Pero primero de todo el operador debe seleccionar el modo de viaje en el que se quiere que se tomen los datos del IAS:

De esta manera los sensores obtendrán y calcularán los datos correctos para operar. La función de los sensores es dar las siguientes señales:

- Suministro de gas disponible en los tanques de carga para el control de forcing vaporiser<sup>49</sup>.
- Exceso de dumpeo<sup>50</sup> de boil-off para el control de dumpeo de las calderas.
- Ajustes (tara de presión) para el control del palo de venteo.
- Control del palo de venteo

Los tanques de carga tienen unas alarmas de muy bajo nivel (low low), bajo nivel (low) y alto nivel (high). Las válvulas de alivio de presión están taradas a 25 kPa. A continuación se muestra una tabla:

<sup>47</sup> Cuarto de compresores: Ubicación en el barco donde se sitúan estas unidades que actúan como ventiladores transportando el LNG en estado gas.

<sup>48</sup> Compresor LD: Compresor cuya función es la de enviar el boil-off a la máquina.

<sup>49</sup> Forcing vaporiser: Es un equipo cuya función es la de pasar el LNG líquido a LNG vapor.

<sup>50</sup> Dumpear (dumping): Desechar el vapor producido por la caldera al quemar boil-off gas.

Description	Low Low	Low	High
No.1 cargo tank pressure	2kPa	3kPa	22kPa
No.1 cargo tank pressure for ESD	1kPa		
No.2 cargo tank pressure	2kPa	3kPa	22kPa
No.2 cargo tank pressure for ESD	1kPa		
No.3 cargo tank pressure	2kPa	3kPa	22kPa
No.3 cargo tank pressure for ESD	1kPa		
No.4 cargo tank pressure	2kPa	3kPa	22kPa
No.4 cargo tank pressure for ESD	1kPa		

### CONTROL DEL PALO DE VENDEO DE LOS TANQUES DE CARGA

La válvula del palo de venteo del tanque N.1 (CO48) se controla mediante el IAS y tiene tres niveles:

- Protección de los tanques de carga.
- Inhibir manualmente el venteo.
- Control del venteo.

En el modo de protección de los tanques de carga la válvula se abre al 100% cuando la presión de vapor excede los 22.5 kPa. La válvula permanecerá abierta hasta que la presión de vapor registrada en la línea de vapor sea menor de 22.4 kPa entonces volverá a cerrarse. Por otra parte en el modo de inhibir manualmente el venteo la válvula CO48 se mantendrá cerrada siempre que telégrafo de ordenes esté en máquina atrás o desde el puente se haya pulsado el modo inhibir venteo. Pero el modo de protección del tanque tiene la capacidad de anular este segundo modo. En el modo de control de venteo se controla la abertura de dicha válvula desde el IAS dependiendo de la presión de la línea de vapor cuando el boíl-off se dirige a la máquina para ser quemado en la calderas.

Siglas de la figura 25:

- DPAL: Alarma de bajo nivel de presión diferencial (Differential presure alarm low)
- DPT: Presión diferencial en el tanque (Differential presure tank)
- DPAVL: Alarma de muy bajo nivel de presión diferencial (Differential pressure alarm very low)
- PAHH: Alarma de muy alto nivel de presión (Pressure alarm high high)
- PAH: Alarma de alto nivel de presión (Pressure alarm high)
- PAL: Alarma de bajo nivel de presión (Pressure alarm low)
- PALL: Alarma de muy bajo nivel de presión (Pressure alarm low low)

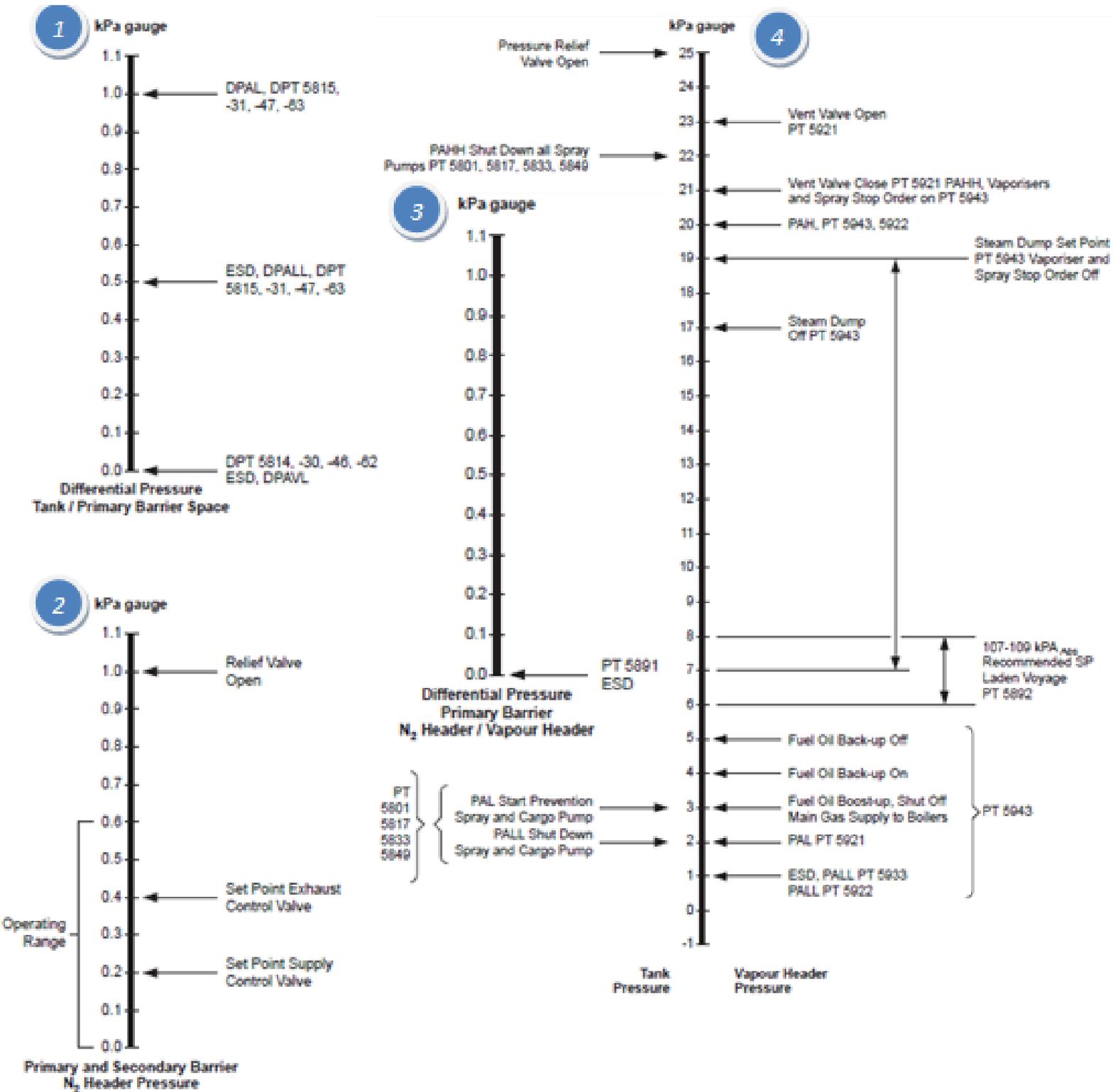


Figura 25: Ajustes de presión de los tanques

## CALENTADORES DE BOIL-OFF GAS

A través del IAS, se puede monitorizar la temperatura de salida del boil-off de los calentadores. En caso de que tripeáramos<sup>51</sup> el calentador, la válvula de entrada del calentador se cerraría y se abriría la de by-pass. El controlador de la caldera recibiría una señal del IAS conforme el calentador está tripeado y pasaría a quemar solo fuel oil ya que el boil-off no se puede quemar sin ser previamente calentado por su baja temperatura.

## CONTROL DEL COMPRESOR LOW DUTY

El compresor low duty recibe una señal de la posición de la válvula de suministro de fuel gas y de la presión en la línea de vapor y regula la salida de boil-off según la demanda de la máquina.

---

<sup>51</sup> Tripear: Parada de emergencia provocada por una seguridad que se acciona debido a un fallo (baja presión, alta Tº...)

## 6. CUSTODY TRANSFER SYSTEM (CTS) Y SONDA SAAB TANK RADAR

El LNG se compra y se vende según su poder calorífico, normalmente expresado en BTU (British Thermal Units) en vez de en base a su volumen o peso. Pero actualmente no hay ningún dispositivo que pueda determinar su poder calorífico neto durante la carga y descarga. Entonces el valor se calcula en parte por mediciones de la carga y en parte por un análisis del cálculo de la carga mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Energía total transferida (Q)} = V \cdot d \cdot HL - \frac{V \cdot Ts \cdot Pv \cdot Hv}{Tv \cdot Ps}$$

V = Cargo volume loaded or discharged at an average temperature TL ( $m^3$ ).

d = Density of cargo at temperature TL ( $kg/m^3$ ).

HL = Gross heating value of the cargo (kCal/kg).

Ts = Standard temperature ( $^{\circ}K$ ).

Tv = Average temperature of gas in the cargo tanks ( $^{\circ}K$ ).

TL = Average temperature of liquid in cargo tanks ( $^{\circ}K$ ).

Pv = The absolute pressure of the gas in the cargo tanks, ie, gauge pressure of gas + barometric pressure (kPa).

Hv = The gross heating value of gas vapour at  $15.6^{\circ}C$  and  $101.3kPa$ . This value is assumed to be a constant  $90718.5kcal/kg$  based on pure methane.

Para establecer el valor de la carga transferida hasta o des del buque, la responsabilidad de éste es medir y calcular los siguientes valores:

- V  $\longrightarrow$  Volumen cargado/descargado a la  $T^{\circ}$  media de los tanques ( $m^3$ ).
- Tv  $\longrightarrow$   $T^{\circ}$  media del gas en los tanques de carga ( $^{\circ}K$ ).
- Pv  $\longrightarrow$  Presión absoluta del gas en los tanques (P tanques + P atm.) (kPa).

Estas medidas y cálculos los hacen los representantes del buque y de la terminal y normalmente se contrata a un inspector ajeno a las dos empresas para que verifique los cálculos. Los valores **HL** y **d** se determinan en tierra en los puertos de carga y descarga y los cálculos los completan los compradores y vendedores. Aunque el barco expresa la cantidad cargada y descargada en metros cúbicos ( $m^3$ ).

## SISTEMA DE SONDA SAAB TANK RADAR

El transmisor de radar en el tope del tanque emite unas microondas, dirigidas por una antena, hacia la superficie del contenido del tanque. La antena posteriormente recoge el eco de la superficie. La diferencia de frecuencia entre la señal emitida y la reflejada es directamente proporcional a la distancia medida (ullage<sup>52</sup>).

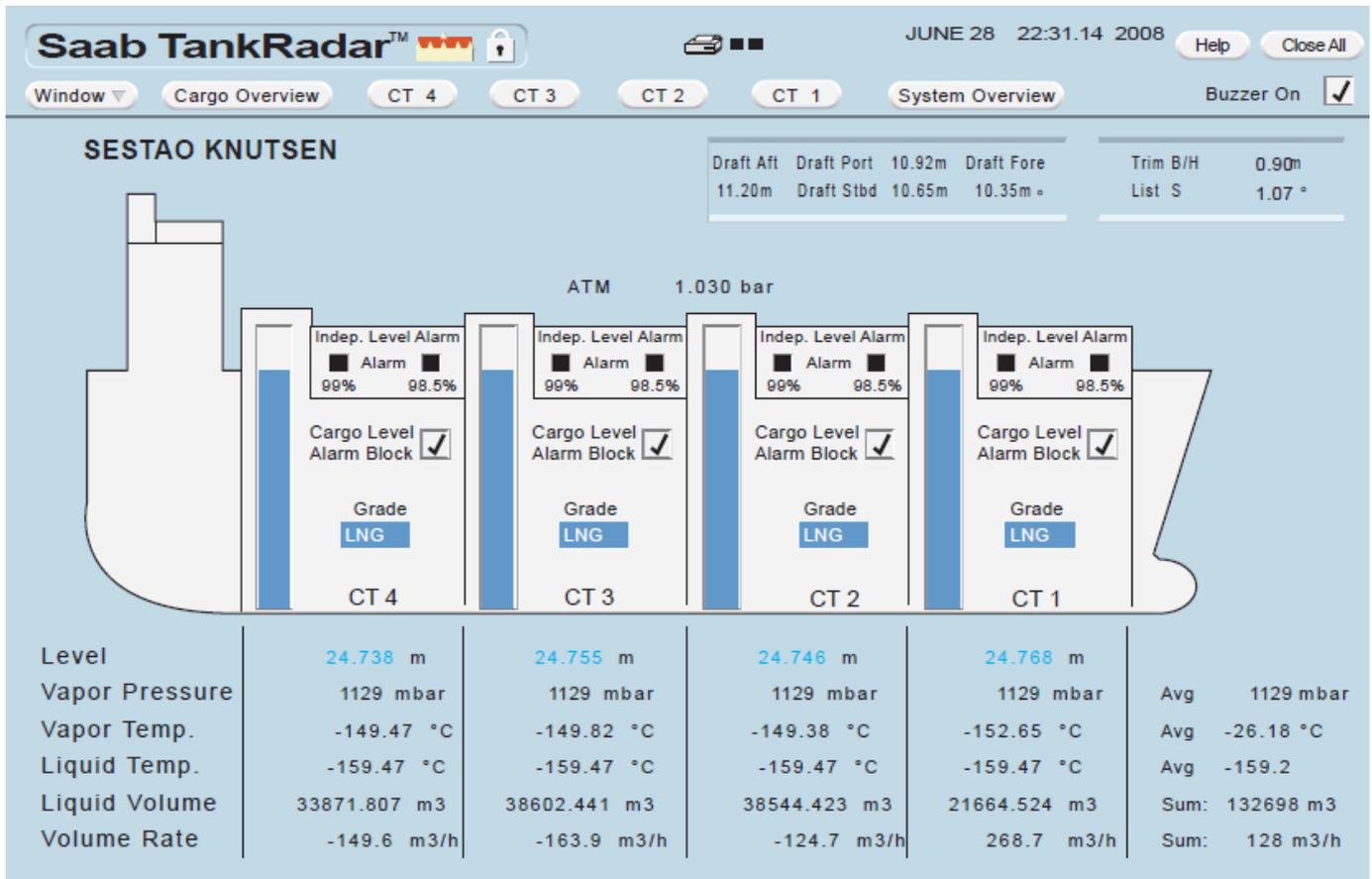


Figura 26: Monitor de nivel Saab Tank Radar

La unidad que mide el nivel tiene un acople intrínsecamente seguro para la electrónica del transmisor que procesa la señal enviada para calcular los parámetros del tanque como el ullage corregido por asiento<sup>53</sup> y escora<sup>54</sup>, temperatura media de la carga y comunicarse con la estación central. El sistema automáticamente toma medidas más frecuentemente en los tanques que están siendo cargados o descargados.

La sonda mide la distancia hasta la superficie del producto usando una onda radar continua de frecuencia modulada. Las sondas utilizadas para el LNG disponen de una antena en forma de cono como acople para toda la tubería de acero del tanque. Dentro

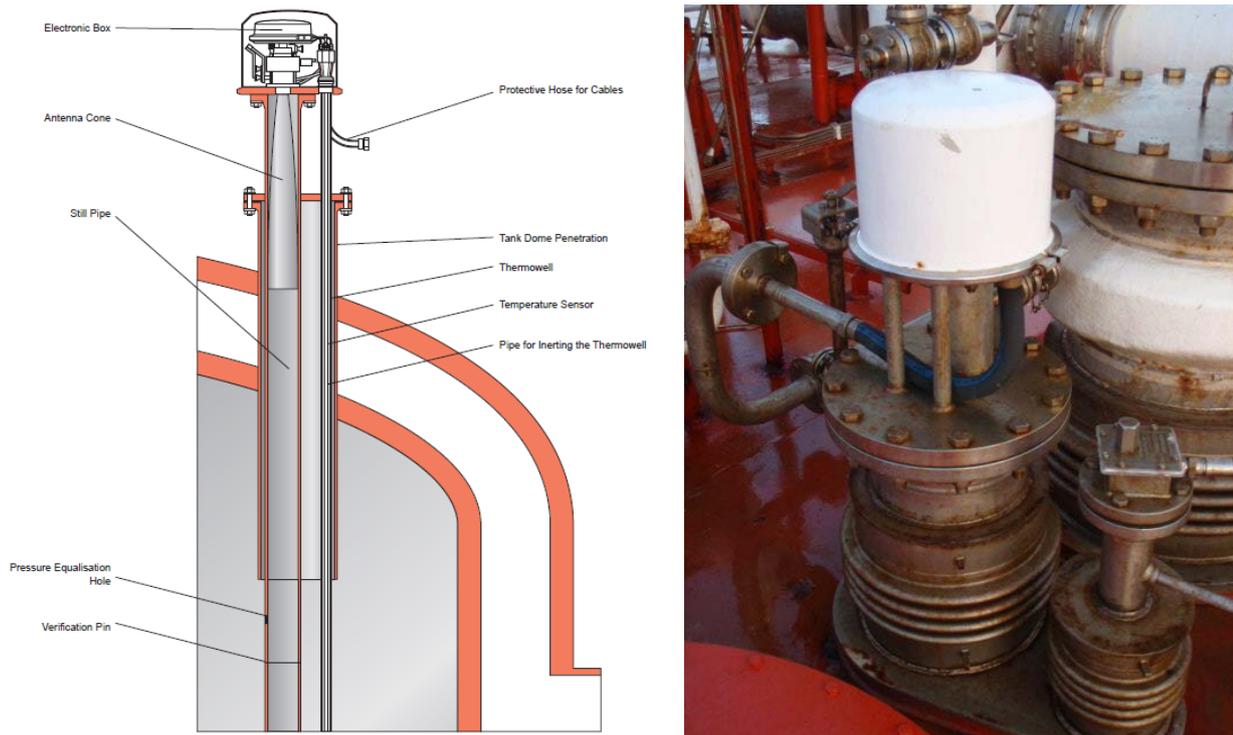
<sup>52</sup> Ullage: Es el volumen de un tanque que falta para que esté completamente lleno.

<sup>53</sup> Asiento: Es la diferencia entre el calado de popa (C<sub>pp</sub>) y el calado de proa (C<sub>pr</sub>) para una línea de flotación (F) determinada.

<sup>54</sup> Escora: Es la inclinación que toma un buque cuando éste se aparta de la vertical al sufrir un corrimiento de la carga u otros motivos.

de la tubería de la sonda se dispone el sensor de presión de vapor y hay conectados al terminal otros equipos como el sensor de temperatura.

La estación central en el control de carga (CCR) se utiliza para monitorizar los niveles del líquido, la temperatura media del líquido y del vapor, los volúmenes de carga a temperatura media y los demás datos manejados por el sistema Saab Tank Radar. Dicha estación también controla las alarmas de los niveles.



*Figura 27: Sonda Saab Tank radar.*

**After Unloading**

SHIP NAME  
 DATE  
 TIME  
 PORT NAME  
 VOYAGE NO.  
 CARGO/CHIEF OFFICER  
 TRIM (METRES) 0.17 BY STERN  
 LIST (DEGREES) 0.03 PORT  
 AVERAGE TEMP. LIQUID -158.31 DEG. C  
 AVERAGE TEMP. VAPOUR -151.83 DEG. C  
 AVERAGE PRESS. VAPOUR 1.152 mbar(a)

	TANK 4	TANK 3	TANK 2	TANK 1
LEVEL MEASUREMENT (M)				
NO. 1	2.327	0.207	0.221	0.212
NO. 2	2.327	0.204	0.226	0.214
NO. 3	2.333	0.208	0.229	0.216
NO. 4	2.329	0.214	0.222	0.214
NO. 5	2.328	0.212	0.219	0.212
AVERAGE LEVEL (M)	2.329	0.209	0.223	0.214
TRIM CORRECTION (M)	-0.068	-0.089	-0.089	-0.080
LIST CORRECTION (M)	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
CORRECTED LEVEL (M)	2.258	0.177	0.131	0.131

TEMPERATURE (DEG. C)				
T5	-148.09 V	-146.29 V	-147.79 V	-147.66 V
T4	-152.59 V	-150.66 V	-152.09 V	-152.06 V
T3	-154.36 V	-152.69 V	-153.59 V	-154.08 V
T2	-154.97 V	-153.56 V	-154.29 V	-154.59 V
T1	-158.37 L	-158.40 L	-158.29 L	-158.18 L
AVG. VAPOUR TEMP. (DEG. C)	-152.50	-150.80	-151.94	-152.09
AVG. LIQUID TEMP. (DEG. C)	-158.37	-158.40	-158.29	-158.18
VAPOUR PRESS. (mbar(a))	1,152	1,152	1,152	1,152
VOLUME (CUB. M)	1,629.053	135.469	153.321	136.317
VOLUME SUMMED (CUB. M)	2,054.160	(B)		

COMPANY                      NAME (PRINT)                      SIGNATURE

SHIP'S MASTER \_\_\_\_\_  
 BUYER(S) \_\_\_\_\_  
 SELLER(S) \_\_\_\_\_  
 SURVEYOR \_\_\_\_\_

Figura 28: Ejemplo del Custody Transfer Data

## CTS

El sistema tiene los siguientes propósitos:

- Proyectar los valores medidos del CTS.
- Permitir al operador generar los informes al inicio y final de la carga.
- Permitir al operador generar los informes al inicio y final de la descarga.
- Permitir al operador entrar valores manualmente.

Los reportes de CTS se generan manualmente en 4 fases:

- **Antes de la carga** → El estado y contenido de los tanques de carga inmediatamente antes de haber empezado las operaciones de carga.
- **Después de la carga** → El estado y contenido de los tanques de carga inmediatamente después de haber cargado. Eso incluye la diferencia de volumen entre antes y una vez finalizada la carga.
- **Antes de la descarga** → El estado y contenido de los tanques de carga inmediatamente antes de haber empezado las operaciones de descarga.
- **Después de la descarga** → El estado y contenido de los tanques de carga inmediatamente después de haber descargado. Eso incluye la diferencia de volumen entre antes y una vez finalizada la descarga.

**Entre una carga/descarga o una descarga/carga el contenido de los tanques varía debido al boil-off y su consumo.**

Todos los informes generados se guardan en un disco y se imprimen para archivar con el fin de tener un backup<sup>55</sup> de todas las operaciones. El informe inicial (antes de la carga y después de la descarga) llevará el nombre del puerto, del Chief officer<sup>56</sup> y el número de viaje del buque para guardar constancia.

<sup>55</sup> Backup: Es una copia de los datos originales que se realiza con el fin de disponer de un medio de recuperarlos en caso de su pérdida.

<sup>56</sup> Chief officer: Primer Oficial del buque cuyas funciones son el mantenimiento del barco y dirección de operaciones de carga/descarga, además de la gestión del buque.

Illustration 3.3.1d Example of Certificate of Loading

SHIP NAME  
 PORT NAME  
 VOYAGE NO.  
 CARGO/CHIEF OFFICER

**BEFORE LOADING**  
 DATE 13/02/2004  
 TIME 08:02  
 TRIM (METRES) 0.00 BY STERN  
 LIST (DEGREES) 0.00 PORT  
 AVERAGE TEMP. LIQUID -136.46 DEG. C  
 AVERAGE TEMP. VAPOUR -159.76 DEG. C  
 AVERAGE PRESS. VAPOUR 1,097 mbar(a)  
 ATMOSPHERIC PRESSURE 1,017 mbar(a)

AVERAGE LEVEL (M)  
 TRIM CORRECTION (M)  
 LIST CORRECTION (M)  
 CORRECTED LEVEL (M)

AVG. VAPOUR TEMP. (DEG. C)  
 AVG. LIQUID TEMP. (DEG. C)  
 VAPOUR PRESS. (mbar(a))  
 VOLUME (CUB. M)  
 VOLUME SUMMED (CUB. M)

TANK 1	TANK 2	TANK 3	TANK 4
0.038	0.037	0.051	0.076
0.022	0.030	0.030	0.026
0.006	0.010	0.007	0.003
0.060	0.018	0.026	0.024

-86.27	-83.99	-81.37	-83.03
-155.16	-103.08	-100.48	-104.74
1,135	1,134	1,135	1,135
39,116	84,377	98,374	106,764
328,631	(A)		

**AFTER LOADING**  
 DATE 14/02/2004  
 TIME 05:07  
 TRIM (METRES) 0.00 BY STERN  
 LIST (DEGREES) 0.00 PORT  
 AVERAGE TEMP. LIQUID -159.58 DEG. C  
 AVERAGE TEMP. VAPOUR -159.71 DEG. C  
 AVERAGE PRESS. VAPOUR 1,100 mbar(a)  
 ATMOSPHERIC PRESSURE 1,015 mbar(a)

AVERAGE LEVEL (M)  
 TRIM CORRECTION (M)  
 LIST CORRECTION (M)  
 CORRECTED LEVEL (M)

AVG. VAPOUR TEMP. (DEG. C)  
 AVG. LIQUID TEMP. (DEG. C)  
 VAPOUR PRESS. (mbar(a))  
 CORRECTED VOLUME (CUB. M)  
 VOLUME SUMMED (CUB. M)  
 VOLUME LOADED (CUB. M)

TANK 1	TANK 2	TANK 3	TANK 4
26.357	26.171	26.214	26.202
0.005	0.007	0.007	0.006
-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
26.358	26.174	26.217	26.204

-111.77	-103.77	-108.60	-104.86
-158.99	-159.05	-159.01	-159.06
1,112	1,112	1,112	1,112
24,165,114	38,749,694	38,776,963	34,455,682
136,147,453	(B)		
135,818,822	(B-A)		

COMPANY NAME

SHIP'S MASTER \_\_\_\_\_

BUYER(S) \_\_\_\_\_

SELLER(S) \_\_\_\_\_

SURVEYOR \_\_\_\_\_

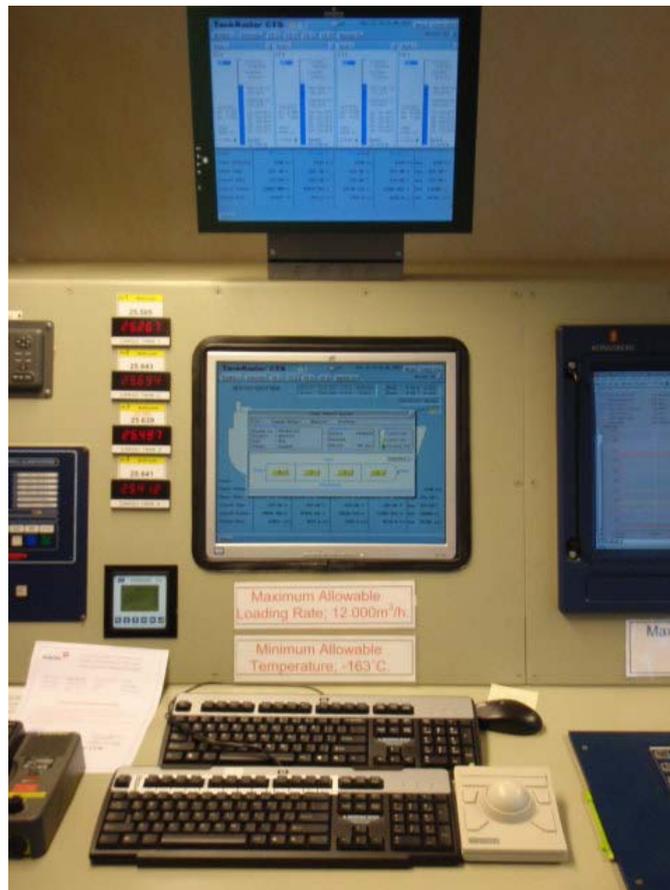
Figura 29: Certificado de carga

## FALLO DEL EQUIPO CTS

En el hipotético caso de que los equipos del CTS fallaran durante los cálculos del custody transfer, los niveles de los tanques tendrían que medirse con las sondas de flotador<sup>57</sup> Whessoe dispuestas en los tanques. Los cálculos de los volúmenes y correcciones deberían hacerse a mano usándose las tablas de sonda de los tanques<sup>58</sup>.

El flotador de las sondas debe estar estibado en la parte superior de la columna excepto cuando se hacen operaciones de carga y descarga.

El volumen bruto ( $m^3$ ) de carga que se lleva a bordo en los tanques antes y después de la carga y descarga se calcula utilizando el nivel medio de las lecturas. **Dicho volumen se corrige por escora, por asiento, por volumen, por presión de vapor y por temperatura de carga y vapor utilizando unas tablas que dan las correcciones para poder hallar un valor lo más preciso posible.** La diferencia entre estos dos volúmenes calculados antes y después de la operación será el volumen cargado o descargado.



*Figura 30: CTS*

<sup>57</sup> Sonda de flotador: Aparato cuya función es medir el nivel de los tanques.

<sup>58</sup> Tablas de sonda: Documento en papel que muestra datos sobre estabilidad del buque según el nivel de los tanques.

**ALARMAS**

El sistema da una serie de alarmas de nivel en los tanques. A continuación se ve un ejemplo de las alarmas en el tanque 1.

Tag	Description	Low low	Low	High	High High	V High	Ex High
CT124	No.1 CT level	0.2%					
CT125	No.1 CT level		0.37%				
CT126	No.1 CT level			95%			
CT127	No.1 CT level				98%		
CT128	No.1 CT level					98.5%	
CT129	No.1 CT level						99%

## 7. SONDA DE FLOTADOR

La sonda whessoe ha sido diseñada específicamente para buques LNG con la finalidad de medir precisa y constantemente el nivel de líquido en tanques durante las operaciones de carga y descarga de un buque. Cada sonda dispone de un transmisor intrínsecamente seguro debido a su situación dentro de los tanques. En el mismo instrumento se muestra un panel LCD que marca la altura de líquido existente y se lee desde la cubierta. La sonda whessoe también da la posibilidad de activar alarmas de alto nivel 95%, muy alto nivel 98.5% y bajo nivel a 0.37m mandando la señal al IAS.

Este mecanismo es un flotador con una cinta dentro de una tubería. La cinta de acero inoxidable mantiene siempre la tensión ya que dispone de un contrapeso y el flotador marca dentro de la tubería el nivel de líquido existente.



*Figura 31: Sonda de flotador*

La reducción del flotador a la temperatura del LNG es de 15mm y el mínimo nivel legible es 145mm. Se debe ser extremadamente cuidadoso a la hora de estibar el flotador en la parte superior de la sonda ya que si se aplica demasiada tensión puede partir la cinta y caer el flotador con lo que se perdería la utilidad de esa sonda. Para empezar la medición, se debe destrincar el flotador mediante una manivela e ir largando cinta hasta que el flotador llegue al nivel del líquido. Aunque el sistema de sondas Saab tank radar predomine sobre las sondas de flotador whessoe siempre se deben comparar en el CTS con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de ambas. Cada tanque de carga dispone de un sistema de sonda de flotador como sistema secundario por si fallara el primario.

Illustration 3.3.2a Whessoe Float Level Gauge

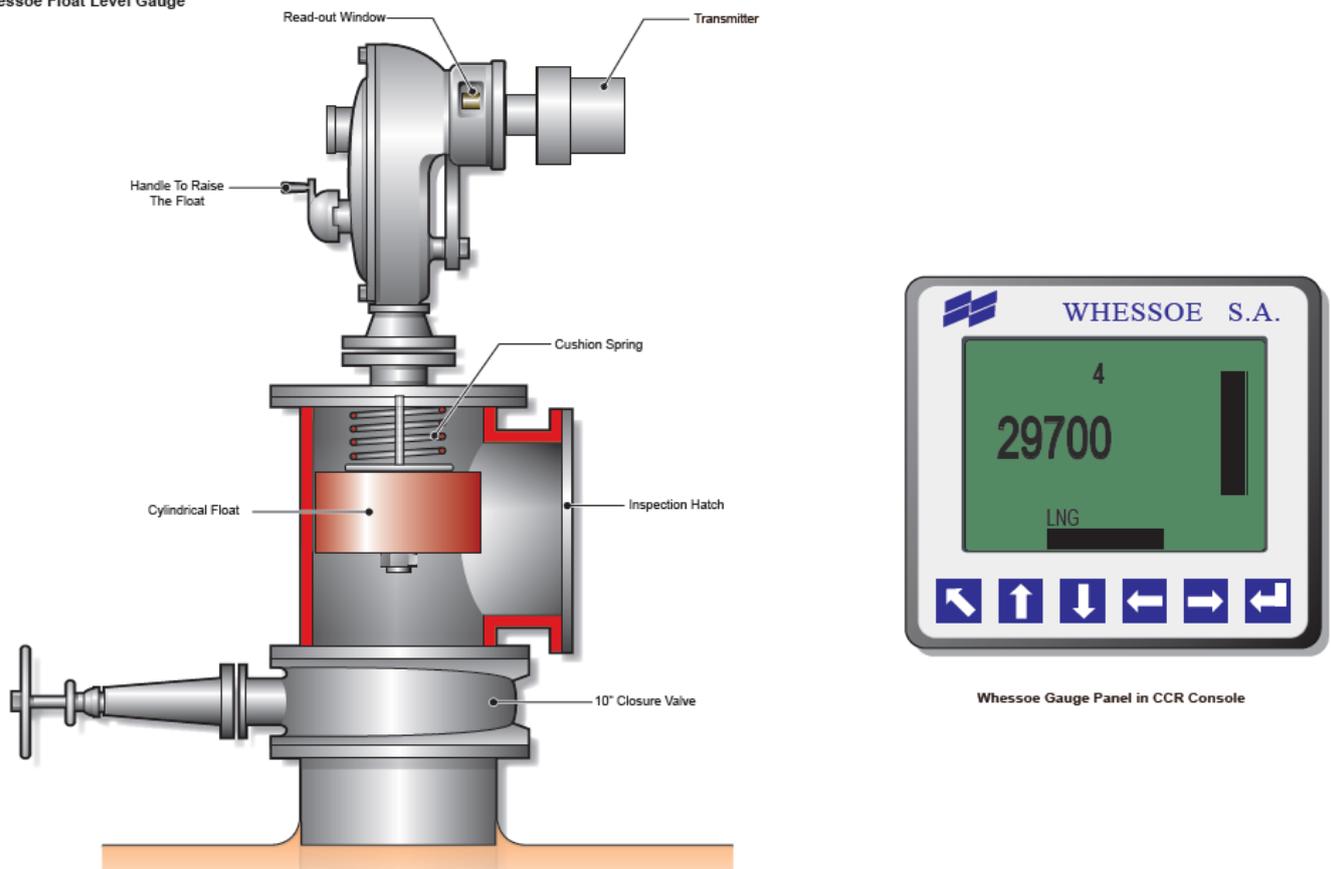


Figura 32: Sonda de flotador

La tubería del flotador tiene un diámetro de 305mm y está instalada verticalmente dentro del tripod mast. La parte inferior de la tubería de la sonda se queda a 75mm del fondo del tanque y está cerrada por una rejilla. A lo largo de la tubería dentro del tanque se disponen agujeros de 25mm de diámetro espaciados 300mm entre sí para evitar errores de nivel y permitir la libre circulación del líquido. La tubería acaba en la parte superior en una válvula que permita aislar el compartimento donde se estiba el flotador. Es un compartimento de acero inoxidable al cual se puede acceder para mantenimiento e introducir las herramientas de recuperación del flotador en caso de rotura de la cinta.

## MANTENIMIENTO

El sistema whessoe debe ser utilizado regularmente para asegurar su buen funcionamiento en caso de fallo del sistema primario. La diferencia de lecturas entre el sistema de flotador y el de radar debe ser anotado en cada operación. El flotador no se debe dejar al nivel del líquido después de las mediciones ya que el contrapeso de la cinta puede sufrir y deteriorarse con más facilidad. Las sondas están selladas y certificadas por la sociedad de clasificación<sup>59</sup> así que cualquier defecto en el sello debería ser comunicado para la recertificación. Al compartimiento superior llega una línea de nitrógeno para inertizar el interior.

## PÉRDIDA DEL FLOTADOR

En caso de pérdida del flotador, éste se puede pescar con una herramienta preparada para ello. Si este sistema no fuera satisfactorio se tendría que calentar el tanque, inertar y airear para entrar a reparar el flotador. En acabar la reparación la sonda debería ser recalibrada y sellada para cumplir los requerimientos de las partes del contrato, compradores y vendedores.

---

<sup>59</sup> Sociedad de clasificación: Son organizaciones no gubernamentales o grupos de profesionales, con el objetivo de promover la seguridad de la vida humana y propiedades (buques y plataformas offshore) así como la protección del entorno natural marino.

## 8. SISTEMA DE ALARMA DE ALTO NIVEL Y SOBRELLENADO

EL sistema de alarma de alto nivel de los tanques de carga del buque se dispuso para cumplir los requerimientos de la IMO<sup>60</sup>, USCG<sup>61</sup> y las sociedades de clasificación. Para cumplir dichos requerimientos las alarmas de alto nivel y sobrellenado están completamente separadas.

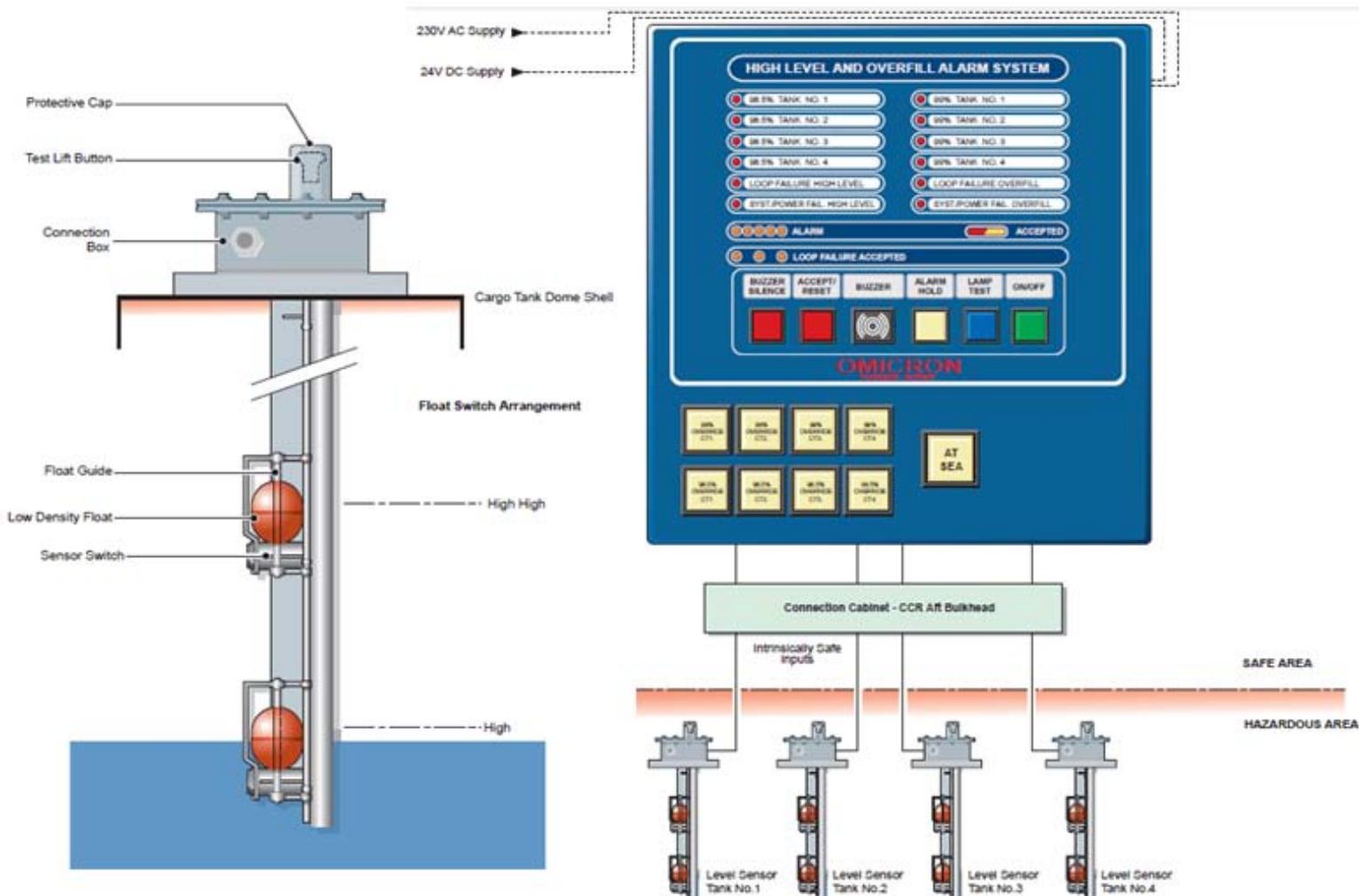


Figura 33: Sistema de alarma de alto nivel y sobrellenado

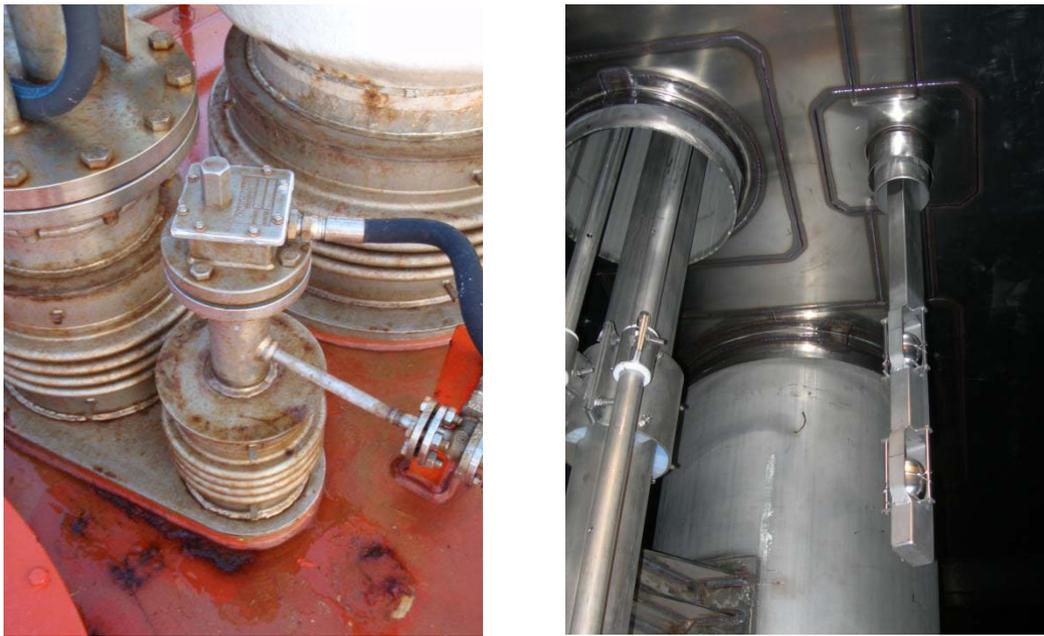
Los interruptores de nivel son de tipo flotador y pueden probarse independientemente desde el tope del tanque. La señal que envían los interruptores va directamente al IAS en el control de carga (CCR). Además de las alarmas de los tanques, el sistema también detecta fallos de señal.

El interruptor de nivel está formado por dos flotadores magnéticos. Si el flotador asciende debido al empuje del líquido un interruptor queda desactivado y la alarma suena. Cuando el flotador desciende el interruptor se activa cerrando el circuito.

<sup>60</sup> IMO: International Maritime Organisation.

<sup>61</sup> USCG: United States Coast Guard.

Cada interruptor de nivel está equipado con un mecanismo mecánico para hacer test. El pulsador de test está situado bajo una tapa protectora en el compartimiento superior en cubierta en cada domo de líquido. Elevando el pistón suavemente se activa la alarma de alto nivel (98.5%) de ese tanque. Acabando de elevar el pistón al máximo se activa la alarma de sobrellenado (99%). Ambas alarmas deben ser testeadas regularmente para asegurar su buen funcionamiento. La alarma de sobre nivel (99%) genera un ESD<sup>62</sup> cerrando la válvula de llenado. Encima del puente en la cubierta magistral<sup>63</sup> se sitúan unos indicadores de luz y sonido cuando estas alarmas suenan para alertar al personal de cubierta.



*Figura 34: Sistema de alarma de alto nivel y sobrellenado (OMICRON)*

<sup>62</sup> ESD: Emergency Shut Down.

<sup>63</sup> Cubierta magistral: Cubierta más alta del buque.

## 9. INDICADORES DE ESCORA Y ASIEN TO

El asiento y la escora del buque pueden medirse directamente mediante unos inclinómetros y se aplican las correcciones de ullage en el volumen de los tanques. El nivel y volumen de lastre puede ajustarse con el ordenador de carga. La información del asiento y escora se procesa directamente en el CTS para corregir las sondas y después se corrigen junto con las lecturas de las temperaturas. El valor final se envía al IAS que a su vez lo envía al ordenador de carga para calcular la estabilidad del buque. Los cálculos que genera el CTS con estos valores se utilizan para generar los informes del custody transfer al comienzo y finalización de cada operación de carga/descarga.

El transmisor funciona convirtiendo la posición angular del eje en una señal de corriente proporcional a dicha posición angular. Esta señal va de 4-20 mA y cuando da 0 mA es que el barco está adrizado<sup>64</sup> y en aguas iguales<sup>65</sup>. Cuanta más escora o asiento mayor es la señal de salida. Los inclinómetros se sitúan en la consola de carga en el control de carga (CCR).

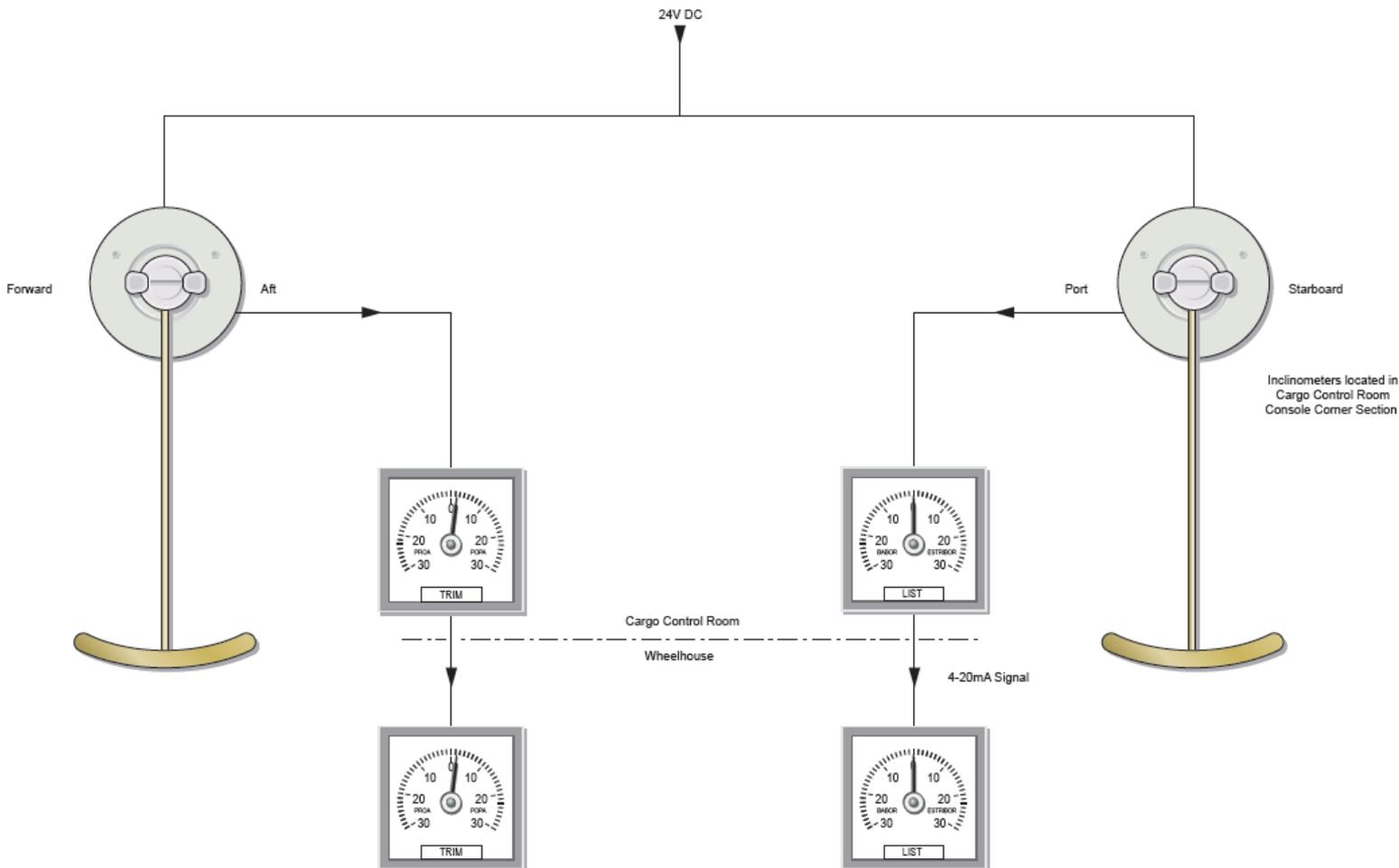


Figura 35: Indicadores de escora y asiento

<sup>64</sup> Adrizado: Buque en posición vertical transversalmente sin escora.

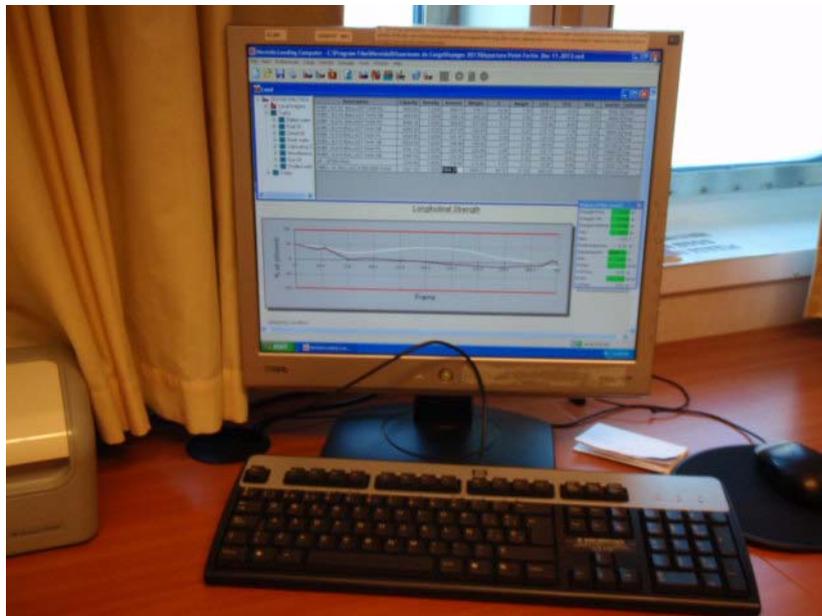
<sup>65</sup> Aguas iguales: Buque en posición vertical longitudinalmente sin asiento.

## 10. ORDENADOR DE CARGA

El ordenador de carga dispone de unos programas para planificar y evaluar la carga y descarga calculando instantáneamente la estabilidad y estreses del buque para cualquier condición dada. El software de control de carga está diseñado para calcular y controlar la carga, trimado, estabilidad así como:

- Calcular la carga del buque teniendo en cuenta datos sobre la provisión de pertrechos y víveres<sup>66</sup>, fuel, agua dulce y agua de lastre.
- Estimar el asiento, estabilidad y momentos y esfuerzos del buque.
- Estimar situaciones de “damage stability”<sup>67</sup> seleccionando los tanques u/o compartimientos y teniendo en cuenta diferentes tipos de inundación o varada.
- Asesorar sobre las medidas a tomar en las situaciones anteriores.
- Estimar la velocidad de seguridad del buque para el tipo de aguas en las que se va a navegar.
- Emisión de los documentos de carga.

El programa permite llevar un registro de los datos de todas las operaciones realizadas y condiciones dadas. Además estos datos se pueden reusar para modificación o reevaluación. Todos los datos del sistema se pueden enviar a tierra. Este ordenador recibe datos de todos los tanques y sondas y se conecta directamente con el IAS. Durante las operaciones de carga la información se actualiza constantemente.



*Figura 36: Ordenador de carga*

<sup>66</sup> Pertrechos y víveres: Son las piezas de repuesto de los buques, material y alimentos.

<sup>67</sup> Damage stability: Son las condiciones de estabilidad cuando el buque ha sufrido algún percance.

# SECCIÓN 4: SISTEMAS DE CARGA Y LASTRE

## 1. DETECCIÓN DE PÉRDIDA DE LÍQUIDO

El sistema de contención de la carga está formado por cuatro tanques dispuestos de proa a popa separados por cofferdams transversales y separados del casco externo por unos tanques de lastre que cubren la banda y el fondo del buque.

Este sistema para contener la carga tiene dos propósitos:

- Contener el LNG a temperatura criogénica.
- Aislar la carga de la estructura del casco.

El casco intermedio está revestido con el sistema Gaz Transport que consiste en dos conjuntos uno encima del otro de membrana fina y flexible sobre un aislamiento que soporta todo el sistema, llamado barrera primaria y barrera secundaria. Este sistema asegura que todos los movimientos y esfuerzos producidos por la carga se transmitan a través de las membranas y aislamientos al casco.

Puede darse el caso de que los sistemas de contención tengan pérdidas:

- Pérdida de vapor o líquido de LNG de la barrera primaria a la barrera secundaria.
- Pérdida de agua de lastre del casco intermedio a la barrera secundaria.
- Pérdida de agua de lastre del casco intermedio al cofferdam.



*Figura 37: Bomba neumática del cofferdam*

Normalmente el fallo de la barrera primaria es relativamente pequeño de manera que solo permite que el vapor pase al aislamiento primario. En caso de que pasara una cantidad pequeña de líquido al aislamiento primario este se vaporizaría debido a la diferencia de temperatura. Si fuera una cantidad grande entonces se quedaría en el fondo del aislamiento primario. El nitrógeno que presuriza los espacios de aislamiento primario y secundario está monitorizado por el sistema de recogida de muestras y analiza la cantidad de metano para detectar este tipo de pérdidas. En caso de detectar un 30% de LEL<sup>68</sup> o más, activaría la alarma de detección de gas en el IAS. Si la pérdida de la barrera primaria fuera considerable y se trasvasara LNG líquido al aislamiento primario el IAS marcaría lo siguiente:

- Incremento rápido de metano en el espacio de aislamiento.
- La presión subiría rápidamente en dicho espacio haciendo que posiblemente saltara la válvula de alivio de presión.
- Se activarían los sensores de baja temperatura. Hay 8 repartidos 2 por cada espacio de aislamiento secundario de manera que 1 es el que está en uso y el otro es de respeto<sup>69</sup>.
- Bajaría la temperatura del casco intermedio. Hay 17 sensores de temperatura dispuestos entre los cofferdams y el casco intermedio.



*Figura 38: Pocete del cofferdam*

<sup>68</sup> LEL: Lower explosive limit.

<sup>69</sup> De respeto: De repuesto.

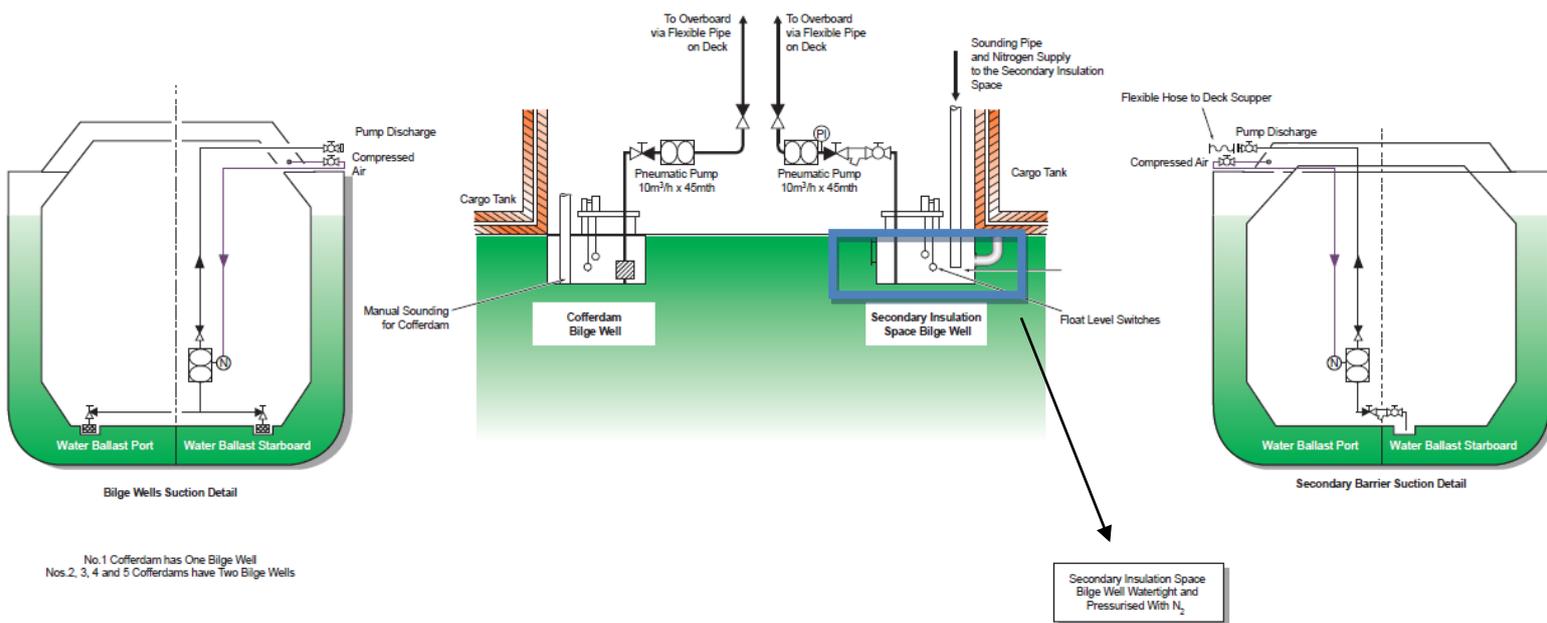


Figura 39: Pocetes de sentina para el agua del cofferdam y del espacio secundario.

En caso de fallo del casco intermedio el agua de lastre entraría en el cofferdam o en el espacio de aislamiento. En caso de que hubiera agua en el cofferdam se evacuaría con los dos pocetes de sentina<sup>70</sup> que hay en la parte inferior del cofferdam en la banda de estribor y babor mediante una bomba neumática.

Si por lo contrario el agua entrara en el espacio secundario, esta podría ser evacuada mediante otro pocete situado en el cofferdam que recoge el agua del espacio de aislamiento secundario y lo evacúa al exterior mediante una bomba neumática. Este pocete es estanco con una escotilla e inertado con nitrógeno debido a la posibilidad de encontrar vapor de LNG. Existe la posibilidad de airearlo mediante la tubería de la sonda.

La monitorización de estos espacios se lleva a cabo mediante el uso de dos interruptores de nivel de flotador conectados al IAS y una sonda. En el cofferdam N.1 hay 2 pocetes (1 para el agua del cofferdam y 1 para el agua del espacio secundario), en los cofferdam N. 2 – N. 5 hay 3 pocetes (2 para el agua del cofferdam y 1 para el agua del espacio secundario). En cada cofferdam hay 2 bombas neumáticas (1 para el agua del cofferdam y 1 para el agua del espacio secundario). La salida de la línea de las bombas neumáticas da a la cubierta principal y se podría evacuar por la borda mediante una manguera flexible.

**La capacidad de las bombas neumáticas es de 10 m<sup>3</sup>/h con una presión de aire de 4.5 bar.**

<sup>70</sup> Pocete de sentina: Espacio situado en una parte baja cuya función es recolectar líquidos procedentes de pérdidas.

## 2. SISTEMA DE LÍNEAS DE CARGA

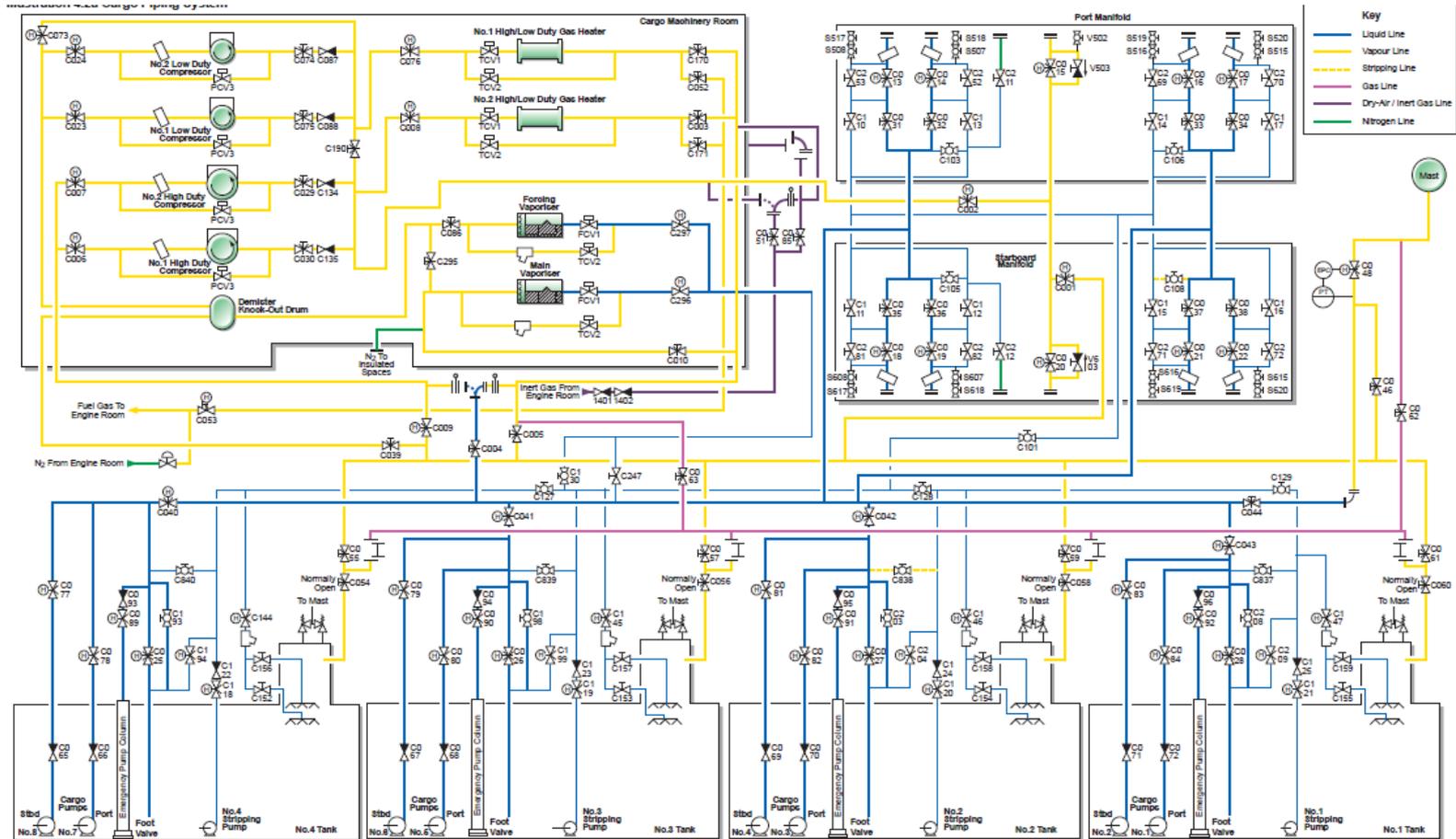


Figura 40: Sistema de líneas de carga

El líquido de la carga se carga y descarga mediante dos líneas principales en el manifold<sup>71</sup> y se entrega y recolecta de cada tanque mediante la línea de líquido del domo de líquido de cada tanque que recorre el trunk deck de proa a popa. Cada una de estas dos líneas principales de líquido se separa en dos más haciendo un total de cuatro brazos de conexión de carga/descarga de líquido a la altura del manifold.

Los domos de vapor de cada tanque de carga se comunican entre sí mediante la línea de vapor que recorre el trunk deck de proa a popa. Esta línea también tiene un brazo de conexión en cada manifold para regular la presión de los tanques durante la carga/descarga.

<sup>71</sup> Manifold: Zona del buque donde se realiza la conexión de los brazos de carga.



Figura 41: Sistema de líneas

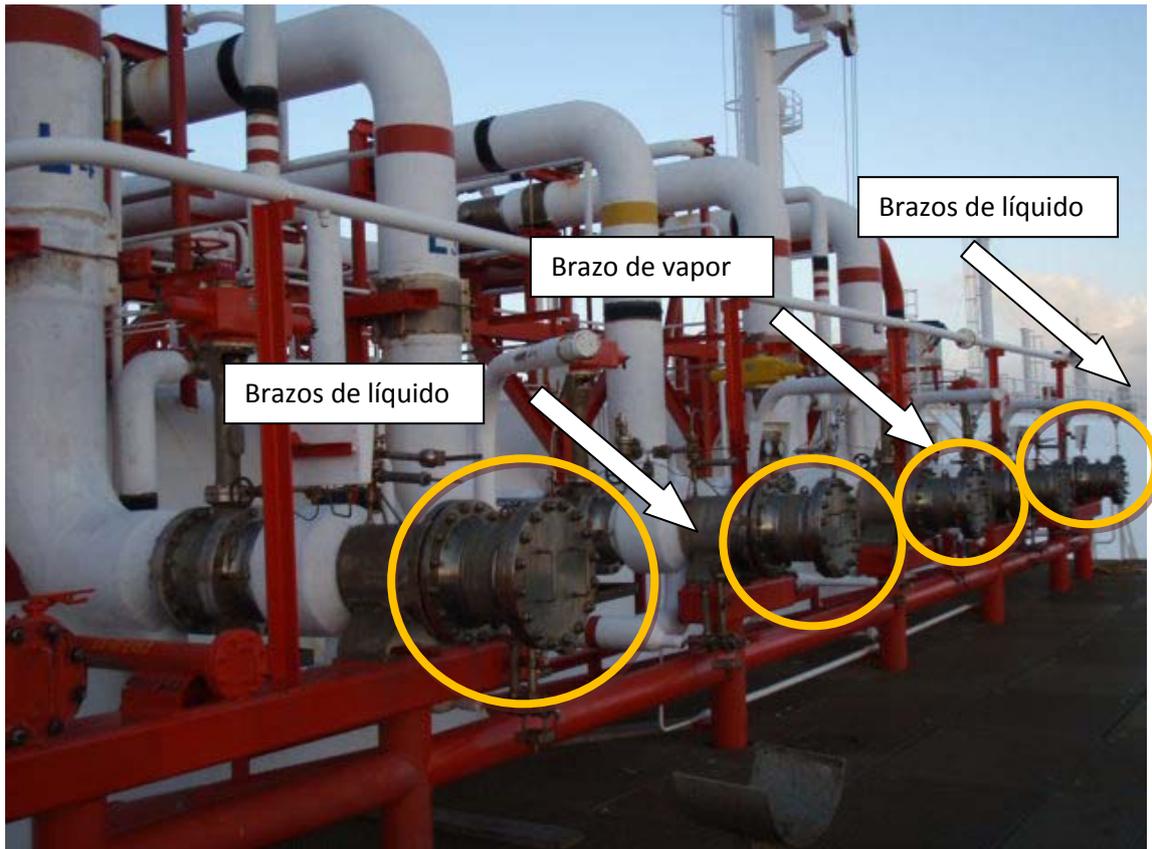


Figura 42: Brazos del manifold (L-L-V-L-L).

Cuando se hacen operaciones de carga, el líquido introducido en los tanques genera mucho vapor haciendo subir la presión de los tanques. Este vapor excedente se envía a la instalación de tierra mediante esta línea de vapor utilizando el compresor high duty. En cambio, cuando se hacen operaciones de descarga, el líquido evacuado de los tanques genera un vacío que tiene que ser compensado con vapor enviado por la terminal mediante la línea de vapor. En el caso de que la terminal no pudiera enviar vapor, parte del líquido de la descarga se pasaría por un vaporizador para generar vapor de la carga e introducirlo de nuevo en los tanques para compensar este vacío generado.

La línea de stripping/spray<sup>72</sup> es una línea de líquido más pequeña que tiene varias válvulas de conexión con la línea de líquido con el fin de drenar o enfriar los tanques. También se puede utilizar para esprayar los tanques cuando se está descargando para generar vapor de la carga si el retorno de vapor de tierra es insuficiente.

Las líneas de vapor y spray están conectadas a cada domo de vapor. Los domos de vapor también tienen válvulas de seguridad (taradas a ciertas presiones), sensores de presión y puntos de muestreo. La línea de espray dentro del domo de vapor se dispone en forma de dos platos en el tope del tanque que pulverizan el líquido para generar una mayor vaporización y conseguir un rango de enfriamiento mejor.

<sup>72</sup> Stripping/spray: Línea de líquido con menor caudal cuya función es empezar el enfriamiento de equipos y abastecimiento de líquido en menor cantidad y drenaje.

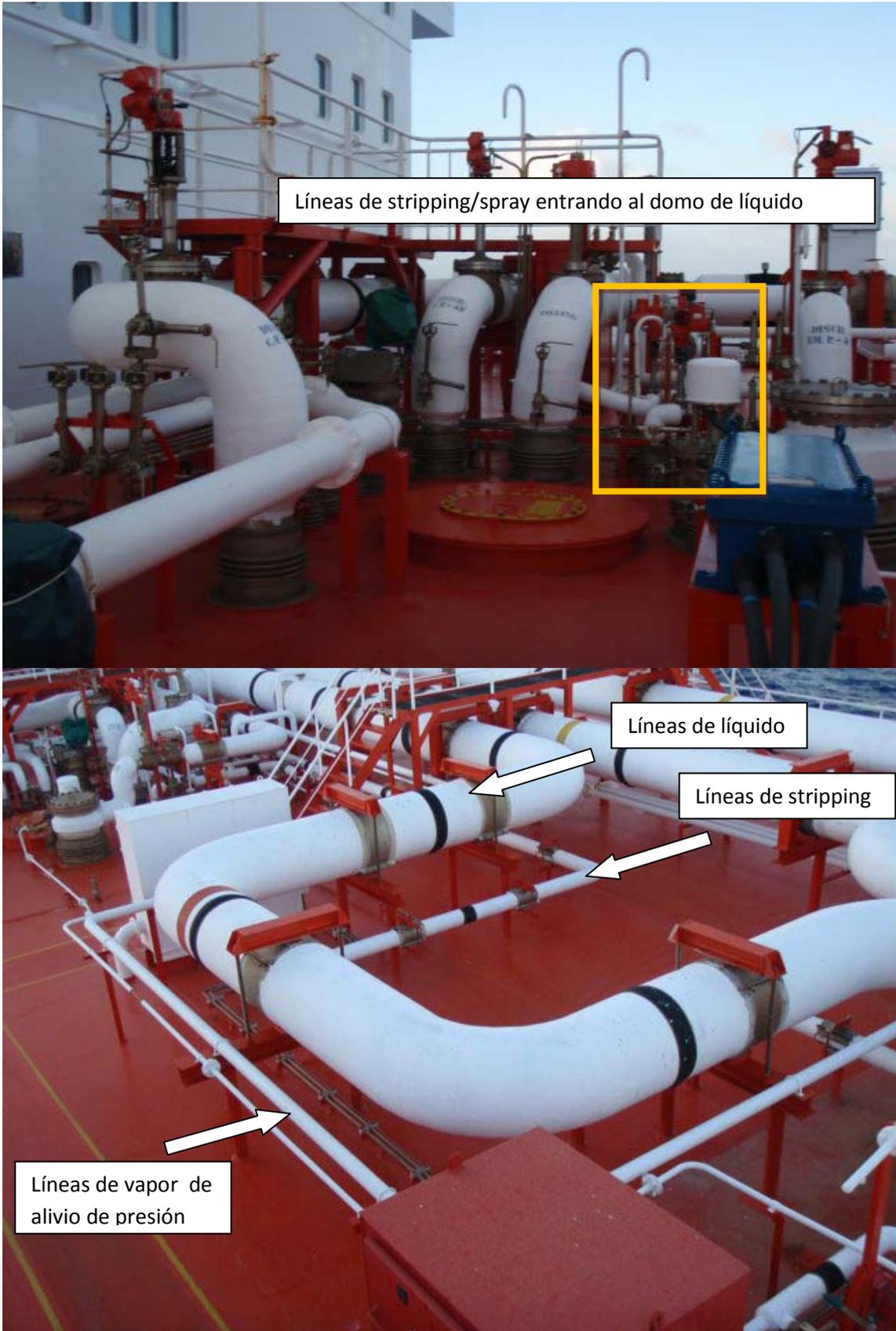


Figura 43: Domo de líquido y líneas de líquido

Las líneas de líquido, vapor y spray tienen conexiones al cuarto de compresores donde se conectan con los compresores, calentadores y vaporizadores para las funciones auxiliares. Hay una línea extra y varios codos de línea móviles para ocasiones infrecuentes pero necesarias como puede ser la entrada y salida de dique.



*Figura 44: Conexión de las líneas al cuarto de compresores*

La línea de vapor conecta todos los tanques a través de los domos de vapor en caso de tener que ventear boíl-off por el palo de venteo N.1. En este caso el vapor sobrante se evacuaría a la atmosfera. La línea de vapor también envía gas a la máquina para quemar en las calderas y generar vapor para la turbina a través del compresor low duty y de haber calentado el gas en los calentadores.

En la máquina se disponen un generador de gas inerte y aire seco que abastece a los tanques mediante las líneas de carga a través de una válvula de no retorno doble para evitar retorno de gases a la máquina.

Todas las líneas de carga están soldadas para evitar la posibilidad de pérdida de líquido en las juntas. Además todas las líneas están protegidas de manera que no se puede dar diferencias de potencial y electricidad estática entre la carga y las líneas, válvulas, tanques y otros equipos.

Todos los sistemas de líquido y vapor están diseñados de tal manera que absorban la contracción y expansión debido a las diferencias de temperatura. Todos los soportes y guías de las líneas mantienen los esfuerzos dentro de unos límites aceptables.

La línea de líquido dispone de tramos que pueden ser aislados mediante válvulas. Estos tramos aislados tienen válvulas de seguridad que conectan con el domo de vapor más cercano por si quedara líquido en las líneas y se evaporara haciendo subir la presión. Aunque la buena práctica debe evitar que quede líquido en esas zonas.



*Figura 45: Válvula de seguridad de la línea de líquido*

Las válvulas más importantes como las de los manifolds y las de carga y descarga de los tanques (Válvulas ESD<sup>73</sup>) se pueden operar a través del IAS remotamente así que las operaciones se pueden llevar a cabo desde el Control de carga (CCR). Cuando se ejecuta el ESD todas estas válvulas se cierran cesando las operaciones de carga y descarga.

Se disponen válvulas de no retorno en la descarga de cada bomba de carga. Éstas disponen de un agujero de 6mm para que drenen y puedan ser aireadas. También se disponen este tipo de válvulas en las descargas de los compresores. En el caso de las bombas de stripping/spray y la bomba de emergencia estas válvulas de no retorno están situadas después de las válvulas hidráulicas de descarga fuera del tanque. Sirven para regular el caudal de la descarga de la bomba y evitar contrapresiones que la dañen.

<sup>73</sup> ESD: Emergency Shut Down.

Como la bomba siempre va a las mismas vueltas se debe actuar sobre estas válvulas de descarga.

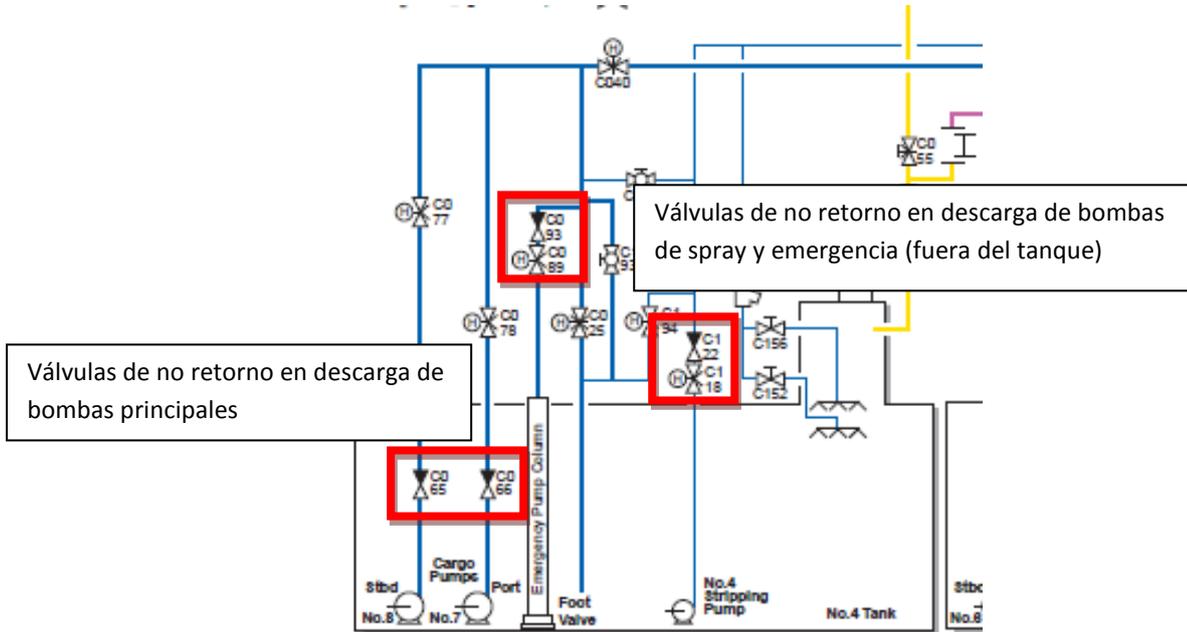


Figura 46: Válvulas de no retorno de las bombas de descarga

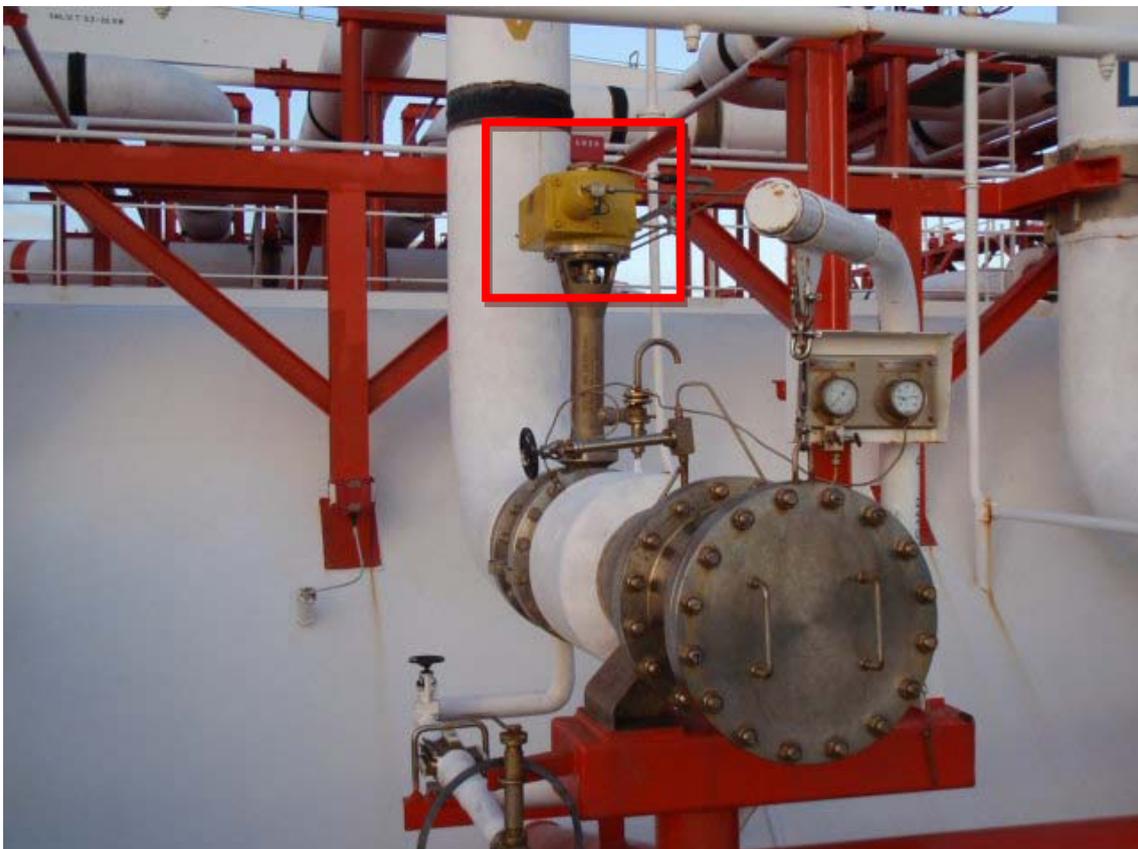


Figura 47: Válvulas ESD del brazo de vapor

## LÍNEA DE LÍQUIDO

Es un sistema de líneas soldadas de acero inoxidable criogénico de entre 44 y 66 cm de diámetro que conecta los cuatro tanques mediante una línea común a los manifolds. Cada tanque tiene un domo de líquido que se conecta a la línea para poder cargar y descargar individualmente ese tanque.

El domo de líquido se conecta a la línea principal por las líneas de las bombas de descarga de babor y estribor, bomba stripping/spray, bomba de emergencia y la línea de llenado.

En ciertos puntos de la línea de líquido hay puntos de muestreo y tapas ciegas<sup>74</sup> con el fin de facilitar el inertado y aireado de la línea en las operaciones de entrada y salida de dique.

## LÍNEA DE VAPOR

El sistema de vapor está compuesto por una serie de líneas de acero inoxidable criogénico de 44 a 66 cm de diámetro que conecta los cuatro tanques de carga, el cuarto de compresores y los palos de venteo mediante una línea común al brazo de vapor del manifold.



Figura 48: Línea de vapor conectada al domo y palo de venteo

<sup>74</sup> Tapa ciega: Pieza que cierra el extremo de un objeto o recipiente.

La línea al pasar por el cuarto de compresores permite:

- Enviar vapor a tierra mientras se está cargando con el compresor high duty con el fin de mantener la presión estable en los tanques.
- Enviar vapor a la máquina como combustible con el compresor low duty durante los viajes.
- Esprayar gas durante operaciones previas o posteriores a dique para purgar y secar los tanques.
- Enviar gas hasta el palo de venteo de proa con su válvula de seguridad para mantener la presión de todos los tanques en caso de emergencia.
- En ciertos puntos a lo largo de la línea hay tapas ciegas y puntos de muestreo para inertar y aerear durante las operaciones de entrada y salida de dique.
- Todas las secciones fuera de los tanques están recubiertas por una espuma de poliuretano rígida que actúa de barrera para hacer la línea estanca al agua.

Esta línea dispone de 2 transmisores de presión que están conectados al sistema de alarmas. Durante las operaciones de carga los valores de las alarmas de baja y alta presión se suelen tarar a 4.5 kPa y 15 kPa. Pero también hay unos valores preestablecidos de muy baja y muy alta presión a 2 y 20 kPa.

Alarms

Tag	Description	Low Low	High High
5120			
PT5931	Vapour header pressure	2kPa	20kPa
PT5943	Vapour header pressure	2kPa	20kPa

## LÍNEA DE STRIPPING/SPRAY

El sistema de stripping/spray está compuesto por una serie de líneas soldadas de acero inoxidable criogénico de entre 3 a 9 cm de diámetro que conecta las bombas de stripping de los cuatro tanques de carga mediante una línea común que sirve para:

- Pulverizar líquido de la carga desde el tope del tanque para enfriar los tanques y para generación de boil-off.
- Transferir líquido a las otras líneas para enfriarlas previa entrada a puerto.
- Recirculación de las líneas principales de líquido para que las bombas de carga trabajen mejor.
- Abastecer a los vaporizadores con líquido de la carga para generar gas a los compresores y calentadores.

En ciertos puntos a lo largo de la línea hay tapas ciegas y puntos de muestreo para inertar y aerear durante las operaciones de entrada y salida de dique. Todas las secciones fuera de los tanques están recubiertas por una espuma de poliuretano rígida que actúa de barrera para hacer la línea estanca al agua.



Figura 49: Doms de vapor (arriba) y líquido (abajo).

## LÍNEA DE GAS (OPERACIÓN EN UN TANQUE)

El sistema de gas está compuesto por una línea de 40 cm de diámetro que se puede conectar a la línea de vapor y al palo de venteo de proa para operaciones en un tanque. El uso de esta línea permite que se pueda llevar a cabo una reparación en un solo tanque sin tener que calentar e inertar todo el barco. La conexión de esta línea de gas con la de vapor se sitúa en cada domo de gas.



*Figura 50: Línea de gas*

Durante las operaciones en un solo tanque la línea de gas se puede conectar a la línea del generador de nitrógeno mediante un codo de línea móvil. En ciertos puntos a lo largo de la línea hay tapas ciegas y puntos de muestreo para inertar y aerear durante las operaciones de entrada y salida de dique.

## LÍNEA DE FUEL GAS PARA LA MÁQUINA

Durante el transporte del LNG en el mar, se genera vaporización de la carga (boíl-off) debido a la transferencia de calor del exterior (mar y aire) al interior de los tanques a través de los aislamientos. También la energía que genera el movimiento del LNG líquido a consecuencia del movimiento constante del buque produce boíl-off.

En condiciones normales, las calderas del buque queman este gas como fuel producido por la carga para generar vapor que mueve las turbinas. Este vapor de los tanques se

extrae a través de la línea de vapor y se pasa por un separador para eliminar impurezas y mediante el compresor low duty se envía a las calderas donde se quema como fuel.

### **LÍNEA DE VENTEO**

Durante las operaciones normales del buque la presión de los tanques se controla enviando el boil-off a la máquina para quemarlo en las calderas, o bien, se manda al exterior mediante el palo de venteo.

Aun así, cada tanque tiene dos líneas de 25 cm de diámetro con su propia válvula de seguridad. Estas dos líneas desembocan en una mayor de 48 cm de diámetro que va a parar al palo de venteo independiente de cada tanque. Los cuatro palos de venteo están protegidos con sistema de nitrógeno para parar la ignición de un fuego.

En ciertos puntos a lo largo de la línea hay tapas ciegas y puntos de muestreo para inertar y aerear durante las operaciones de entrada y salida de dique. Todas las secciones fuera de los tanques están recubiertas por una espuma de poliuretano rígida que actúa de barrera para hacer la línea estanca al agua.

### **LÍNEA DE AEREACIÓN/INERTIZACIÓN**

El sistema de aereación/inertización está compuesto por una línea de 44cm de diámetro que abastece de gas inerte y aire seco a los tanques de carga y las líneas para inertar y secar durante las operaciones de entrada y salida de dique. El gas inerte/aire seco lo proporciona la planta de gas inerte de la máquina. Esta línea se conecta a la línea de vapor y a la de líquido mediante codos móviles. La línea está dispuesta de tal manera que permite operar en todos los tanques a la vez o en uno solo según se requiera y también en el cuarto de compresores.

### 3. BOMBAS DE CARGA

#### BOMBAS PRINCIPALES

Manufacturer:	Ebara International Corporation
Type:	12EC-24
Capacity:	Rated at 1,700m <sup>3</sup> /h at 150mth
Min. continuous flow:	562m <sup>3</sup> /h
Motor rating:	3,300V 522kW 111A
Motor speed:	1,800 rpm

Los tanques de carga disponen de 2 bombas principales cada uno. Estas son centrífugas y de una fase lo cual ayuda a que el NPSH<sup>75</sup> sea más bajo. Tienen el motor sumergido con lo que el LNG actúa como refrigerante y lubricante. Las bombas se pueden arrancar y parar desde el CCR mediante el IAS. Además la activación del ESD también las para.

La capacidad de la bomba es de 1700m<sup>3</sup>/h medidos a 150 mth, se refiere a una cierta columna de presión.

El procedimiento y los conocimientos que se deben seguir para arrancar una bomba son los siguientes:

- Chequear el líquido de los tanques. Si la bomba no está sumergida en líquido no puede ser arrancada.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba sobre un 20%. Si la válvula está cerrada la bomba no arrancará y si está totalmente abierta la bomba se sobrecargará.
- Se arranca la bomba y se monitorizan dos valores:
  - o La presión de descarga.
  - o La corriente de la bomba: Tendrá un pico los primeros 3 segundos hasta que la línea de descarga se llena de líquido. El pico no puede ser superior al 150% de la corriente máxima. Si se da este caso se debe parar la bomba.
- Cuando se llena toda la línea de descarga se debe observar un aumento en la presión de descarga y un descenso en la corriente.
- Una vez la bomba está operando con normalidad, la válvula de descarga se puede ir ajustando para dar el rate<sup>76</sup> acordado. Pero siempre teniendo en cuenta que está trabajando con la corriente correcta.

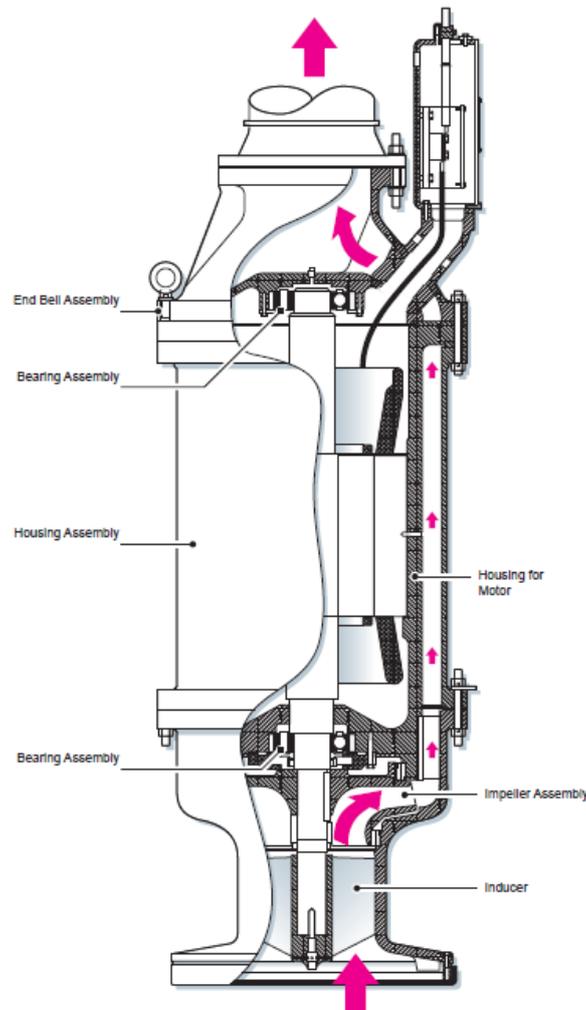
<sup>75</sup> NPSH: "Net positive suction head" valor que indica la presión mínima de aspiración a la que debe trabajar una bomba.

<sup>76</sup> Rate: Flujo.

**Cerrar la válvula (descarga): aumento de P y descenso de corriente**

**Abrir la válvula (descarga): descenso de P y aumento de corriente**

Las bombas de carga se pueden arrancar un máximo de 3 veces seguidas. Después de la tercera vez se debe esperar un periodo de 30 minutos para volver a arrancar 3 veces.



*Figura 51: Bomba principal de carga*

Las bombas tienen un flujo de diseño al cual trabajan idóneamente. Pero a veces no se puede operar con este flujo porque los requerimientos de la terminal lo impiden ya que no pueden trabajar con el volumen de carga por hora que se les quiere entregar. En este caso es mejor trabajar con 1 bomba al 100% de su flujo que con 2 al 50%.

Cuando la descarga se acerca a su fin y tenemos muy poco líquido en los tanques (0.8 – 1m de líquido) la succión de la bomba se acercará al NPSH. Entonces se debe empezar a cerrar la válvula de descarga para evitar fluctuaciones en la corriente y presión de descarga. La válvula se podrá cerrar hasta que el flujo mínimo de la bomba sea de 562

$m^3/h$  por debajo del cual se para. El nivel correspondiente de líquido en el tanque será de 10 cm.

**Las bombas nunca se deben hacer funcionar en seco, ni aunque solo sea un momento ya que se producirá fallo del motor.**

**Las bombas de stripping son una excepción ya que se pueden hacer funcionar casi sin succión pero con líquido en la línea hasta unos 30 segundos.**

Cuando el nivel de los tanques llega sobre el metro de altura se debe tener especial precaución en no parar las bombas hasta que se haya descargado todo el líquido del tanque ya que puede suceder que no sean capaces de volver a funcionar debido a la poca columna de presión que ejerce el líquido. En el caso de que la terminal mande parar el envío de carga, la mejor opción es recircular el líquido en el tanque.

## BOMBAS DE STRIPPING/SPRAY

Manufacturer:	Ebara International Corporation
Type:	2EC-092
Capacity:	Rated at 50m <sup>3</sup> /h at 145mth
Min. continuous flow:	16.4m <sup>3</sup> /h
Motor rating:	440V 22.4kW
Motor speed:	3,600 rpm
Starting time:	1.2 seconds

Los tanques de carga disponen de 1 bomba de stripping cada uno. Son similares a las bombas principales y el procedimiento para arrancarlas también es el mismo. Pero la finalidad de éstas es la de enfriar los tanques y líneas de carga antes de una operación de carga después de un viaje en lastre<sup>77</sup>. Se pueden arrancar y parar des del IAS en el Control de Carga (CCR) pero en caso de emergencia se podrían parar mediante el ESD.

<sup>77</sup> Viaje en lastre: Viaje que se realiza des del puerto de descarga al puerto de carga. El buque no va cargado. Los tanques de lastre van llenos para mejorar la estabilidad.

PFC

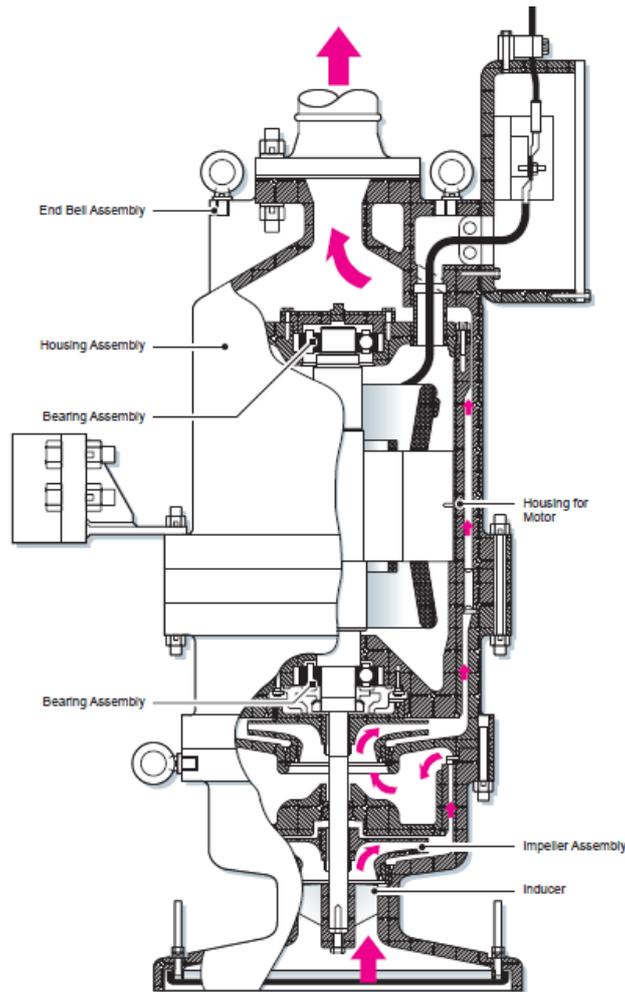


Figura 52: Bomba de stripping/spray

Estas bombas se utilizan:

- Para enfriar la línea de líquido antes de descargar.
- Para enfriar los tanques de carga durante el viaje en lastre mediante unos pulverizadores en el tope del tanque antes de cargar.
- Para bombear LNG a los vaporizadores en caso de que se quisiera quemar más gas en las calderas y el boíl-off natural no fuera el suficiente.
- Para descargar el máximo nivel de líquido debido a que estas bombas están muy próximas al plan del tanque si se tuviera que entrar a reparar.

Siempre que sea posible estas bombas se arrancaran lo antes posible ya que deben tener un nivel mínimo (0.5m) de LNG para poder cebarse.

**BOMBAS DE EMERGENCIA**

Manufacturer:	Ebara International Corporation
Type:	8ECR-12
Capacity:	Rated at 550m <sup>3</sup> /h at 150mth
Min. continuous flow:	189m <sup>3</sup> /h
Motor rating:	440V 223.8kW
Motor speed:	3,600 rpm
Starting method:	Direct on line (DOL)
No. of stages:	1
No. of sets:	1 (located in the deck store)

Se dispone de una sola bomba de emergencia que está estibada<sup>78</sup> en un pañol<sup>79</sup> en el trunk deck cerca de los domos. Además cada tanque en su domo de líquido tiene una columna a la cual se accede desde la cubierta de carga y llega hasta el fondo del tanque donde está cerrada por una válvula para que no haya gas en la columna. La bomba solo se montaría si fallaran las dos bombas principales de un mismo tanque pero antes de montarla se inertizaría con nitrógeno la columna. El mismo peso de la bomba de emergencia al llegar al fondo de la columna abriría la válvula del fondo para que entre en contacto con el líquido. Mientras se monta la bomba debe haber un flujo positivo de nitrógeno dentro de la columna para evitar que una hipotética pérdida de gas entrara en la columna.

**Antes de realizar esta operación se debe rebajar la presión del tanque casi hasta la atmosférica y mantenerla toda la operación**

Una vez montada la bomba de emergencia se puede arrancar localmente o a través del IAS.

Después de salir de puerto se hace un test de aislamiento de las bombas para comprobar que operan correctamente y en caso de que no lo hicieran hubiera tiempo para proceder al montaje de la bomba de emergencia antes de llegar al siguiente puerto. En el test de aislamiento se chequearía que las fases de éstas están bien y cada circuito es independiente.

Se deben tener ciertas precauciones:

<sup>78</sup> Estibar: Cargar, descargar y distribuir ordenadamente las mercancías en los barcos.

<sup>79</sup> Pañol: Nombre que recibe un cuarto en nomenclatura marítima.

- Sumergir toda la bomba en LNG líquido y esperar 1 hora para que se lleve a cabo la estabilización térmica. Después de esto se puede arrancar.
- No debe arrancarse con ninguna válvula de descarga cerrada ya que puede sufrir falta de lubricación y refrigeración además de vibración excesiva.
- Siempre se debe operar entre el flujo máximo ( $550m^3/h$ ) y el mínimo ( $189m^3/h$ ).



*Figura 53: Bomba de emergencia estibada en el deck house (arriba) y caja de conexiones en el domo de líquido (abajo)*

#### 4. COMPRESORES DE CARGA

##### COMPRESORES HIGH DUTY

En el cuarto de compresores se disponen 2 compresores high duty<sup>80</sup> (HD) para comprimir el vapor del LNG y enviarlo de vuelta a la terminal para mantener la presión en los tanques durante:

- Operaciones de carga.
- Purga de tanques.
- Enfriamiento de tanques.
- Calentamiento de tanques.

Estos compresores son centrífugos y tienen un motor eléctrico de 850 kW situado en otro compartimiento adyacente, llamado cuarto de motores eléctricos, y separados por un mamparo estanco<sup>81</sup> al gas. El eje que une el motor con el compresor pasa a través de este mamparo y dispone de un sello de nitrógeno.

Mass flow:	46,200kg/h
Suction volume:	30,010m <sup>3</sup> /h
Inlet pressure:	1.06 bar absolute
Outlet pressure:	1.96 bar absolute
Inlet temperature:	-140°C
Outlet temperature:	-113.8°C
Shaft speed:	11,200 rpm
Motor:	ABB AMA 450L2L BSEMH
Motor speed:	3,580 rpm
Motor rating:	3,300V 850kW 172A

Los compresores se pueden arrancar localmente, o bien, des del control de la máquina (ECR). La capacidad del compresor se controla mediante el ángulo de la palas.

<sup>80</sup> High duty: Tipo de compresor de gran capacidad cuya función es comprimir el LNG en estado gas y transportarlo.

<sup>81</sup> Estanqueidad: Indica la impermeabilidad de una estructura o mecanismo dado para evitar la entrada o salida de un fluido.

# CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

PFC

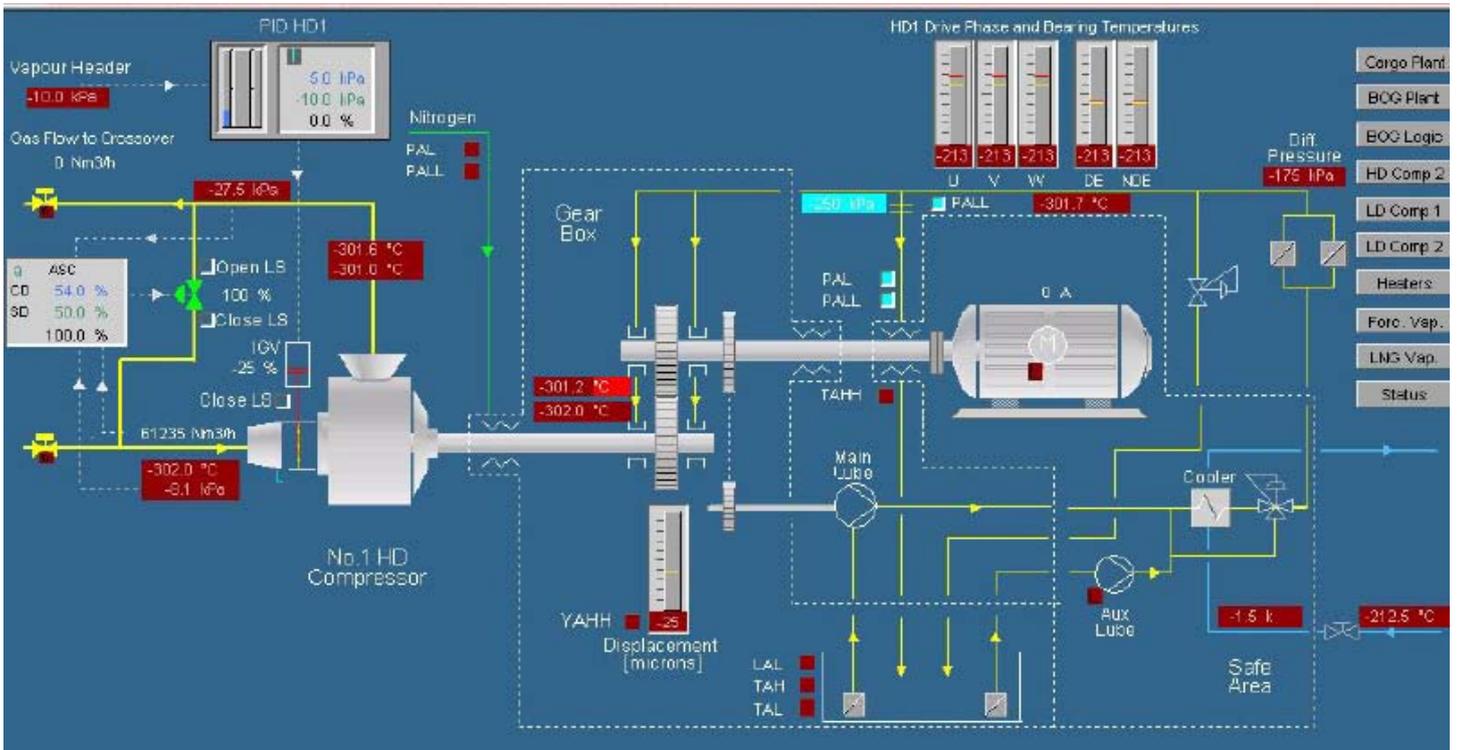
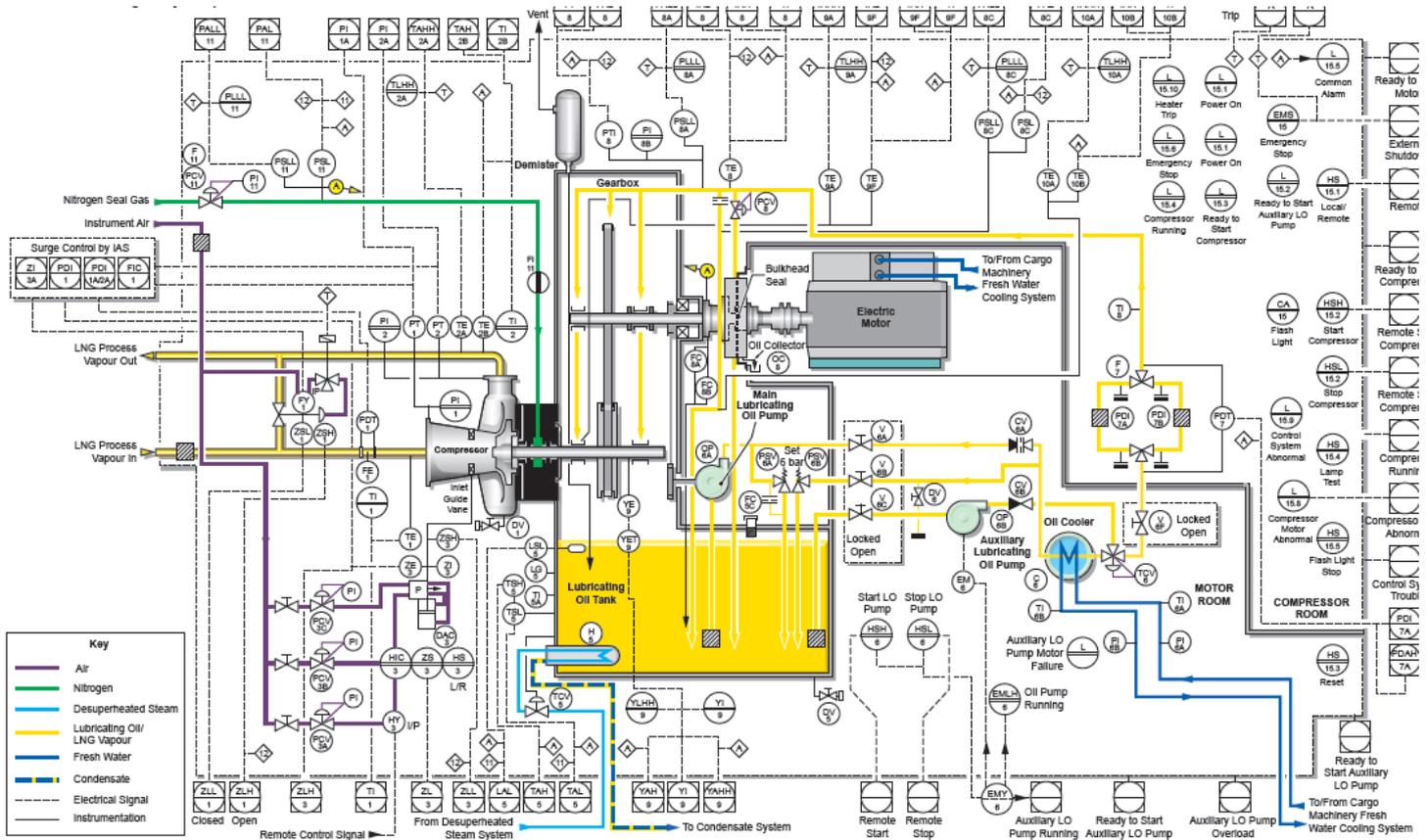


Figura 54: Esquema de compresores high duty

El sello de nitrógeno permite aislar el espacio en el que el eje penetra el mamparo para evitar que el gas pase al cuarto de motores eléctricos. El nitrógeno del sello lo producen los generadores de nitrógeno a bordo. El sistema mantiene una presión positiva (normalmente ajustado a 30 kPa) para evitar cualquier entrada de gas al sello.

El compresor también dispone de un tanque de aceite lubricante de 400 litros con un calentador y sistema de refrigeración que mantiene siempre una temperatura de 25°C-48°C para lubricar juntas y engranajes. Hay 2 bombas independientes en dicho tanque por si fallara una se arranca automáticamente la otra sin perder el compresor.



*Figura 55: Compresor high duty*

Un sistema de flujo automático hace que el compresor trabaje al menos a su flujo mínimo mediante una válvula de recirculación con la finalidad de evitar vibraciones debido al flujo inestable y daños en el compresor.

Las palas del compresor se pueden mover con un sistema neumático y lograr un ángulo de ajuste (de +80° a -30°) para regular el flujo.

## COMPRESORES LOW DUTY

En el cuarto de compresores se disponen 2 compresores low duty<sup>82</sup> (LD) para comprimir el vapor del LNG, del boíl-off natural y de la vaporización forzada, a una presión determinada para quemar en las calderas a modo de fuel.

Estos compresores son centrífugos y tienen un motor eléctrico de 290 kW. Están situados en otro compartimiento adyacente, llamado cuarto de motores eléctricos, y separados por un mamparo estanco al gas. En eje que une el motor con el compresor pasa a través de este mamparo y dispone de un sello de nitrógeno.

Mass flow:	13,219kg/h
Suction volume:	8,000m <sup>3</sup> /h
Inlet pressure:	1.06 bar absolute
Outlet pressure:	1.96 bar absolute
Inlet temperature:	-140°C to -40°C
Outlet temperature:	-106.4°C to 10°C
Shaft speed:	20,000 NBO/24,000 FBO rpm
Motor:	ABB M3KP 355SMB
Motor speed:	3,583 rpm
Motor rating:	440V 290kW 443A

El compresor también dispone de un tanque de aceite lubricante de 320 litros con un calentador y sistema de refrigeración que mantiene siempre una temperatura de 25°C-48°C para lubricar juntas y engranajes. Hay 2 bombas independientes en dicho tanque por si fallara una se arranca automáticamente la otra sin perder el compresor.

Un sistema de flujo automático hace que el compresor trabaje al menos a su flujo mínimo mediante una válvula de recirculación con la finalidad de evitar vibraciones debido al flujo inestable y daños en el compresor.

Las palas del compresor se pueden mover con un sistema neumático y lograr un ángulo de ajuste (de +90° a -30°) para regular el flujo.

Según se requiera más o menos flujo para las calderas el compresor modificará la velocidad del motor y el ángulo de las palas para ajustar el valor.

<sup>82</sup> Low duty: Tipo de compresor con menos potencia que el HD y cuya función es comprimir el LNG en estado gas para enviarlo a la máquina.

# CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

PFC

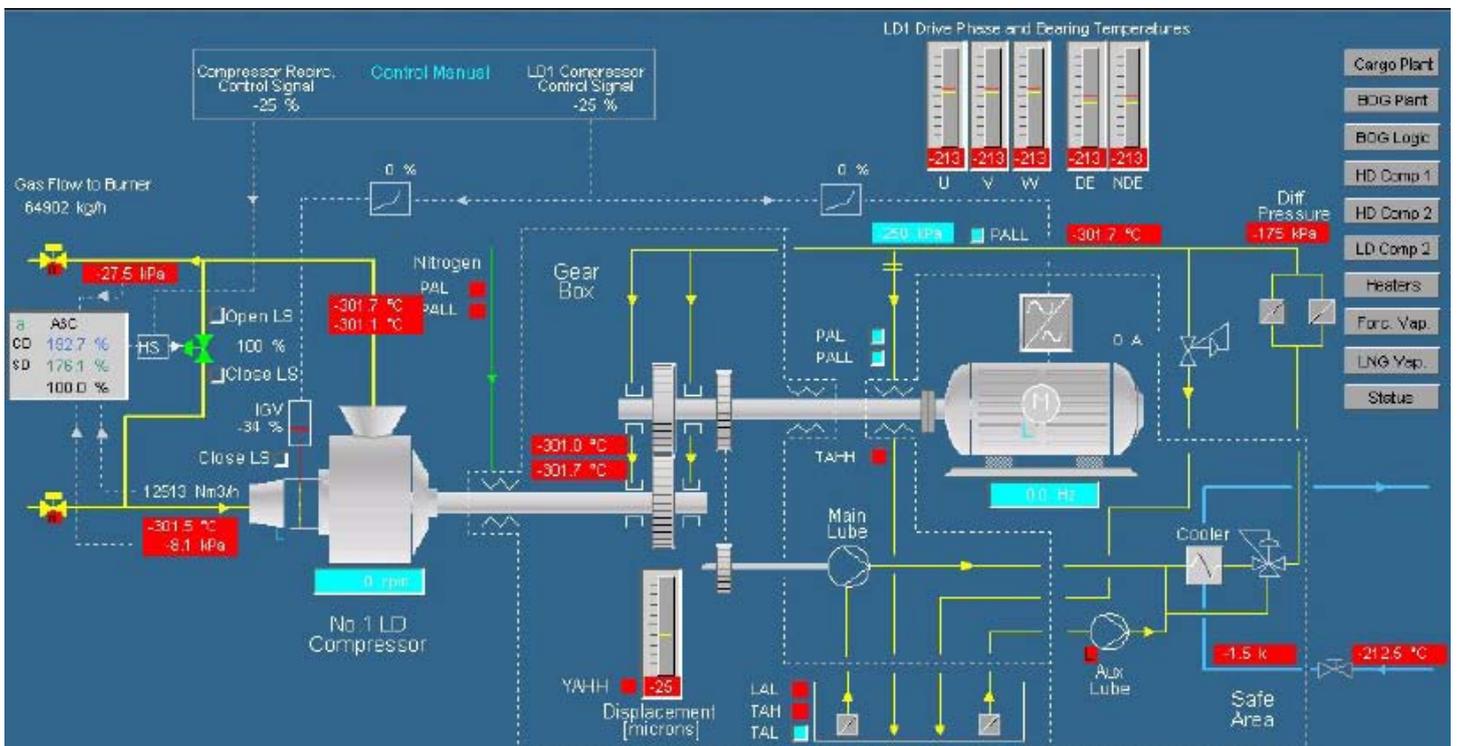
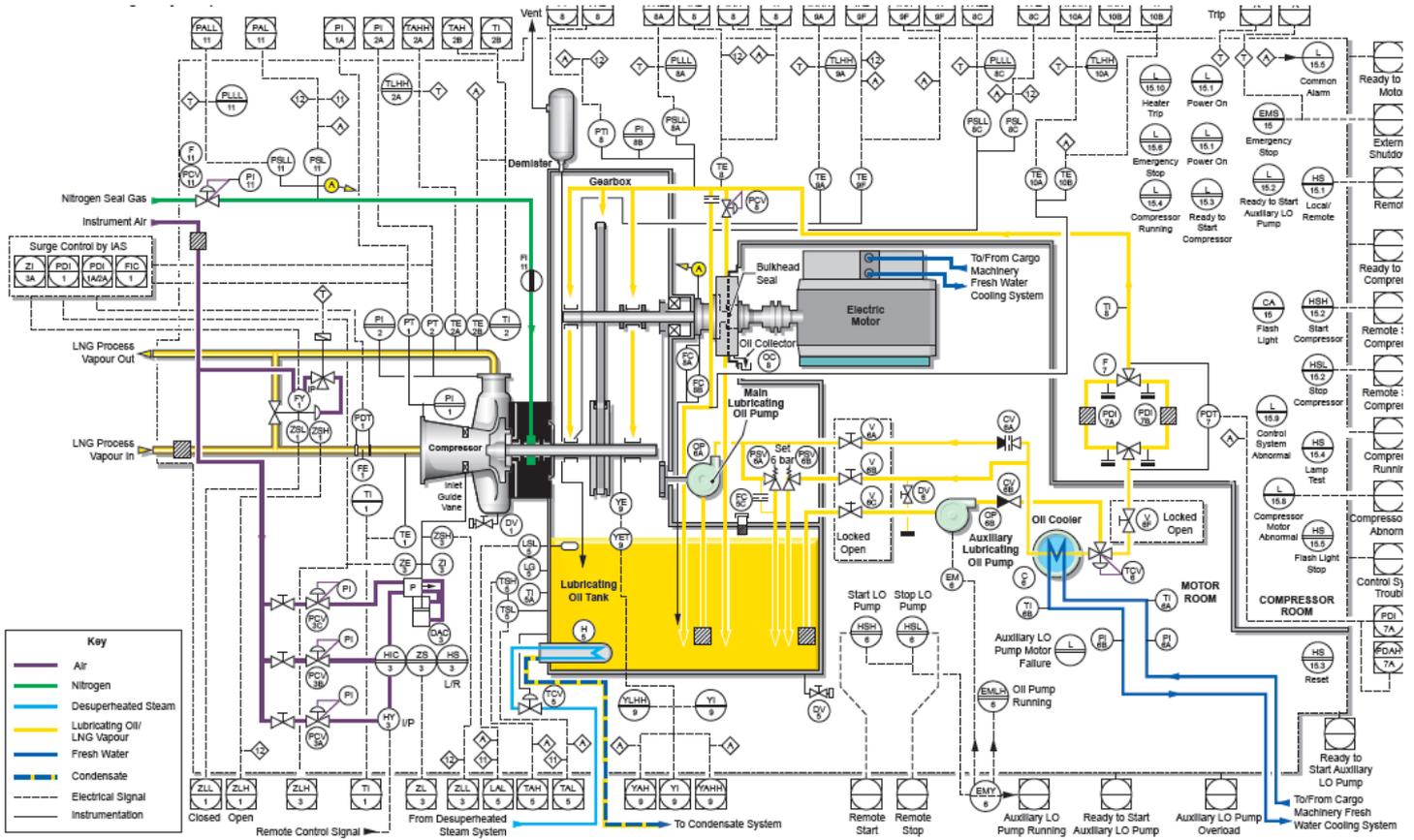


Figura 56: Esquema de compresores low duty



*Figura 57: Compresor low duty*

## 5. CALENTADORES DE CARGA

En el cuarto de compresores también encontramos 2 calentadores a vapor cuyo fin es calentar el boíl-off de la carga. Son de tipo tubo y se utilizan para calentar:

- El vapor de la carga que se envía a los tanques mediante el HD en las operaciones de entrada a dique en el proceso de calentamiento de gas.
- El vapor de la carga que le entrega el vaporizador forzado y el HD para purgar líneas y tanques antes del enfriamiento.
- El boíl-off que va a la máquina para quemar en las calderas con el LD.

**Cuando se devuelve gas calentado a los tanques, la  $T^{\circ} < +80^{\circ}\text{C}$  para evitar daños en las válvulas y aislamientos.**

	Fuel Gas Mode	Warm-Up Mode (2 Units)
Flow of gas:	8,000kg/h	23,000kg/h
Inlet temperature:	-110°C	-110°C
Outlet temperature:	+25°C max	+26°C
Heat exchange:	684kW	1,982kW
Flow of steam:	1,223kg/h	3,544kg/h
Steam inlet temp:	179°C	179°C
Steam outlet temp:	174°C	174°C
Steam pressure:	9 bar(g)	9 bar(g)

Los calentadores tienen 2 modos:

- **Fuel:** Se utiliza para calentar el boíl off natural que va a quemarse en las calderas.
- **Calentamiento:** Se utiliza para calentar el gas en operaciones de entrada y salida de dique o el boíl off forzado.

# CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

PFC

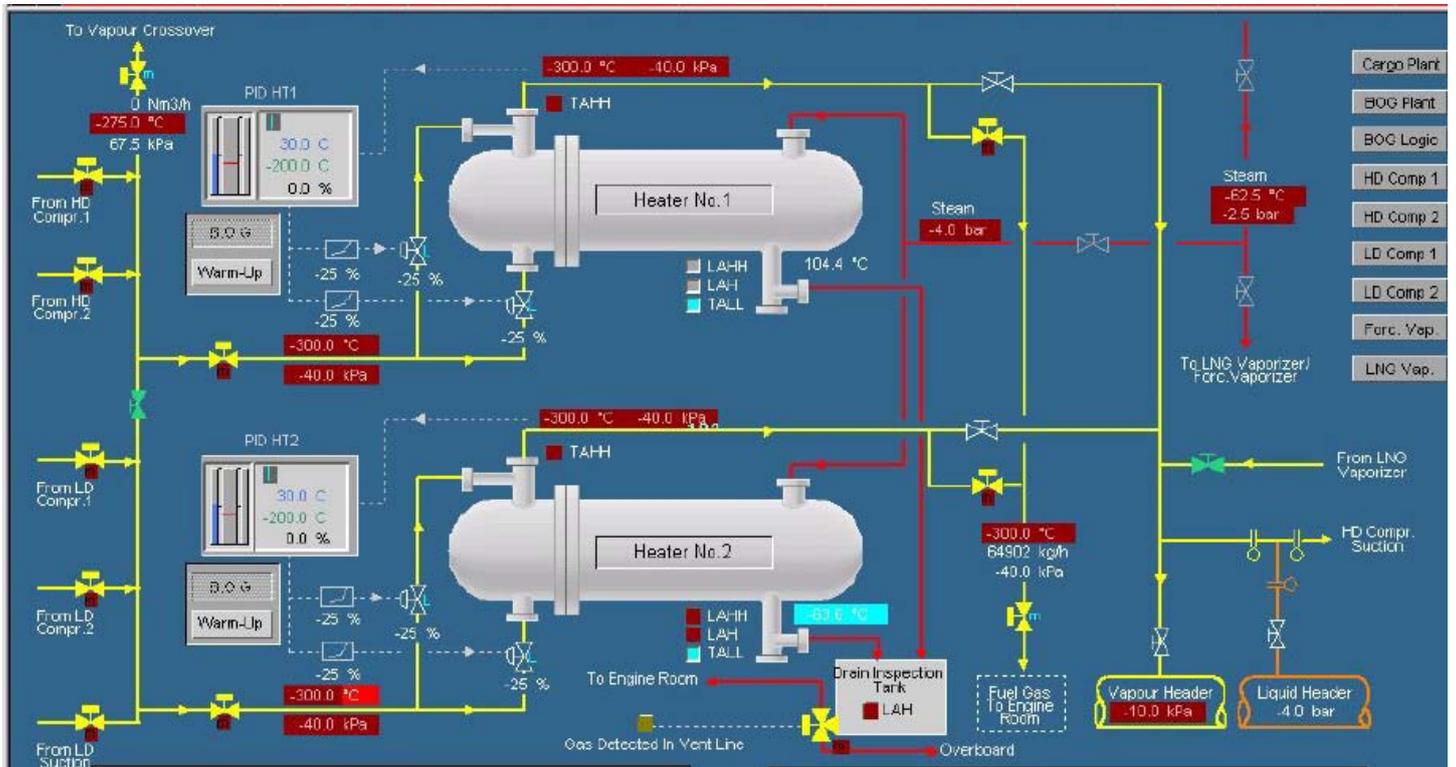
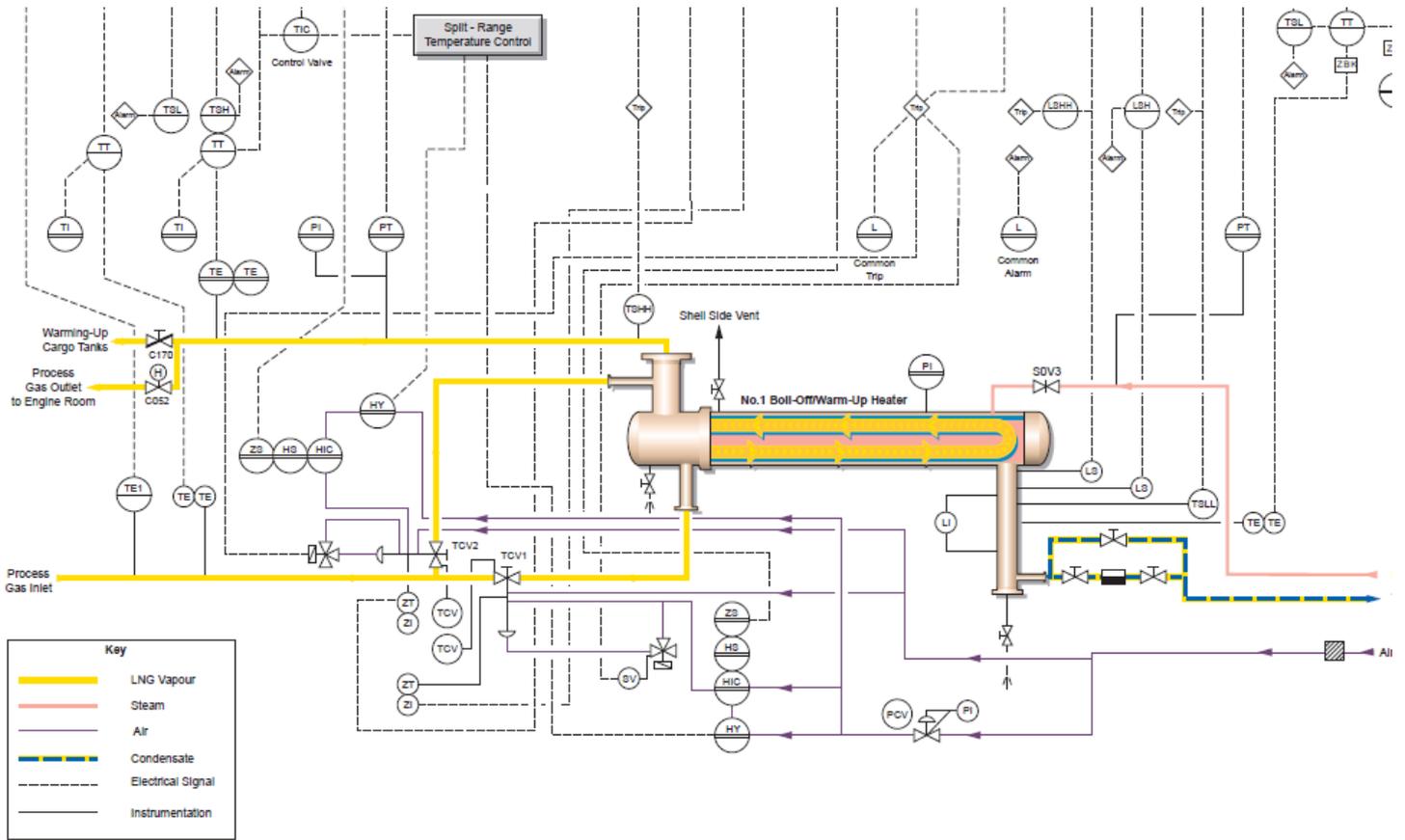


Figura 58: Esquema de los calentadores



*Figura 59: Calentador*

## 6. VAPORIZADORES

### VAPORIZADOR LNG

Manufacturer:	Cryostar	
Type:	FS247.01/65-UT-38/34-5.9	
No. of sets:	1	
	Gas Filling mode	Unloading mode
Flow of gas:	10,800kg/h	20,000kg/h
Inlet temperature:	-163°C	-163°C
Outlet temperature:	+20°C max	-130°C
Heat exchange:	2,784kW	3,256kW
Flow of steam:	4,846kg/h	5,668kg/h
Steam inlet temp:	179°C	164°C
Steam outlet temp:	174°C	159°C
Steam pressure:	9 bar(g)	6 bar(g)

El vaporizador de LNG tiene cuatro funciones:

- **Descarga de LNG:** Abastecer de vapor frio a los tanques de carga durante las operaciones de descarga para mantener la presión en los tanques en el caso de que la terminal tuviera problemas con sus compresores o no estuvieran abasteciendo suficiente vapor. En la tabla se ve la columna de unloading mode.
- **Vaporizador forzado de emergencia:** Abastecer a las calderas con boil-off forzado ya que el natural no es suficiente mediante el compresor low duty y los calentadores en caso de que el vaporizador forzado no esté operativo. El boil-off tiene que salir a una T° de -40°C.
- **Gaseamiento:** Abastecer de gas natural caliente a los tanques de carga para desplazar la atmósfera de gas inerte antes de las operaciones de enfriamiento después de salir de dique.
- **Inertar con nitrógeno:** Abastecer a los tanques de carga con nitrógeno gaseoso que ha sido cargado líquido a través de la terminal en caso de que la planta de nitrógeno del buque esté inoperativa. Esta operación se llevará a cabo en la inertización inicial del buque o en la primera terminal después de salir de dique. El nitrógeno debe salir a una temperatura de 20°C.

Está situado en el cuarto de compresores y dispone de un sistema de alarmas de temperatura de salida del gas, alto y bajo nivel de temperatura del agua condensada.

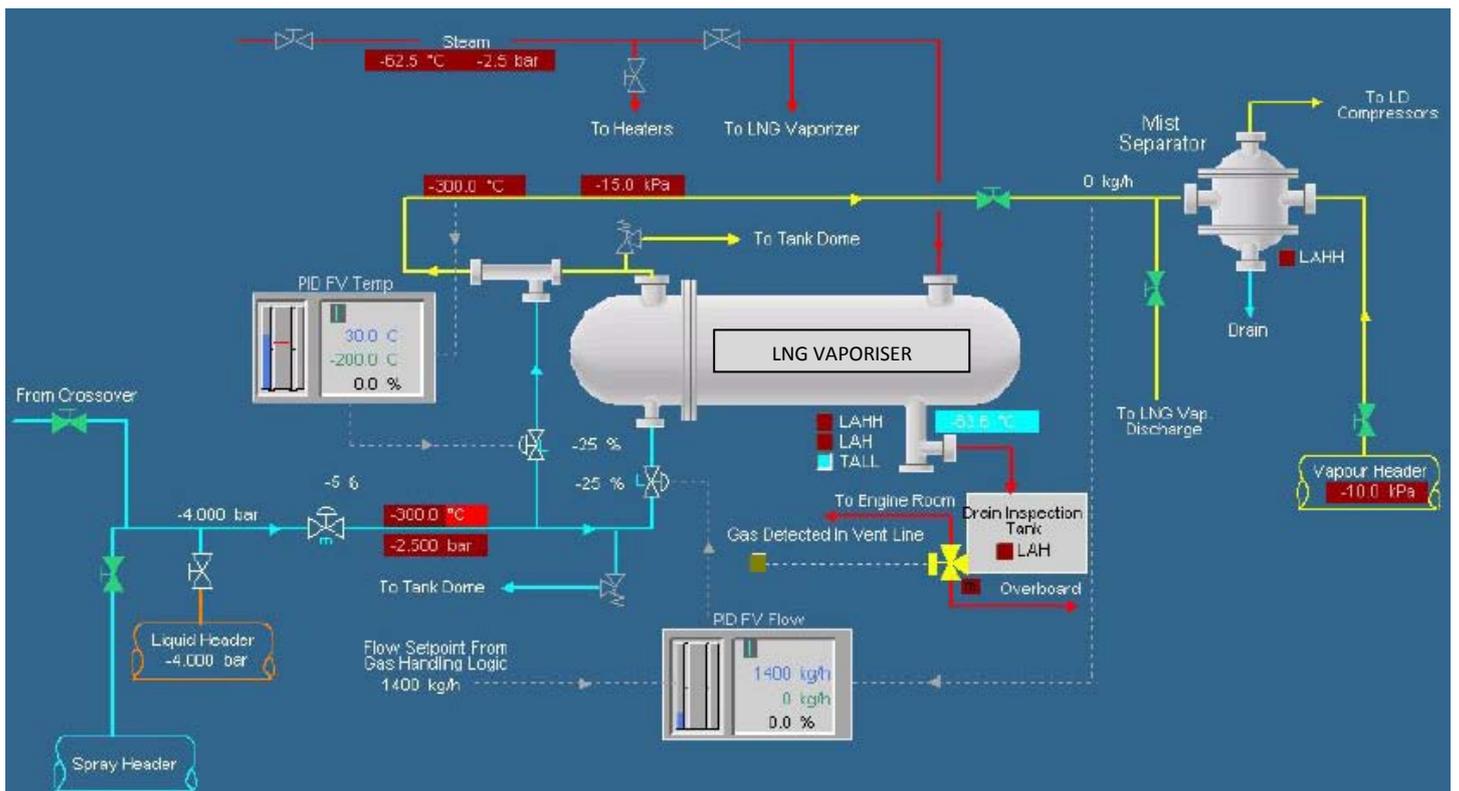


Figura 60: Esquema del vaporizador de LNG.

## VAPORIZADOR FORZADO

El vaporizador forzado se utiliza para vaporizar gas natural líquido a vapor y controlar la presión de la línea de vapor aumentando el abastecimiento de boil-off para quemar en las calderas cuando la máquina se utiliza en modo gas 100%.

Boil-off natural (viaje cargados)  $\longrightarrow$   $200 \text{ m}^3/\text{dia}$

Boil-off natural (viaje en lastre)  $\longrightarrow$   $90 \text{ m}^3/\text{dia}$

El vaporizador puede añadir de un 40% (NCR: Normal continuous rate) a un 50% (MCR: Maximum continuous rate).

Está situado en el cuarto de compresores y dispone de un sistema de alarmas de temperatura de salida del gas, alto y bajo nivel de temperatura del agua condensada. El LNG llega al vaporizador mediante una bomba de stripping ( $50\text{m}^3/\text{h}$ ) y la salida del vapor está controlada por una válvula que recibe una señal del sistema de control de combustión de las calderas.



*Figura 61: Forcing vaporiser*

CICLO COMPLETO DE UN LNG/c DE DIQUE A DIQUE CON CARGA Y DESCARGA INTERMEDIAS

PFC

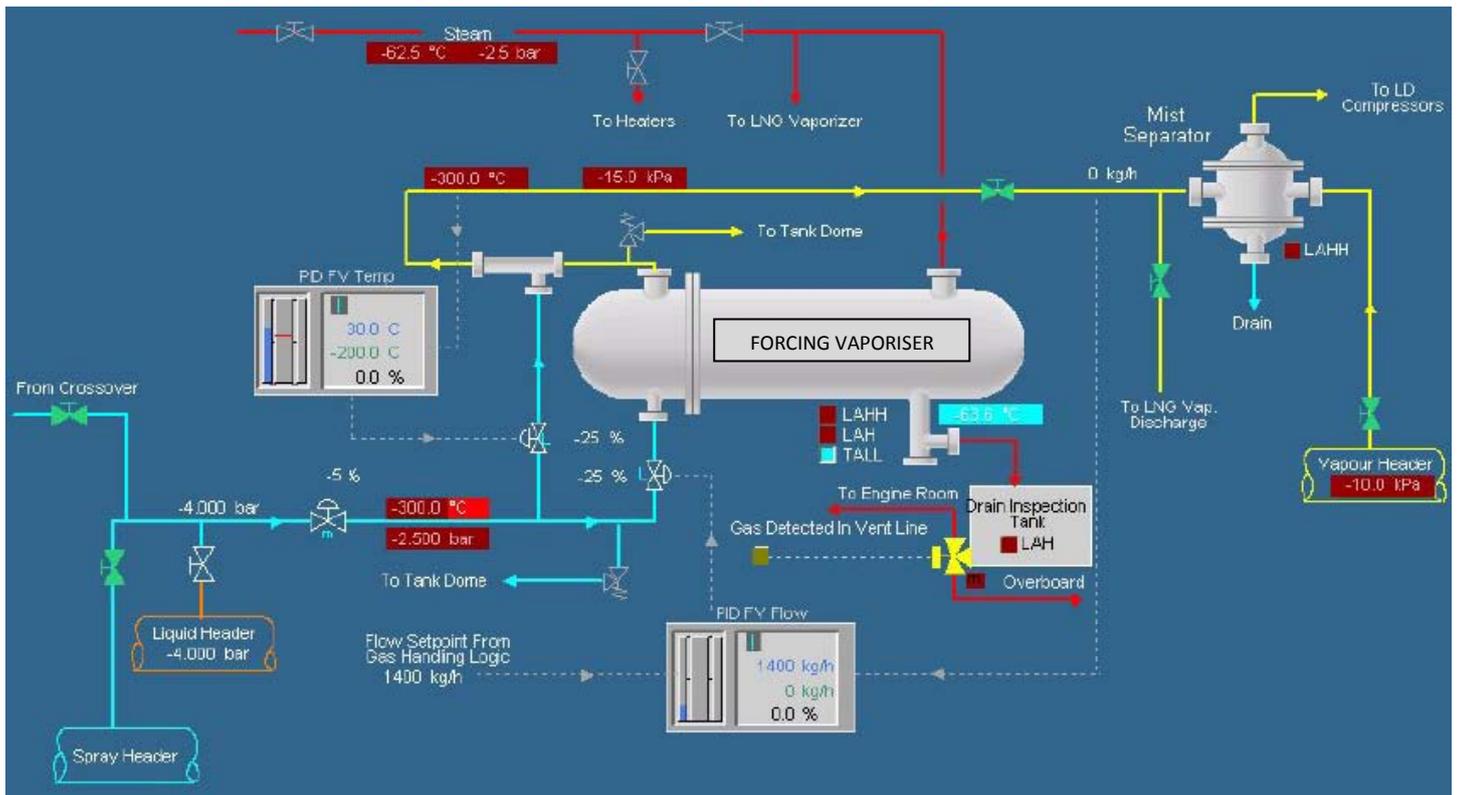
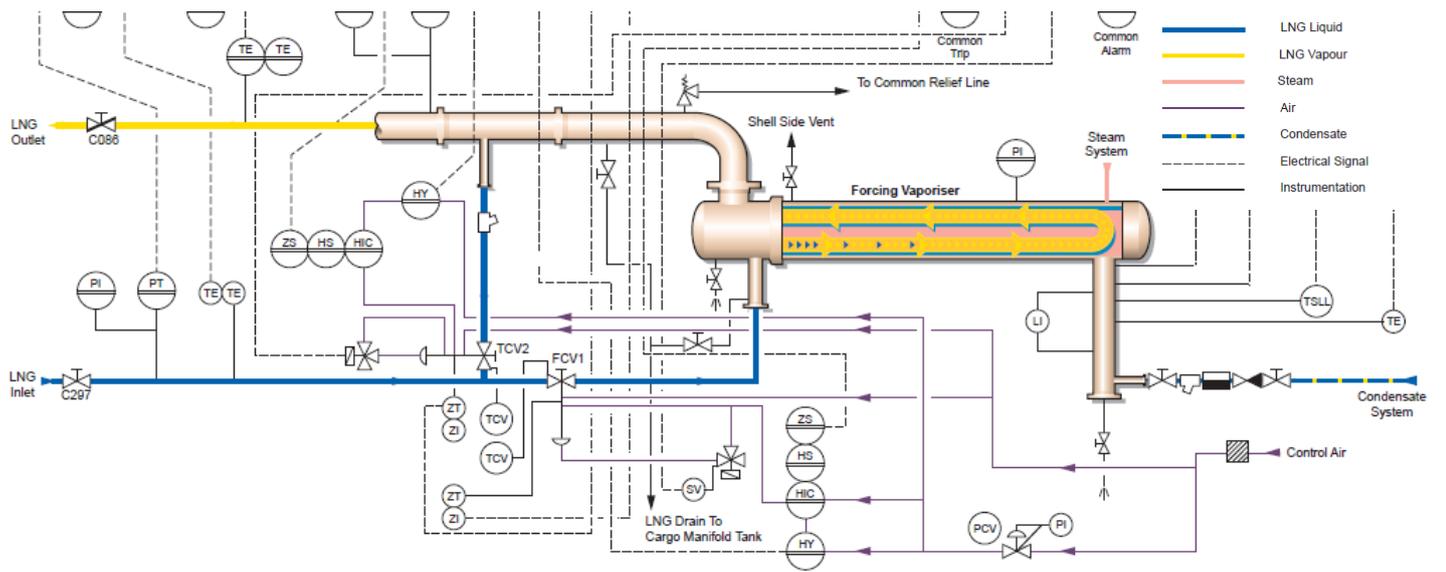


Figura 62: Esquema del vaporizador forzado

Dispone de un sistema de control de la temperatura de salida de manera que puede hacer un bypass de líquido directamente para regular la temperatura final y mantenerla estable. El vaporizador tiene un tubo interior con filtros que fraccionan las gotas de LNG y crean turbulencias en el fluido para facilitar la evaporación

	Gas Burning Mode
Flow of gas:	6,950kg/h
Inlet temperature:	-163°C
Outlet temperature:	-39°C max
Heat exchange:	1,527kW
Flow of steam:	2,659kg/h
Steam inlet temp:	164°C
Steam outlet temp:	159°C
Steam pressure:	6 bar(g)

## 7. SEPARADOR

El separador está situado en el cuarto de compresores y sirve para filtrar cualquier el LNG líquido que pudiera llegar del vapor al mezclar el boíl-off natural y el forzado para que no pase a los compresores low duty debido a los daños que podría causar.

Manufacturer:	Cryostar
No. of sets:	1
Type:	VMS-10/12-1000
Design flow:	6,950kg/h methane vapour at: -120°C (laden voyage) 40°C (ballast voyage)
Volume flow:	7,180m <sup>3</sup> /h

Al mezclarse el boíl off natural con el forzado que tienen diferentes composiciones y temperaturas se puede formar una niebla condensada. Al pasar por el separador, éste elimina más del 99.5% de la humedad que queda en el fondo y se drena.



*Figura 63: Separador*

### 8. GENERADOR DE NITRÓGENO

Capacity:	2 x 120Nm <sup>3</sup> /h
Dew point:	N <sub>2</sub> - 65°C at atmospheric pressure
Outlet gas composition:	Oxygen <3% by volume Carbon dioxide < 30 ppm Nitrogen balance to 100%

En la máquina se sitúan dos generadores de nitrógeno que producen nitrógeno para presurizar las barreras en los tanques, los sellos del cuarto de compresores, extinguir un posible fuego en los palos de venteo y para purgar las líneas y sistemas de carga.

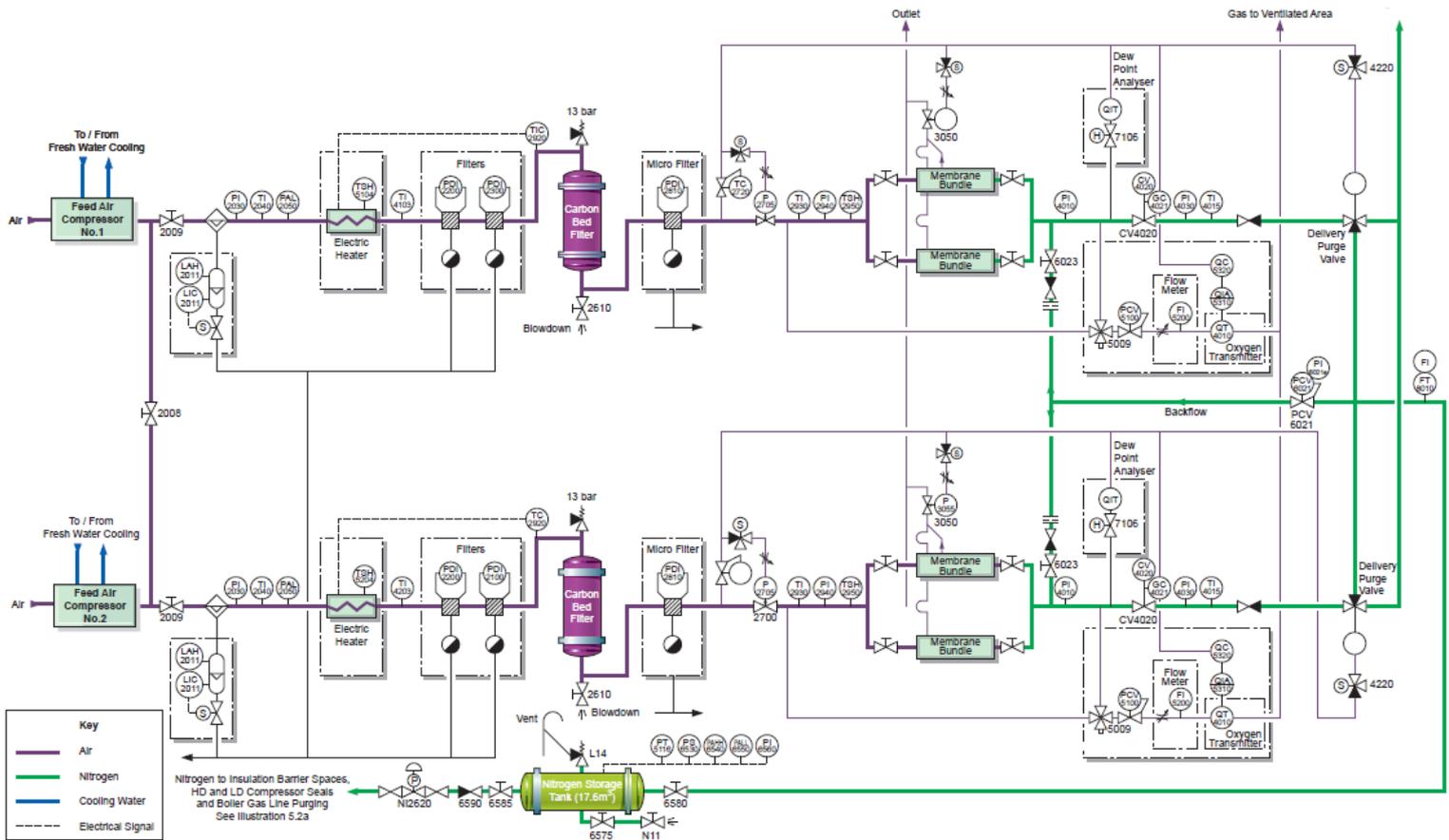


Figura 64: Esquema del generador de nitrógeno

Las dos unidades de alta capacidad son capaces de producir nitrógeno casi puro (120m<sup>3</sup>/h cada uno). El aire está compuesto de 78% nitrógeno, 21% oxígeno y un 1% de otros gases. El principio básico de este mecanismo es hacer pasar aire comprimido a través de una membrana que separa el aire en oxígeno y nitrógeno debido a las

diferentes características de cada uno. Cuando se separan el oxígeno, el dióxido de carbono y el agua se ventean a la atmósfera.



*Figura 65: Generador de nitrógeno*

El aire comprimido pasa por un calentador, dos filtro de aire uno de carbono y finalmente por un micro filtro antes de pasar por las membranas a una temperatura de 50°C. Los generadores van equipados con unos analizadores de  $N_2$  y  $O_2$  de manera que si el oxígeno supera el 3.5% se cierra el tanque y se ventea directamente hasta que el valor vuelva a bajar. El nitrógeno se almacena en un tanque de 17.6 m<sup>3</sup> con unas alarmas de alta (800kPa) y baja presión (460kPa) que activan o paran la demanda de  $N_2$ . Este sistema se opera localmente aunque está monitorizado por el IAS.

## 9. GENERADOR DE GAS INERTE Y AIRE SECO

### GAS INERTE

El gas inerte se utiliza para inertar y desgasificar los tanques de carga, las líneas y los espacios vacíos. El gas inerte se produce mediante una buena combustión de gas oil en la cámara de combustión para reducir los niveles de contaminantes y de oxígeno. Mientras que el aire contiene  $N_2$ ,  $CO_2$ , oxígeno, agua, monóxido de carbono, sulfuros e hidrógeno, el gas inerte está compuesto por un 85% de  $N_2$ , 15% de  $CO_2$  y un 0.5% de  $O_2$  y está a una temperatura de más o menos  $3^\circ C$  por encima de la temperatura del agua del mar.

Después de la combustión el gas inerte tiene niveles altos de óxidos de sulfuro que son altamente corrosivos y deben ser eliminados mediante una torre de lavado. Seguidamente se le quita la humedad hasta llegar a una temperatura de punto de rocío de  $+5^\circ C$  y se seca en una cámara de secado utilizando aire caliente y vapor. La válvula de salida mantiene un flujo estable.

Este generador se opera localmente pero monitorizado des del IAS. Va equipado con unos analizadores de  $O_2$  y un sistema de alarmas para controlar los niveles. Si los niveles no son satisfactorios el gas se ventea hasta conseguirlos.

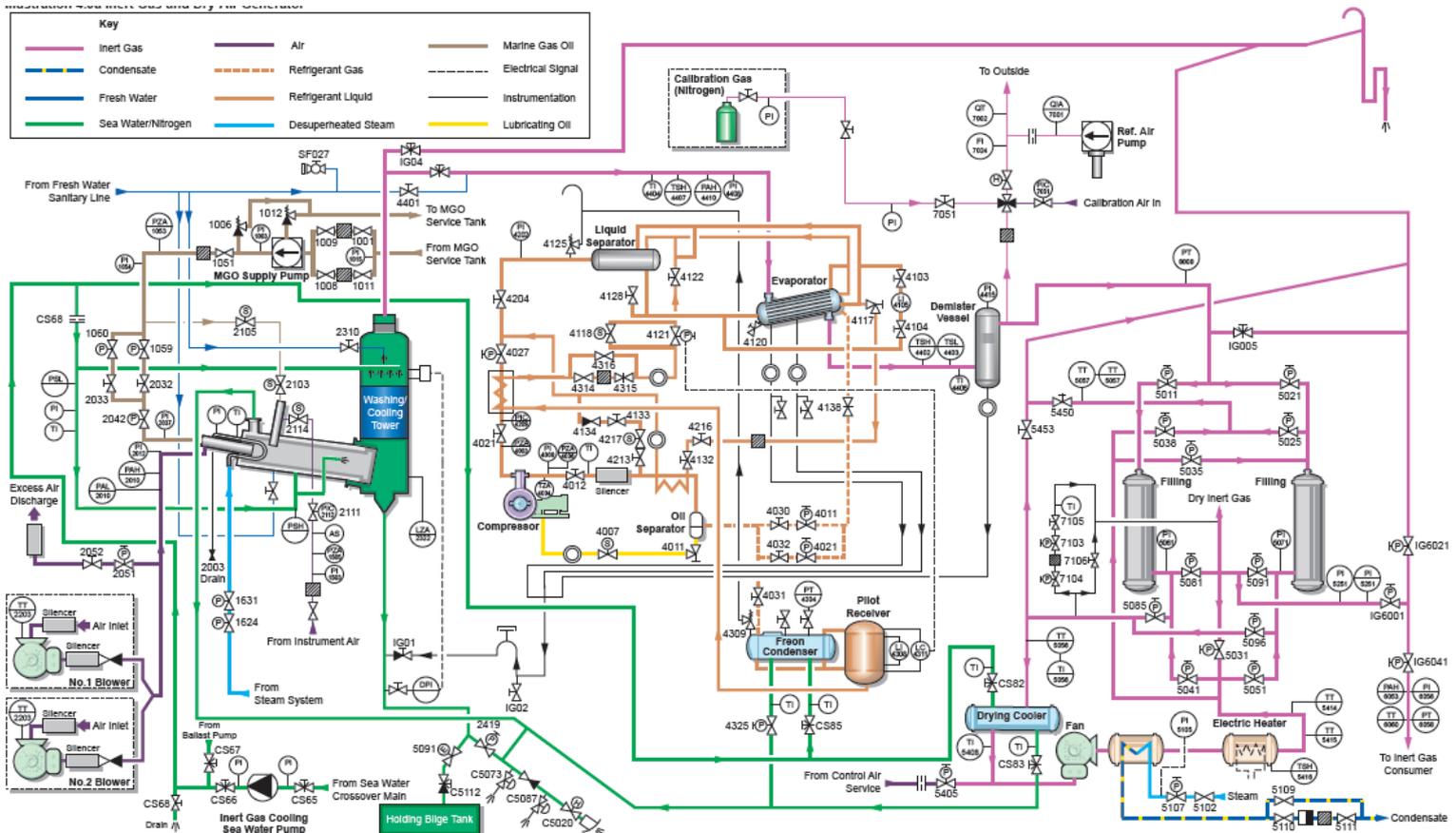


Figura 66: Esquema del generador de gas inerte y aire seco

Manufacturer:	Smit Gas Systems BV
Type:	Gln 15,000 - 0.3 BUFD
No. of sets:	1
Delivery rate:	15,000Nm <sup>3</sup> /h
Delivery pressure:	0.3 bar(g)

## AIRE SECO

El generador de aire seco puede producir la misma cantidad de aire seco que de gas inerte. Para la producción éste no hay combustión y tampoco se regula el contenido de oxígeno. Simplemente la temperatura de rocío tiene que ser la correcta después de los procesos de enfriamiento y secado del aire.



*Figura 67: Generador de gas inerte y aire seco*

## 10. SISTEMA DE DETECCIÓN DE GAS

Hay 2 sistemas de detección de gas completamente separados a bordo:

- Sistema fijo de muestreo que obtiene muestras de las **zonas de gas peligrosas**.
- Sistema fijo de muestreo que obtiene muestras de las **zonas no peligrosas**.

El control de los dos sistemas se encuentra en el control de carga (CCR). Cualquier alarma sonaría en el IAS y en un panel en el puente. Además ambos disponen de un panel repetidor en la estación de control de fuego (FCS).

<b>Hazardous Gas Zone</b>	
Salwico model:	SW2020
Type:	Sample draw continuous 30 min cycle
Cargo Part:	27 - Infrared detectors GD-10
Sampling range:	0-100% LEL 0-100% vol methane + 100%
<b>Non-Hazardous Gas Zone</b>	
Salwico model:	GS3000
Loops:	3 (No.11, 12, 13) for ST200 1 (No.14) for ST600EX
Type:	For accommodation: Gas suction type For engine room: Addressable type
<b>Engine Room</b>	
BOG supply pipe/boilers:	3 - Catalytic detectors ST600EX
Supply fan intakes:	2 - Catalytic detectors ST600EX
Machinery spaces, ECR, SWBD:	16 - Catalytic detectors ST200
Accommodation:	11 - Catalytic detectors ST200
Fresh air intake duct and SW2020 panel:	2 - Catalytic detectors ST600EX
Sampling range:	0-100% LEL methane + 100%

El primer sistema (MUESTRAS EN ZONAS PELIGROSAS) dispone de 2 bombas de succión que cogen muestras de la atmosfera en todos los puntos individualmente y lo analiza mediante un dispositivo infrarrojo. Seguidamente, se evacúa a la atmosfera. Hay dos analizadores que están en continuo uso. Uno analiza la muestra en LEL (0-100%) y el otro en % de volumen de metano (0-100%)<sup>83</sup>.

<sup>83</sup> LEL y % de volumen en metano: Hay dos formas de medir la concentración de metano en el aire.

EL sistema dispone de 27 puntos de muestreo exteriores y 1 interior situado en el pañol<sup>84</sup> donde se encuentran los analizadores por si hubiera alguna fuga. El sistema tarda 30 minutos en hacer un ciclo completo de análisis de muestras con las dos bombas en funcionamiento. En el caso de que se detectara un nivel de 30% de LEL sonaría la alarma de alto nivel de gas en el IAS.



*Figura 68: Cuarto del ingeniero de carga con las botellas de calibración y los analizadores infrarrojos de los puntos de muestreo exteriores*

El sistema cuenta con 2 interruptores de vacío para:

- **Test de pérdida de vacío:** se prueba cada 24 horas cerrando todos los puntos de muestreo y la bomba del analizador. Al activarse el interruptor de vacío demuestra que las válvulas, líneas y bombas son estancas.

<sup>84</sup> Pañol: Cuarto en nomenclatura marítima.

- **Detección de fallo de flujo:** Si un punto de muestreo queda taponado se activa el sistema de limpieza de línea (APCS). La bomba de succión se para y se purga la línea 15 segundos con aire comprimido. Entonces se vuelve a arrancar la bomba, si se vuelve a producir el fallo en el flujo se activaría la alarma.

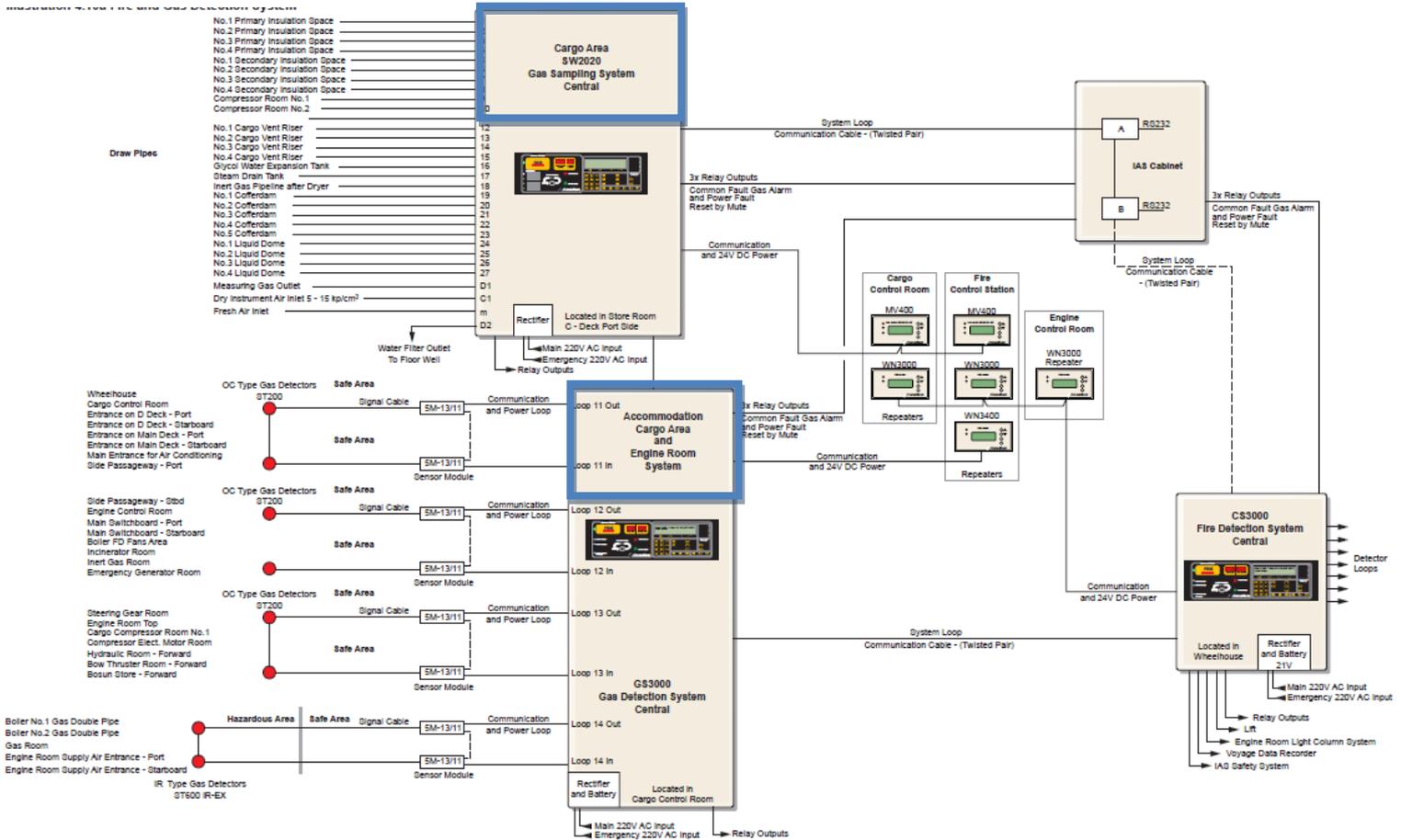


Figura 69: Sistema de detección de gas

Hay 3 botellas con las que se consigue la calibración de todo el sistema:

- 100% nitrógeno.
- 100% volumen de metano.
- 50% LEL.

El segundo sistema (MUESTRAS EN ZONAS NO PELIGROSAS) dispone de 50 detectores de gas en la acomodación, control de la máquina (ECR) y en el cuarto de motores eléctricos. Estos miden en 0-100% LEL. Se disponen 27 detectores en la acomodación, cuarto del aire acondicionado, generador de emergencia<sup>85</sup>, servomotor<sup>86</sup>,

<sup>85</sup> Generador de emergencia: Motor cuya función consiste en que en el caso de que se cayera la planta, éste arrancaría para generar la electricidad a bordo.

<sup>86</sup> Servomotor: Local en el que se encuentra el steering gear. En caso de emergencia se podría mover la pala del timón de manera manual.

cuarto de motores eléctricos, pañol de contra maestre<sup>87</sup>, local de la hélice de proa que se activan con lecturas de 30% LEL.

Si dos de los tres detectores del local de los motores eléctricos llegan al 60% LEL sonaría la alarma y pararían los motores de los 4 compresores, bombas de aceite lubricante, bomba de glicol y calentador de glicol además de la ventilación del local.

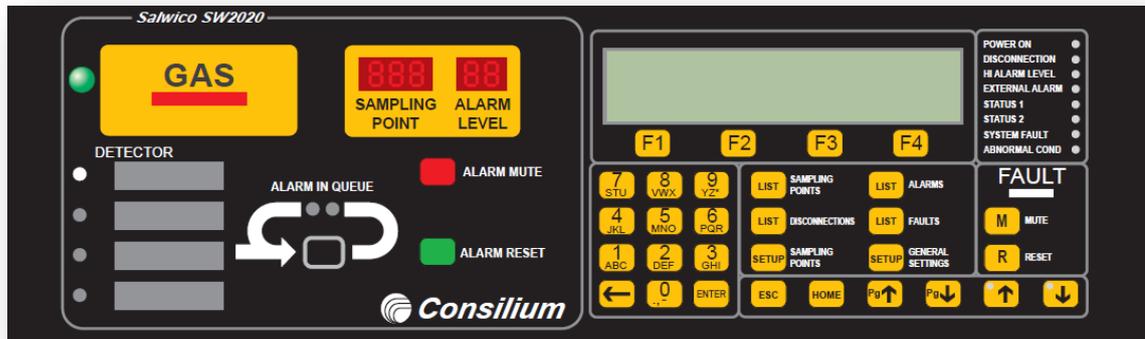


Figura 70: Panel del sistema de detección de gas

En la máquina se disponen 5 detectores en el local donde llega en primera instancia el gas. Si la lectura llegara al 30% LEL sonaría la alarma y si llegara al 60% sonaría la de alto nivel cerrando la válvula principal de fuel gas.



Figura 71: Detector de gas en la acomodación

<sup>87</sup> Contra maestre: Persona que ocupa el cargo de encargado de los marineros.

## 11. SISTEMA DE CONTROL REMOTO DE VÁLVULAS DE CARGA Y CERRADO DE EMERGENCIA (ESD)

Todas las válvulas necesarias para las operaciones de carga y del cierre de emergencia son hidráulicas y están conectadas a un sistema hidráulico situado en la máquina llamado “power pack”. En caso de emergencia este sistema hidráulico se podría conectar al de lastre. El power pack se opera localmente en la máquina y las válvulas mediante el IAS. Este sistema consta de un tanque de 350 litros de aceite y dos bombas principales. Además tiene una bomba de topeo situada en el tope del tanque. Las bombas principales tienen un flujo de 42 litros/minuto a una presión de trabajo de entre 130-145 bar. El aceite pasa del tanque a la línea principal mediante unas válvulas de no retorno. A parte el sistema está equipado con 4 acumuladores de 50 litros de capacidad y una válvula de seguridad tarada a 155 bar que devuelve el aceite al tanque mediante la línea principal.

El sistema ESD está abastecido por los 4 acumuladores de 50 litros cada uno. Estos son capaces de cerrar las válvulas ESD del manifold y parar las operaciones de carga/descarga en 30 segundos en caso de emergencia. Existe otro sistema idéntico destinado para las válvulas del lastre, diesel y fuel oil.

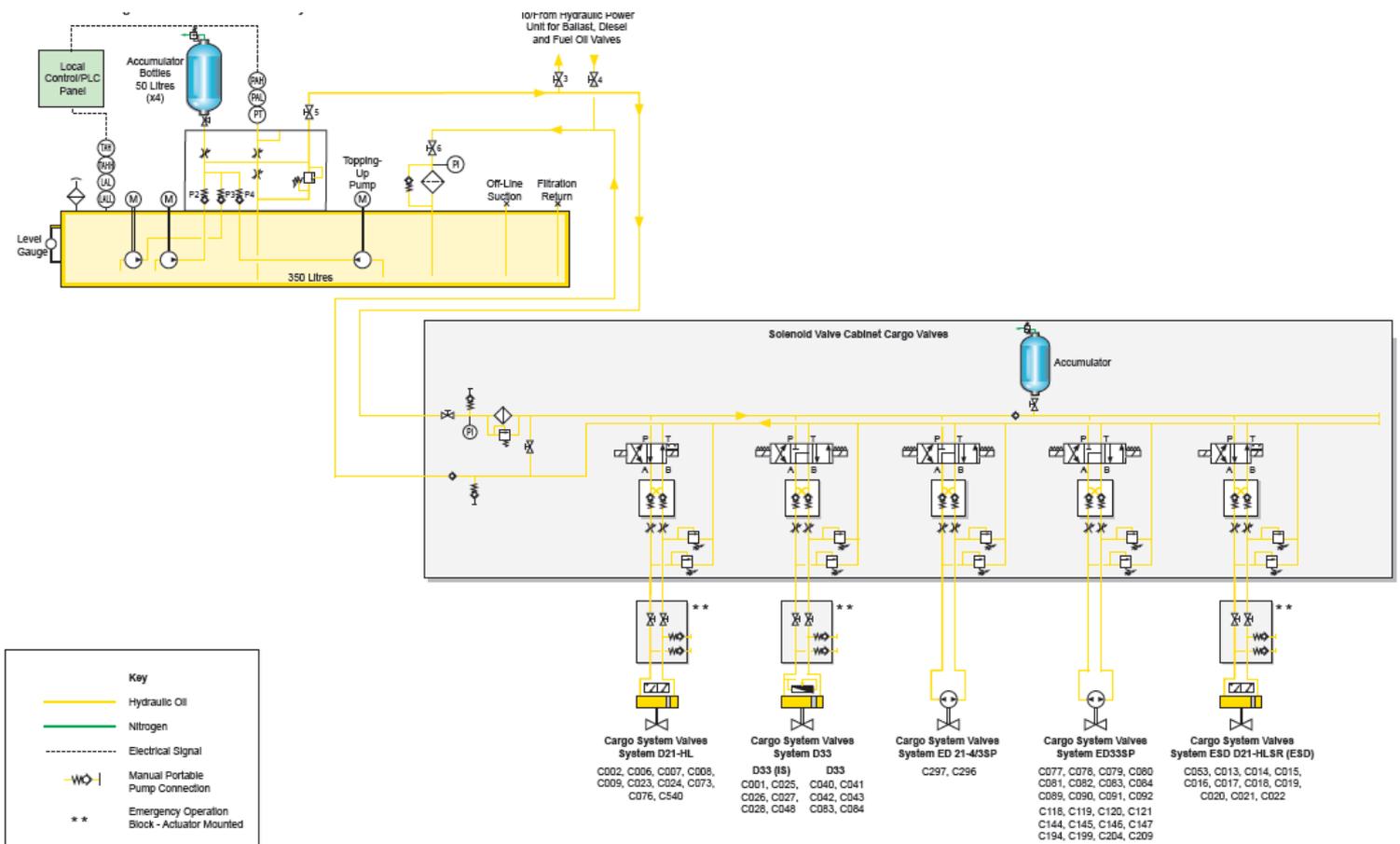
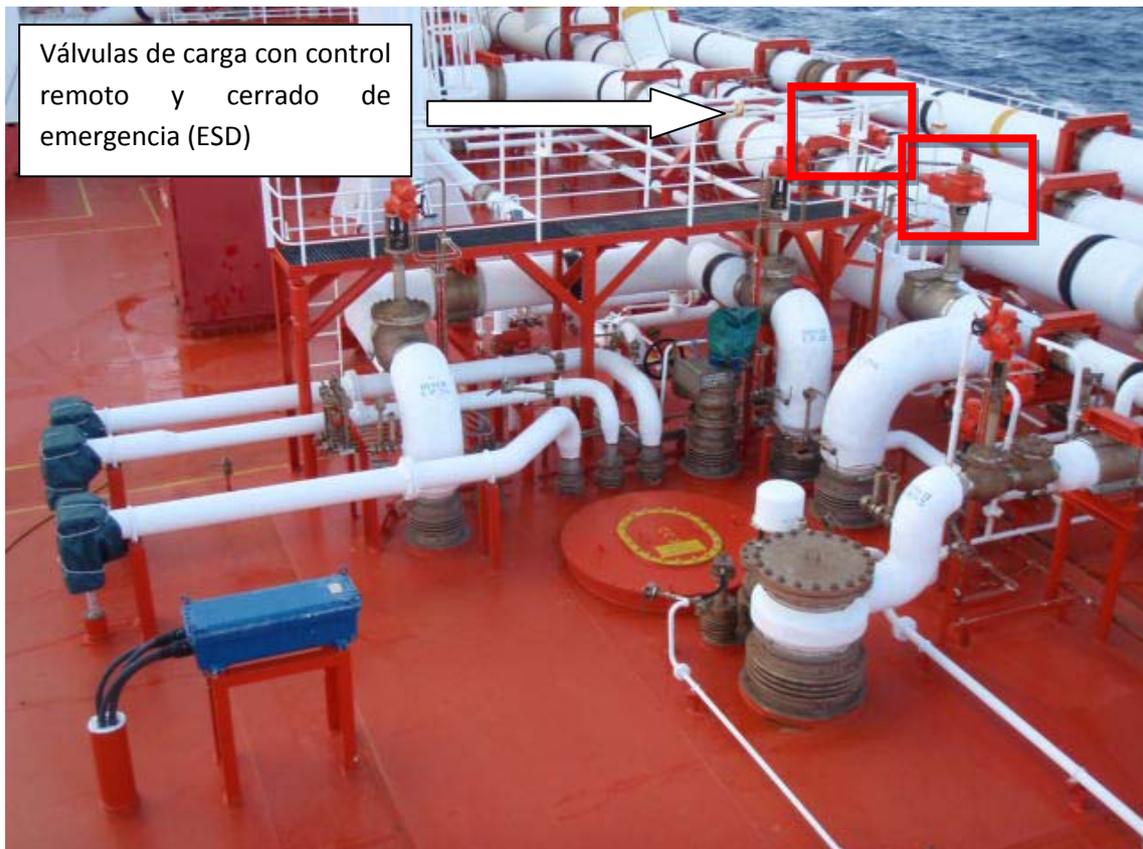


Figura 72: Sistema remoto de control de válvulas de carga, lastre, diesel y fuel oil

Los acumuladores se encuentran en dos cabinas, es decir 2 acumuladores en cada cabina. Las bombas actúan presurizando el aceite en el acumulador y líneas. Respecto a las líneas, estas se disponen formando un circuito cerrado con una línea de ida que va del tanque pasando por el acumulador a las válvulas. La otra de vuelta va de las válvulas al tanque de nuevo con una válvula de seguridad tarada a 155bar para que no se sobre presurice la línea. En caso de una obstrucción o fallo de la bomba, el aceite recircularía al tanque.



*Figura 73: Domo de líquido con las válvulas de cerrado de emergencia*

## 12. CONEXIÓN BUQUE-TIERRA

El sistema de conexión eléctrica y fibra óptica buque-tierra se utiliza como medio de comunicación entre el buque y la terminal.

- El modo de conexión con fibra óptica permite tener 4 canales dúplex de comunicación.
- El modo de conexión eléctrico permite ESD tierra-buque y viceversa y comunicación.
  - o 4 pyle (tipo de conexión)
  - o 37 pyle (tipo de conexión)
- El modo de conexión neumática.

Además de todo esto, esta conexión permite la comunicación de la señal ESD del buque a la terminal y de la terminal al buque. De manera que si se activa el ESD des del barco este se transmite a la terminal y viceversa.

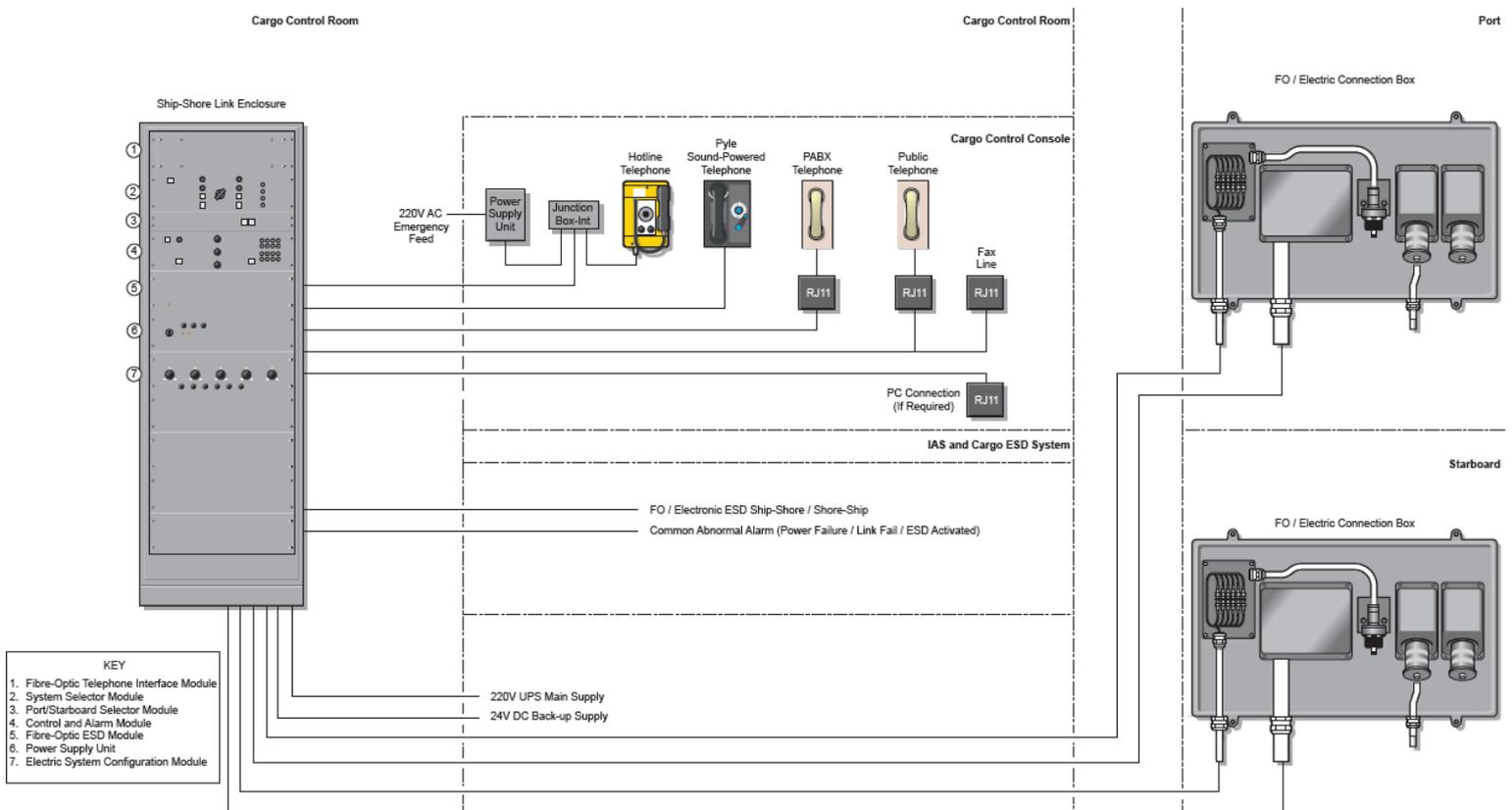
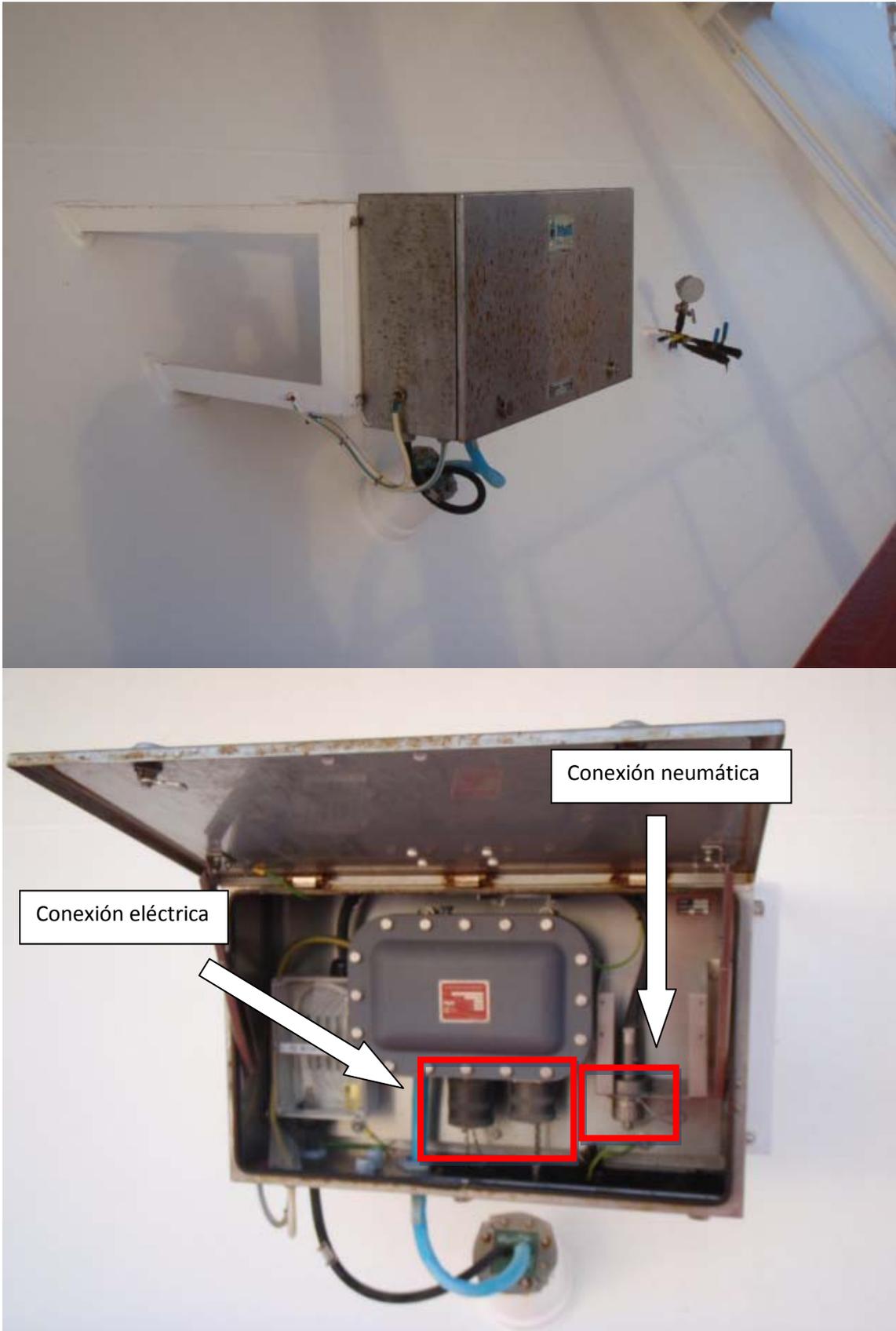


Figura 74: Conexión buque-tierra esquema



*Figura 75: Conexión buque-tierra*

### 13. SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN

Cada tanque de carga dispone de 2 sistemas de alivio de presión/vacío como manda la IMO<sup>88</sup>. Además cada espacio de aislamiento primario y secundario en cada tanque va protegido con válvulas de seguridad de alivio de presión. Dichas válvulas están específicamente diseñadas para trabajar en ambiente marítimo y LNG.

#### VÁLVULAS DE ALIVIO EN LOS TANQUES DE CARGA

Las válvulas de alivio de presión de los tanques de carga están situadas en el tope de los domos de vapor y están conectadas a su respectivo palo de venteo. Es extremadamente importante que el palo de venteo se chequee regularmente y se drene debido a la posible acumulación de agua para asegurar el correcto funcionamiento y presión a la cual la válvula está tarada.

No. of units:	8 plus
No. per tank:	2
Set pressure:	25.0kPag
Closing pressure:	22.0kPag
Spring set pressure:	25.0kPa
Flow rate per valve:	22,000Nm <sup>3</sup> /h
Spring set pressure:	25kPag
Set vacuum:	-1.0kPa

La válvula se mantiene cerrada debido a la igualdad de presiones entre la cámara “sensing”, la cámara “boost” y el tanque. Y todas estas presiones son inferiores a la fuerza ejercida por el spring load<sup>89</sup>. Cuando la presión del tanque sube, la presión en la cámara boost también debido a que están conectadas. Para igualar la presión de la cámara sensing, el pistón sube equiparando la presión de todas las cámaras y dejando que el tanque evacúe la presión sobrante, el spring load cede. Cuando la presión de tanque baja y las presiones de las cámaras son iguales el pistón baja.

<sup>88</sup> IMO: International Maritime Organization.

<sup>89</sup> Palabras técnicas: Mirar esquema adjunto en la siguiente página.

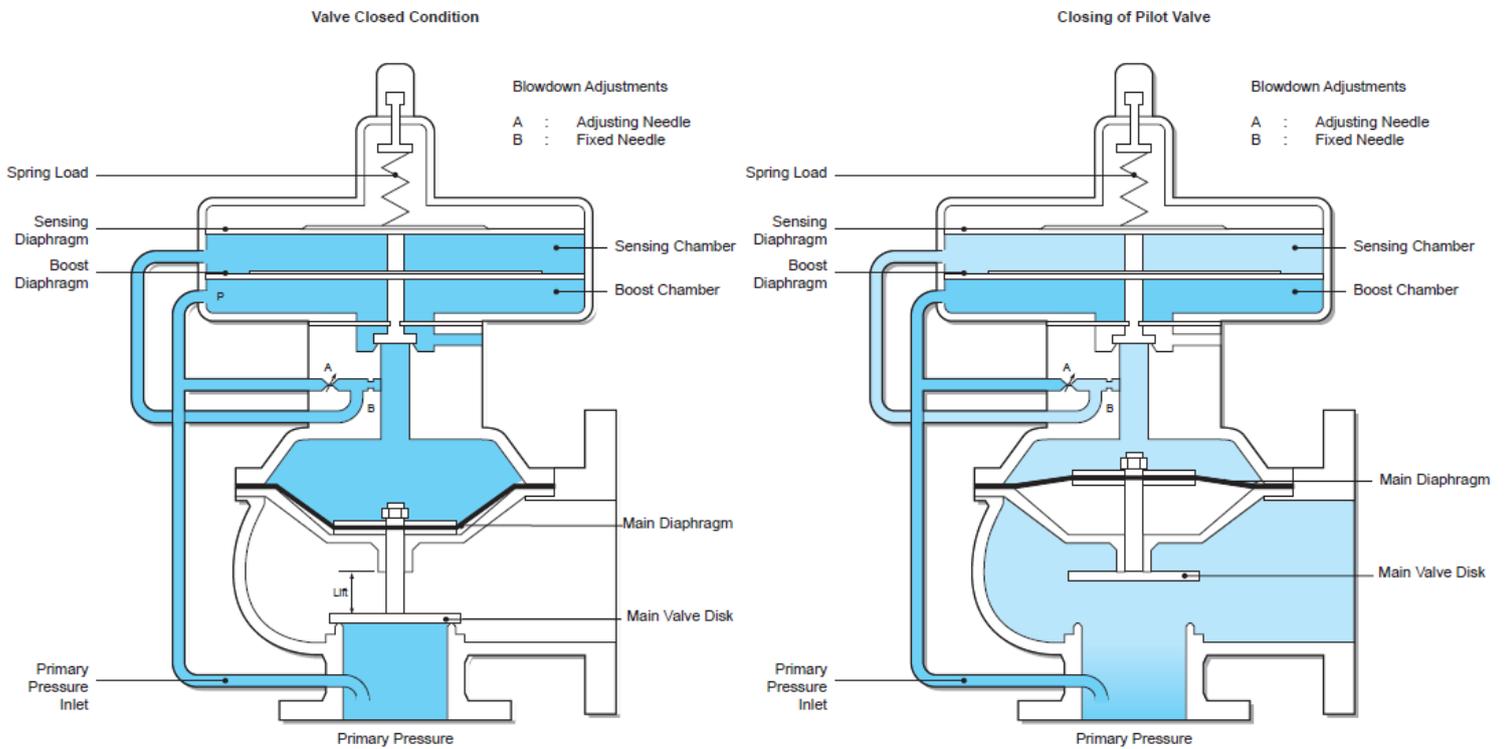
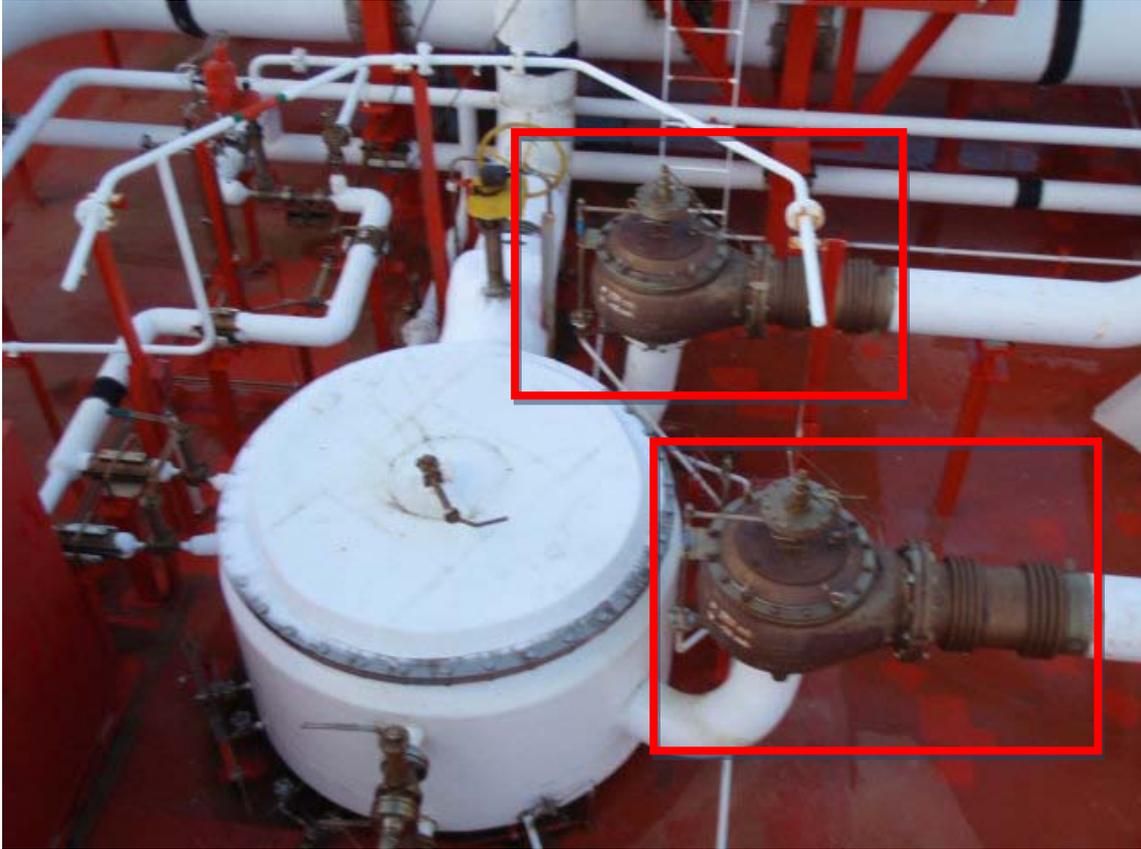


Figura 76: Válvulas de alivio de los tanques de carga

## VÁLVULAS DE ALIVIO EN LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO

No. of units:	16
No. per tank:	4
Set pressure:	1.0kPag
Closing pressure:	0.8kPag
Spring set pressure:	1.0kPag

Cada espacio primario y secundario está protegido por 2 válvulas de alivio de presión. Estas válvulas son más pequeñas que las de los tanques y solo actúan en caso de sobrepresión de las barreras y no en caso de vacío. Las válvulas de la barrera secundaria están situadas a proa babor y proa estribor de cada tanque en la cubierta trunk. Las válvulas de la barrera primaria están situadas en la línea de crujía a popa del domo de líquido. Se dispone una línea de gas para poder monitorizar constantemente la atmosfera de los espacios primario y secundario. La descarga de la línea de alivio de presión de la barrera primaria sube por el palo de venteo por una línea separada a este para evitar contrapresiones. La descarga de la barrera secundaria va directamente a la cubierta de carga. No es necesario que las válvulas de alivio de esta barrera vayan al palo de venteo debido a que es muy improbable encontrar una atmosfera con LNG ahí.

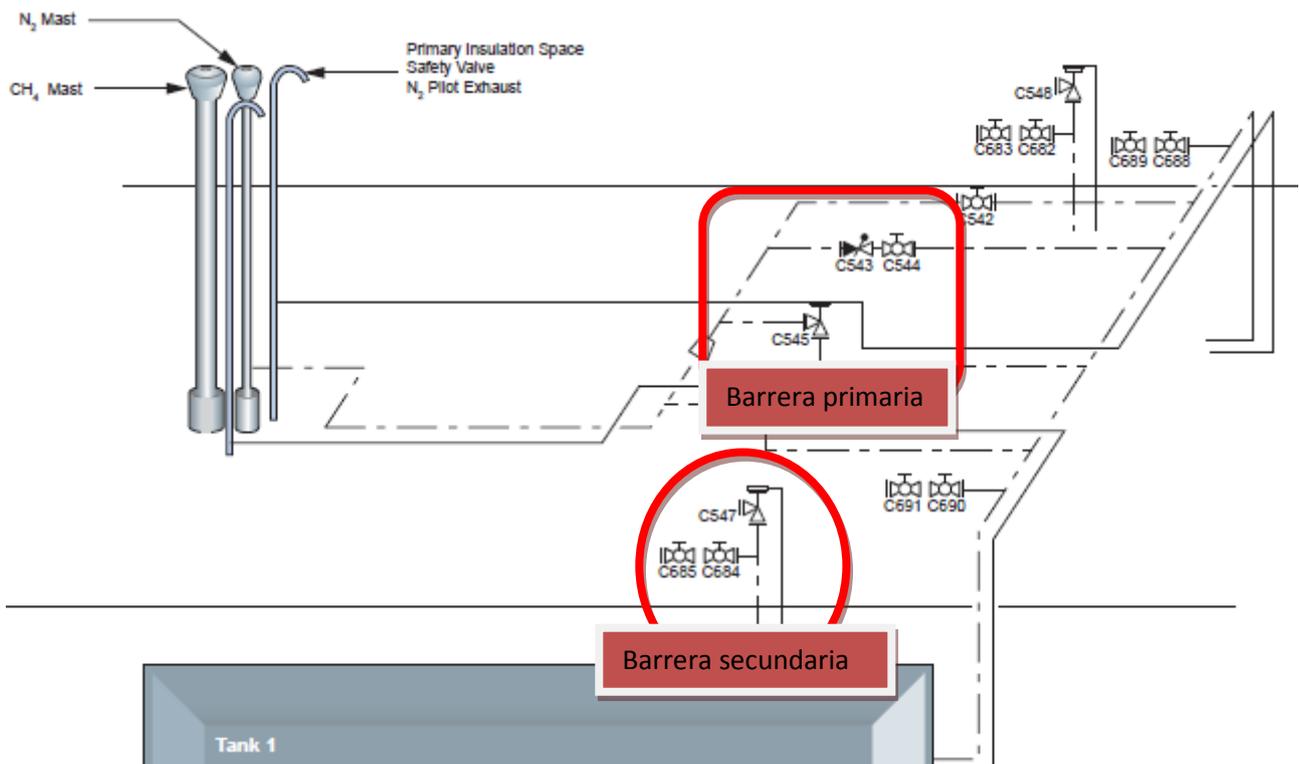


Figura 77: Válvula de alivio de los espacios de aislamiento



*Figura 78: Válvula de alivio de la barrera primaria*



*Figura 79: Válvula de alivio de la barrera secundaria*

Antes de acceder al domo de líquido hay un espacio vacío. Este espacio va normalmente presurizado con nitrógeno y dispone de unas válvulas de seguridad presión/vacío

también debido a las diferencias de temperatura que se pueden dar al estar en contacto con la cubierta de carga.

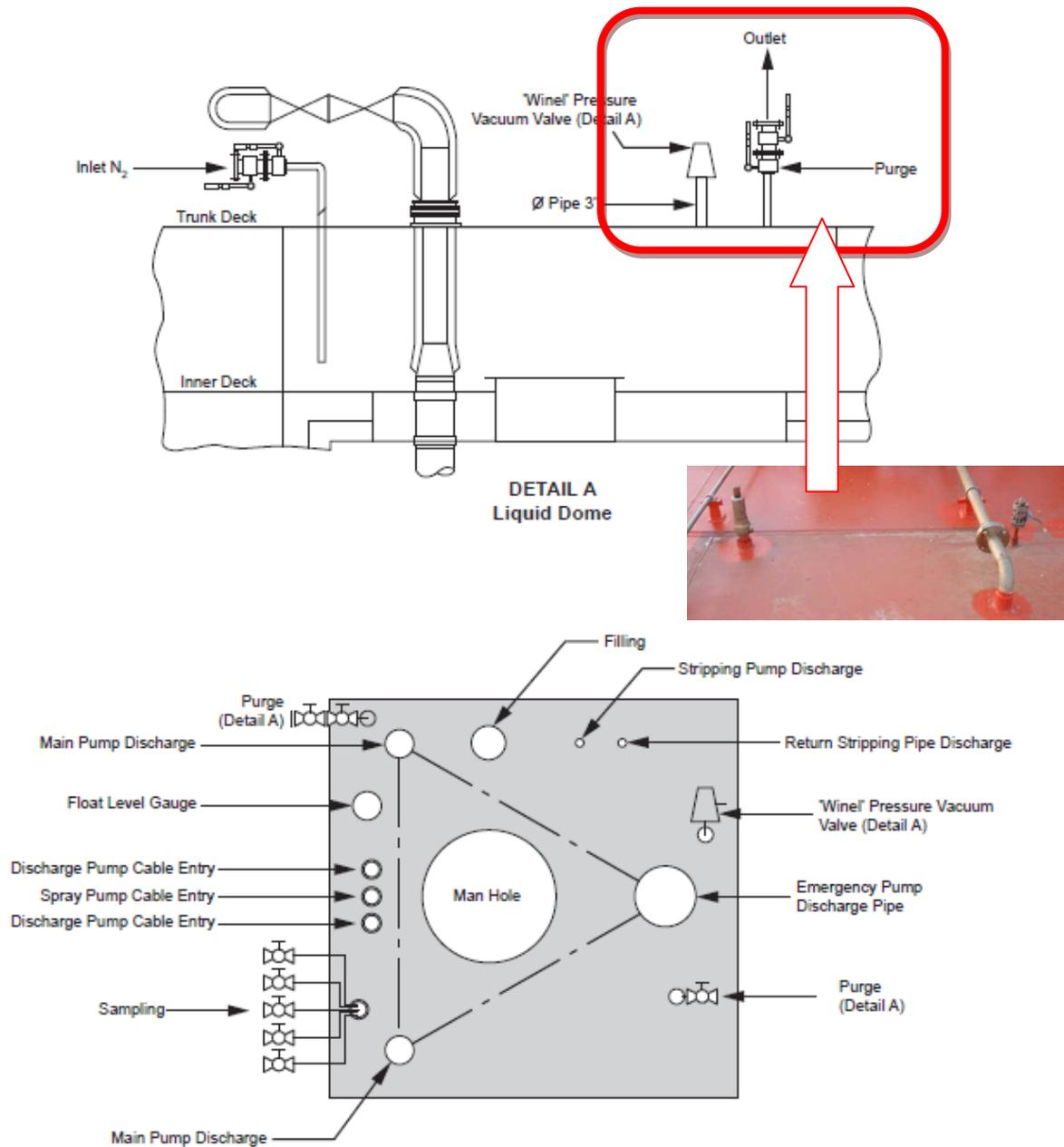


Figura 80: Válvulas de seguridad del espacio vacío del domo de líquido

## VÁLVULAS DE ALIVIO EN LAS LÍNEAS

Cada sección de las líneas de carga que se puede quedar aislada mediante dos válvulas dispone de una válvula de seguridad de alivio de presión. Todas estas válvulas ventean la presión sobrante a una línea común de 11 cm de diámetro que recorre la cubierta de carga de proa a popa acabando en todos los domos de vapor con una válvula de no retorno. Estas válvulas están taradas a una presión de 1000 kPa dependiendo de la línea en la que se disponen.



*Figura 81: Válvulas de seguridad en las líneas*

## 14. SISTEMA DE LASTRE Y SONDEO

### SISTEMA DE LÍNEAS DE LASTRE

Los espacios situados en el casco alrededor de los tanques de carga se utilizan como tanques de carga con el fin de controlar el calado, escora y asiento durante las diferentes condiciones de carga del buque.

El lastre se lleva a cabo en el viaje de vuelta a un puerto de carga cuando solo se lleva a bordo una cantidad mínima de LNG para mantener los tanques y los espacios de aislamiento a temperaturas criogénicas. Hay 8 tanques de lastre principales, 4 situados a estribor y 4 a babor debajo y a los costados de los tanques de carga. Además se disponen el deep tank de proa y el peak de popa<sup>90</sup> para cargar lastre también. El peak de popa se llena con la bomba de lastre pero se vacía con una contraincendios. En el caso de este buque, se llena el peak de popa con el evaporador con agua dulce y se utiliza para la bomba de espray que alimenta la línea contraincendios del trunk deck.

La capacidad total de lastre del buque es de  $49675 \text{ m}^3$ , aproximadamente  $50916.9 \text{ T}$  cuando se llenan al 100% con agua de mar de densidad  $1.025 \text{ Kg/cm}^3$ . Se dispone de 3 bombas centrífugas verticales con una capacidad de  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$  cada una que permiten lastrar o deslastrar todo el barco en 19 horas con una sola bomba en funcionamiento o 12 horas con dos bombas en funcionamiento. Las bombas disponen de motores eléctricos y se sitúan en la máquina.

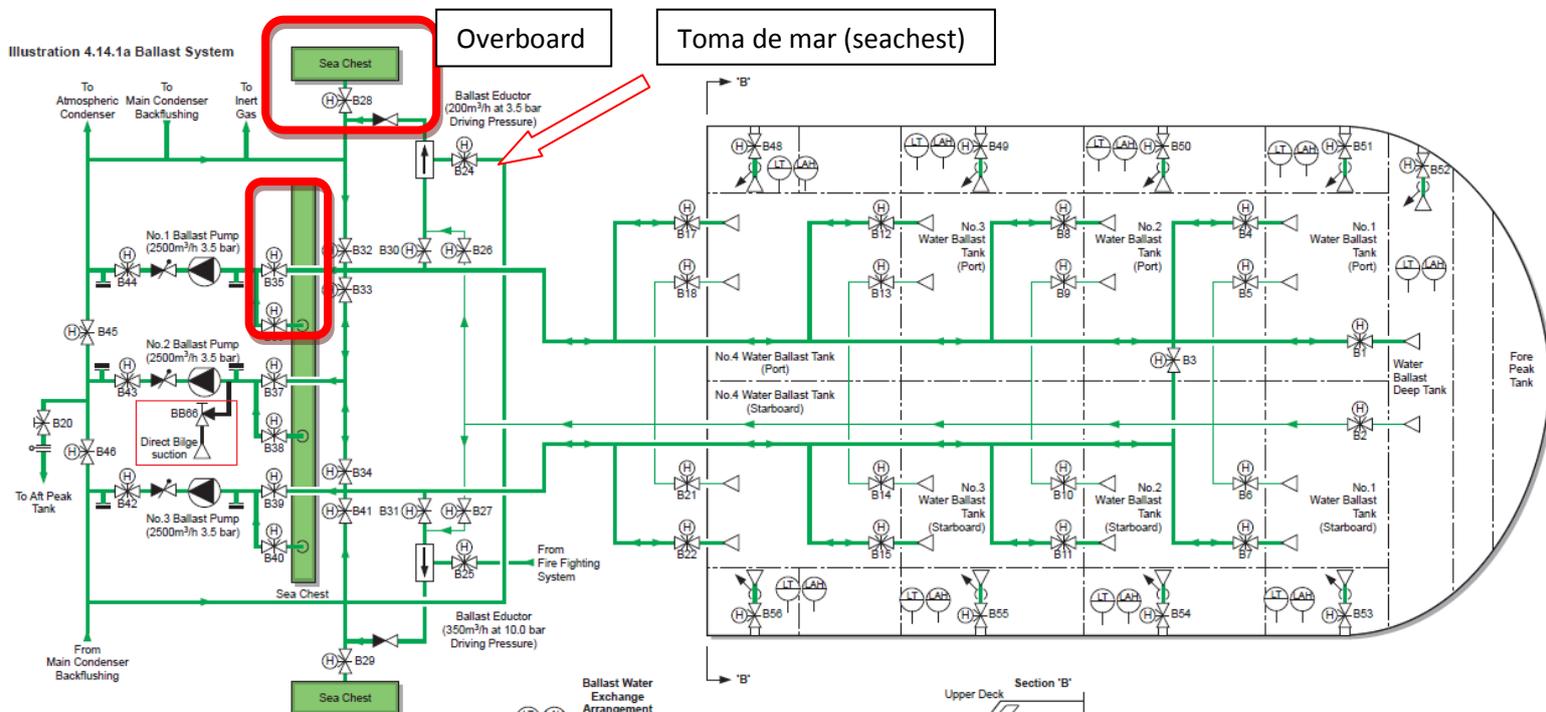


Figura 82: Sistema de líneas de lastre

<sup>90</sup> Deep tank de proa y peak de popa: Tanques situados en los extremos proel y popel del buque.

Los tanques de estribor y babor están abastecidos por dos líneas principales de 600 mm de diámetro que recorren sendos costados por dentro de los tanques de lastre de proa a popa. El deep tank lo abastece la línea de babor y ese tramo se reduce el diámetro a 450 mm. Estas líneas se pueden cerrar formando un anillo con unas válvulas llamadas crossover. Hay una línea de 250 mm de diámetro dedicada al stripping que recorre los 8 tanques de los costados y el deep tank de proa conectándolos a la aspiración de los eductores<sup>91</sup>. Para poder achicar<sup>92</sup> y dejar los tanques con el mínimo nivel de líquido posible se disponen 2 eductores con una descarga cada uno. El eductor de estribor utiliza la bomba contraincendios para crear el vacío y tiene una capacidad de 350m<sup>3</sup>/h. En cambio, el eductor de babor utiliza una bomba de lastre para crear el vacío y tiene una capacidad de 200m<sup>3</sup>/h. Todas las válvulas utilizadas en este sistema son hidráulicas y hay de 2 tipos:

- Válvulas de apertura o cierre total (válvula cerrada 0% o válvula abierta 100%).
- Válvulas de apertura o cierre gradual (válvula abierta de 0 – 100%).

<b>Ballast Pumps</b>	
Manufacturer:	Hamworthy KSE
Type:	Vertical centrifugal, No.1 pump fitted with self-priming unit
No. of sets:	3
Model:	CAD400-12V48 AAN
Capacity:	2,500m <sup>3</sup> /h at 35mth
Motor:	ABB M2CA 400 MLA-6
<b>Ballast Stripping Eductors</b>	
Manufacturer:	Ellehammer
No. of sets:	2
Model:	200-200-250/120-78
Capacity:	200m <sup>3</sup> /h, driven from ballast pumps at 3.5 bar
Model:	150-200-200/121-42
Capacity:	350m <sup>3</sup> /h, driven from fire main at 10.0 bar

Las bombas de lastre cogen el agua de las tomas de mar<sup>93</sup> situadas a babor y estribor una alta y otra baja. La baja se utiliza normalmente en operaciones de carga de lastre. En caso de emergencia las bombas de lastre pueden abastecer agua de mar al generador de gas inerte y al condensador de vacío en periodos de mantenimiento. La bomba de lastre N.2 tiene una succión directa en la sentina de la máquina que se abre mediante una válvula operada localmente. En caso de emergencia por fallo del acumulador

<sup>91</sup> Eductores: Es una herramienta que se utiliza a modo de bomba utilizando el Efecto Bernoulli.

<sup>92</sup> Achicar: Sacar el agua de algún lugar. Utilizado en el mundo marítimo.

<sup>93</sup> Toma de mar: Entrada para aspirar el agua situada en el casco del buque.

(power pack) se dispone de una bomba manual para apertura o cierre de válvulas hidráulicas. Todo el sistema de lastre se controla desde el control de carga (CCR) o puente a través del IAS.



*Figura 83: Bomba de lastre N.2*

#### **Principios básicos del manejo del lastre:**

- Para meter agua en los tanques se hará a través de las tomas de mar (seachest) y para achicar agua se evacuará a través de las válvulas overboard. Sinó se fuerzan las válvulas.
- La bomba de lastre funciona cebada hasta que el nivel de los tanques baja de los 30 cm. Después actuaríamos con el eductor tanque por tanque.
- La válvula de descarga de la bomba de lastre trabajará a 3.5 bar y la bomba con un amperaje de 488A. El eductor de estribor en cambio, con una presión de 10 bar y sinó llega a 10 se cerrarán las válvulas del caballo de baldeo y de la cortina de agua debajo del manifold para dar más presión.

## SISTEMA DE INDICADOR DE NIVEL Y CALADO

Los tanques de lastre incluyendo los peaks de proa y popa, los tanques de fuel pesado, diesel, aceite lubricante, aguas grises<sup>94</sup> y los de agua dulce disponen de un transmisor eléctrico-neumático para medir el nivel.

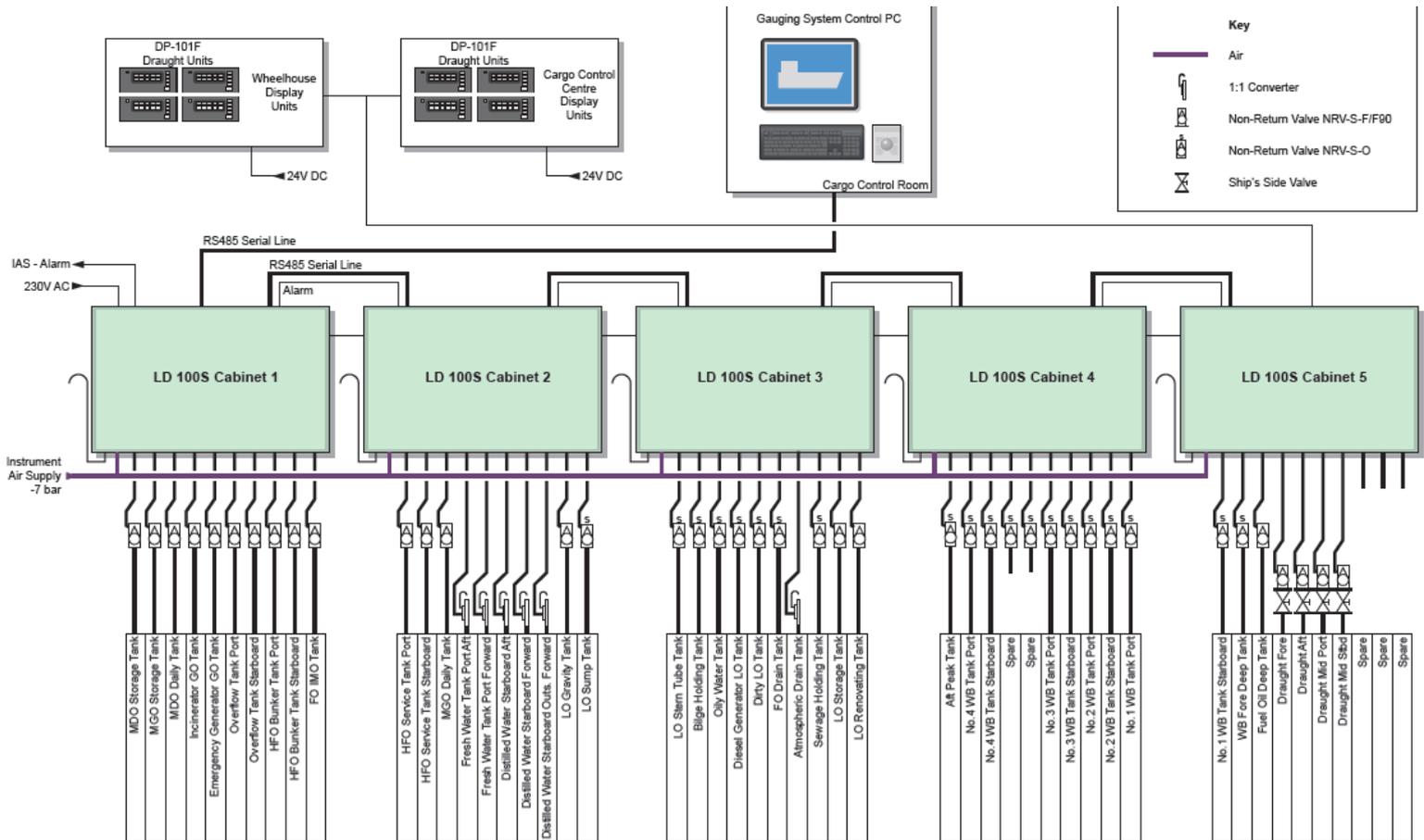


Figura 84: Sistema remoto de indicadores de nivel y calado

También los indicadores de calado del buque son eléctrico-neumáticos. Hay 4 dispuestos de la siguiente manera:

- 1 a proa: Peak de proa.
- 1 a popa: Máquina.
- 2 a mitad de la eslora: Tanques de lastre N.4.

Los transmisores envían la señal neumática a unos cabinets donde se transforma a señal electrónica y se muestra en el IAS. Sacan una lectura mediante las presiones hidrostáticas que se generan por el peso de los líquidos.

El **level datic** es un sistema que mide el nivel de los tanques como se muestra en la figura siguiente dependiendo de la contrapresión del aire que inyecta.

<sup>94</sup> Aguas grises: Son las aguas fecales del buque. Todos los inodoros van a parar a un tanque donde se tratan los residuos.

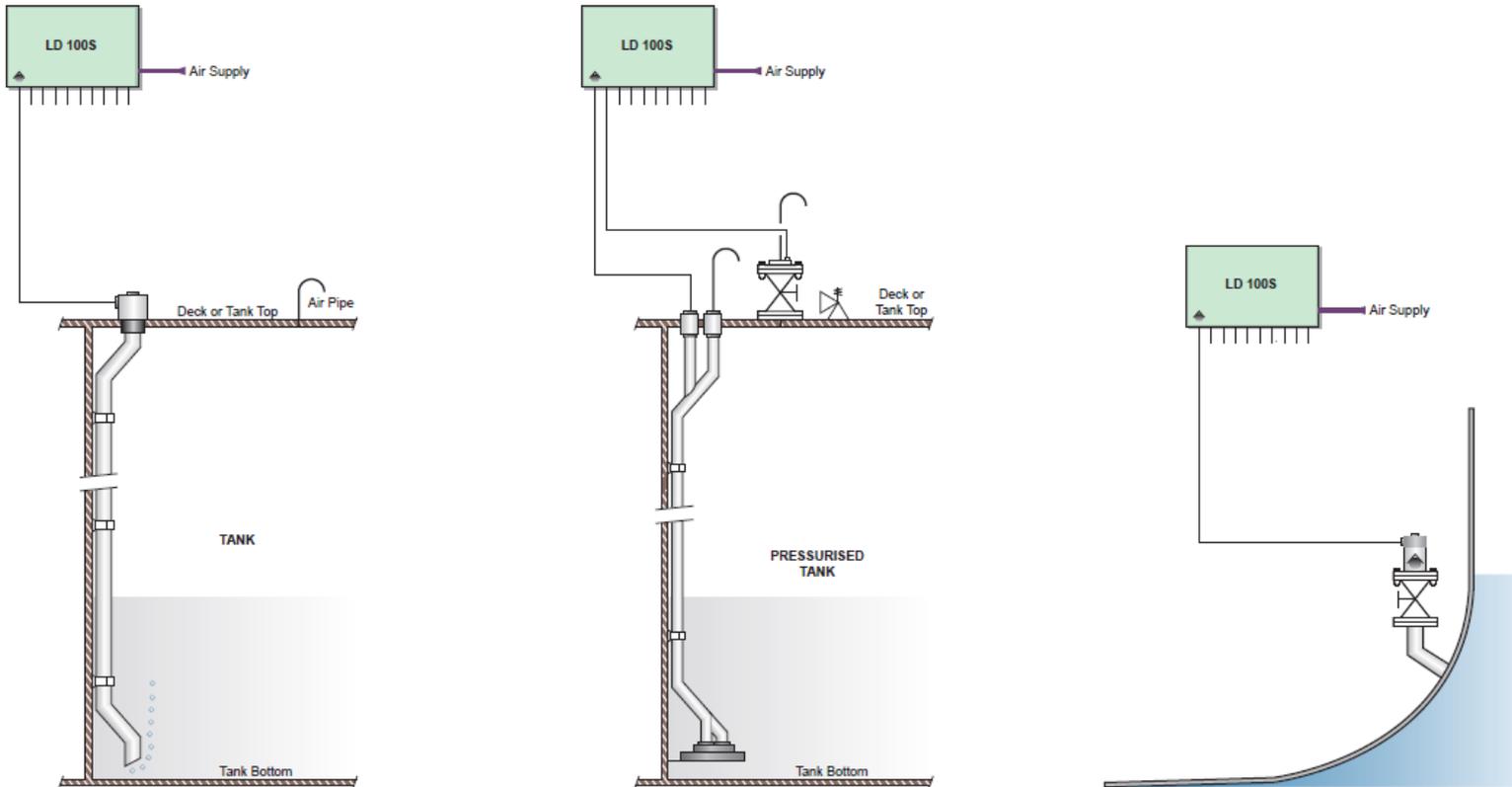


Figura 85: Tipos de sondas

## SISTEMA DE CAMBIO DE LASTRE

Siempre que se llevan a cabo operaciones de cambios de lastre se considera una buena práctica dejar el mínimo de tanques con superficies libres. Si los tanques no se llenan completamente se reduce la estabilidad del buque por una parte y por otra aumenta la corrosión. En cambio, cuando los tanques se deslastran estos se deben drenar lo máximo posible para eliminar los sedimentos, evitar las superficies libres y reducir la corrosión.

Muchos puertos requieren que los buques lleguen con un lastre cargado en aguas profundas para evitar la introducción de especies marinas de otras partes del mundo para no afectar al ecosistema marino y mantener su balance. Durante el viaje en lastre de un puerto a otro se debe renovar toda el agua de lastre que se lleva y se debe tener en cuenta los esfuerzos y momentos que producen estas operaciones en la estructura del buque.

Los cambios de lastre se deben llevar a cabo en zonas con mucho fondo y durante un periodo de tiempo ya que no se puede renovar el lastre en todos los tanques a la vez debido al efecto en la estabilidad. Esta operación debe registrarse a bordo anotando la posición, las horas de inicio y finalización y cantidades de agua renovada. En algunos puertos se toman muestras de los lastres para analizar antes de permitir ninguna operación del buque.

PFC

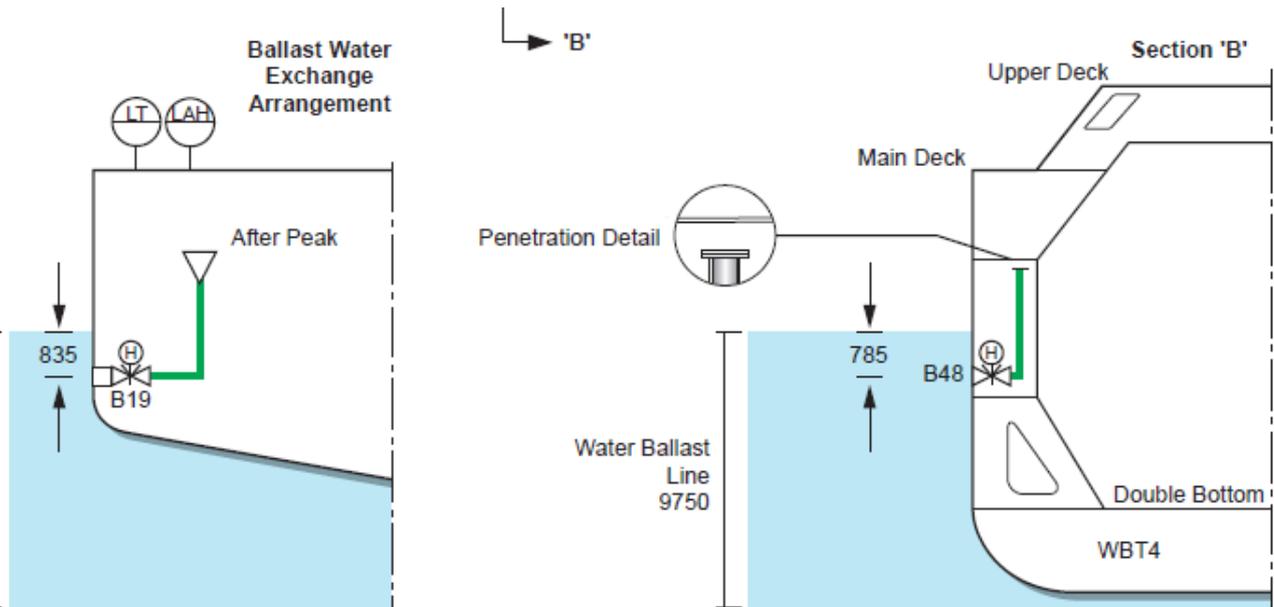


Figura 86: Sistema de cambio de lastre



Figura 87: Eductor de lastre

## 15. BOMBAS DE VACÍO

En el cuarto de compresores se disponen 2 bombas de vacío alimentadas por motores eléctricos. Su función principal es la de evacuar los espacios de aislamiento:

- Antes del primer llenado con nitrógeno.
- En caso de contaminación de un espacio.
- Reducir la presión en un espacio de aislamiento previa prueba de las membranas.
- Cuando se va a dique para abrir un tanque.

No. of sets:	2
Flow rate :	1,250m <sup>3</sup> /h
Pressure:	200mbar absolute
Motor speed:	1,170 rpm
Rated motor power:	37kW

Las bombas operan en paralelo y se arrancan des del IAS o localmente. Hay un sistema de alarmas de alta y baja presión de las barreras. Una alarma de muy alta presión pararía el generador de nitrógeno.



*Figura 88: Bomba de vacío*

# **SECCIÓN 5: SISTEMAS DE CUBIERTA Y AUXILIARES DE CARGA**

## 1. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE LA TEMPERATURA

El sistema de monitorización de temperaturas de los espacios de aislamiento y del casco intermedio da aviso de fallo de aislamiento o pérdida en las barreras. Los sensores se disponen en las barreras y en el casco intermedio a lo largo de cada tanque y tienen un rango de +100°C a -200°C. Hay **8 sensores en la barrera secundaria** de cada tanque dispuestos por parejas de manera que siempre está trabajando uno y el otro en standby. Si el primero falla el segundo se pone en marcha automáticamente.

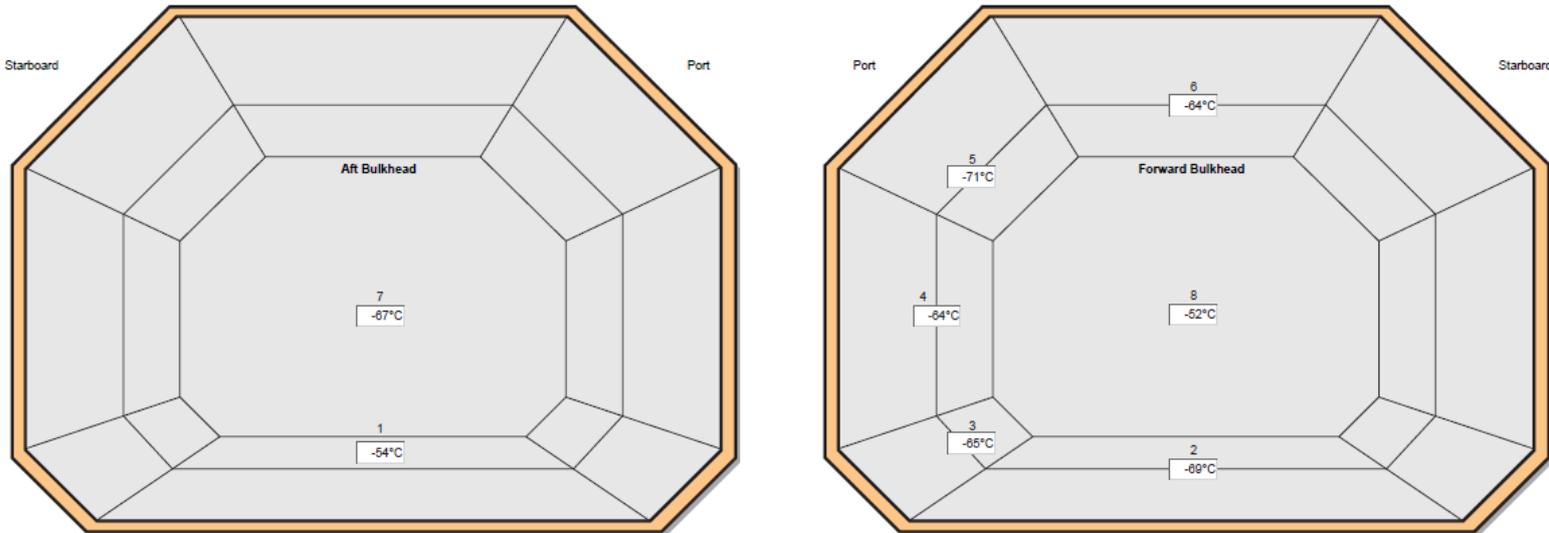


Figura 89: Sensores de temperatura en la barrera secundaria

En el **casco intermedio** se disponen **17 sensores** en cada tanque de la siguiente manera:

- 14 en los mamparos del inner hull.
- 2 en el trunk deck.
- 1 en el cofferdam.

Las lecturas de los sensores se ven a través del IAS en el control de carga (CCR). Las alarmas de temperatura son:

- 5°C (+): Temperatura mínima del casco intermedio.
- 120°C (-): Temperatura mínima de la barrera secundaria.

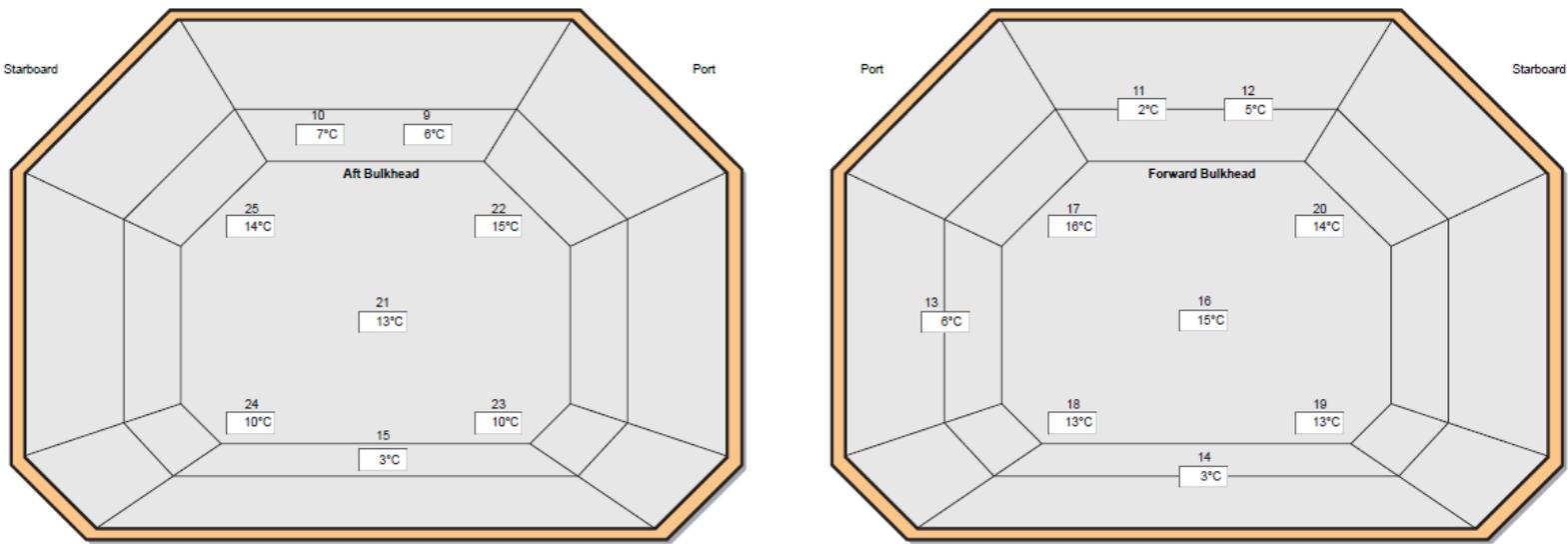


Figura 90: Sensores de temperatura en el casco intermedio

## 2. SISTEMA DE CONTROL Y PRESURIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO

El nitrógeno producido por el generador de nitrógeno y guardado en un tanque presurizado que abastece a la línea de  $N_2$  mediante válvulas reguladoras. Esta línea llega a la barrera primaria y secundaria de cada tanque. En caso de presurizar demasiado las barreras, el nitrógeno sobrante se ventearía por el palo de venteo N.2 utilizando un sistema de válvulas que conecta la línea de la barrera primaria o la línea de la barrera secundaria.

Tanto la barrera primaria como la secundaria disponen de unas válvulas de alivio de presión taradas a una presión de 1 kPa por encima de la presión atmosférica. El venteo de la barrera primaria va hacía el palo de venteo de cada tanque pero el venteo de la barrera secundaria se da a la cubierta de carga. Hay una válvula para hacer un bypass manual en la línea de venteo de la barrera primaria por si se requiere hacer un venteo o barrido local en el caso de que hubiera una pérdida del tanque a la barrera.

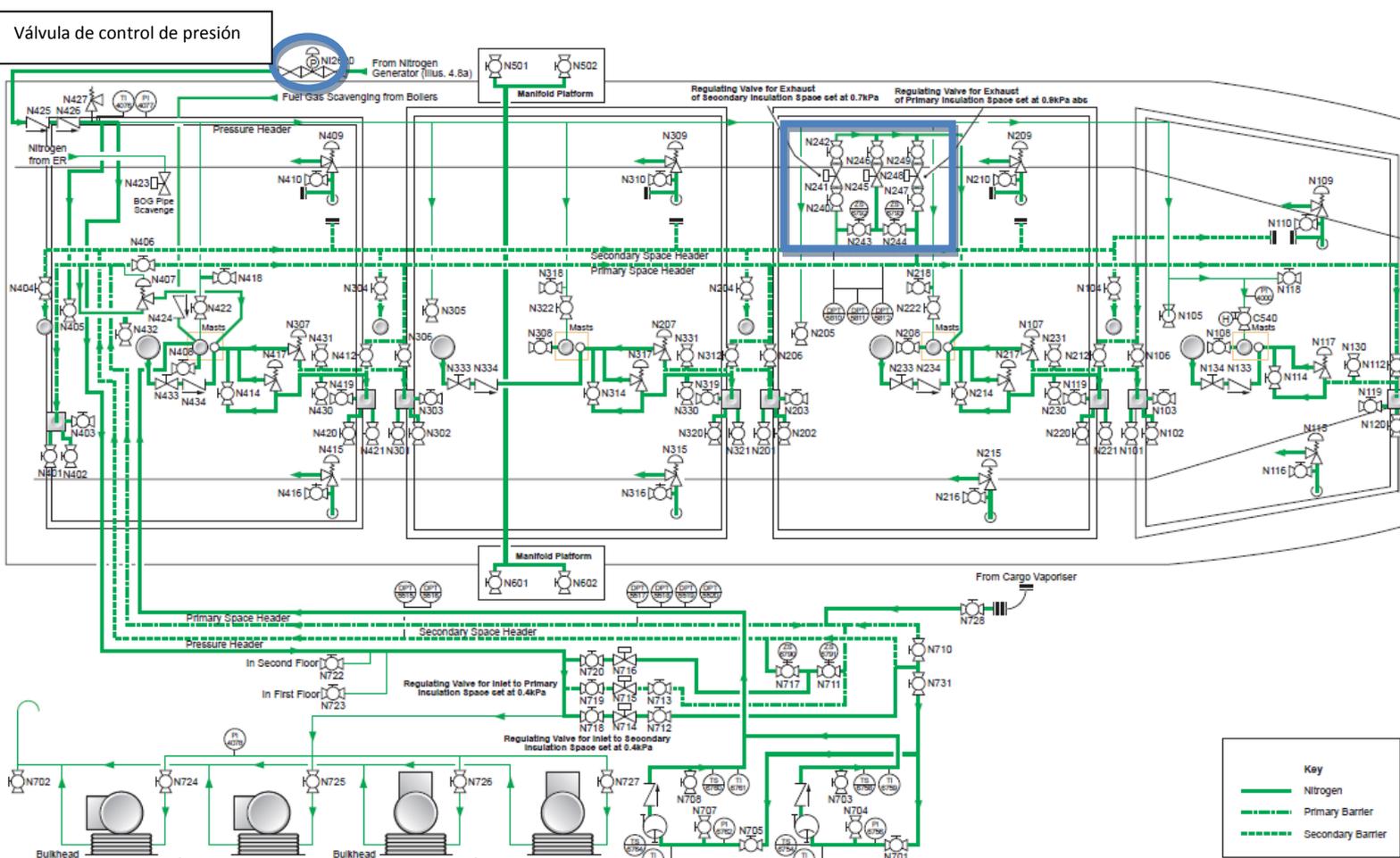


Figura 91: Sistema de carga de nitrógeno

La planta de producción de nitrógeno está en automático de manera que puede mantener la presión constante (420 – 450 kPa) en el tanque de servicio para demandas normales ( $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

La presión en las barreras primaria y secundaria está controlada por unas válvulas de control de presión. De manera que cuando la presión cae, la válvula de entrada se abre mientras que la de salida se mantiene cerrada. De forma contraria cuando la presión aumenta, la válvula de salida se abre mientras que la de entrada se mantiene cerrada.



*Figura 92: Válvulas de regulación de presión de nitrógeno*

La válvula de control de presión en la línea mantiene una presión de 420 kPa y da al IAS datos sobre el flujo de demanda de nitrógeno. Los espacios de aislamiento disponen de un sistema de alarmas de alta y baja presión relativa.

El sistema ajusta automáticamente las presiones de ambas barreras venteando en caso de sobrepresión y abasteciendo en caso de baja presión. Durante el enfriamiento de los tanques la presión en las barreras tendrá que monitorizarse debido al descenso que producirá el enfriamiento.

**Los espacios de aislamiento se deben proteger de la sobrepresión ya que podría resultar en la rotura de las membranas.**

### 3. SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LOS COFFERDAM

#### SISTEMA DE GLICOL/AGUA

El sistema de calentamiento glicol/agua se sitúa en el cuarto de motores eléctricos y sirve para calentar el glicol/agua que se bombea a través de unos serpentines<sup>95</sup> situados en cada cofferdam y en el espacio vacío del domo de líquido para mantener la temperatura de dichos espacios por encima de los +5°C. Como requiere el código IGC<sup>96</sup> este sistema a bordo está por duplicado de manera que siempre se pueda utilizar en caso de emergencia. El sistema dispone de 2 bombas, 2 calentadores de alta carga y otro eléctrico además de dos líneas independientes de serpentines.

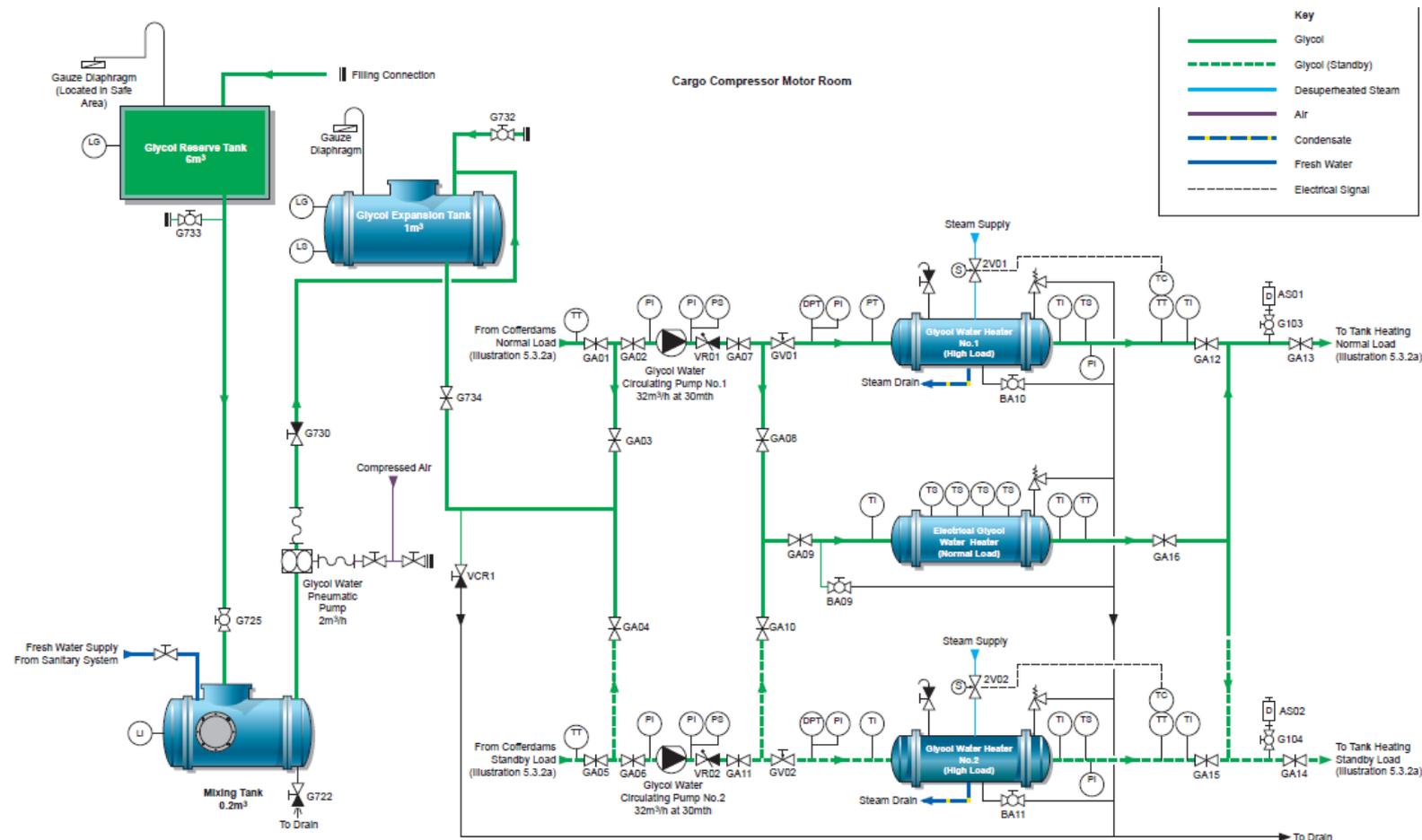


Figura 93: Sistema de glicol/agua esquema

En el domo de líquido se encuentra un espacio vacío entre la cubierta de carga y el tanque. Este espacio también está provisto de este sistema de calentamiento que se arranca durante las operaciones de carga y descarga y está provisto de 2 líneas independientes con prestaciones del 100% cada una.

<sup>95</sup> Serpentines: Se denomina serpentín a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar o calentar vapores o bien un espacio.

<sup>96</sup> Código IGC: Código Internacional Gas Carriers.

Cada cofferdam está provisto de 2 líneas idénticas e independientes que pueden actuar con unas prestaciones del 100% cada una. Una línea está situada en el mamparo de proa del cofferdam y otra en el mamparo de popa.

El sistema está compuesto por:

- 2 bombas centrífugas con una capacidad de  $32 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- 2 calentadores a vapor (para altas demandas).
- 1 calentador eléctrico de 90 kW (para demandas estándar).
- 1 tanque de 1000 litros para la expansión del glicol.
- 1 tanque de almacenamiento de glicol de 6000 litros.
- 1 tanque de mezcla de glicol de 200 litros.
- 1 bomba neumática de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  para bombear el glicol del tanque de mezcla al de expansión.

El vapor de los calentadores de glicol proviene de los turbogeneradores<sup>97</sup> de baja presión de la máquina.



*Figura 94: Sistema de glicol/agua*

<sup>97</sup> Turbogeneradores: Equipo utilizado para la generación de energía eléctrica. El término Turbo se aplica en su nombre por que es impulsado por una turbina y el término generador por que el dispositivo impulsado por la turbina, es llamado generador (generador eléctrico).

## CONTROL DE CALENTAMIENTO DE LOS COFFERDAM

El sistema de calentamiento de los cofferdam es un sistema semi-sellado que hace circular la mezcla glicol/agua. El nivel del sistema se mantiene mezclando glicol al 45% con agua en el tanque mezcla de 200 litros. Cuando se tiene que topear<sup>98</sup> se utiliza la bomba neumática debido a su inferior capacidad.

La temperatura dentro de los cofferdam está afectada por:

- La temperatura de los tanques de lastre.
- La temperatura atmosférica.
- La temperatura de la carga dentro de los tanques.

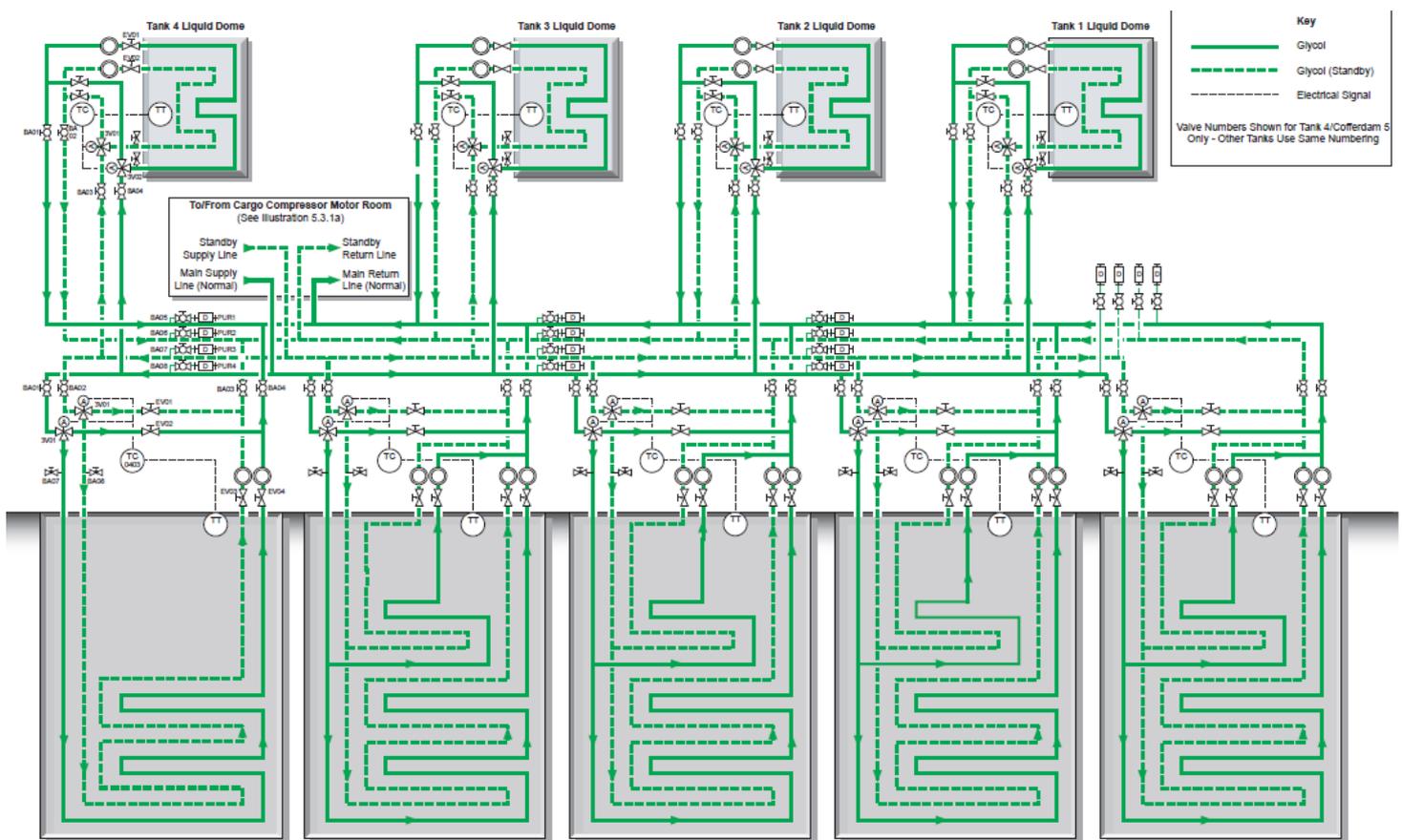


Figura 95: Sistema de calentamiento de los cofferdam

El objetivo de este sistema es el de mantener una temperatura superior a +5°C en dichos espacios cuando el buque está en condición fría. En los viajes en lastre normalmente el sistema no está en funcionamiento. Cada cofferdam tiene dos líneas diferentes para el calentamiento. Mientras una está en marcha la otra está en espera. El sistema de calentamiento puede asegurar una temperatura de +5°C siempre que las condiciones no sean más extremas de:

<sup>98</sup> Toppear: Acción de llenar el tanque casi hasta el límite con seguridad sin exponerse a una sobre presurización del sistema.

- Temperatura del aire: -18°C.
- Temperatura del agua: 0°C.

Cualquier fallo en este sistema debe tratarse muy seriamente y ser reparado con la máxima prontitud. En caso de sospechar que una línea tiene pérdidas se deben sondear los cofferdam regularmente para encontrar la fuga. Igualmente, estos espacios disponen de sensores de temperatura que darán una indicación más rápida de lo que está pasando, al fallar el sistema de calentamiento, la temperatura bajará rápidamente. En el hipotético caso de tener líquido en los cofferdam, este se puede extraer mediante una bomba neumática situada dentro.

El flujo de la mezcla a cada serpentín se regula mediante una válvula. En caso de fallo de cualquier parte del sistema, este dispone de diferentes válvulas de interconexión. La temperatura de la mezcla se regula mediante una válvula de flujo de vapor en el calentador a vapor, o bien, con el arranque automático del calentador eléctrico.

## VENTILACIÓN DEL CASCO

Los cofferdam se deben inspeccionar regularmente (más o menos 1 cofferdam cada mes) con el fin de detectar zonas congeladas, condición de la pintura de los mamparos, estado de las líneas, juntas y válvulas. Cada cofferdam dispone de 2 entradas, 1 a cada costado. Una vez abierto el cofferdam se debe ventilar antes de proceder a entrar. Esto se hará poniendo una tubería flexible que llegue hasta el fondo del cofferdam con un ventilador portátil de manera que se asegure el flujo de aire. Durante la operación las tapas de acceso al cofferdam se mantendrán abiertas.

Se deben tener en cuenta ciertas medidas de seguridad:

- Ventilar previamente a la entrada y durante la operación el espacio con medios mecánicos.
- Se debe comprobar con analizadores de oxígeno e hidrocarburos el estado de la atmosfera interna del cofferdam.
- Entrar con medios de comunicación.
- Entrar con medios de iluminación intrínsecamente seguros.
- En el exterior se dispondrá un kit de emergencia con 2 sistemas autónomos de respiración, 4 botellas de aire de respeto<sup>99</sup>, camilla, 2 líneas de vida de alambre, 1 arnés de rescate, analizador de hidrocarburos y oxígeno, 1 VHF<sup>100</sup> con frecuencia aérea.
- Se hará una charla resumen de la actividad que se llevará a cabo y una persona se quedará en el exterior del cofferdam.

Cada persona que se disponga a entrar llevará consigo un analizador, una radio y una linterna principal y otra de emergencia.

<sup>99</sup> Respeto: De repuesto.

<sup>100</sup> VHF: Equipo de comunicación que funciona por very high frequency.

La temperatura de punto de rocío de cada espacio debe chequearse mensualmente y si esta es menor de 5°C respecto la temperatura del tanque ( $T^{\circ}$  punto rocío  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  y  $T^{\circ}$  tanque = 5°C), el aire debe ser renovado. Esto se medirá con un analizador portátil.

### **PASSAGEWAYS**

Los passageways son 2 pasillos que recorren el buque de proa hasta la acomodación discurriendo por debajo de la cubierta de carga y por encima de los tanques de lastre por dentro del casco. Son espacios cerrados con 2 ventilaciones mecánicas cada passageway una a estribor y otra a babor a proa de los manifolds. Además cada pasillo dispone de 2 ventilaciones naturales una a proa y otro a popa.



*Figura 96: Passageways*

#### 4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA MAQUINARIA DE CARGA

##### Cargo Machinery Fresh Water Cooling Pump

Manufacturer:	Hamworthy KSE
No. of sets:	2
Type:	Centrifugal
Model:	CGB100 V48 FAN
Capacity:	100m <sup>3</sup> /h at 3.5 bar
Motor:	16.2kW

El sistema de refrigeración de la maquinaria de carga está separado del de la máquina principal. El sistema consiste en 2 bombas (una operando y la otra en standby) que circulan agua dulce que refrigera los equipos a través de 2 refrigeradores que funcionan con agua salada cuya función es la de mantener la temperatura deseada. Esta agua se recircula hasta el cuarto de compresores donde actúa como sistema de refrigeración en los tanques de aceite lubricante de los 2 compresores low duty y los 2 high duty. Además, refrigera las 2 bombas de vacío.

Para mantener la temperatura deseada en el circuito de refrigeración se dispone una válvula entre los enfriadores y las bombas que permite hacer pasar el agua por los enfriadores o bien, bypassarlos. Esta válvula se monitoriza des del IAS y mantiene una temperatura de 36°C.



*Figura 97: Bombas de agua dulce de refrigeración*

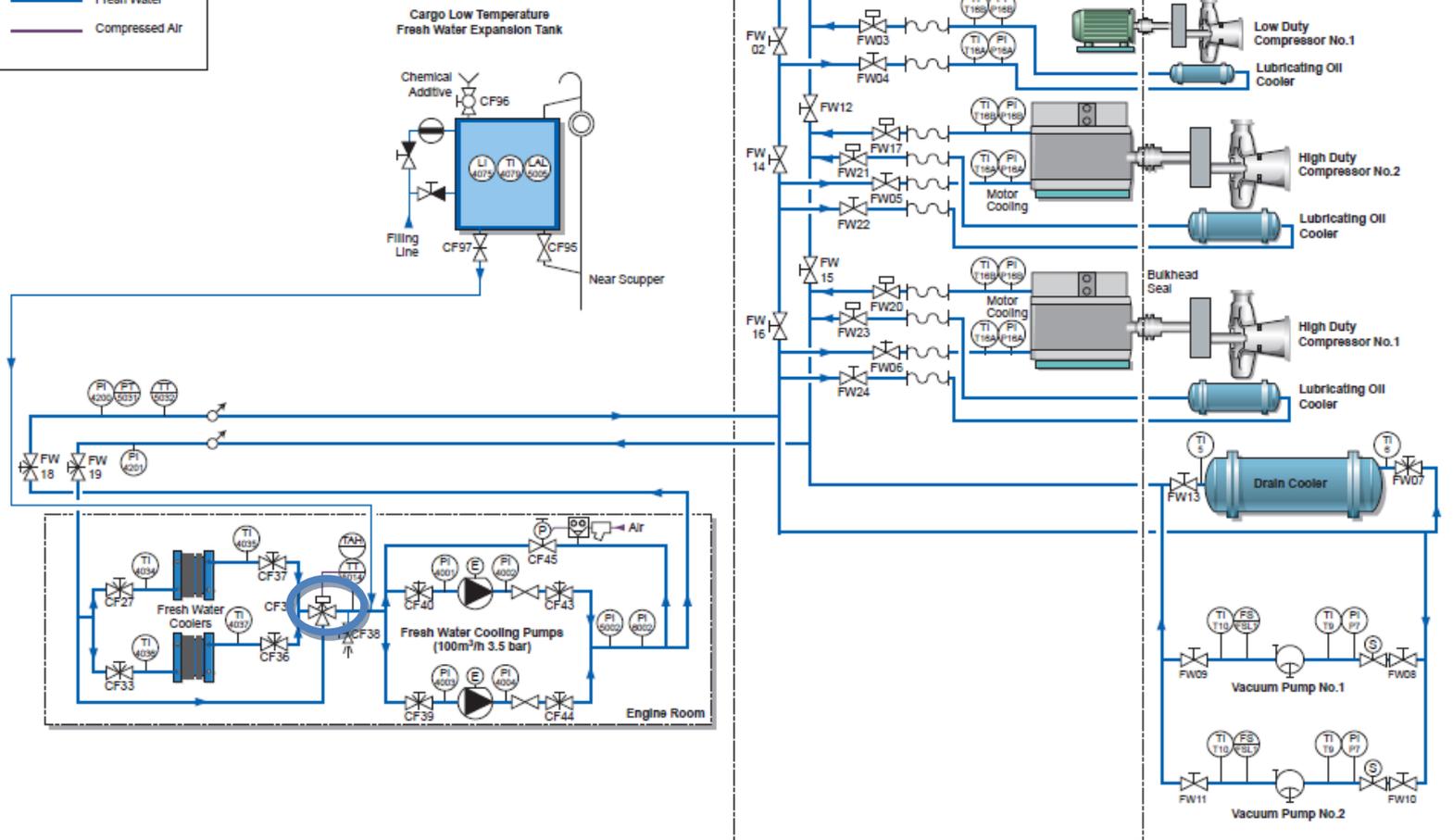
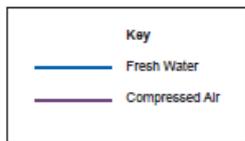


Figura 98: Sistema de refrigeración de la maquinaria de carga

El sistema está provisto de un tanque que permite la expansión térmica del agua en el circuito y lo alimenta cuando es necesario. En este tanque el agua recibe un tratamiento químico para minimizar la corrosión.

El tanque de expansión tiene alarmas de bajo nivel alertando de que posiblemente haya una pérdida en la línea. Además hay dispuesto un sensor de flujo en la línea del tanque al circuito que mostrará previamente que se está abasteciendo a la línea.



*Figura 99: Enfriadores de agua dulce (arriba) y bomba de agua salda que alimenta los enfriadores (abajo)*

## 5. SENTINA DE PROA

Las dos cajas de cadenas, el pañol de proa del contraamaestre, el cuarto de la bomba contraincendios de emergencia, el cuarto de la maquinaria hidráulica disponen de pocetes de sentina<sup>101</sup> que pueden evacuar el agua que se halle mediante 2 eductores<sup>102</sup>.

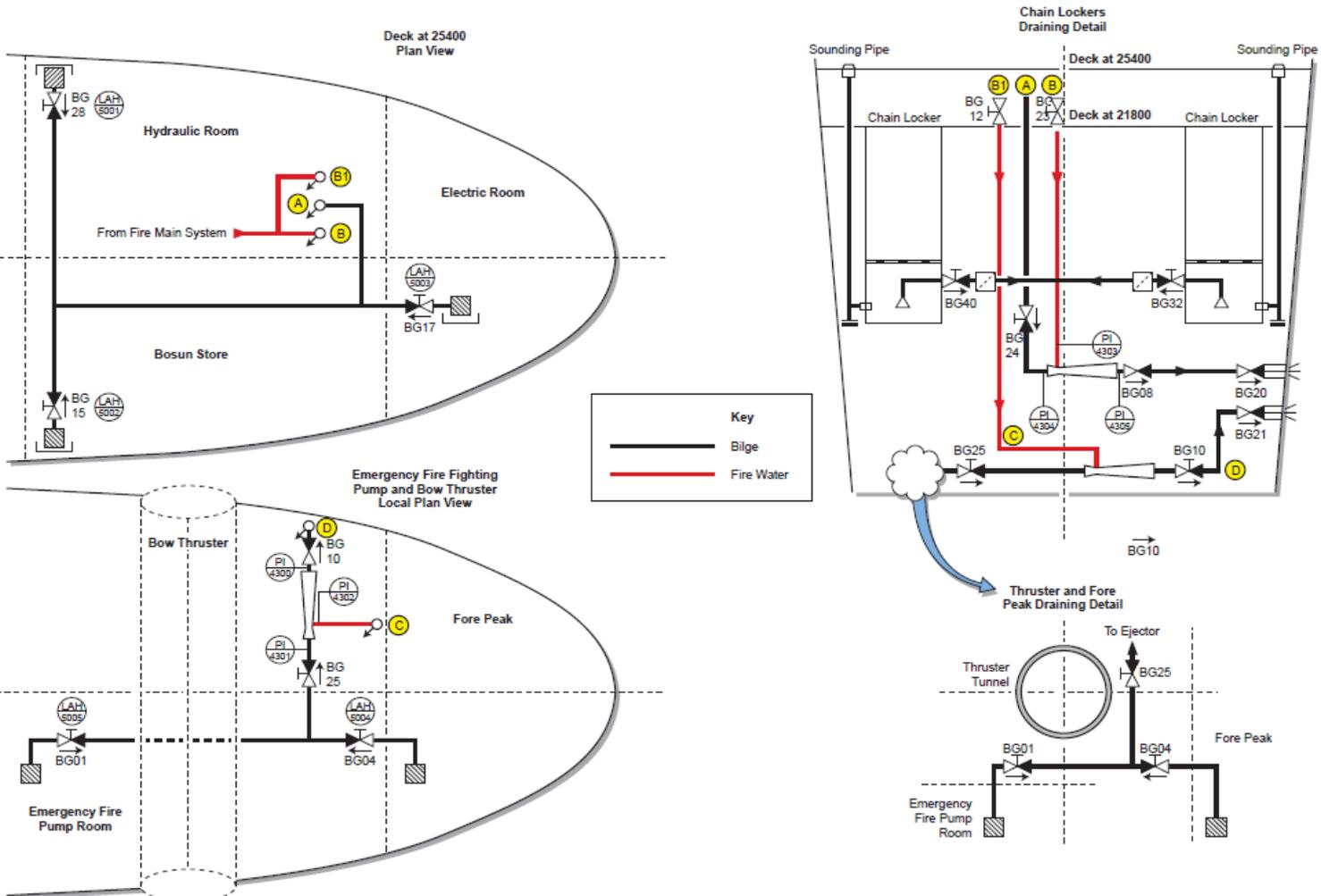


Figura 100: Sentina de proa

En caso de inundación de esos espacios los pocetes darían una alarma. Entonces se procedería a desalojar esa agua mediante los 2 eductores siendo los pocetes las mismas succiones del sistema de sentina de proa.

Los eductores tienen una capacidad de  $30m^3/h$  y la succión que ejercen se crea a través de un vacío generado por el paso de agua salada suministrada mediante la línea principal contraincendios. El agua se descarga directamente por la borda<sup>103</sup>. El peak de proa también tiene un pocete en caso de que se tenga que descargar en una emergencia.

<sup>101</sup> Pocete de sentina: Espacio situado en una parte baja cuya función es recolectar líquidos procedentes de pérdidas.

<sup>102</sup> Eductor: Es una herramienta que se utiliza a modo de bomba utilizando el Efecto Bernoulli.

<sup>103</sup> Borda: Parte exterior del buque.



*Figura 101: Eductor de proa (arriba) y pocete de sentina (abajo)*

# **SECCIÓN 6: OPERACIONES POSTERIORES A DIQUE, CARGA/DESCARGA Y OPERACIONES PREVIAS A LA ENTRADA A DIQUE**

## 1. PRESURIZACIÓN DE LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO

### INERTADO DE LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO

Los espacios primario (PIS) y secundario (SIS) van llenos de gas nitrógeno seco. El sistema está diseñado para mantener una presión de 0.2 kPa por encima de la presión atmosférica, esta presión se mantiene debido a las válvulas de presión/vacío que reaccionan según los cambios de temperatura dentro de los tanques.

El nitrógeno proporciona un ambiente seco e inerte para:

- Evitar la formación de una mezcla inflamable en caso de una fuga de gas.
- Permitir la fácil detección en caso de pérdidas de LNG en las membranas.
- Evitar la corrosión.

El nitrógeno se produce a bordo en 2 generadores que lo almacenan en un tanque de  $17.6m^3$  a una presión de 10 bar.

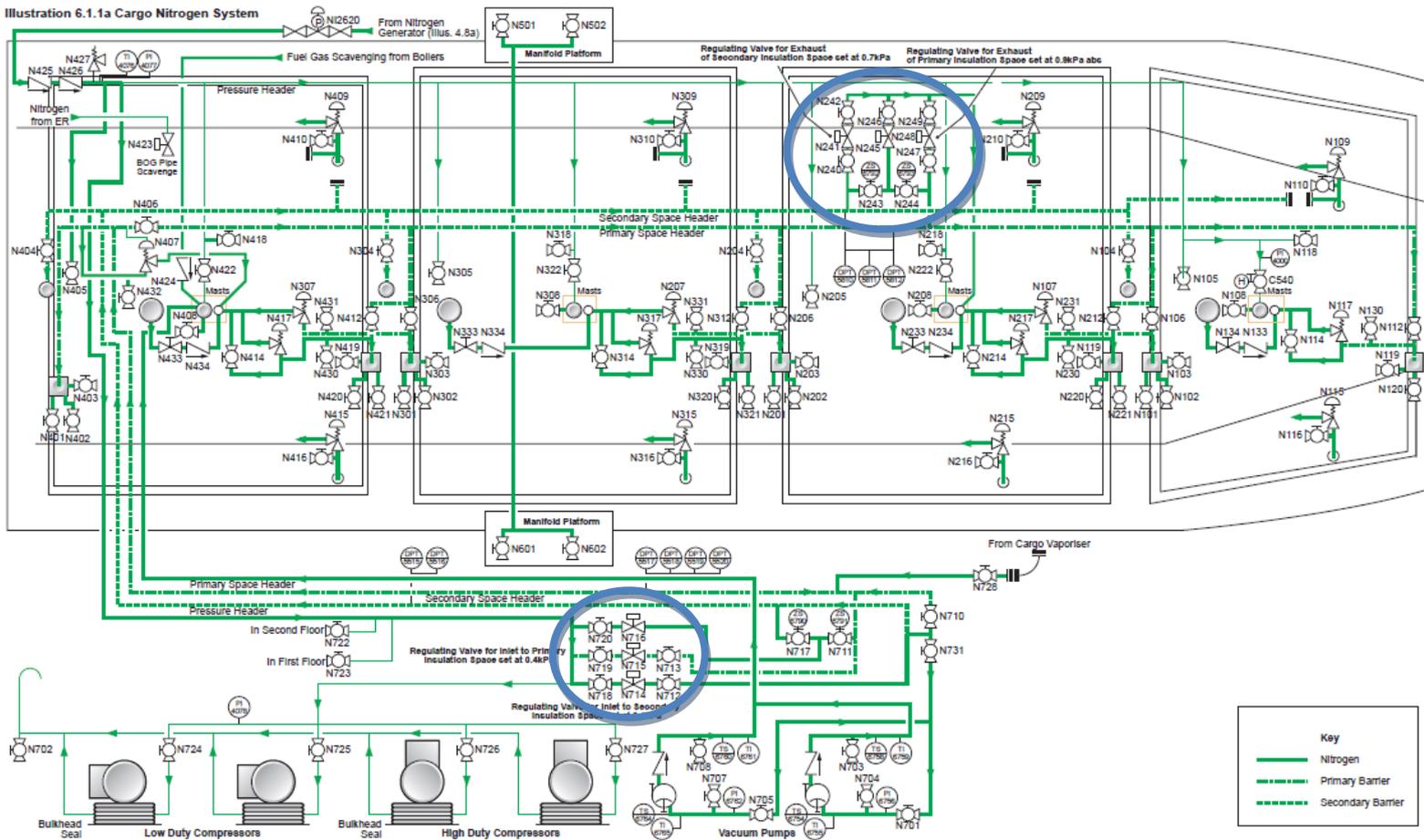


Figura 102: Sistema de carga de nitrógeno

De la línea principal salen varias líneas que van a la barrera primaria y a la secundaria de cada tanque. El exceso de nitrógeno se ventea a la atmósfera a través del palo de venteo en el caso de la barrera primaria y directamente a cubierta en el caso de la barrera secundaria. Ambos espacios de aislamiento cuentan con unas válvulas de alivio de presión que abren a 1.0 kPa por encima de la presión atmosférica.

La planta de generación de nitrógeno se mantiene en automático con un generador que produce  $120m^3/h$  que es suficiente para mantener la presión en las barreras debido a las pequeñas demandas. En el caso de que se necesitara una demanda mayor se iniciaría automáticamente el segundo generador.

Después de haber estado en dique, los espacios de aislamiento se tendrán que inertar y esto bien se puede hacer con la planta de a bordo o mediante nitrógeno suministrado des de tierra. Normalmente, los medios de a bordo son suficientes para llevar a cabo esta tarea.

Si fuera posible, los tanques de carga deberían estar presurizados a 3 kPa por encima de la presión atmosférica durante el inertado y secado de los espacios de aislamiento con el fin de evitar el riesgo de sobrepresión en las barreras y que puedan romperse.

En el caso de que subiera el contenido de oxígeno de los espacios de aislamiento (10%), se tendría que generar un vacío de -80 kPa simultáneamente en los dos espacios con las bombas de vacío y volver a rellenar con nitrógeno.

Antes de empezar con el enfriamiento de los tanques de carga, el nitrógeno en los espacios debe contener menos de un 3% de oxígeno y estar más seco que un 10% de la temperatura de rocío.

**Las válvulas de abastecimiento están taradas a:**

- barrera 1<sup>a</sup>: 0.4 kPa
- barrera 2<sup>a</sup>: 0.2 kPa

**Las válvulas de seguridad están taradas a:**

- barrera 1<sup>a</sup>: 0.9 kPa
- barrera 2<sup>a</sup>: 0.7 kPa

En caso de una pérdida de LNG en los espacios de aislamiento, la situación se puede solventar suministrando continuamente nitrógeno a la barrera y venteando la mezcla al exterior. Se deberá monitorizar en todo momento los niveles de los analizadores de gas durante la purga.

Los espacios de aislamiento se deben proteger en todo momento de la sobrepresión ya que podría resultar en fallo de las membranas.

Una bomba neumática se dispone en cada cofferdam para drenar la membrana secundaria en caso de una pérdida.

### **TEST DE SERVICIO**

Las regulaciones de las sociedades de clasificación requieren que las membranas de los tanques se deben chequear periódicamente para comprobar su estanqueidad.

Cada barrera primaria y secundaria dispone de un sistema de detección continuo de gas que permite medir las concentraciones durante intervalos no mayores de 30 minutos. La continuidad de estas mediciones da el valor medio de la estanqueidad de la barrera. Cualquier pico de concentración de gas en la barrera da una indicación de que la membrana ha sufrido algún daño.

Dependiendo del grado de la pérdida, esta puede ser controlada mediante el suministro continuo de nitrógeno para la purga. O bien, se debe llevar el buque a dique para efectuar las reparaciones.

## 2. OPERACIONES POSTERIORES A DIQUE

### INERTADO INICIAL DE LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO

#### Evacuación de los espacios

Antes de poner un tanque de carga en servicio después de reparaciones en dique, es necesario reemplazar el aire húmedo de los espacios de aislamiento por nitrógeno seco. Esta operación se lleva a cabo evacuando todo el contenido de los espacios de aislamiento mediante las bombas de vacío y rellenando con nitrógeno. Este proceso se ejecuta hasta que haya un nivel menor del 2% en oxígeno dentro de las barreras.

Para evitar daños en la barrera secundaria, nunca se debe evacuar la barrera primaria mientras la secundaria tiene presión. Tampoco se debe presurizar la barrera secundaria mientras la primaria está en vacío.

La evacuación de los espacios de aislamiento lleva unas 8 horas. Normalmente se hacen 3 ciclos para bajar el nivel de oxígeno por debajo del 2%.

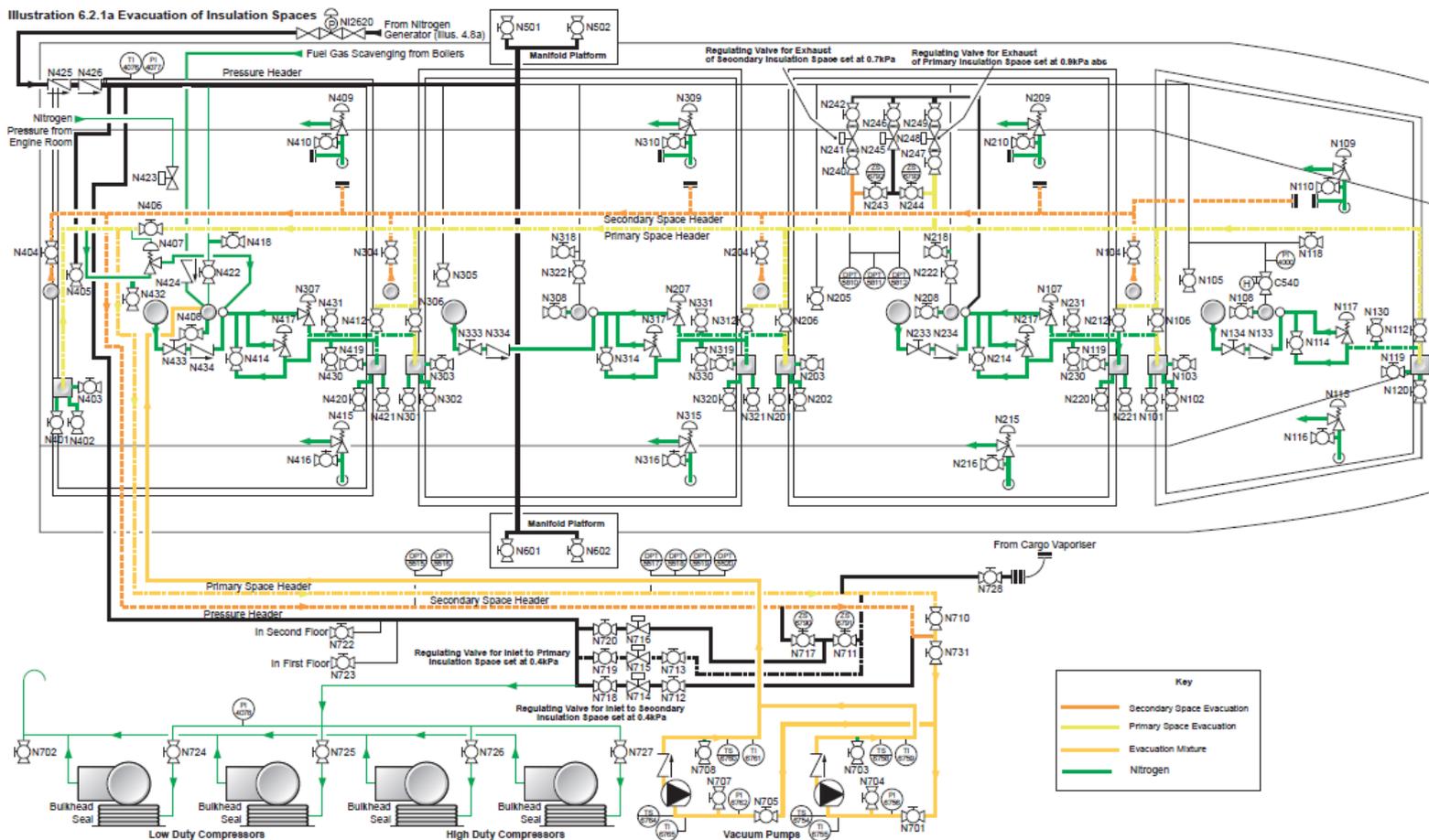


Figura 103: Evacuación de los espacios de aislamiento

Los cambios de temperatura o de presión pueden generar unas diferencias de presión de 3.0 kPa entre los espacios de aislamiento que están cerrados. Con los equipos de carga fuera de servicio siempre se debe mantener una presión igual o inferior en la barrera secundaria que en la primaria. Se pueden ocasionar daños importantes si la diferencia de presión entre ambas excede los 3.0 kPa.

**En el caso de que la diferencia de presiones entre los dos espacios de aislamiento llegue a 3kPa, las dos barreras deben interconectarse inmediatamente lo que supone una operación manual.**

Una vez igualadas las presiones en ambos espacios, éstos pueden aguantar una larga despresurización sin dañarse. Las membranas pueden aguantar presiones de vacío de hasta -80 kPa durante test, etapas de construcción y purgado.

Antes de rellenar con nitrógeno, las barreras se vacían a 20 kPa absolutos. La evacuación de las barreras también sirve para comprobar la integridad de éstas durante las pruebas periódicas.

Para evitar daños en las barreras, primero se evacuará la barrera secundaria. El sistema de líneas en la succión de las bombas de vacío está hecho de tal forma que no se puede evacuar la barrera primaria sin haber evacuado antes la secundaria o sin asegurar que van a vaciarse simultáneamente.

Dos bombas de vacío con motores eléctricos se disponen en el cuarto de compresores. Descargan a la atmosfera a través del palo de venteo N.4.

#### Inertado con nitrógeno de tierra

Después de haber evacuado los espacios de aislamiento, estos se rellenan con nitrógeno repitiendo el ciclo hasta que el volumen de oxígeno es menor del 2%. Se abastece nitrógeno líquido des de tierra a través de manifold llevándolo por la línea de espray hasta el vaporizador de LNG y el nitrógeno en estado gas se envía a los espacios a una temperatura de +20°C. Los generadores de nitrógeno de a bordo no se utilizan debido a la enorme cantidad de nitrógeno que se necesita para hacer esta operación.

**El vaporizador debe ser calentado previa carga de nitrógeno líquido mediante vapor para evitar la formación de hielo.**

#### Inertado con generadores de a bordo (topeo)

Cuando se está finalizando el inertado de los espacios con el nitrógeno de tierra, llega el topeo final de los espacios de aislamiento que se hará con los generadores de a bordo dejando una presión de 0.2 kPa.

La presión luego se mantiene mediante un sistema de válvulas de presión/vacío dependiendo de si la presión atmosférica y temperatura suben o bajan. El espacio secundario se mantiene a una presión de entre 0.2-0.4 kPa y el primario entre 0.4-0.6 kPa por encima de la presión atmosférica.

### **SECADO DE LOS TANQUES DE CARGA**

Durante una estancia en dique, los tanques de carga que han sido abiertos y contienen aire húmedo se tienen que secar. Con el fin de que no se forme hielo cuando se haga el enfriamiento y para evitar la formación de agentes corrosivos si la humedad se mezcla con los óxidos de sulfuro y nitrógeno que contiene en exceso el gas inerte. Los tanques se inertizan con el fin de evitar una atmosfera inflamable. El aire seco luego se desplaza con gas inerte generado por la planta de a bordo de gas inerte/aire seco.

El gas inerte es básicamente nitrógeno y dióxido de carbono con un contenido de oxígeno menor del 1% y una temperatura de punto de rocío de  $-45^{\circ}\text{C}$  o menor.

El aire seco se introduce por el fondo del tanque mediante la línea de llenado (filling). El aire húmedo que había se va desplazando hacia la parte superior y sale del tanque por el domo de vapor a través de la línea de vapor que descarga a la atmosfera por el palo de venteo N.1.

Toda la operación (secado e inertado) se lleva a cabo en 40 horas, 20 horas para cada operación para reducir el contenido de oxígeno por debajo del 2% y la temperatura de rocío a  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Durante el tiempo que el generador de gas inerte está en funcionamiento para el secado e inertado de los tanques, el gas inerte también se utiliza para secar ( $-45^{\circ}\text{C}$  temperatura de rocío) y para inertar todos los tramos de línea de carga. Antes de meter LNG o vapor, todos los tramos que no han sido inertados con gas inerte se deben purgar con nitrógeno.

**El abastecimiento de nitrógeno a los espacios de aislamiento debe empezar tan pronto como se empiecen a secar los tanques. Se deben mantener los tanques a 3 kPa de presión hasta que el sistema de  $N^2$  esté totalmente operativo.**

El tanque N.1 debe ser el último en secarse para asegurar que todo el sistema está lleno de aire seco.

**Es necesario bajar la temperatura de rocío del tanque hasta al menos  $-20^{\circ}\text{C}$  con aire seco antes de llenar los tanques con gas inerte para evitar la formación de agentes corrosivos.**

Todos los tramos de líneas de carga como los de las bombas, sondas y líneas en el cuarto de compresores deben ser purgadas con aire seco mientras se hace el secado en los tanques venteando a través de los puntos de muestreo.

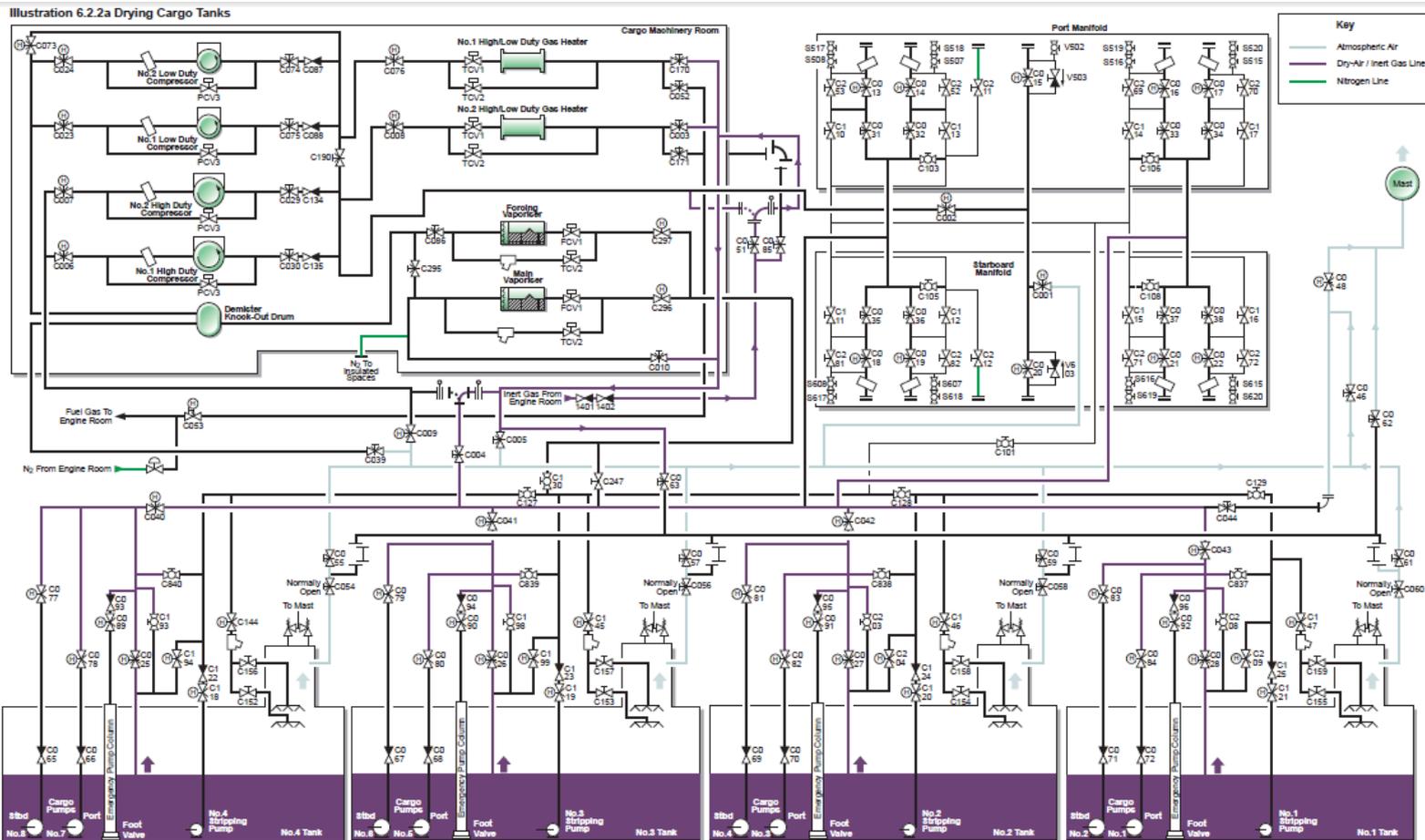


Figura 104: Secado de los tanques de carga

### INERTADO DE LOS TANQUES DE CARGA

El gas inerte con un volumen inferior al 1% de oxígeno y una temperatura de rocío de  $-45^{\circ}\text{C}$  se genera a bordo con una planta de gas inerte dando un flujo de  $13800\text{m}^3/\text{h}$ .

#### Inertado de tanques con la planta de gas inerte de a bordo

Se arranca la planta y se empieza a descargar por el guardacalor hasta que las lecturas de volumen de oxígeno y temperatura de rocío son correctas. Entonces se conecta la planta de gas inerte mediante un codo a la línea de líquido, se abren las válvulas de la línea de carga (filling) y se empieza a abastecer gas inerte por el fondo del tanque venteando el aire seco por el domo de vapor al palo de venteo N.1.

El tanque N.1 debe ser el último en ser inertado para asegurar que el sistema está lleno de gas inerte.

El abastecimiento de nitrógeno a los espacios de aislamiento debe empezar tan pronto como se empiecen a inertar los tanques. Se deben mantener los tanques a 3 Kpa de presión hasta que el sistema de N<sup>2</sup> está totalmente operativo.

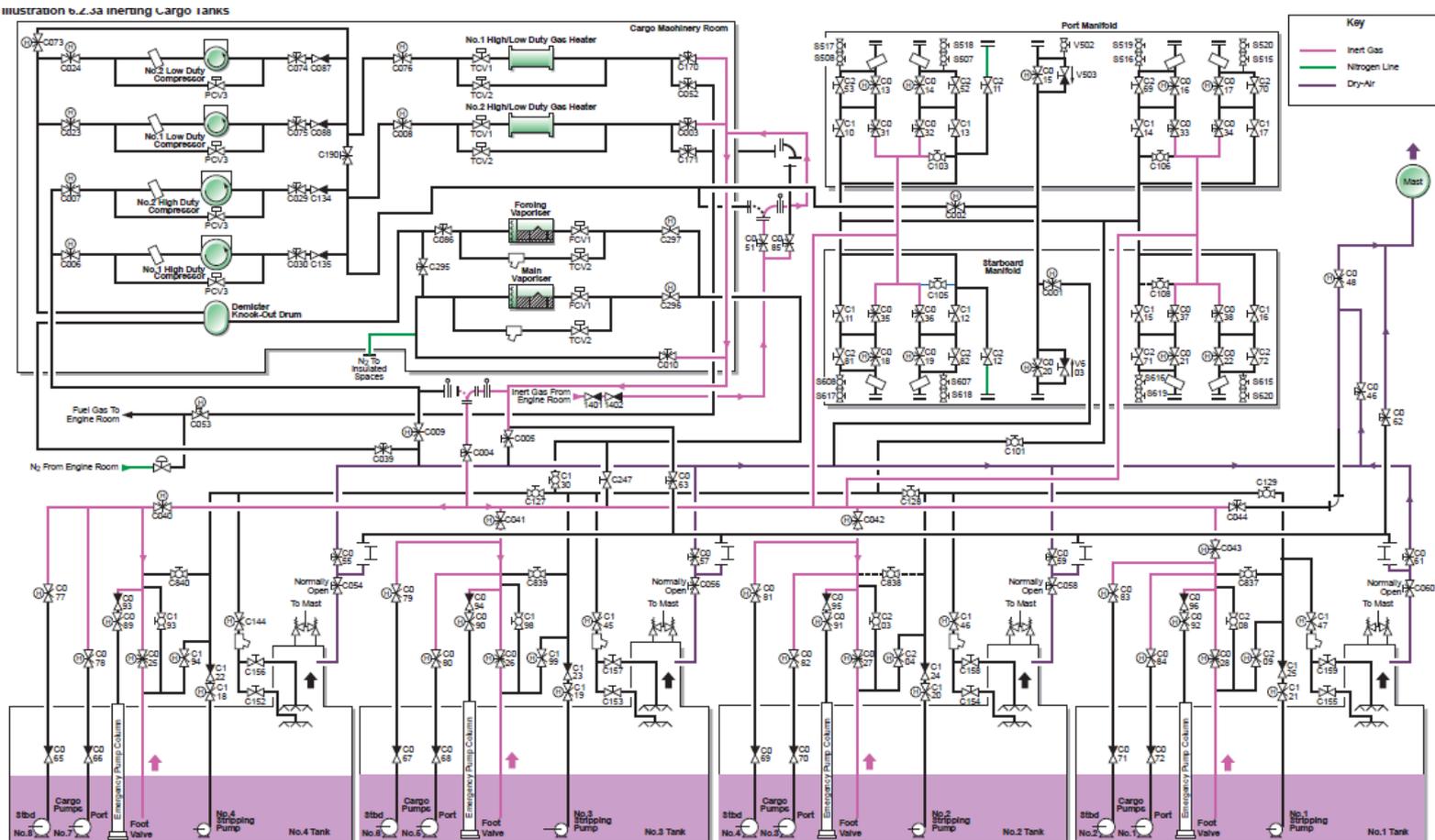


Figura 105: Inertado de los tanques de carga

Secado e inertado de tanques con nitrógeno líquido de tierra

Hay ocasiones en las que no es posible utilizar la planta de gas inerte de a bordo para el secado e inertado de los tanques. Entonces, el método alternativo es realizar esta operación con nitrógeno líquido de tierra.

El nitrógeno líquido es recibido de tierra y enviado al vaporizador mediante la línea de espray. De esta manera se vaporiza el nitrógeno y una vez en estado gas se envía por la línea de líquido a cada uno de los tanques por la línea de llenado (filling). Así, el nitrógeno gaseoso desplaza el aire hacia arriba y se ventea a través del domo de vapor a la atmosfera por el palo de venteo N.1.

Los tanques de carga y las líneas de carga y maquinaria se consideran secas e inertadas cuando las lecturas de los analizadores dan menos de 2% en oxígeno y  $-40^{\circ}\text{C}$  de temperatura de rocío. Esta operación se lleva a cabo en 24 horas.

Se le debe pedir a tierra que envíen el nitrógeno con poco flujo debido a su baja temperatura para que a medida que va entrando vaya enfriando las líneas de espray y líquido y el vaporizador.

Cuando la operación ha finalizado se debe parar el abastecimiento de nitrógeno de tierra y cerrar válvulas. Se deben dejar las líneas y el vaporizador calentarse hasta temperatura ambiente para no sobre presurizar la línea.

Illustration 6.2.3b Drying and Inerting Cargo Tanks Using Liquid Nitrogen

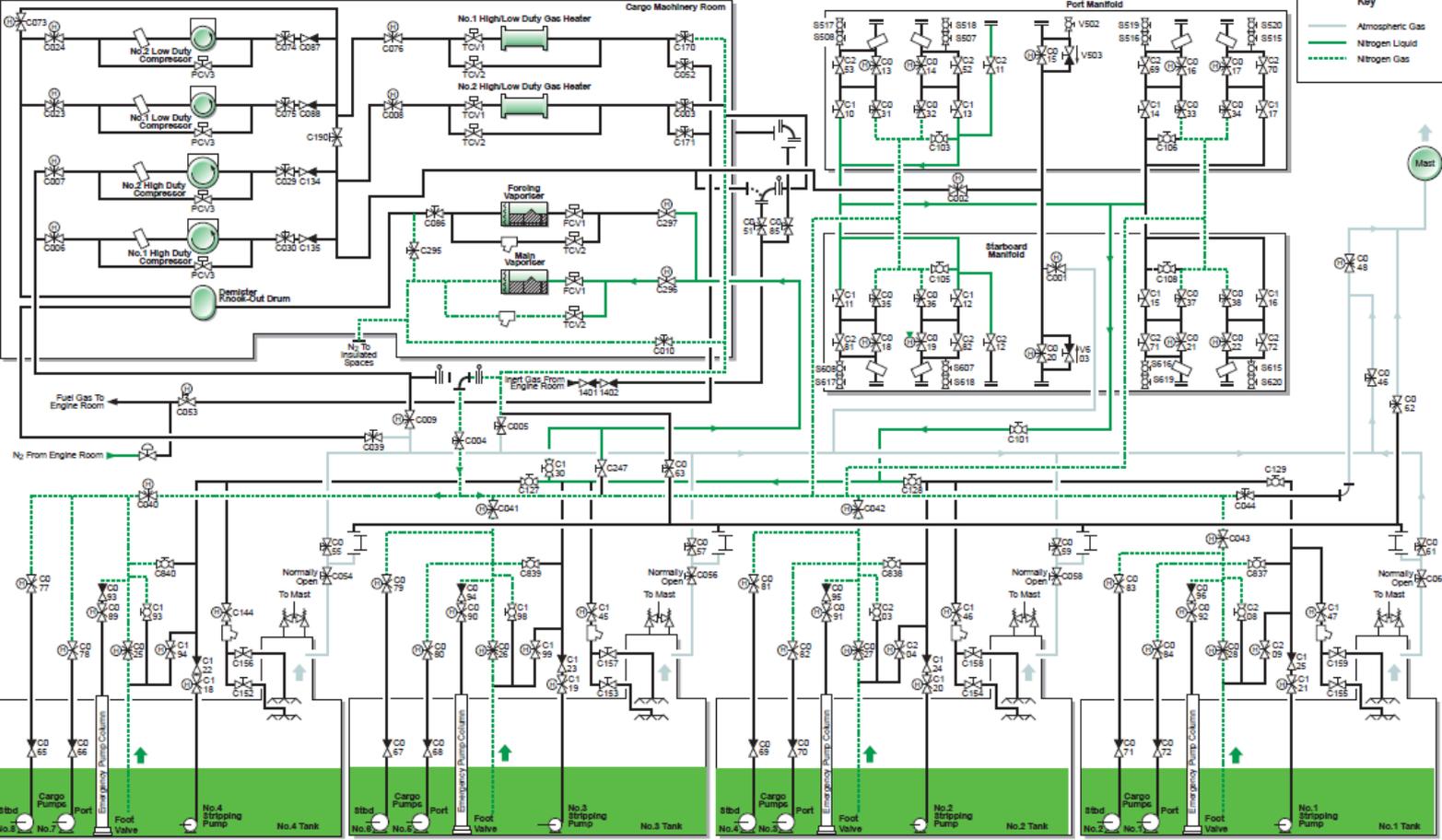


Figura 106: Secado e Inertado de los tanques de carga con nitrógeno líquido de tierra

El aire que haya quedado en todos los tramos de líneas de carga como los de las bombas, sondas y líneas en el cuarto de compresores deben ser purgadas con nitrógeno. Normalmente se lleva a cabo mientras se hace el secado en los tanques venteando a través de los puntos de muestreo.

## GASEADO DE LOS TANQUES DE CARGA

### Introducción

Después de dique, los tanques de carga se inertan con gas inerte o bien nitrógeno. Si esta purga se ha hecho con gas inerte, seguidamente los tanques tendrán que ser purgados con vapor de LNG caliente y enfriar después cuando el barco llegue a la terminal.

Esto sucede debido a que el gas inerte, al contrario del nitrógeno contiene un 15% de  $CO_2$  que se congela a una temperatura de  $-60^{\circ}C$  y produce un polvo blanco que puede bloquear válvulas y filtros. Para evitar cualquier problema con los bloqueos de los filtros y válvulas, la línea de líquido, la de espray y los vaporizadores se inertan con nitrógeno después de la purga con gas inerte.

El gas inerte de los tanques de carga se reemplaza por vapor de LNG caliente con el fin de acabar de eliminar cualquier resto de  $CO_2$  que se pueda congelar y acabar con el secado de los tanques.

### Operación

El **LNG líquido es enviado desde la terminal** al manifold donde pasa a bordo por la línea de stripping a través de la válvula ESD de líquido correspondiente. Seguidamente va a parar al vaporizador LNG donde se hace vapor a una temperatura de  $+20^{\circ}C$  y a través de la línea de vapor entra en cada tanques por el domo de vapor.

El vapor de LNG es más ligero que el gas inerte, por lo que mientras que el LNG entra por el tope del tanque por el domo de vapor, el gas inerte es evacuado por la línea de llenado (filling) en el plan del tanque. Entonces pasa por el compresor HD y se entrega a la terminal por el brazo de vapor del manifold.

En algunas terminales es posible que dejen ventear a la atmosfera la mezcla de LNG vapor caliente y gas inerte hasta que de una lectura del 5% en metano en el palo de venteo. Después se entrega a tierra a través del compresor HD, o bien, se quema en las calderas.

La operación se considera finalizada cuando las lecturas en el tope de la línea de llenado por donde está saliendo el gas inerte dan un 95% de hidrocarburos en volumen y menos de un 1% de  $CO_2$ . Esto supone cambiar 1.5 veces el volumen del tanque. Una vez acabada esta etapa de purga con vapor caliente de LNG los tanques se enfrían.

Habrà ocasiones excepcionales donde la purga con LNG se llevará a cabo en el mar con líquido LNG que ya está a bordo. En estos casos, con la bomba de stripping del tanque con líquido se abastecerá LNG al vaporizador para meterlo en el tanque a purgar.

Purga de la línea de espray, líquido y el vaporizador con nitrógeno

El nitrógeno se abastece desde los generadores de nitrógeno a los vaporizadores, calentadores, compresores, línea de líquido, línea de espray y manifold para eliminar cualquier rastro de gas inerte antes de la introducción de vapor LNG. La línea de stripping/espray se puede purgar al tanque a través de los domos de vapor o a la atmosfera a través de los puntos de muestreo situados en las líneas. Los vaporizadores se purgan también a través de los puntos de muestreo situados en la descarga de estos a la atmosfera.

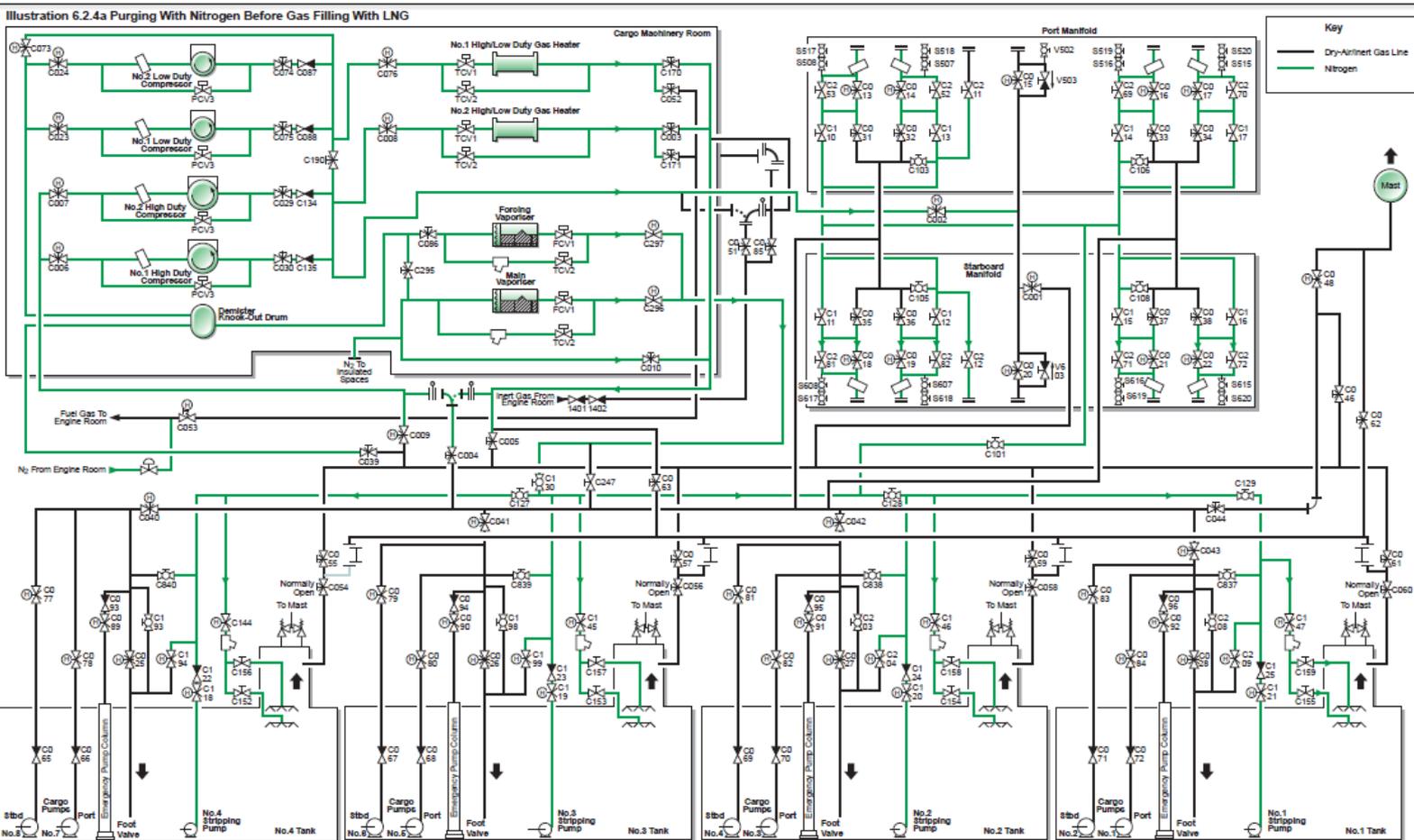


Figura 107: Purga con nitrógeno antes del gaseado con LNG

Purga de los tanques de carga con vapor de LNG y venteo a la atmosfera

Se debe precalentar el vaporizador, ajustar la válvula de seguridad del palo de venteo a 22.5 kPa. La terminal debe empezar a enviar LNG líquido con poco flujo a un brazo de líquido del manifold. A bordo, se interconecta el brazo de líquido con la línea de spray para enviar este LNG líquido al vaporizador. Una vez pasado por el vaporizador y teniendo LNG vapor caliente este se abastece a cada tanque a través del domo de vapor. El gas inerte sale por la línea filling y se ventea a la atmosfera. Cuando la lectura de la

mezcla que sale por el palo es del 5% de metano se pide a la terminal para redirigirles la mezcla.

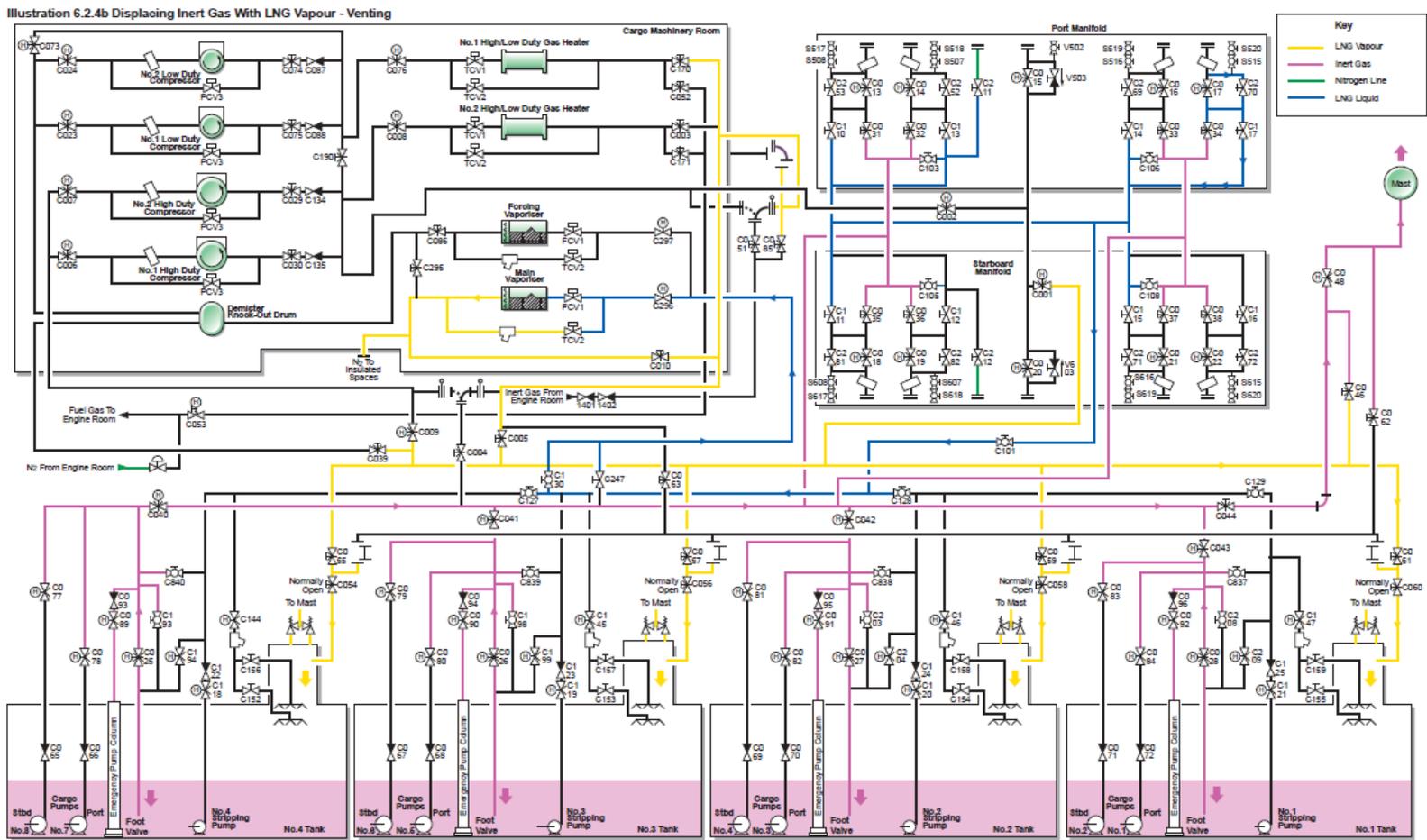


Figura 108: Desplazamiento del gas inerte con vapor de LNG venteado la mezcla

Purga de los tanques de carga con vapor de LNG y descargando a tierra

Se debe llenar los tanques hasta un 80% de metano en volumen. Los compresores HD deben estar en funcionamiento y preparar el circuito de válvulas para que el gas no circule.

En caso de que la presión aumente se debe pedir a la terminal que baje el flujo o a bordo aumentar la carga de los compresores HD. Si por el contrario la presión disminuye, se debe bajar la carga de los HD incluso si fuera el caso parar uno de ellos o pedirle a la terminal que aumente el flujo.

Cuando la lectura en los tanques da sobre 80% en metano se deben dejar las válvulas casi cerradas.

**Antes de acabar la operación se deberá purgar todas las líneas y equipamiento de la carga con LNG caliente también:**

- Línea de stripping

- Conexiones a los tanques
- Domo de vapor
- Válvulas y bypass de los manifold
- Compresores
- Calentadores
- Vaporizadores
- Línea de gas
- Codos de las líneas
- Válvula del palo de venteo

Se puede considerar finalizada la operación cuando se tiene un 80% de metano y menos de un 1% de  $CO_2$ . Seguidamente se debe pedir a la terminal que pare el suministro de LNG al barco y se paran los compresores HD. El vaporizador no se debe parar hasta que vuelva a temperatura ambiente. El último paso es preparar las líneas para el enfriamiento.

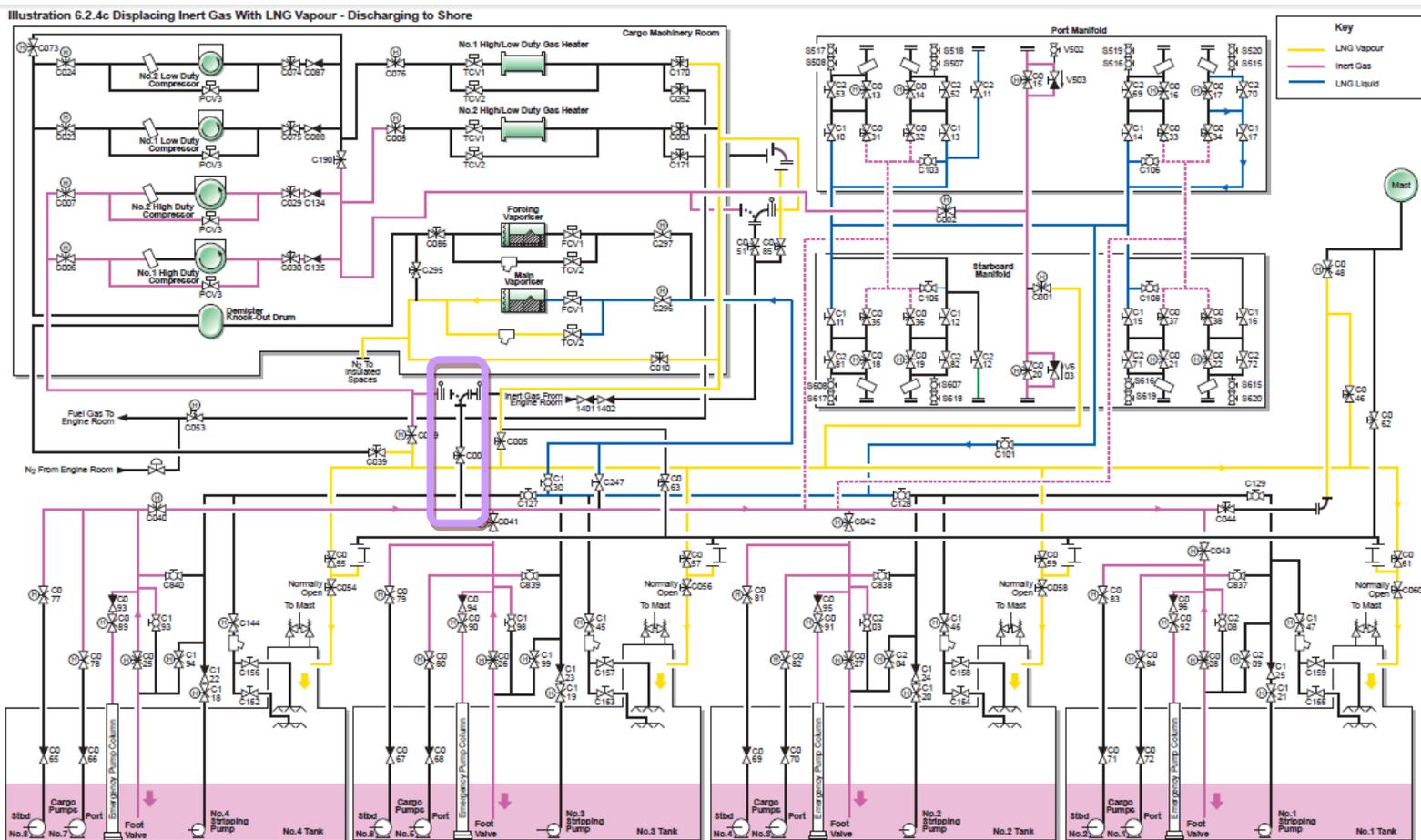


Figura 109: Desplazamiento del gas inerte con vapor de LNG descargando a tierra

## ENFRIAMIENTO DE LOS TANQUES DE CARGA

Llegando a la terminal después de haber estado en dique donde los tanques se han tenido que poner en una atmosfera respirable, todo el sistema de carga ha sido purgado, secado y puesto en atmosfera de gas. Entonces, las líneas y los tanques deben enfriarse antes de poder empezar la carga. La operación de enfriamiento sigue inmediatamente después de la de gasear con LNG de la terminal.

El flujo de enfriamiento está limitado por las siguientes razones:

- Para evitar esfuerzos excesivos en los sistemas de carga.
- El compresor HD tiene que ser capaz de mantener la presión en los tanques debido a la generación de vapor (7 kPa de presión manométrica o 108.5 kPa presión atmosférica).
- Para mantener la presión en los espacios de aislamiento con nitrógeno.

Al contrario que en otros diseños de tanques rígidos, los gradientes verticales de temperatura en los mamparos de estos tanques no suponen una limitación para el enfriamiento.

La terminal suministra LNG líquido que va al manifold y de ahí por la línea de espray hasta los tanques. Una vez el enfriamiento está casi completo desde el manifold se redirige el LNG por las líneas principales de carga con el fin de enfriar todo el sistema de líneas. El enfriamiento de los tanques de carga se considera completo cuando los sensores del tope y el plan del tanque marcan una temperatura de  $-130^{\circ}\text{C}$  o menor. Cuando alcanzan estas temperaturas y el custody transfer system (CTS) detecta líquido en los tanques, la carga puede empezar. El vapor generado durante el enfriamiento se envía a tierra mediante el compresor HD a través del brazo de vapor del manifold.

Durante el enfriamiento el flujo de nitrógeno a los espacios de aislamiento incrementará significativamente. Es necesario mantener un grado de enfriamiento progresivo de tal manera que se pueda mantener unos valores de presión en los espacios de aislamiento de 0.4 – 0.2 kPa. Una vez se haya completado el enfriamiento y se haya empezado con la carga, la temperatura de las membranas de los tanques será igual o parecida a la del líquido de la carga. Llevará unas horas establecer una temperatura homogénea debido a los espacios de aislamiento por lo que el volumen de boil-off de la carga será mayor de lo normal. Enfriar los tanques de  $+30^{\circ}\text{C}$  a  $-130^{\circ}\text{C}$  lleva 8 horas y un gasto de  $800\text{ m}^3$  de LNG líquido que se evaporará. Si se enfría a una velocidad de  $-30^{\circ}\text{C/h}$  la barrera primaria durante las 4 primeras horas, la barrera secundaria lo hará a una velocidad de  $-15^{\circ}\text{C/h}$  lo que supone llegar a  $-80^{\circ}\text{C}$  después de 8 horas.

Antes de enfriar se debe chequear:

- Funcionamiento del sistema de calentamiento de los cofferdam glicol/agua.
- Compresores HD en servicio.
- Sobre presurizar la barrera primaria con nitrógeno hasta 0.6 kPa.

- Una vez conectados abrir la válvula de vapor del manifold y empezar con el free flow<sup>104</sup> de gas.
- Tarar la válvula de venteo del palo a 22.5 kPa.

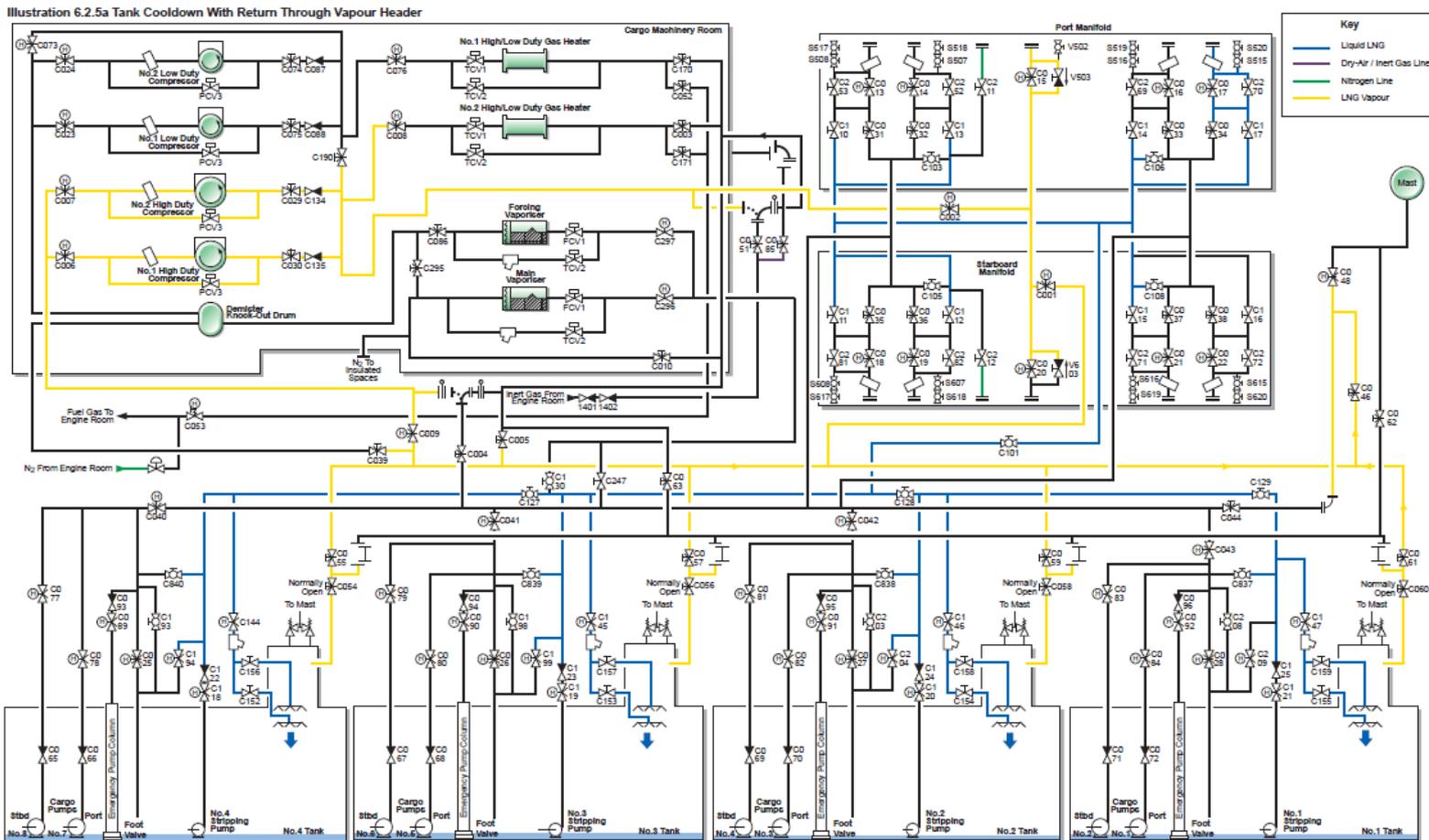


Figura 110: Enfriamiento de los tanques con retorno de vapor a tierra

Si la presión aumenta, se debe comunicar a la terminal que baje el flujo de LNG o a bordo subir la carga de los compresores HD. Si la presión descende, se debe bajar la carga de los compresores HD o bien, parar uno.

Durante el enfriamiento de los tanques, las presiones en los espacios de aislamiento deben estar controladas. A medida que el tanque se vaya enfriando, el nitrógeno se contraerá aumentando la demanda. Antes de empezar con el enfriamiento, las presiones deberán aumentarse hasta el límite de las válvulas de seguridad. Los generadores de nitrógeno deben estar a punto para dar la máxima carga y si no es así, se ralentizará el enfriamiento para poder seguir el proceso con seguridad. La mayor demanda de nitrógeno se producirá al principio cuando las membranas están calientes y a medida que se vayan enfriando se reducirá. Al final de la operación la presión en las membranas será la misma que en servicio normal.

<sup>104</sup> Free flow: Flujo libre, sin medios mecánicos el vapor fluye.

### 3. VIAJE EN LASTRE

Una característica de los tanques de carga es que mientras se mantenga una cantidad de LNG en el fondo del tanque la temperatura en el tope no subirá más de  $-50^{\circ}\text{C}$ . Gaz transport y Technigas (GTT)<sup>105</sup> dice que si el plan del tanque está a  $-130^{\circ}\text{C}$  el tanque se puede cargar sin importar la temperatura en el tope de éste.

Aunque si el viaje en lastre es muy largo, el líquido remanente en el plan se puede evaporar. Normalmente, lo que más se evapora del LNG es el metano por ser más ligero quedando así LPG<sup>106</sup> con una alta temperatura y densidad específica bastante elevada.

Debido a las propiedades del material y al diseño de las membranas, no sería necesario enfriar los tanques antes de la llegada a la terminal para la carga. Pero para evitar la alta generación de vapor y algún hipotético shock térmico en alguna estructura del buque, la carga se lleva a cabo una vez los tanques están fríos.

Se utilizan diferentes métodos para mantener los tanques fríos durante el viaje en lastre:

1. Para viajes cortos: se retiene una cantidad suficiente en cada tanque después de la descarga. El nivel nunca puede ser superior del 10% de la longitud del tanque. La cantidad se puede calcular estimando que habrá un boíl off del 0.18% por día. Existe la necesidad de tener como mínimo 10 cm de capa de LNG en el plan del tanque (con el buque en aguas iguales<sup>107</sup>) a la llegada al puerto de carga. De esta manera la temperatura del plan del tanque no debería superar los  $-130^{\circ}\text{C}$  y el tope los  $-80^{\circ}\text{C}$  lo que supone reducir el enfriamiento de los tanques.
2. Para viajes largos: la parte más ligera del LNG se evaporará quedando una mezcla de LPG a una temperatura superior de  $-100^{\circ}\text{C}$ . La temperatura del tope de los tanques llegará casi a temperaturas positivas y en estas condiciones los tanques sí que se tendrán que enfriar antes de la carga.

Existen 3 métodos para el enfriamiento y el seleccionado será según las condiciones del buque:

- Enfriar utilizando LNG suministrado por la terminal.
- Enfriar los tanques justo antes de la llegada a la terminal para cargar. En el anterior puerto de descarga se dejará un remanente mayor en uno de los tanques que permita esprayar antes de la llegada a la terminal teniendo en cuenta el boíl off durante el viaje y dentro de unos niveles que el tanque nunca esté en sloshing ni se quede sin remanente.
- Mantener fríos los tanques esprayando de vez en cuando los tanques durante el viaje en lastre de manera que las temperaturas nunca excedan los  $-120^{\circ}\text{C}$ / $-130^{\circ}\text{C}$ . Se debe calcular el nivel de remanente que se deja en los tanques como en el caso anterior.

<sup>105</sup> GTT: Proveedor de las membranas de los tanques.

<sup>106</sup> LPG: Liquid Petroleum Gas.

<sup>107</sup> Aguas iguales: El buque está aguas iguales cuando su calado de proa y de popa son iguales.

El enfriamiento se lleva a cabo esprayando LNG dentro del tanque por dos aros de pulverización en el tope del tanque. Siempre se debe dejar suficiente remanente a bordo de manera que a medio viaje la mezcla de LNG no se vuelva tan pesada que la bomba no pueda operar.

Todo el boíl off generado durante estas etapas se utiliza como combustible en las calderas enviado por el compresor LD de tal manera que se mantenga al mínimo el consumo de fuel. En el caso de que se retrasara la entrada a puerto se debe reducir el consumo de boíl off al mínimo.

Después de una salida de dique el primer viaje deberá consumirse solo fuel.

### ENFRIAMIENTO DE LOS TANQUES ANTES DE LA LLEGADA

En este caso se considerará que se ha almacenado el LNG en el tanque 4 y los demás están secos.

Illustration 6.3.1a Cooling Down Cargo Tanks Prior to Arrival on Ballast Voyage

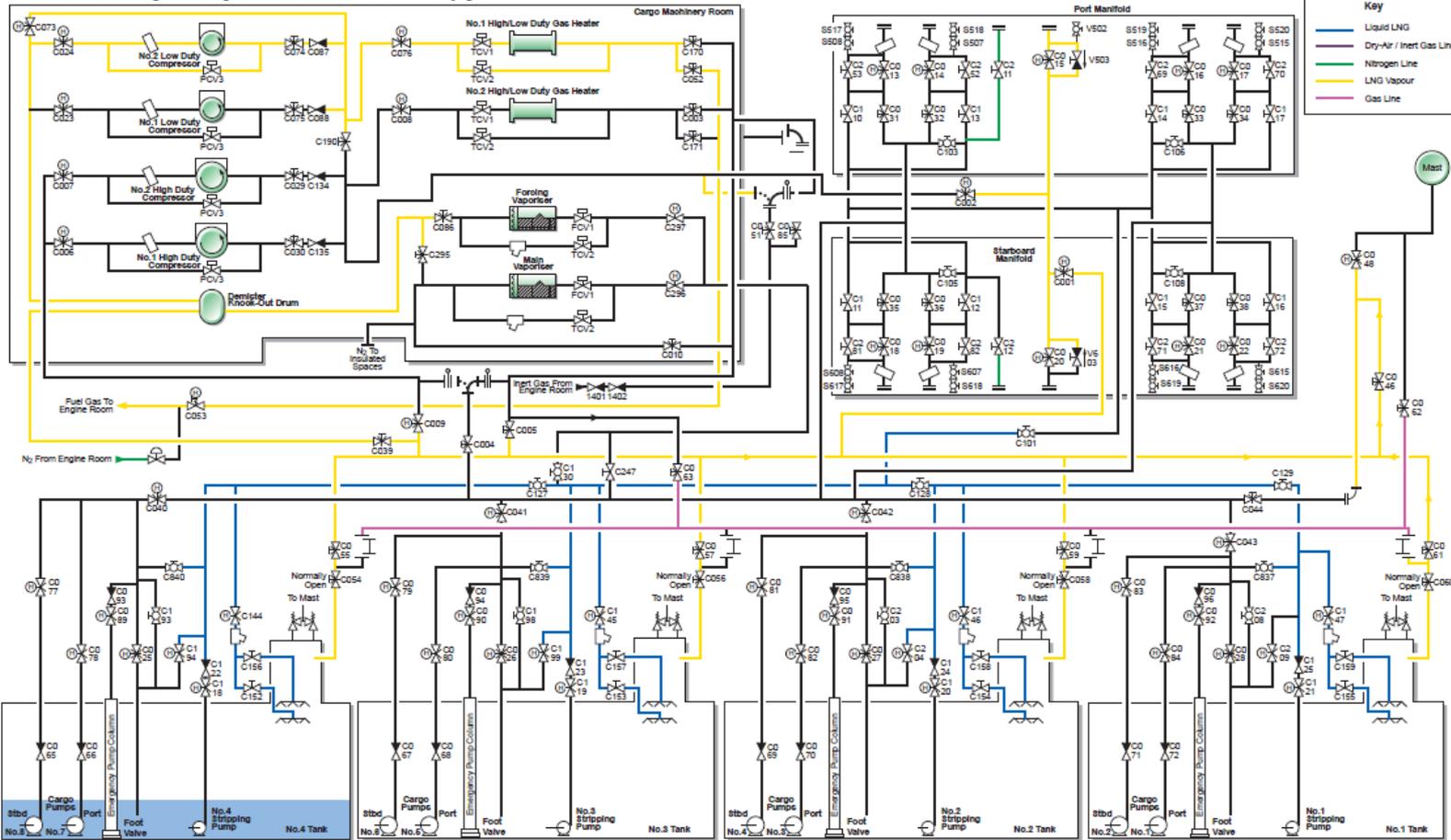


Figura 111: Enfriamiento de los tanques antes de la llegada a la terminal

Primero de todo se tarará la válvula del palo de venteo N.1 a 22.5 kPa y se prepararán el compresor LD y el calentador. El sistema de nitrógeno se debe tarar de forma que el espacio primario esté entre 0.4 - 0.6 kPa y el secundario entre 0.2 - 0.4 kPa. Las seguridades de dichos espacios irán tarados a 0.9 y 0.7 kPa respectivamente.

Primero se hará recircular el LNG en el tanque 4 y cuando este esté frío se recirculará por los demás. Se debe tener cuidado con el control de la presión dentro de los tanques bien sea enviándolo a la máquina o venteando a la atmosfera. Se debe empezar con un rate pequeño para enfriar primero las líneas y después se va aumentando progresivamente.

Una vez se ha acabado de esprayar y las temperaturas han llegado a  $-100^{\circ}\text{C}$  en el tope y  $-130^{\circ}\text{C}$  en el plan se debe proceder transfiriendo LNG para que quede el mismo en los 4 tanques.

### **ESPRAYAR UN SOLO TANQUE DURANTE EL VIAJE EN LASTRE**

Se asume que el tanque 3 se tiene que enfriar utilizando el remanente del tanque 4. El procedimiento a seguir será idéntico al del enfriamiento de los cuatro tanques pero solo aplicándolo al N.3.

Primero de todo se tarará la válvula del palo de venteo N.1 a 22.5 kPa y se prepararán el compresor LD y el calentador. El sistema de nitrógeno se debe tarar de forma que el espacio primario esté entre 0.4 - 0.6 kPa y el secundario entre 0.2 – 0.4 kPa. Las seguridades de dichos espacios irán tarados a 0.9 y 0.7 kPa respectivamente.

Primero se hará recircular el LNG en el tanque 4 y cuando este esté frío se recirculará por el 3. Se debe tener cuidado con el control de la presión dentro de los tanques bien sea enviándolo a la máquina o venteando a la atmosfera. Se debe empezar con un rate pequeño para enfriar primero las líneas y después se va aumentando progresivamente.

Una vez se ha acabado de esprayar y las temperaturas han llegado a  $-100^{\circ}\text{C}$  en el tope y  $-130^{\circ}\text{C}$  en el plan se debe transferir remanente de LNG para mantener la temperatura.

Illustration 6.3.2a Cooling Down One Cargo Tank Prior to Arrival on Ballast Voyage

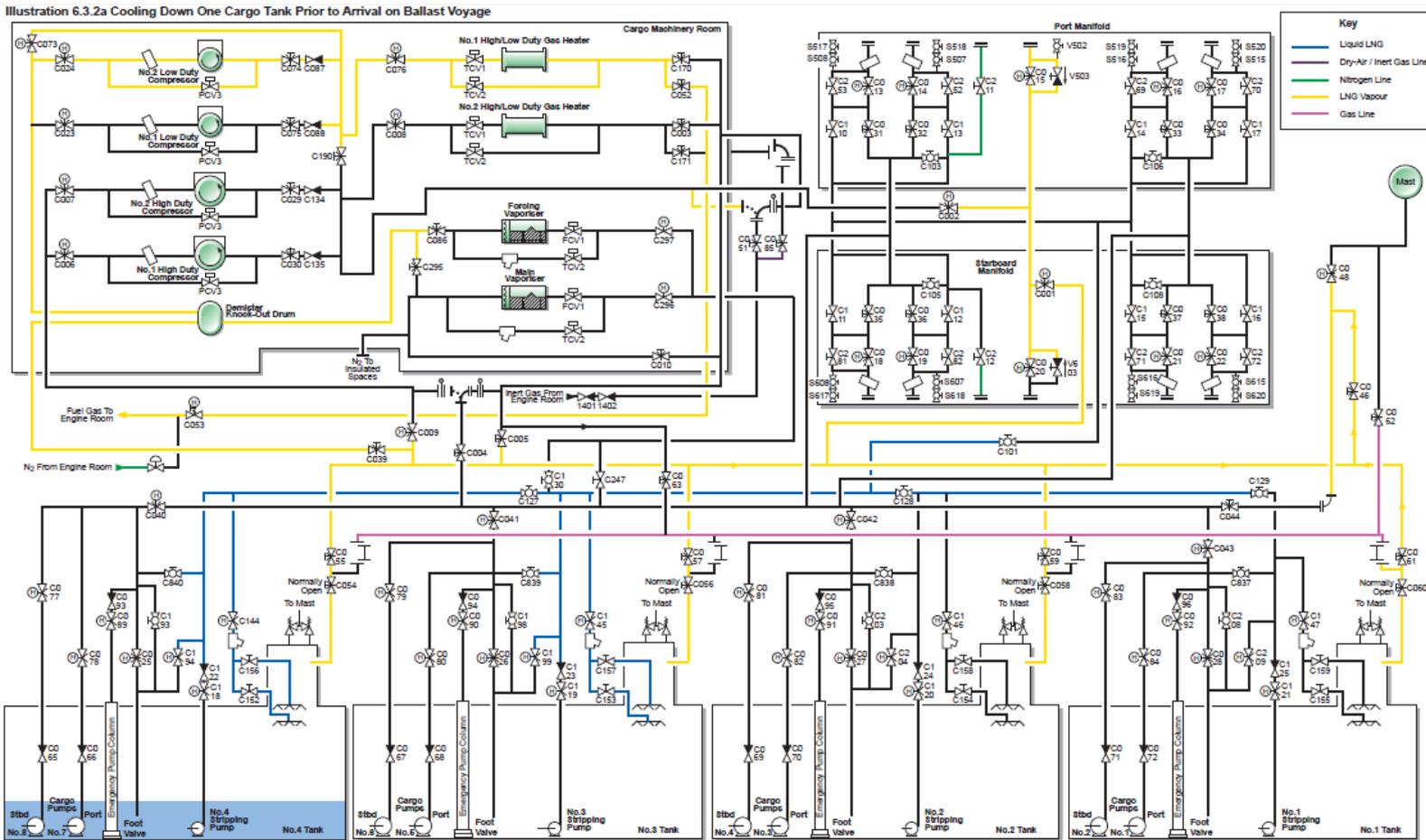


Figura 112: Enfriar un solo tanque durante el viaje en lastre

## SLOSHING

De la experiencia adquirida durante años en los buques gaseros, modelos de diseño y análisis de test, Gaz Transport ha diseñado unos tanques que están casi libres de riesgo de sufrir sloshing. Los tanques de carga de los buques han sido diseñados para reducir los esfuerzos de impacto y el límite de seguridad ha sido aumentado considerablemente. Aunque los operadores deben ser siempre conscientes del riesgo potencial de los sistemas de contención de la carga para evitar el sloshing.

Precauciones para evitar los daños debido al sloshing:

- Mantener siempre un nivel de líquido en los tanques de menos del 10% de la altura del tanque o superior al 80%.
- Evitar el movimiento excesivo del buque ya que es este transmitido a la carga lo que provoca el sloshing. La amplitud del sloshing depende de la altura de ola, velocidad del buque y asiento del barco.

#### 4. CARGA

Después de que el enfriamiento haya concluido, el buque está preparado para cargar LNG. Los tanques se cargan simultáneamente y el deslastre se lleva a cabo a medida que se carga. La carga concluye cuando todos los tanques están llenos al 98.5% en volumen. Durante la carga el boíl-off que se genera se devuelve a tierra. Serán necesarios 1 o 2 compresores HD mientras se carga para reducir o al menos mantener la presión en los tanques de entre 6-8 kPa.

El LNG se carga a través del manifold por la línea de líquido y después entra a cada tanque por la válvula de llenado. El boíl-off y los gases generados salen de cada tanque por el domo de vapor y van por la línea de vapor hasta el manifold donde al principio van a tierra por free flow<sup>108</sup>. Cuando la presión aumenta se arranca un compresor para suministrar más vapor a tierra y reducir la presión de los tanques. Al inicio de la carga es cuando se genera mayor boíl-off y se puede necesitar que estén ambos compresores HD en marcha. De manera que cuanto menor sea la presión en los tanques más fría estará la carga y menos boíl-off generará.

Se deslastra el buque a la vez que se carga con el fin de mantener la estabilidad del barco dentro de los límites, así como el calado, el asiento y los esfuerzos. Deslastrar es un proceso que puede llevar unas 10 horas y debe acabar poco antes de acabar de cargar.

Los espacios de aislamiento primario y secundario se sobre presurizarán hasta los 0.6 y 0.4 kPa respectivamente para mantener la presión cuando se enfríe el tanque debido a la temperatura.

Además el sistema de calefacción de los cofferdam se debe poner en funcionamiento tan pronto como se empieza a cargar.

Cuando se acaba de cargar las líneas de carga se drenan de manera que todo el líquido vaya hacia el tanque N.4. Además el líquido que queda en la parte inclinada del manifold se lleva a bordo presurizando desde tierra los brazos del manifold con nitrógeno. De esta manera, los brazos quedan libres de líquido y con una atmosfera de nitrógeno, purgados y drenados.

Si el buque no se va a hacer a la mar inmediatamente el brazo de vapor quedará conectado con el fin de continuar enviando boíl-off a tierra y mantener la presión en los tanques.

#### **PREPARACIÓN PARA LA CARGA**

- El primer oficial debe hacer un plan de carga y deslastre que contenga los asientos y las condiciones de estabilidad para cada hora durante la carga.

<sup>108</sup> Free flow: flujo libre.

- Se debe hacer una reunión de pre-llegada y completar los checklists correspondientes.
- Se debe llevar a cabo una reunión con los responsables de la terminal.
- Las medidas del Custody Transfer Measurement se deben hacer con representantes de la terminal, inspectores y autoridades como testigos.
- Todas las conexiones en el manifold deben hacerse según el Terminal's cargo handling manual.
- Los compresores HD deben estar en marcha y funcionando correctamente.
- El 1r oficial supervisará todas las operaciones de carga a bordo.
- Las sondas, temperaturas y presiones de los tanques se anotarán según corresponda en el plan de carga.
- Las presiones de los brazos en el manifold deben chequearse periódicamente.
- Cuando finaliza la carga, las válvulas del manifold deben cerrarse y cuando se desconecten los brazos estos deben ser tapados con la mayor prontitud.

Illustration 6.4.1a Preparations for Loading

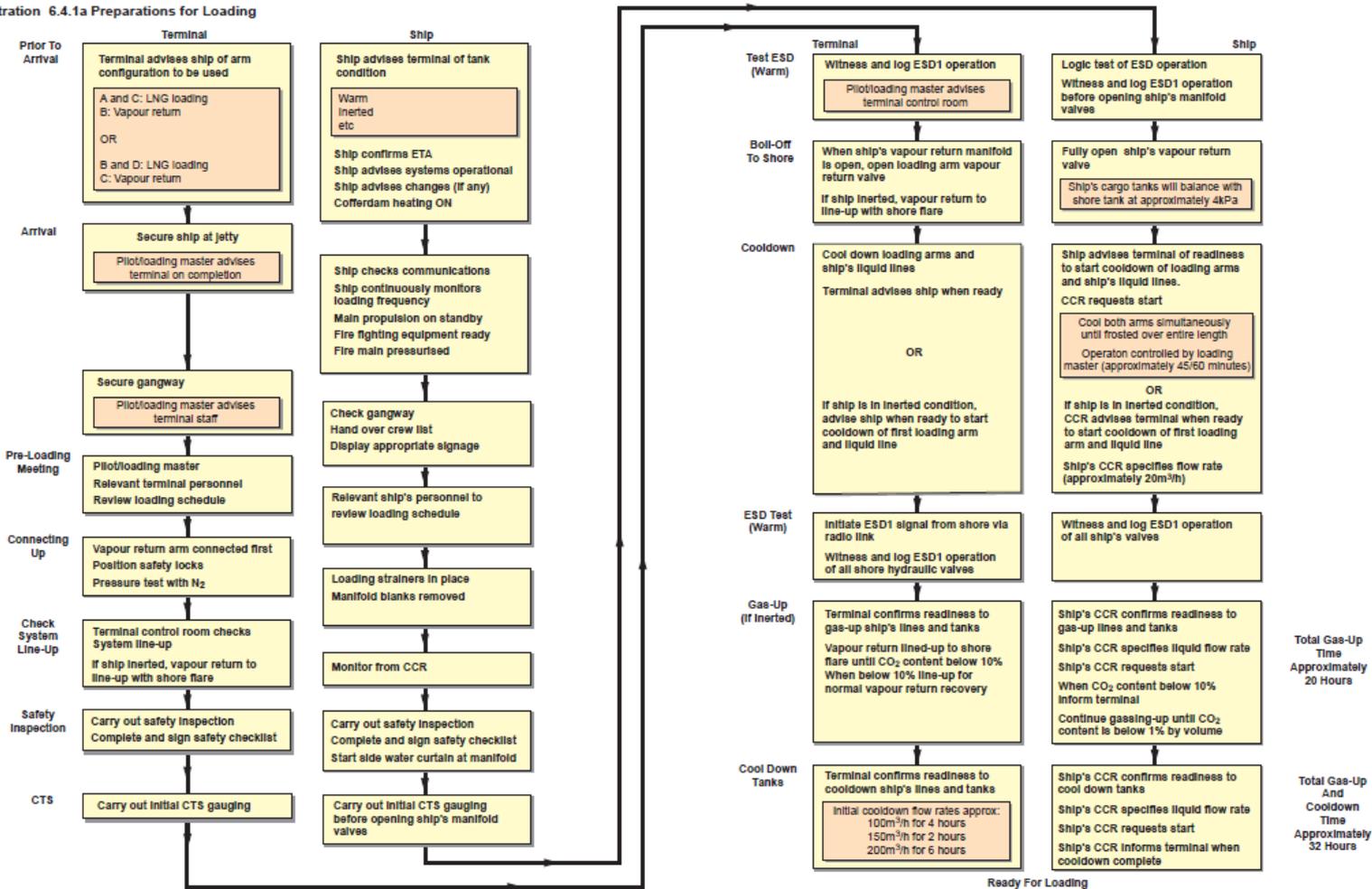


Figura 113: Preparación para la carga

## ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS

Los tanques de carga se mantendrán a una temperatura de unos  $-120^{\circ}\text{C}$  o menor durante el viaje en lastre extrayendo el vapor de la carga y quemándolo en las calderas para generar vapor para la turbina. Mientras los tanques se mantengan a esta  $T^{\circ}$  el enfriamiento de las líneas puede empezar. Esta operación suele llevar unos 90 minutos.

El líquido de LNG se introduce por el manifold a través de la línea de líquido y la de espray y debido al cambio de temperatura se evapora al instante. Todo este vapor que se genera se introduce en los tanques 1 y 4 a través de la línea de llenado.

Illustration 6.4.2a Cargo Lines Cooldown

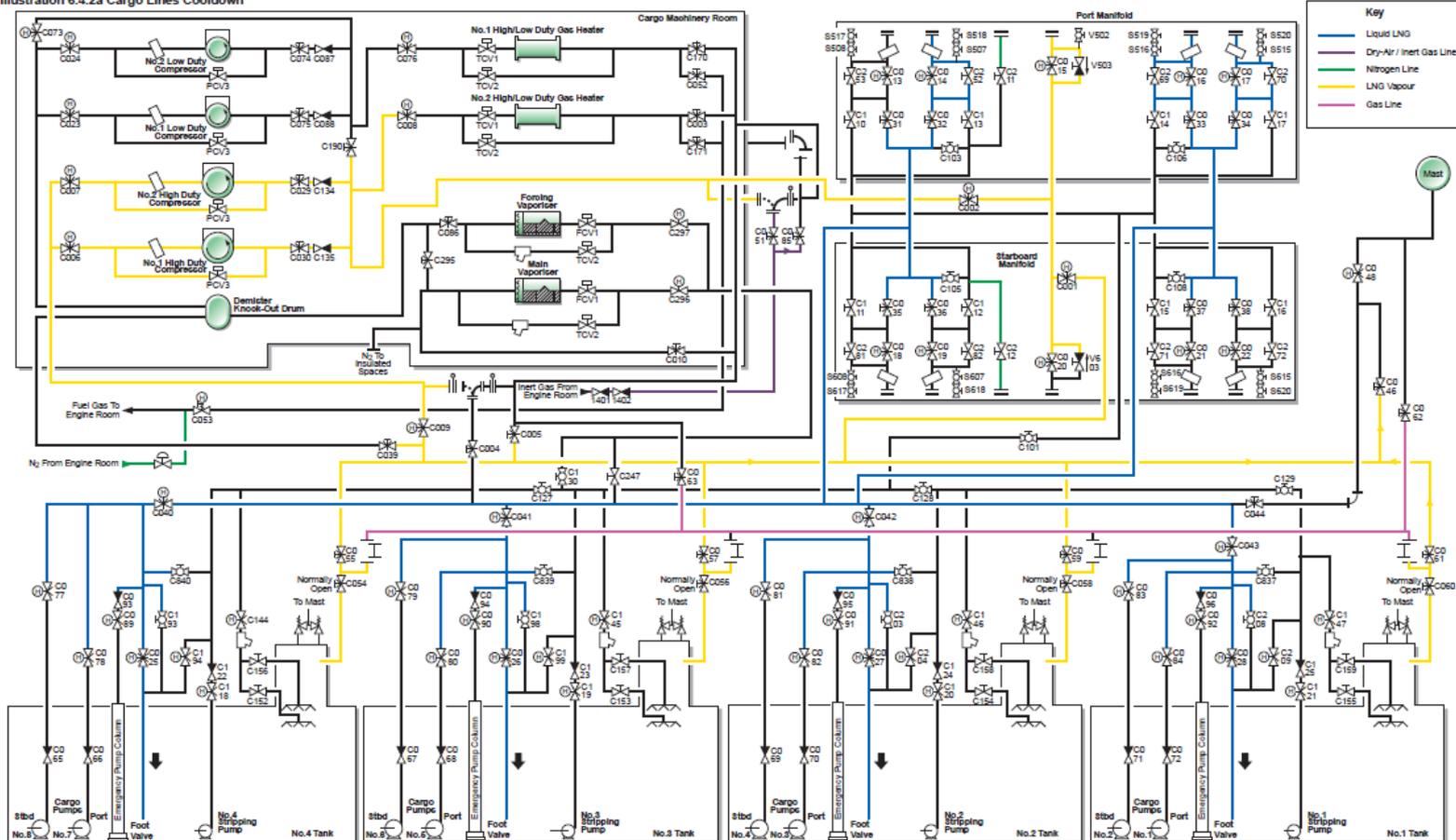


Figura 114: Enfriamiento de las líneas

Para empezar a enfriar se deberá:

- Comprobar que las conexiones de los brazos están firmes. La comunicación entre barco y terminal debe ser buena, además el cable ESD debe estar conectado.
- Purgar las conexiones del manifold con nitrógeno. Se presuriza con la válvula del buque cerrada y se procede a realizar el leak test<sup>109</sup>.
- Preparar los dos compresores HD.

<sup>109</sup> Leak test: Test de pérdidas.

- Abrir la válvula del brazo de vapor y permitir el free flow de vapor.
- Ajustar la válvula del palo de venteo N.1 a 22.5 kPa.
- Pedir a tierra que envíen líquido por los 3 brazos a un rate bajo.
- El enfriamiento se debe monitorizar leyendo las temperaturas y presiones en el manifold, líneas y tanques.
- Cuando la línea de líquido se haya enfriado y las válvulas muestren signos de congelación se deben abrir la válvula de llenado.
- Si la presión aumenta, se debe poner en marcha un compresor HD.
- Cuando la temperatura de las líneas llega en sus extremos (proa y popa) a -100°C, el barco está preparado para la carga.
- La terminal dejará de enviar LNG y se hará un ESD por parte del barco y otro de la terminal una vez en frío. Cuando se realice el ESD se volverán a dejar las válvulas abiertas listas para la carga.

Durante toda la operación se realizarán patrullas por la cubierta de carga para vigilar una posible pérdida, si esto ocurriera por muy pequeña que fuera se debería ralentizar la carga o incluso pararla.

### **CARGAR CON RETORNO DE VAPOR A TIERRA MEDIANTE EL COMPRESOR HD**

La carga debe realizarse según el plan establecido de manera que estén controladas las presiones. A medida que se vaya aumentando el rate de carga, se deberá ajustar el compresor HD para mantener una presión en los tanques de entre 6-8 kPa. Si esto no fuera posible se debería reducir el rate.

Al principio se pedirá a la terminal que vaya enviando LNG a un rate bajo y se irá incrementando. El rate máximo que dará la terminal será de hasta 12000  $m^3/h$ . Para llegar a ello se empezará con una secuencia de ramp up<sup>110</sup> donde se irán arrancando bombas con un decalaje de tiempo. Entonces, deberá empezarse el deslastre manteniendo el buque con el asiento adecuado y controlando los esfuerzos.

El sistema de glicol para la calefacción de los cofferdam se pondrá en marcha.

Cuando los tanques se estén acercando al 98.5% se deberán ir ajustando las válvulas de llenado y dejarles intervalos de tiempo para que lleguen al tope uno a uno.

Respecto a los niveles de alarma, cuando un tanque llegue al 95% se debe hacer saber a tierra:

- Alarma de alto nivel suena al 95% y al 98%.
- Cuando el nivel llegue al 98.5% se debe estar standby con la válvula.
- Al 98.5% sonará la alarma de alto nivel cerrando la válvula de llenado automáticamente.

<sup>110</sup> Ramp up: Secuencia de iniciado de bombas de carga.

La alarma de muy alto nivel suena al 99% y se produce un ESD. Estas alarmas son medidas de seguridad y en ningún caso deben hacerse servir como operación rutinaria de topeo<sup>111</sup> de los tanques.

Antes del topeo del primer tanque se debe pedir a la terminal que vayan reduciendo el rate. Cuando el tanque está con el nivel deseado se debe cerrar la válvula de llenado. La mejor opción es dejar el tanque N.2 y 3 para el final debido a su mayor capacidad. Se debe parar la carga cuando el último tanque vaya a llegar al 98.5% teniendo en cuenta el líquido que falta por entrar al purgar las líneas y los brazos. La alarma en este caso se desactiva por si se diera el caso de que quedara líquido en las líneas.

Illustration 6.4.3a Loading with Vapour Return to Shore Via High Duty Compressor

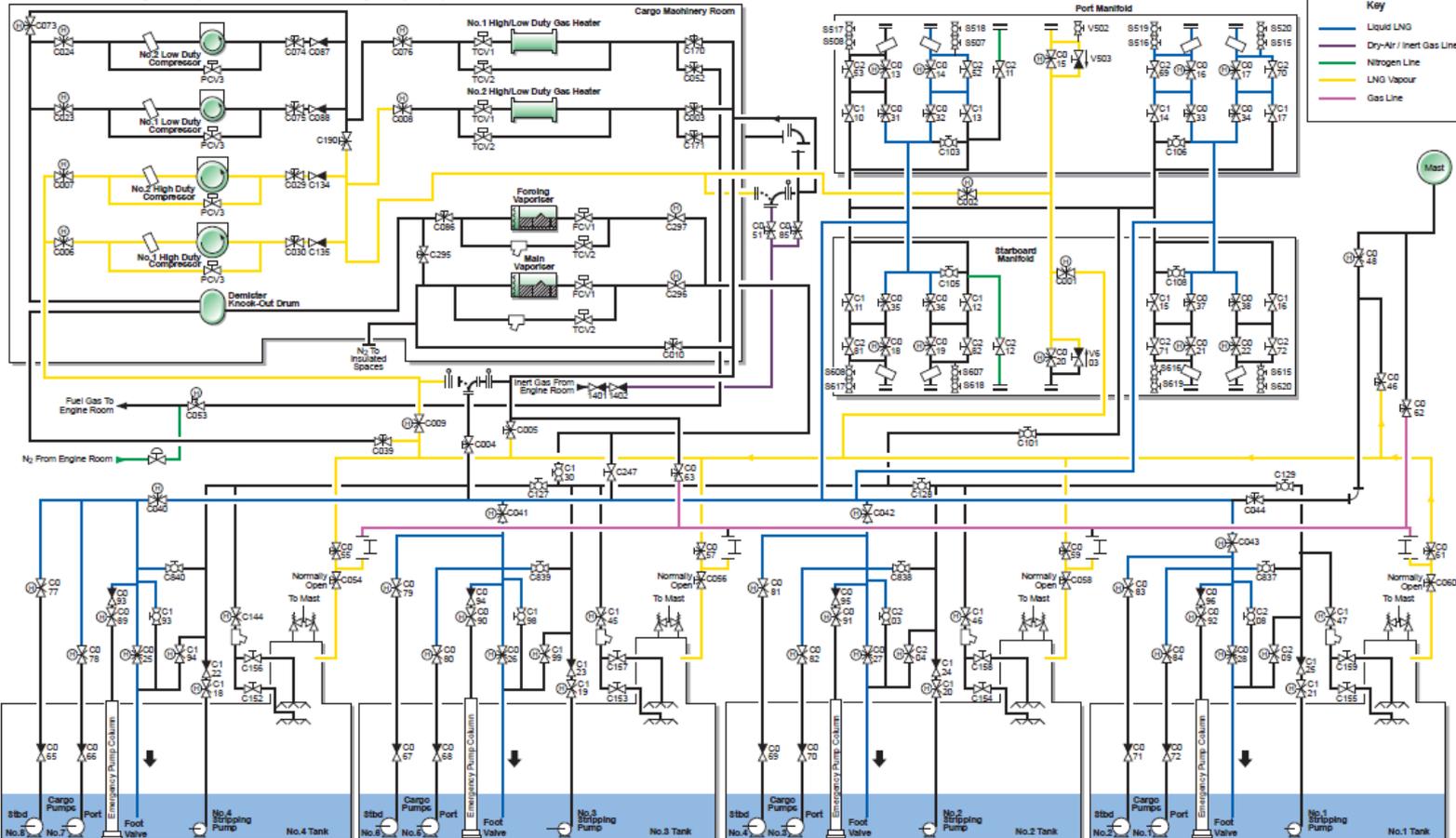


Figura 115: Carga con retorno de vapor a tierra con compresor HD

### OPERACIÓN PARA DRENAR Y PURGAR LAS LÍNEAS Y BRAZOS

Una vez la última bomba ha sido parada, se debe pedir a la terminal que presuricen los brazos con nitrógeno a 300 kPa (3 bar). Cuando el brazo está presurizado se debe abrir y cerrar la válvula de manera que el nitrógeno barra todo el líquido remanente en líneas y brazos al último tanque. Esta operación se debe repetir hasta que las lecturas en los puntos de muestreo del brazo en el manifold no muestren restos de LNG.

<sup>111</sup> Topeo: Operación de ajuste final del nivel de los tanques (98.5%).

Una vez se haya confirmado que las lecturas de hidrocarburos son menores del 1.2% en volumen, la terminal debe dejar de mandar nitrógeno y se procederá a la despresurización de los brazos para la posterior desconexión dejando la purga de los brazos abierta.

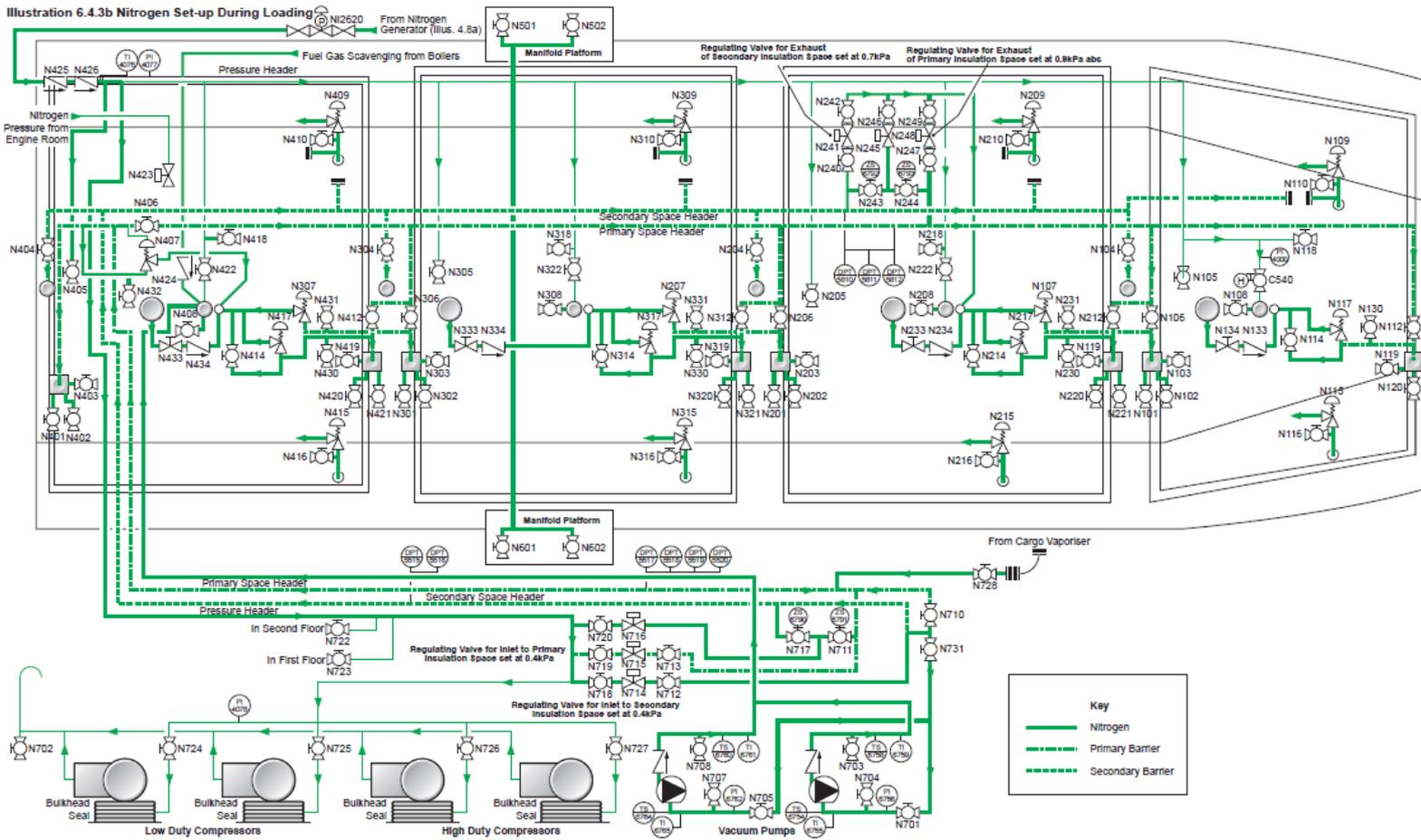


Figura 116: Ajuste del nitrógeno durante la carga

El compresor HD se deja operativo para mantener una presión baja en los tanques. El sistema de nitrógeno para los espacios de aislamiento se debe volver a ajustar en 0.4 kPa para el espacio primario y 0.2 para el secundario.

El compresor HD se parará justo antes de cerrar la válvula de vapor y proceder a la desconexión del brazo de vapor previa carga. Seguidamente se debe preparar el compresor LD para enviar el boil-off que se genere a la máquina.

## DESLASTRAR

Se puede deslastrar por tres métodos:

- Por gravedad.
- Bombeando.
- Con los eductores.

En cualquier caso se debe ejercer extrema precaución cuando se opera el sistema de lastre ya que un fallo podría causar la rotura de las líneas debido a las diferencias de presión producidas por cambios en el flujo por un vacío.

**Por gravedad,** debemos abrir las válvulas overboard<sup>112</sup> para empezar a desembarcar agua de los tanques de lastre. Debido a que el nivel de agua en los tanques está más alto que la línea de flotación, estos se vaciarán hasta cierto nivel. Según las válvulas de los tanques que se abran saldrá agua de esos tanques afectando a la escora y asiento del buque. Por lo tanto se debe llevar un control de esta operación. Se puede deslastrar de esta manera hasta que sea necesario arrancar una bomba de lastre.

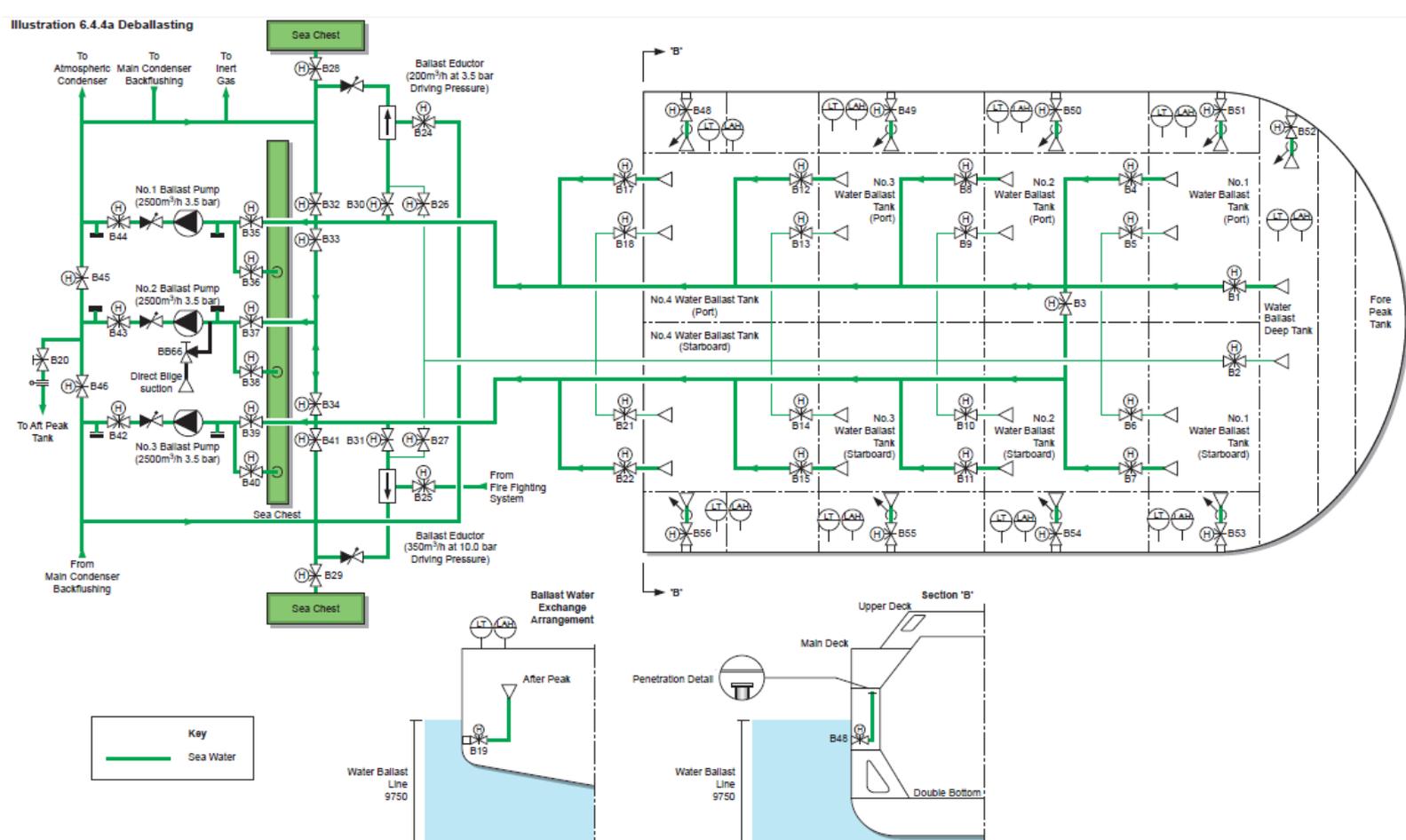


Figura 117: Deslastre

<sup>112</sup> Overboard: Fuera borda. Válvulas situadas a los costados del casco para expulsar el agua de lastre.

**Bombeando**, según las bombas que arranquemos podremos desembarcar más agua y controlar el tiempo que queramos que dure la operación de deslastre. La válvula de descarga de la bomba se debe abrir solo un 25% más o menos para que se cebe<sup>113</sup> la bomba. En el tanque llegará un nivel en que la bomba no pueda succionar más agua, unos momentos antes debemos abrir la válvula del siguiente tanque que queramos deslastrar. Abrir el tanque siguiente se debe hacer antes de cerrar el tanque que estamos deslastrando para evitar que la bomba trabaje en seco. Una vez tenemos todos los tanques casi vacíos se para la bomba y se cierran las válvulas. Es importante no hacer trabajar las bombas en seco ya que se podrían dañar las juntas por la sobre temperatura y causar fallo.

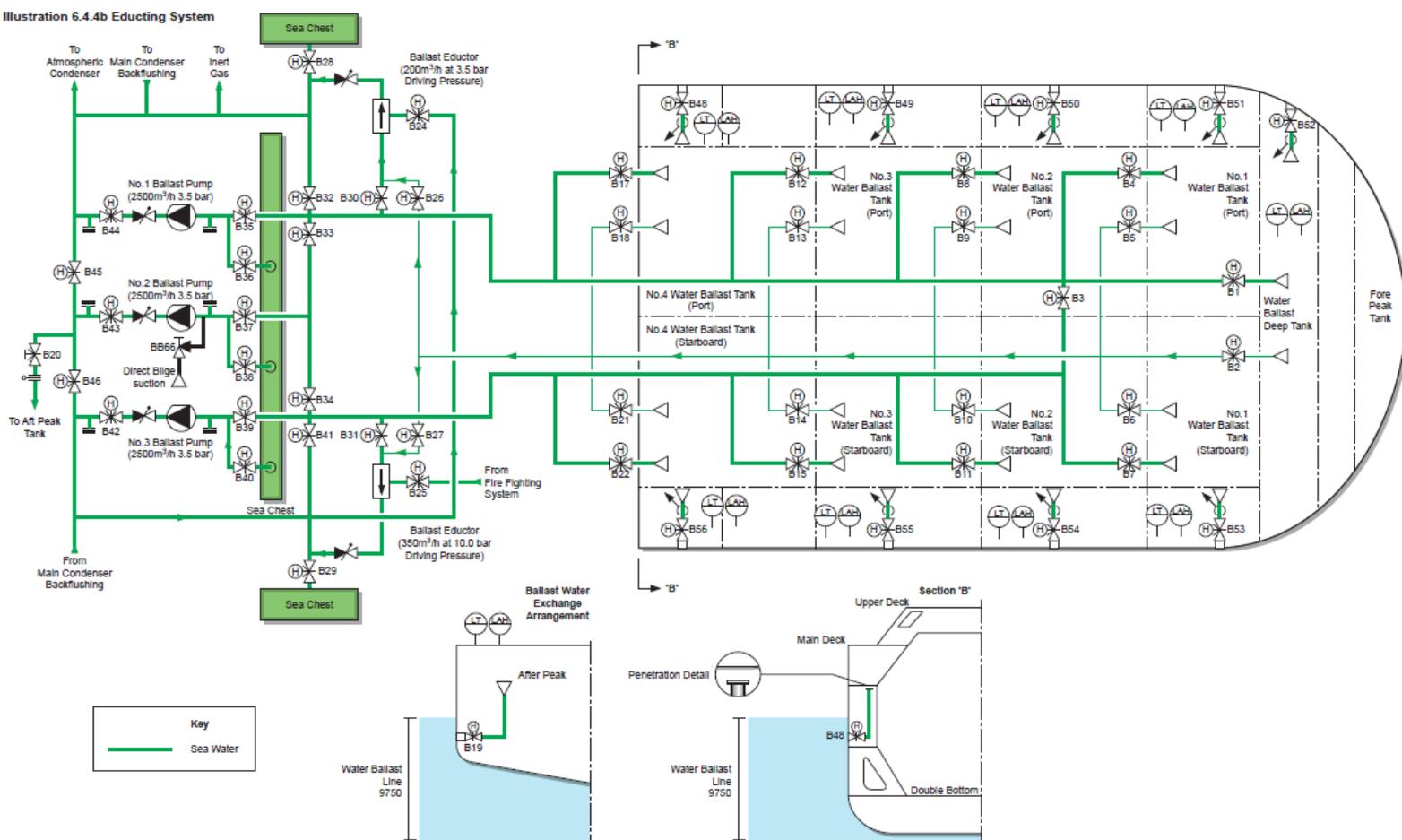


Figura 118: Sistema de eductores

**Para achicar el agua que quede en los tanques con los eductores**, se alinearé un tanque descargando por la válvula overboard y se alimentará al eductor con la línea contraincendios y una bomba contraincendios para que haga succión. Si el eductor no levanta suficiente presión se pueden cerrar la cortina de agua<sup>114</sup> en el manifold o las

<sup>113</sup> Cebiar: Hacer que una bomba empiece a trabajar.

<sup>114</sup> Cortina de agua: Medida de seguridad aplicada en el costado del manifold conectado a tierra para aislar el casco de una hipotética pérdida.

válvulas de caballo de baldeo<sup>115</sup> en los escobenes. Una vez el tanque haya sido achicado se alineará el siguiente antes de cerrar el primero. Una vez acabado con todos se parará la alimentación de contraincendios del eductor y se cerrarán los tanques.

---

<sup>115</sup> Caballo de baldeo: Válvulas de la línea que va a parar a los escobenes para limpiar la cadena del ancla cuando se levanta el fondeo.

## **5. VIAJE CARGADOS QUEMANDO GAS EN LA MÁQUINA**

Durante el viaje que se realiza cargados, el boil-off de LNG que se genera en los tanques se manda a las calderas para generar vapor. La operación empieza en cubierta y acaba en la máquina dirigida en el control de la máquina (ECR). En el caso de que no se pudiera quemar gas o el volumen de este fuera superior al que se está quemando, se ventearía por el palo N.1 a la atmosfera.

El vapor de la carga que se va generando entra en la línea de vapor a través del domo de vapor. Por esta línea va a al compresor low duty que lo bombea al calentador donde pasa de una temperatura negativa a unos 25°C cuando se manda a las calderas. La velocidad del compresor depende de la presión del tanque. El sistema funciona de manera que puede mantener la presión en los tanques con una carga completa.

Si el volumen de boil-off que se genera fuera superior al que se quema en la planta de propulsión, la presión en los tanques incrementaría haciendo saltar el steam dump<sup>116</sup> que quema gas para producir vapor y volverlo a condensar. Este sistema permite quemar todo el vapor de la carga que se genera incluso con el barco parado.

Tanto el compresor LD como el sistema de steam dump tienen ajustadas las presiones máximas y mínimas de los tanques para operar. La válvula de gas a la máquina se abre o se cierra de manera que se mantenga la presión dentro de los valores preestablecidos. Si la presión sube por encima del valor ajustado saltará el sistema de steam dump.

El sistema de líneas de carga en cubierta ventearía el exceso de vapor por el palo de venteo a través de una válvula tarada a 22.5 kPa.

En el caso de un ESD o si la presión de los tanques cayera por debajo de 1 kPa por encima de la presión de los espacios de aislamiento, la válvula de gas a la máquina se cerraría y se purgaría la línea con nitrógeno que se ventaría por el palo N.4 pasando por una válvula de no retorno.

### **VIAJE CARGADOS QUEMANDO BOIL-OFF NATURAL**

Lo primero que se debe hacer es alinear el compresor LD para que envíe gas a la máquina y precalentar el calentador para evitar la formación de hielo. Como medida de seguridad siempre que se ponga en marcha el calentador deberá haber alguien controlando las temperaturas de salida del gas calentado y del vapor. Cuando la máquina está lista para quemar gas en las calderas, se debe comprobar que hay suficiente nitrógeno en el tanque de servicio para purgar las líneas de la caldera.

La temperatura de salida del LNG del calentador debe ser de + 25°C, después se abrirá la válvula de gas a la máquina y se encenderá el compresor LD. Si el volumen de boil-

<sup>116</sup> Steam dump: Sistema cuya función es reducir la presión de los tanques quemando boil-off pero sin generar vapor para la caldera.

off es superior a la demanda de las calderas, se pondrá en marcha el sistema de steam dump.

Cuando se desee dejar de quemar gas, primero de todo se apagará el compresor LD, después el calentador y finalmente se cerrará la válvula.

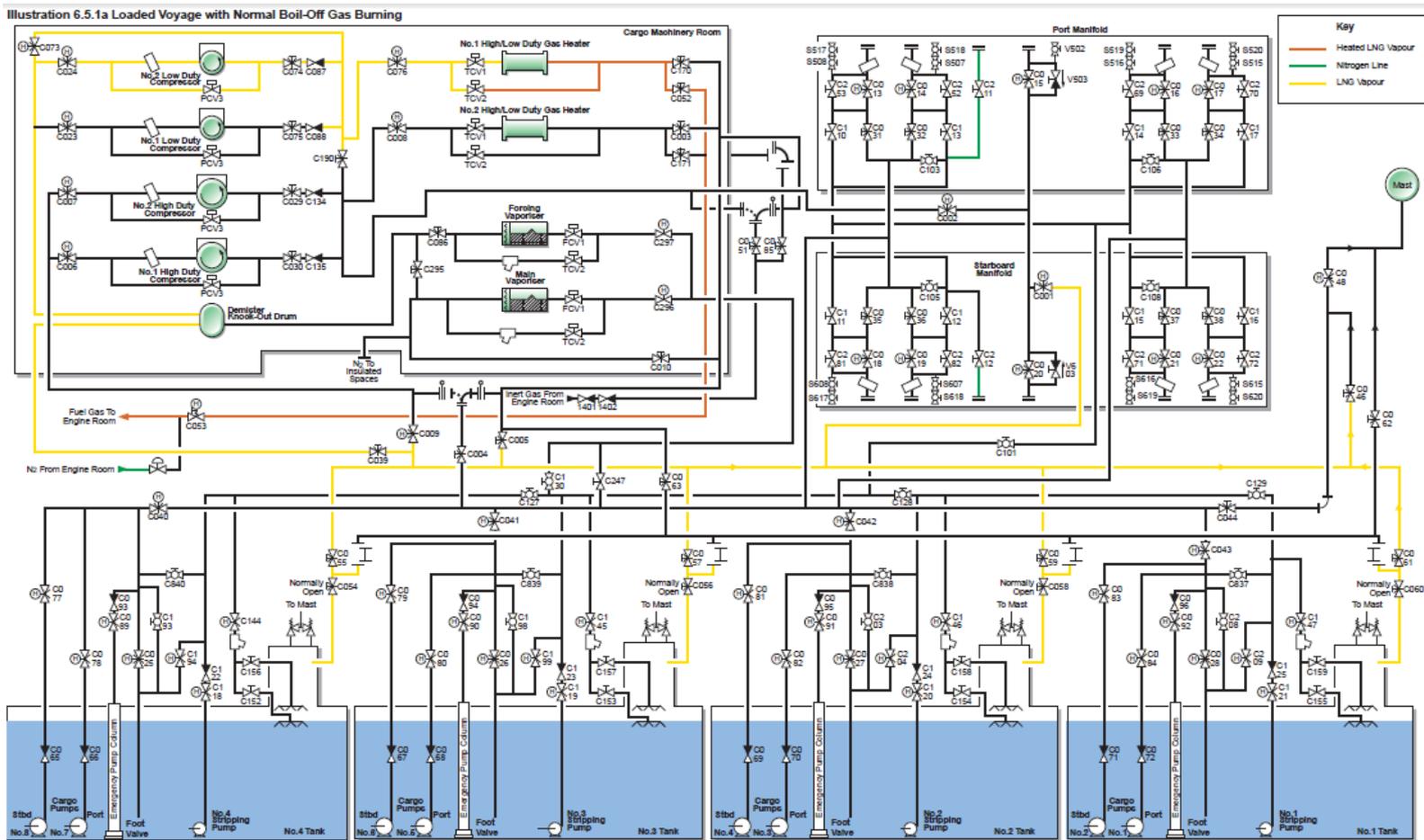


Figura 119: Viaje con carga enviando boil-off natural a la máquina

### VIAJE CARGADOS QUEMANDO BOIL-OFF FORZADO

El vaporizador forzado suministra gas, además del boil-off natural para mantener la presión en los tanques dentro de unos límites predeterminados. Mediante la línea de espray saliendo del domo de líquido se abastece al vaporizador forzado.

La temperatura de salida del vapor de LNG puede ajustarse según se requiera con una válvula de bypass. Después de salir del vaporizador pasa por el separador donde se filtra y se junta con el boil-off natural antes de enviarlo a los calentadores con el compresor LD.

Primero de todo se tara la válvula del palo de venteo a 22.5 kPa y se prepara el compresor LD para enviar gas a las calderas. Además se precalienta el calentador con el fin de evitar la formación de hielo cuando empiece el suministro de LNG.

La temperatura de salida del vapor LNG del vaporizador forzado debe ser de unos -140°C. Se abrirá la válvula de espray del tanque N.3 por ejemplo y se arrancará la bomba de stripping recirculando al propio tanque con el fin de enfriar la línea y enviar líquido hasta el vaporizador forzado. Del vaporizador pasará por el separador e irá al compresor LD donde después pasará por el calentador y se dirigirá a la máquina. La temperatura del gas en la salida del calentador debe ser de unos 25°C. Cuando se arranque el compresor LD se debe cerrar la recirculación del tanque.

Esta operación está controlada desde el ECR y si hubiera un ESD la válvula de gas a la máquina se cerraría instantáneamente y el compresor se pararía. Una vez finalizada la operación el compresor, calentador y vaporizador tienen que pararse y dejarse llegar a temperatura ambiente sin cerrar las válvulas para que el posible líquido que quedará atrapado no sobre presurizara las líneas. Además la bomba de espray se parará y la válvula del palo de venteo se reajustará.

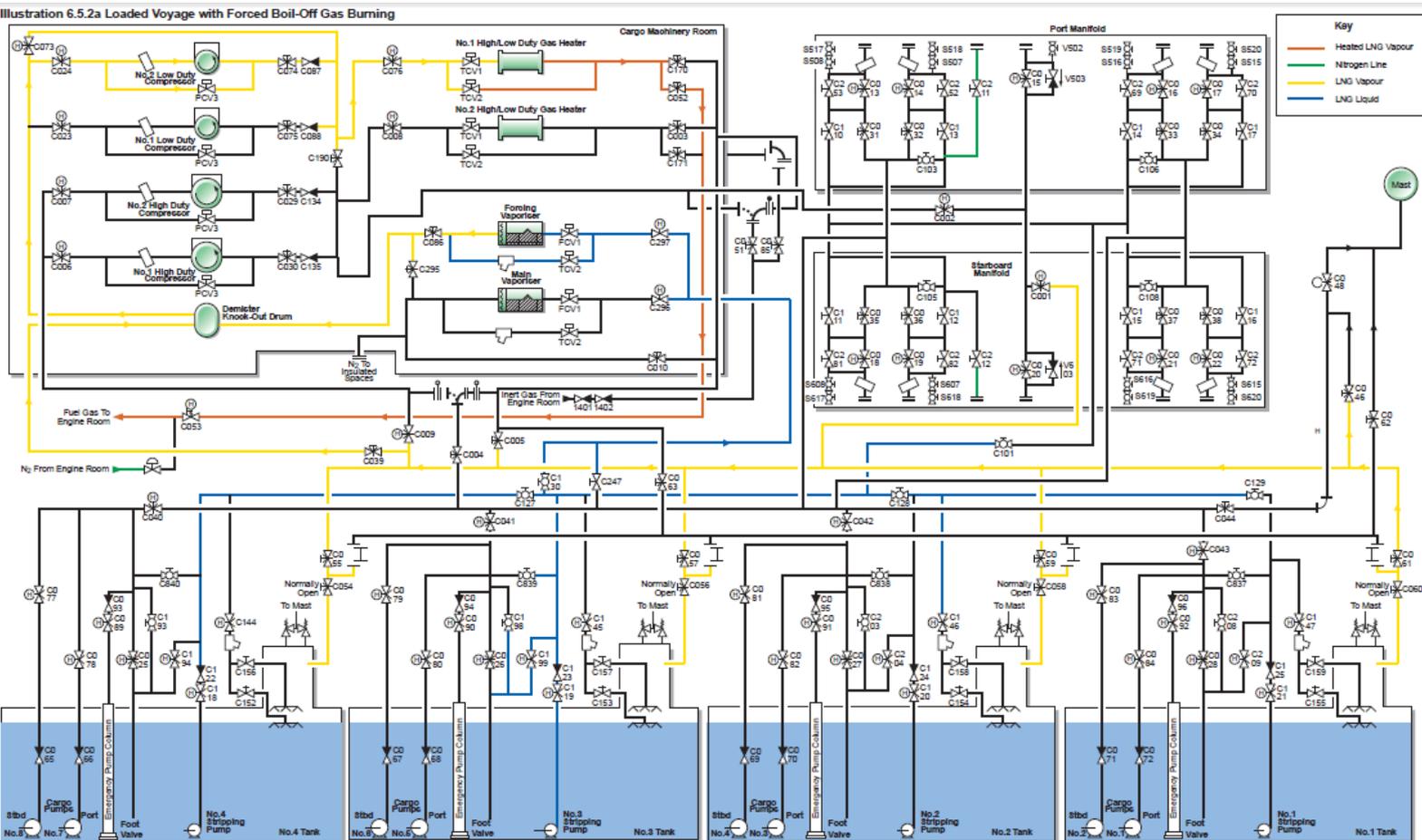


Figura 120: Viaje con carga enviando boil-off forzado a la máquina

## **6. DESCARGA CON RETORNO DE VAPOR DE TIERRA**

Durante la descarga solo la bomba principal estará en uso y se mantendrá una cierta cantidad de LNG en los tanques para mantenerlos fríos. La cantidad que se debe dejar depende de la duración del viaje en lastre que se haga después. Si se tuvieran que calentar los tanques por motivos técnicos, se sacaría el líquido remanente a bordo mediante la bomba de stripping con una capacidad inferior a la principal pero menor altura de succión. Durante la descarga, se suministra vapor de tierra para mantener la presión dentro de los tanques.

La bomba principal descarga LNG por la línea principal hasta el manifold donde sale a tierra. Después de una subida inicial de la presión, ésta vuelve a bajar. Entonces es cuando se empieza a suministrar vapor de la terminal a los tanques a través de los domos al tanque para mantener una presión sobre 110 kPa absoluta. Si el vapor suministrado por la terminal no fuera suficiente, a bordo se puede esprayar la carga o poner en funcionamiento el vaporizador para generar vapor LNG.

El lastre se llevará a cabo a la vez que la descarga y se mantendrá el buque dentro de los valores de calados, asiento, escora, esfuerzos del casco y estabilidad permitidos. Normalmente el buque se mantiene en aguas iguales durante la descarga en puerto. Los tanques de carga se dejarán con un nivel de líquido de unos 20 cm, menos el tanque que contenga el remanente pero estos valores variarán según el viaje en lastre que se haga y el volumen de boil-off que se pretenda quemar en la máquina.

Las bombas principales se pararán cuando lleguen a un nivel de unos 0.6 metros para evitar la cavitación. La bomba de espray deberá empezar a funcionar con la bomba principal en marcha hasta que está se pare por poca presión.

Cuando se acaba la descarga, los brazos y líneas se purgan con nitrógeno y se drenan llevando todo el líquido remanente en las líneas hacia el tanque correspondiente. Después los brazos se desconectan. Debido a la configuración del manifold es necesario purgar con una presión de 300 kPa (3 bar) y hacerlo varias veces para asegurarnos de que ha drenado todo el líquido y gas. Al final el brazo de vapor se desconecta y el boil-off se empieza quemar en las calderas.

### **PREPARACIÓN DE LA DESCARGA**

- El 1r oficial debe hacer un plan de descarga y lastre que tenga en cuenta la estabilidad del buque.
- Se debe realizar una reunión antes de la llegada para rellenar los checklists y asegurarse de que todo está en orden.
- Una vez atracados se realiza una reunión de seguridad con los representantes de la terminal.
- El Custody Transfer Measurement (CTM) se debe llevar a cabo con los representantes de la terminal, inspector y autoridades.

- Todas las conexiones en el manifold se deben realizar según el Terminal's Cargo Handling Manual.
- El 1r oficial supervisará la operación de descarga a bordo.
- Las sondas, temperaturas y presiones en los tanques se deben ir anotando según el plan de descarga.
- La presión y temperatura en el manifold también se debe chequear periódicamente.
- Una vez la descarga ha finalizado las válvulas del manifold deben cerrarse y tan pronto como se desconecten los brazos se deben tapar.

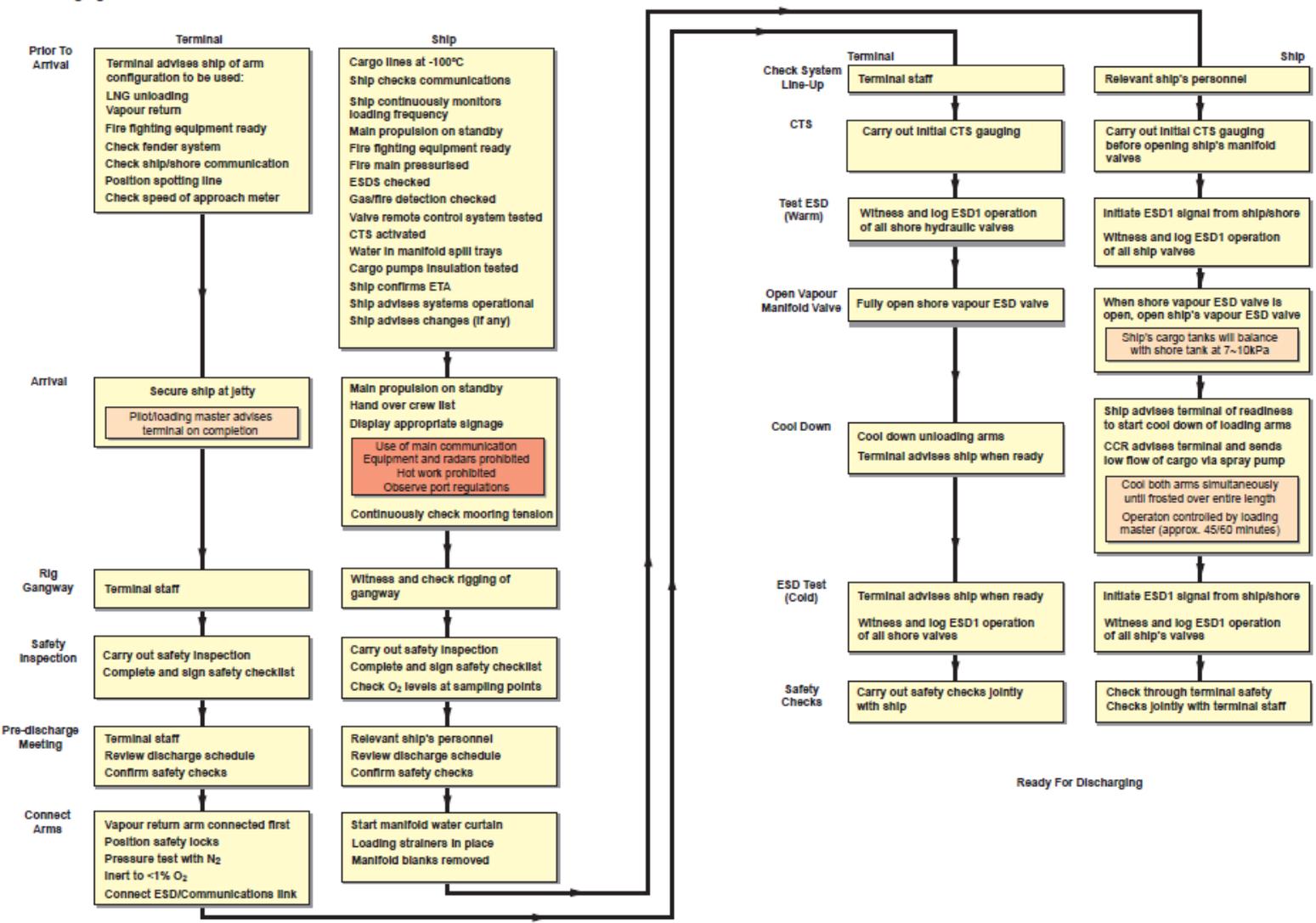


Figura 121: Preparación de la descarga

## ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS ANTES DE LA DESCARGA

Las líneas deben enfriarse y la planta de carga debe estar lo más preparada posible antes de la llegada al puerto de carga/descarga. Esto se hace con el fin de empezar la descarga tan pronto como el buque está atracado y se han realizado todos los procedimientos de seguridad y conexión previos. El enfriamiento de las líneas se lleva a cabo mediante la bomba de stripping del tanque N.3, bombeando el líquido por todas las líneas de carga. El vapor generado al enfriar las líneas se redirige al tanque de nuevo y de allí se lleva a las calderas pasando por el compresor LD y el calentador.

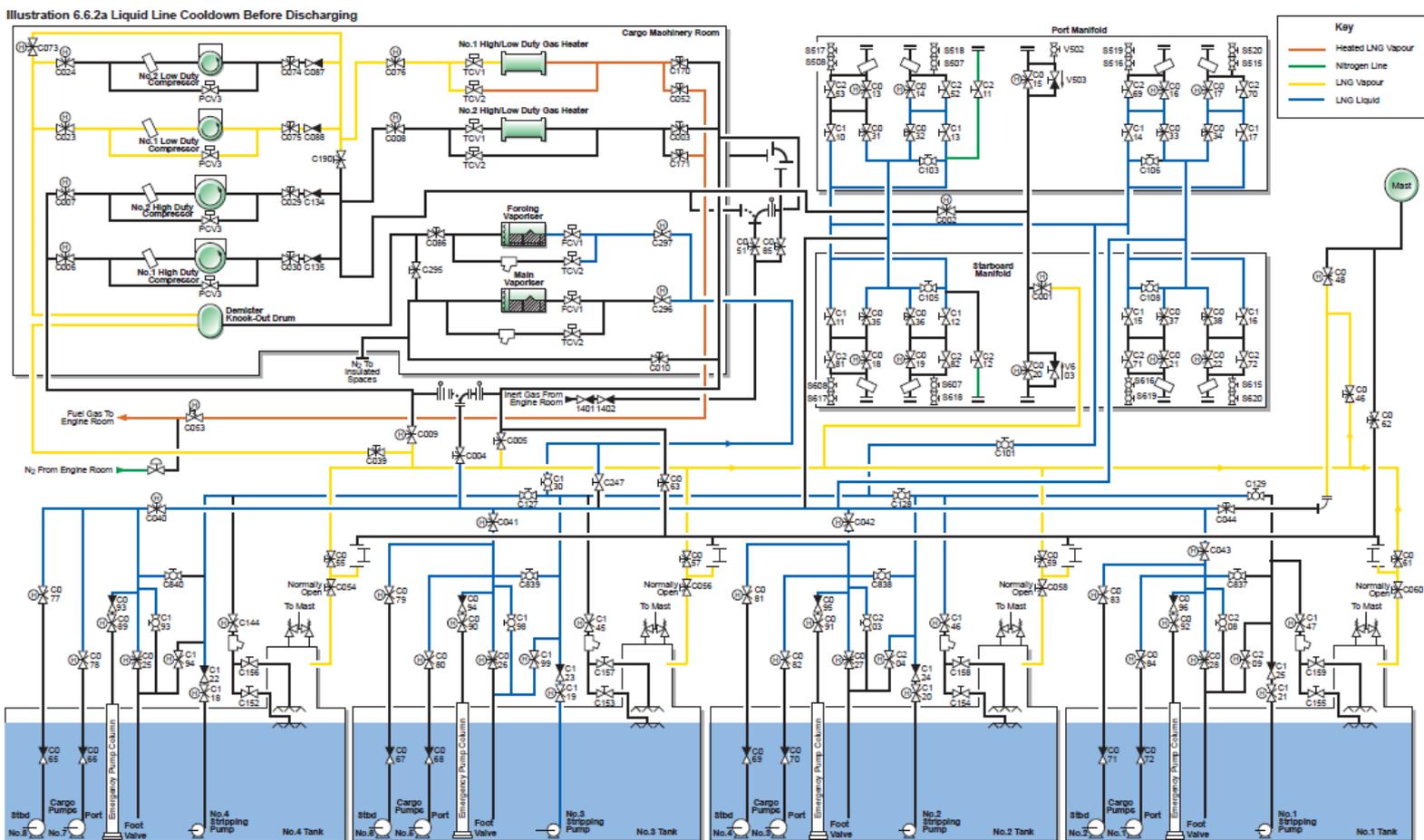


Figura 122: Enfriamiento de líneas antes de la descarga

Con la bomba de stripping del tanque N.3 (cuando se arranca la bomba, la válvula de la línea está cerrada y cuando empieza a levantar presión se abre la válvula) enviamos líquido hasta el manifold donde pasa por una válvula crossover a la línea de líquido. El vapor producido vuelve al tanque por la línea de llenado.

Durante el enfriamiento se debe monitorizar:

- El nivel de los tanques.
- Temperaturas y presiones de las líneas de espray, líquido y vapor.

El enfriamiento habrá finalizado cuando haya una temperatura de  $-100^{\circ}\text{C}$  en los extremos (proa y popa) de la línea de líquido. Entonces se parará la bomba. En caso de que pasara mucho tiempo entre el enfriamiento y el atraque se volvería a realizar el proceso.

### ENFRIAMIENTO DE BRAZOS ANTES DE LA DESCARGA

Una vez se han conectado los brazos de la terminal al manifold, se presurizan con nitrógeno y se purgan evacuando a la atmosfera hasta que el nivel de oxígeno esté por debajo del 1%. El nitrógeno está suministrado por la terminal a una presión de 294 kPa y a bordo se hace el test de pérdidas aplicando en las juntas agua jabonada. Una vez comprobado que la conexión de los brazos es correcta, estos se enfrían con las bombas de a bordo habiendo previamente enfriado las líneas.

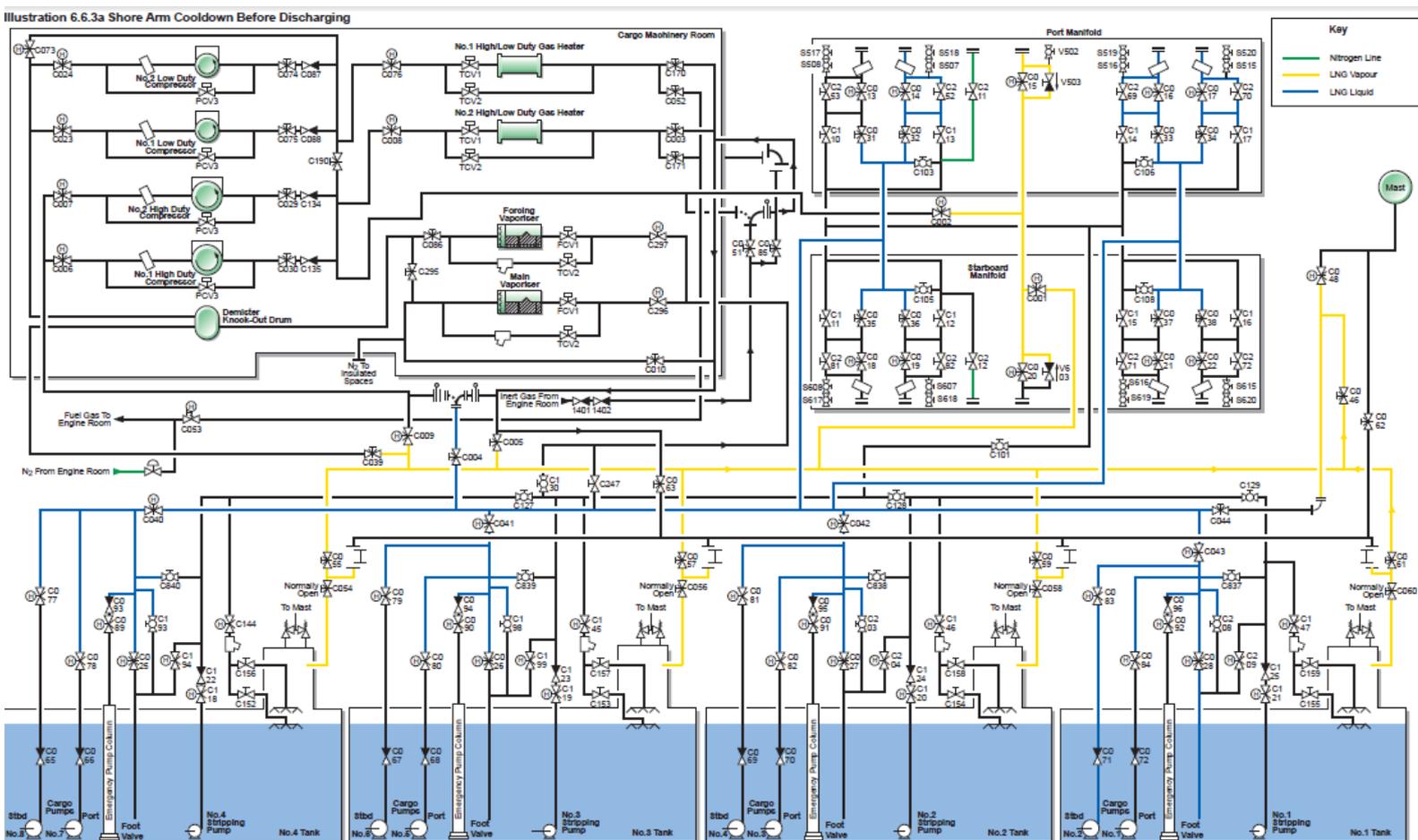


Figura 123: Enfriamiento de brazos antes de la descarga

Algunas terminales requieren que el enfriamiento de líneas se haga una vez conectados los brazos y con el Custody Transfer Measurement (CTM) realizado. Además se realizará una comprobación de seguridad:

- El gas a la máquina debe estar cerrado.
- CTM realizado.

- Conexión de vapor buque/tierra abierta.

Para empezar el procedimiento se arrancará la bomba de carga N.1 (manteniendo cerrada la válvula de descarga de la bomba hasta que coja presión) y la válvula de llenado estará abierta para recircular. Se irá aumentando el rate de descarga a petición de la terminal abriendo la válvula de descarga y cerrando la recirculación.

La operación de enfriamiento finalizará cuando el manifold, línea de líquido y brazos de carga lleguen a -130°C (60 minutos). Cuando ya esté todo en condición criogénica, la terminal puede requerir que se pare la bomba y se realice un ESD en frío.

### DESCARGA CON RETORNO DE VAPOR DE TIERRA

Una vez se ha realizado el ESD en frío, se procede a la descarga. Las válvulas de vapor de los tanques hasta el manifold deben estar abiertas. La descarga empezará con el tanque N.3, después el 2, 4 y el 1.

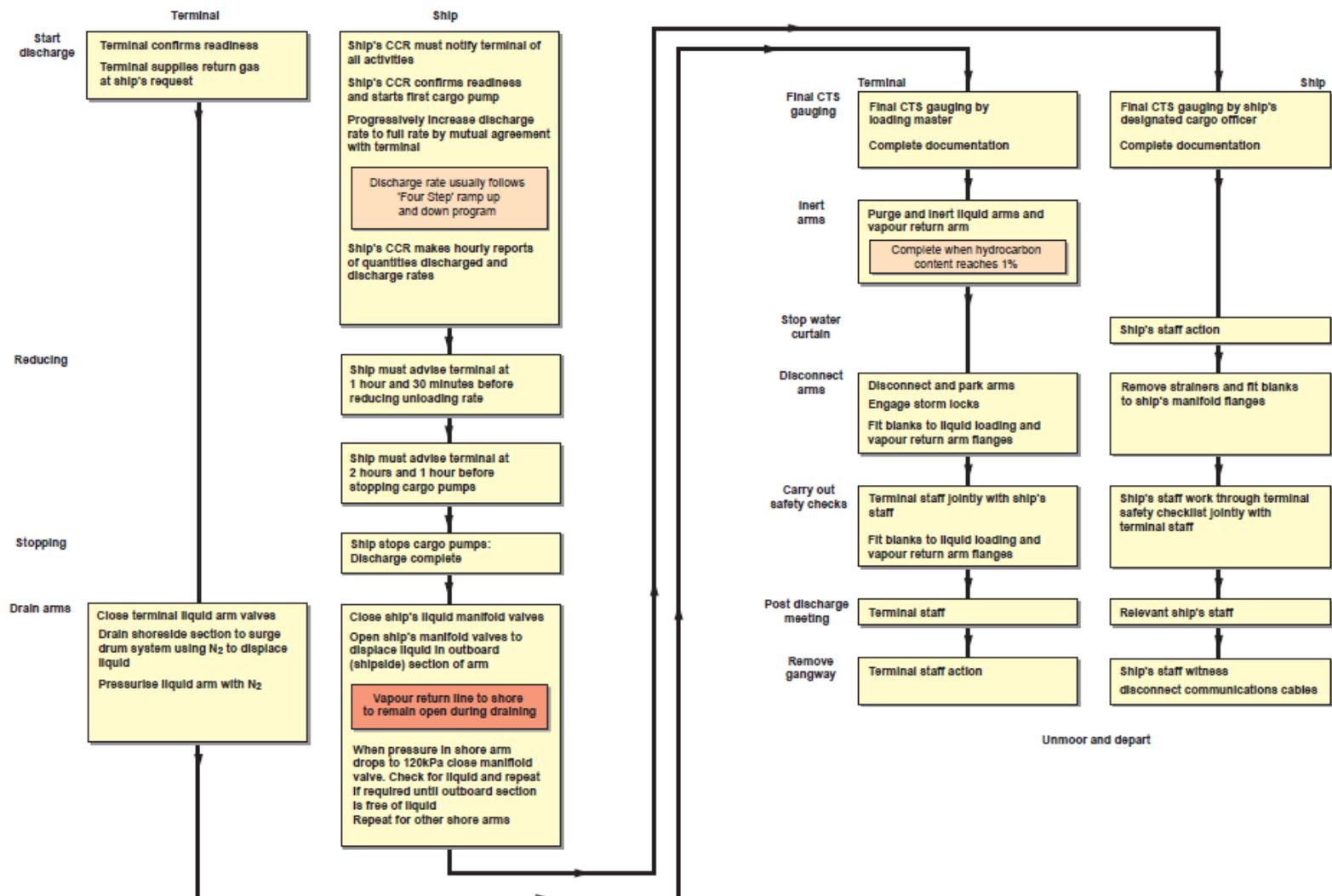


Figura 124: Procedimiento de descarga

Para arrancar una bomba se seguirá el siguiente procedimiento:

- Cerrar la válvula del domo de líquido (branch).
- Abrir válvula de descarga de la bomba un 20%.
- Abrir la válvula de llenado para que recircule el líquido.
- Arrancar la bomba.

De este modo la bomba estará encendida pero el líquido recirculará dentro del tanque. Para empezar a descargar el LNG se deberá ir abriendo la válvula del domo de líquido (branch) e ir cerrando la válvula de llenado del tanque. Se realizará esta operación para cada tanque. Las bombas arrancarán a petición de la terminal y una vez estén todas funcionando se regulará el rate ajustando las válvulas de descarga. La terminal debe suministrar vapor al barco para compensar la presión.

Cuando se arrancan las bombas, se debe monitorizar los valores de la intensidad de manera que cuando hayan pasado 3 segundos (tiempo de llenado de la columna de la bomba) la corriente se mantenga estable.

Illustration 6.6.4b Discharging with Vapour Return from Shore

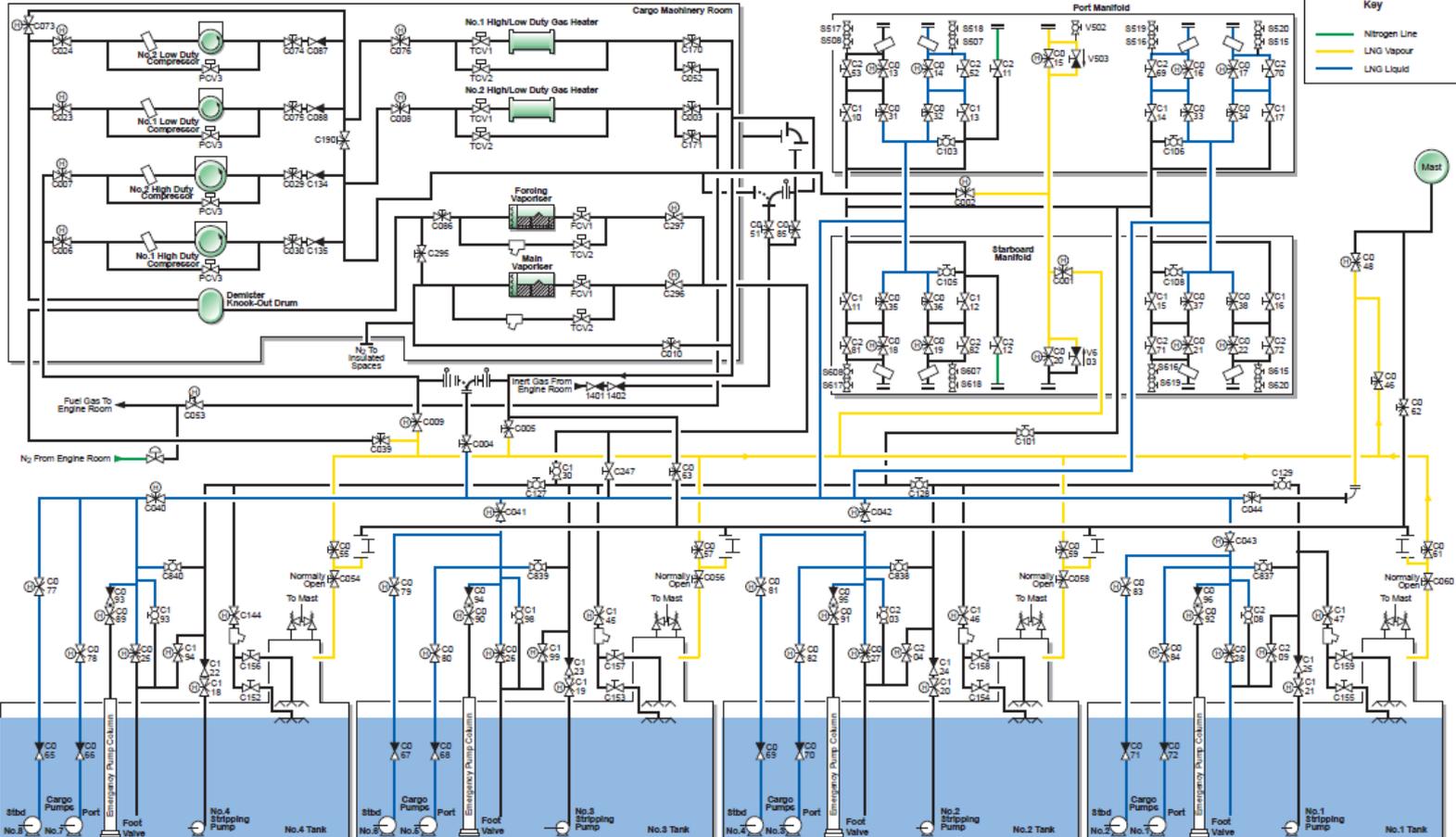


Figura 125: Descarga con retorno de vapor a tierra

Una vez esté finalizando la descarga, se irá reduciendo el rate de las bombas cerrando la válvula de descarga. Si debido al bajo nivel en los tanques los valores de la intensidad o

presión de descarga fluctúan, se deberá ajustar la válvula de descarga hasta que los valores se estabilicen. El nivel más bajo al que la bomba puede succionar son 10 cm de líquido en el tanque (NPSH), cuando se esté llegando a ese nivel se deben parar las bombas. Este nivel es necesario después para mantener el tanque frío durante el viaje en lastre al puerto de carga.

Cuando el nivel de los tanques llega a 1 metro durante la descarga se debe evitar parar las bombas hasta que no se haya concluido la descarga debido a la poca columna de presión que ejerce el líquido. Si se parara la bomba es posible que no pudiera arrancar de nuevo. Si la terminal no pudiera aceptar líquido en ese momento lo mejor sería recircular el líquido dentro del tanque sin parar la bomba.

Todo el líquido remanente en los brazos de la terminal y las líneas del buque se drenará hacia los tanques con nitrógeno presurizando desde tierra. Después se purgarán los brazos y las líneas hasta que las lecturas de hidrocarburos sean aceptables.

Una vez la última bomba se ha parado, se pide a la terminal que presuricen el primer brazo de líquido con nitrógeno a 300 kPa. Cuando el brazo está presurizado a esa presión, se debe abrir y cerrar seguidamente la válvula ESD del manifold para que todo el líquido remanente en el brazo y de la zona del manifold sea conducido hasta el tanque. Este proceso se debe repetir hasta que en las purgas de los brazos no salga líquido. Esta operación se lleva a cabo en cada brazo de carga que se haya utilizado y se debe ir uno por uno.

Cuando la purga de líquido ha finalizado empieza la purga de vapor de manera que las lecturas de gas muestren que el contenido de HC<sup>117</sup> está por debajo del 1.2% en volumen. Después de confirmar estas lecturas se para el suministro de nitrógeno para presurizar el brazo y se abre la válvula de purga para despresurizarlo y proceder a la desconexión.

El compresor HD se puede dejar en funcionamiento mientras se purgan y desconectan los brazos para enviar vapor a tierra y mantener una baja presión en los tanques una vez finalizada la descarga.

El sistema de nitrógeno se debe restablecer asegurándose de que la presión en el espacio primario y secundario es de 0.4 kPa y 0.2 kPa respectivamente.

Además, debemos finalizar la operación de lastre para que el barco se quede adrizado y en aguas iguales para realizar el cálculo final de cantidad a bordo. Una vez se ha realizado el cálculo se puede ajustar el lastre para la condición de salir a la mar.

Finalmente, se debe parar el compresor HD justo antes de cerrar la válvula ESD del manifold de vapor y seguidamente empezar con la operación de purgado y desconexión del brazo. Se preparará el compresor LD para quemar gas en la máquina antes de

---

<sup>117</sup> HC: Hidrocarburo.

hacerse a la mar. Manteniendo los tanques cerrados se abrirán todas las válvulas de cubierta para permitir el calentamiento y evitar la posibilidad de que haya quedado líquido en algún tramo y al calentarse presurice ese tramo causando desperfectos. Una vez se hayan calentado se vuelven a cerrar todas.

### OPERACIÓN DE LASTRE

La primera parte del lastre se hará por gravedad. Siguiendo el principio de Arquímedes un tanque vacío se llenará hasta igualar el nivel de la línea de flotación, eso puede ser hasta unos 11 metros en un gasero. Se debe prestar especial atención en las operaciones de lastre ya que se podría dañar el sistema de líneas debido a las presiones ejercidas.

Se procederá alineando el sistema de líneas y válvulas y se empezará a llenar los tanques 1 babor y 1 estribor por ejemplo y se debe chequear que todo evoluciona correctamente viendo como aumenta el nivel en esos tanques. Después se seguirán llenando los tanques según el plan de lastre manteniendo el buque adrizado y con una estabilidad dentro de los límites. De forma general se lastrará por parejas los tanques y cada 3 metros se pasará al siguiente tanque para evitar esfuerzos y mantener el asiento.

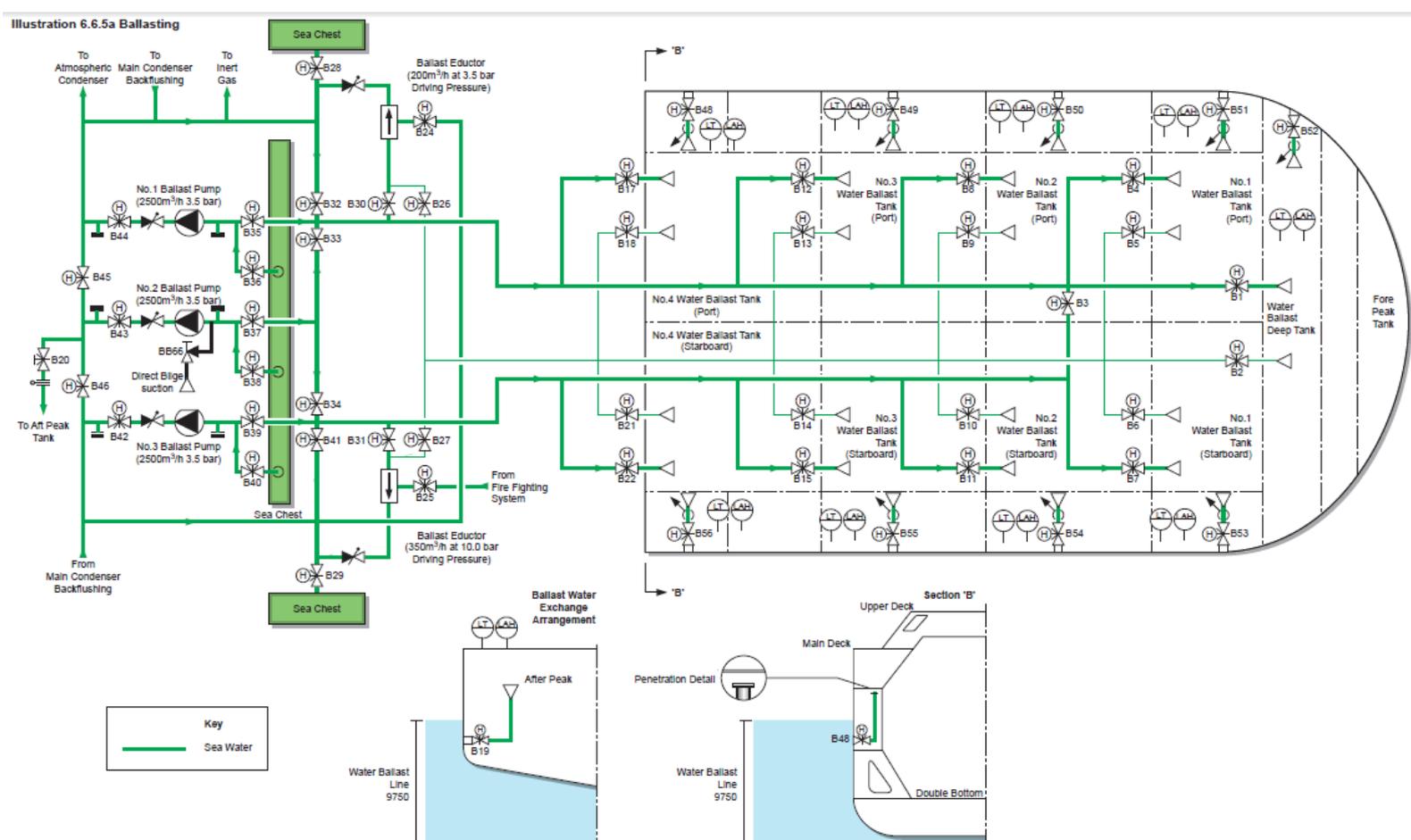


Figura 126: Lastre

A continuación, se empezará a lastrar con bombas. Normalmente serán necesarias dos bombas para realizar la operación pero se dispone de tres bombas. Se debe configurar las válvulas que queremos abrir y des del IAS se arrancará la bomba de lastre. Cuando se ha cebado se abrirá la válvula de descarga de la bomba un 25%. Se debe controlar el rate de la bomba, la presión y el amperaje con la válvula de descarga. Cuando se ha llegado al nivel deseado en la pareja de tanques se deben abrir las válvulas de la siguiente pareja de tanques antes de cerrar las de la pareja anterior con el fin de no generar presiones que puedan dañar el sistema de líneas. Una vez se ha llegado al nivel deseado en todos los tanques se para la bomba y se cierran las válvulas después.

## 7. OPERACIONES PREVIAS A DIQUE

### REACHICAR Y PURGA DE LAS LÍNEAS

Asumiendo que el último tanque será el número 4, las cantidades para achicar de los tanques 1, 2 y 3 se transferirán al tanque N.4 antes de ser descargadas a tierra.

Cuando el tanque N.1 esté llegando a 1.5 m de nivel, se arrancará la bomba de spray. Cuando esta se cebe se abrirán la válvula de descarga de dicha bomba un 5% y se cerrará el retorno del tanque para enfriar la línea en cubierta hasta el tanque N.4. Se debe descargar la máxima cantidad posible con las bombas principales pero se deben parar cuando empiecen a perder succión. Entonces es cuando se arranca la bomba de spray para trasvasar toda la cantidad remanente posible al tanque N.4 por la línea de stripping. Cuando la bomba de spray empiece a perder succión se parará y se cierra la válvula de descarga.

Se repetirá el procedimiento para los tanques N.2 y 3 cerrando al final las válvulas de descarga de los tanques y abriendo las de recirculación para drenar la línea spray.

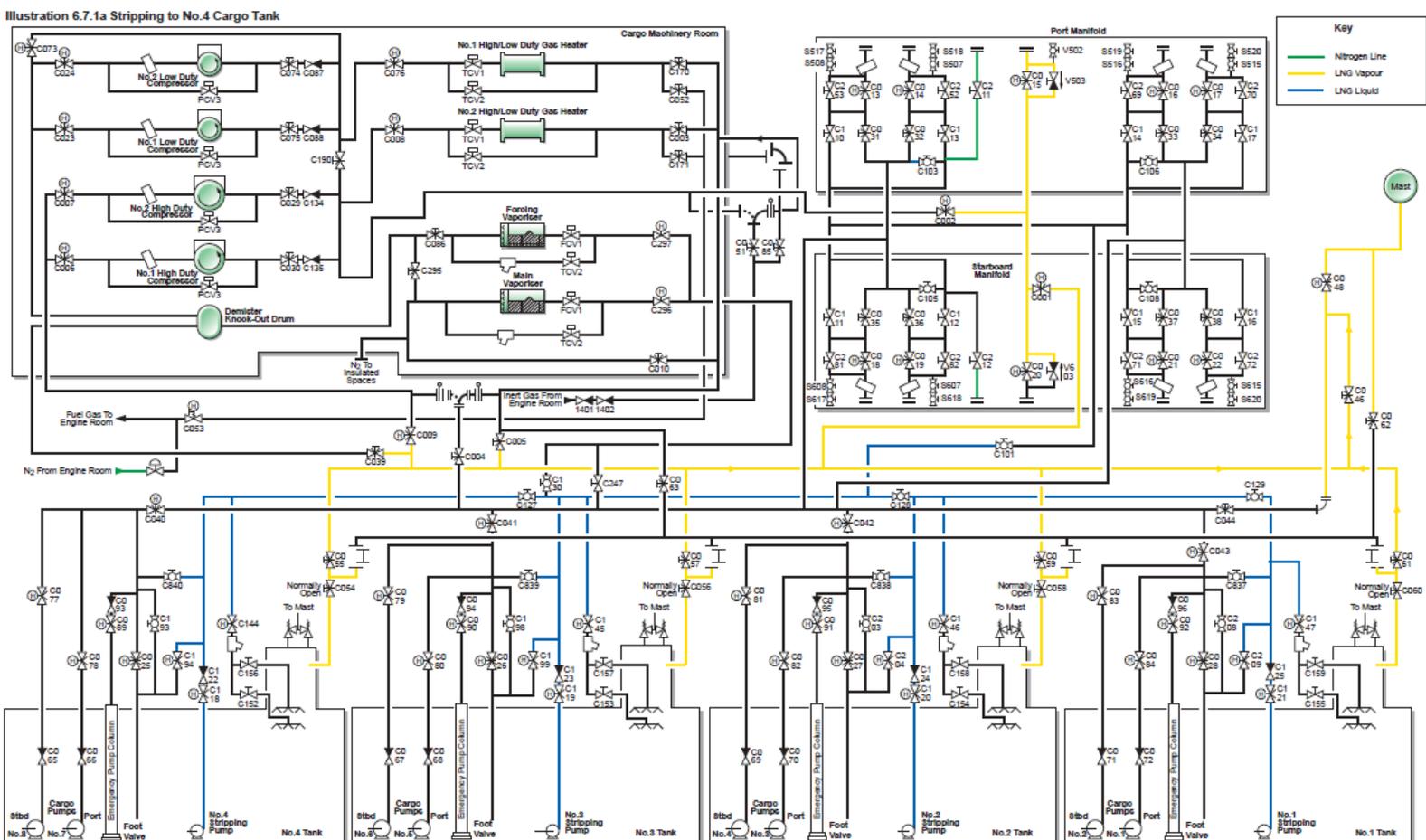


Figura 127: Achique del tanque de carga N.4

Cuando el tanque N.4 llegue a 1 metro se arrancará la bomba de spray y se dejará recirculando mientras la bomba principal descarga lo máximo posible a tierra. Se debe parar la bomba principal cuando pierda succión. Se debe drenar la línea de líquido al tanque N.4 y con la bomba de spray arrancada y recirculando se cerrará la válvula de retorno para descargar el líquido remanente de este tanque a tierra. Cuando la bomba de stripping pierda succión se debe parar.

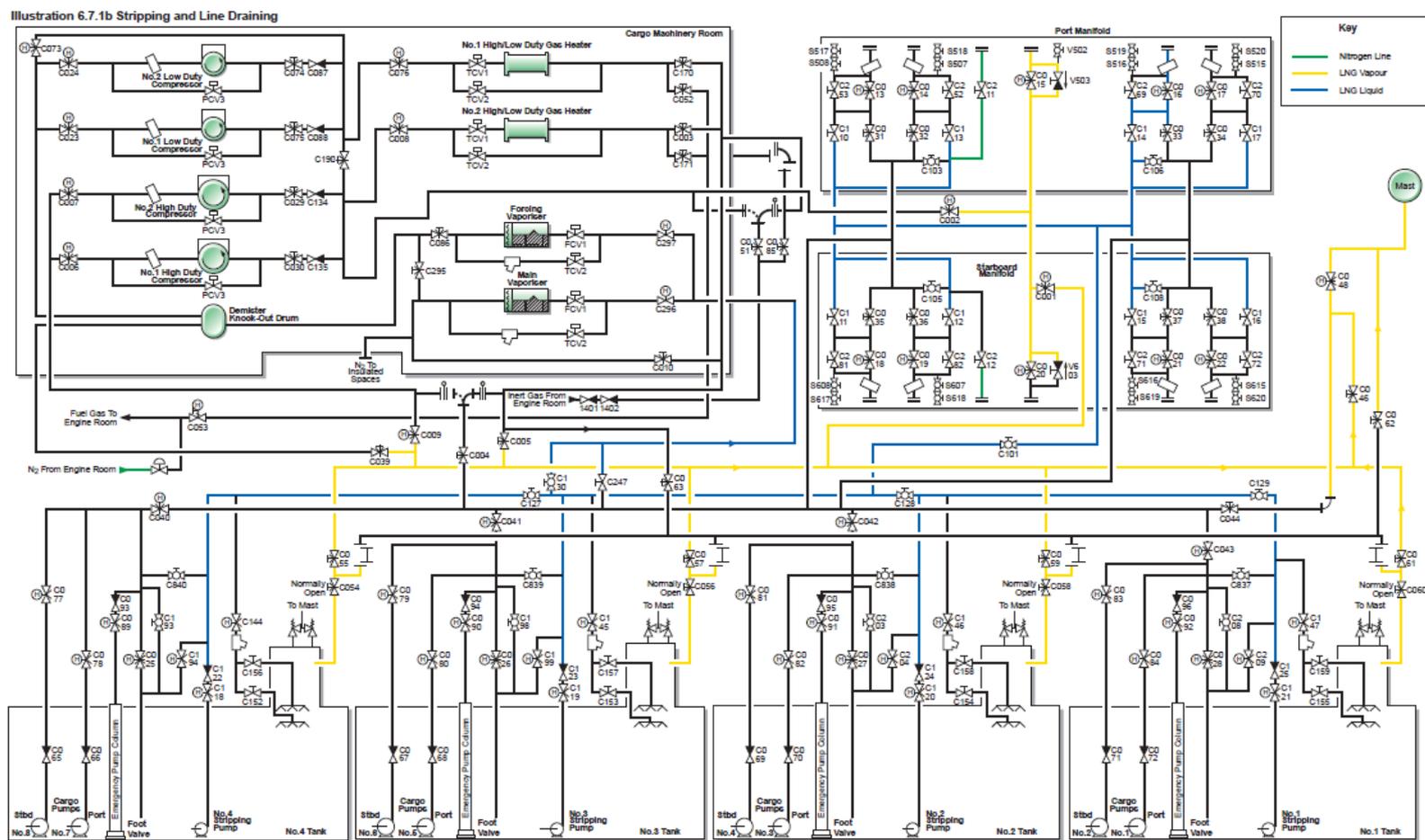


Figura 128: Achique y drenado de las líneas

Cuando todos los tanques han sido achicados se debe drenar todo el LNG de las líneas, brazos y manifold llevando el líquido al tanque N.4 presurizando con nitrógeno desde tierra a 300 kPa. Cuando el brazo esté presurizado a esa presión se debe abrir y cerrar la válvula ESD principal para desplazar todo el líquido remanente en las líneas dentro del tanque. Este proceso se hará tantas veces como haga falta para alcanzar un nivel de HC del 1%. Aunque sí que se debe alternar la apertura y cierre de la válvula principal del manifold (línea líquido) y la siguiente vez por la válvula de la línea de spray (línea stripping). Además el manifold se debe purgar con nitrógeno hasta que las lecturas de hidrocarburo sean del orden del 1%. Esta operación se realizará en cada brazo uno por uno. Cuando hayamos acabado con los brazos de líquido se purgará el brazo de vapor que es el último. Después de confirmar que el brazo de vapor tiene lecturas menores de un 1.2% se dejará de suministrar vapor de tierra y se abrirá la purga para despresurizar

el brazo y proceder a la desconexión. El compresor HD se deja en funcionamiento mientras se procede al drenado y purgado de líneas para mantener una presión baja en los tanques.

Una vez finalizada toda la operación, se debe volver a condición normal el sistema de nitrógeno dejando el espacio primario y secundario a 0.4 y 0.2 kPa por encima de la presión atmosférica respectivamente.

Se finalizarán las operaciones de lastre dejando el buque adrizado y en aguas iguales para el cálculo del CTS. Una vez realizado, se puede adecuar el buque a la condición de mar. Se parará el compresor HD antes de cerrar la válvula de vapor para purgar el brazo. Se ajustará el compresor LD para quemar gas en la máquina. Se abrirán las válvulas de las líneas para permitir que vuelvan a temperatura atmosférica y cuando haya sucedido se cerrarán.

### **CALENTAMIENTO DE LOS TANQUES**

El calentamiento de los tanques es parte de la operación de desgasificación de los tanques llevada a cabo previa entrada a dique seco para reparar o bien para alguna inspección. La máxima cantidad de líquido LNG se descarga con las bombas de los tanques para reducir el tiempo en el que se calentarán los tanques con vapor y que vaporice el líquido remanente. Cuando toda la carga bombeable se haya descargado el buque se hará a la mar donde todo líquido remanente se evapora calentándolo y se vierte a la atmósfera.

El primer paso será introducir vapor caliente (calentado con los heaters) e introducido por la línea de llenado (filling) por el fondo del tanque para facilitar la vaporización del líquido.

El segundo paso será cuando la temperatura tienda a estabilizar se introducirá el vapor caliente en vez de por la filling por el domo de vapor en el tope del tanque.

Todo el vapor generado durante esta operación se ventea a la atmosfera cuando se está en la mar. Si el buque está en puerto se devolvería a tierra. Cuando todo el líquido se haya vaporizado se creará un gradiente en el que el gas frío se quedará abajo y el gas caliente se irá hacia arriba. Con los calentadores se debe seguir hasta que la temperatura en el punto más frío de los espacios de aislamiento sea de +5°C (más alta que la temperatura de rocío del gas inerte) con el fin de evitar que la humedad de gas inerte se condense o cristalice.

Esta operación lleva un tiempo dependiendo del líquido remanente que se haya dejado en la descarga y de la temperatura de tanques y espacios de aislamiento. Generalmente, unas 48 horas.

Inicialmente, la temperatura de los tanques aumentará poco a poco a medida que se va vaporizando toda la carga. Se generará una gran cantidad de vapor que se venteará. Una

vez se haya vaporizado todo, la temperatura de los tanques aumentará mucho más rápidamente y la generación de vapor bajará. Las temperaturas de tanques y espacios de aislamiento se monitorizarán des del IAS.

En la mar, el balanceo y cabeceo asistirán a la evaporación del líquido. El vapor se debe quemar en la máquina hasta que sea posible, es decir, hasta que todo el líquido se haya evaporado, el venteo esté cerrado y esté bajando la presión en los tanques.

Si todos los tanques no se van a desgasificar, aquellos tanques en los que se lleve a cabo la operación deben separarse completamente.

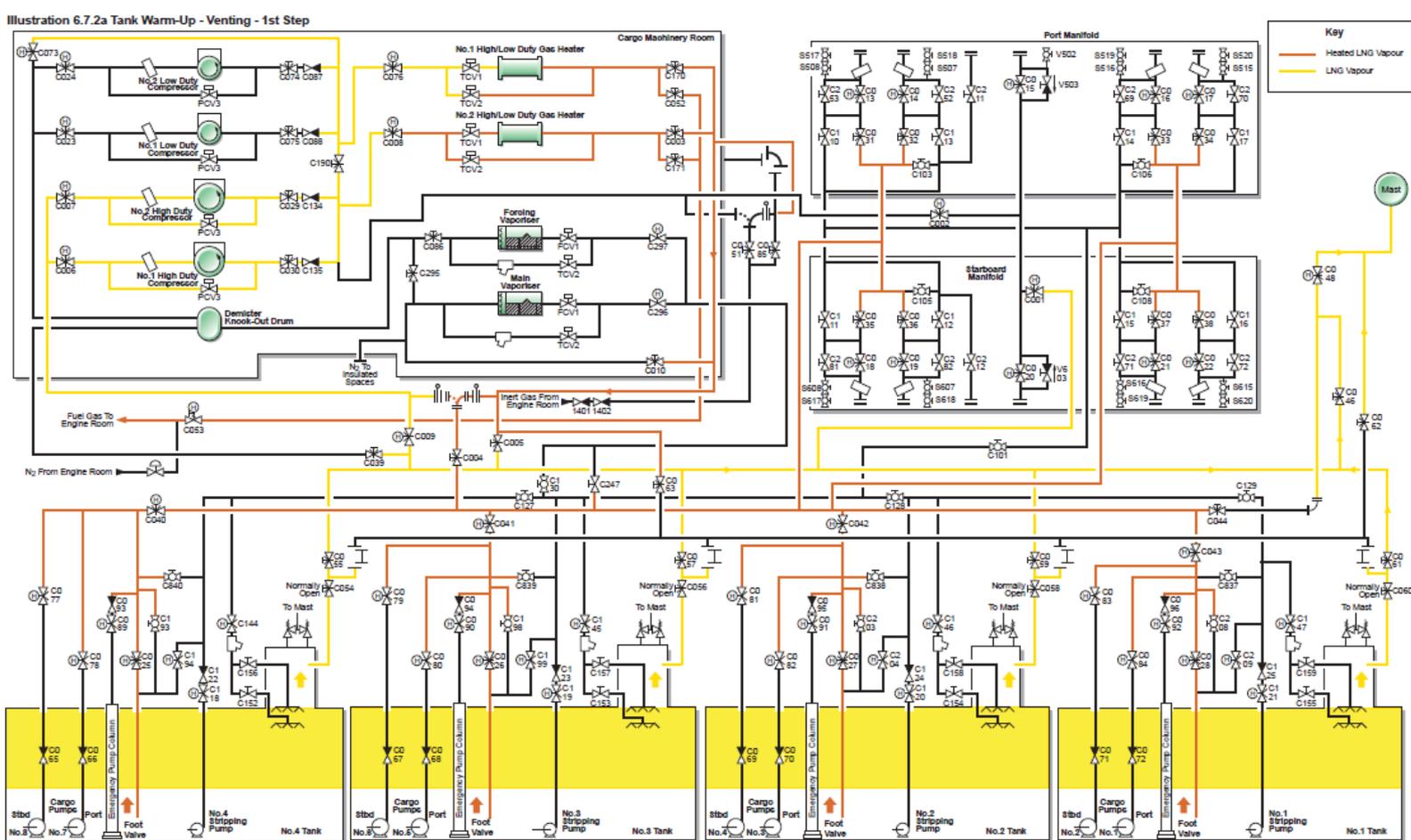


Figura 129: Calentamiento de los tanques – Venteo – 1r paso (filling)

Se explicará el 1r paso utilizando la línea filling para la vaporización. Durante el calentamiento de los tanques el gas que vaya a la máquina saliendo del calentador se regulará manualmente.

El palo de venteo se tarará a 23 kPa. Además la pieza intercambiable unirá la línea de los calentadores con la de líquido. Se prepararán los calentadores y se ajustará la temperatura de salida a +80°C, esta temperatura no puede exceder los +80°C para no dañar el aislamiento de las líneas y válvulas de seguridad. Se procederá a ajustar todas las válvulas de los tanques. Se arrancarán los compresores HD y se ajustará de manera

que se mantenga una presión de entre 10 y 20 kPa dentro de los tanques. Se enviará el gas a la máquina pero con dumpeo de vapor y con control del venteo para mantener una combustión estable en las calderas. La presión del nitrógeno dentro de los espacios de aislamiento se debe monitorizar debido a que con el incremento de temperatura aumentará la presión pudiendo dañar las membranas.

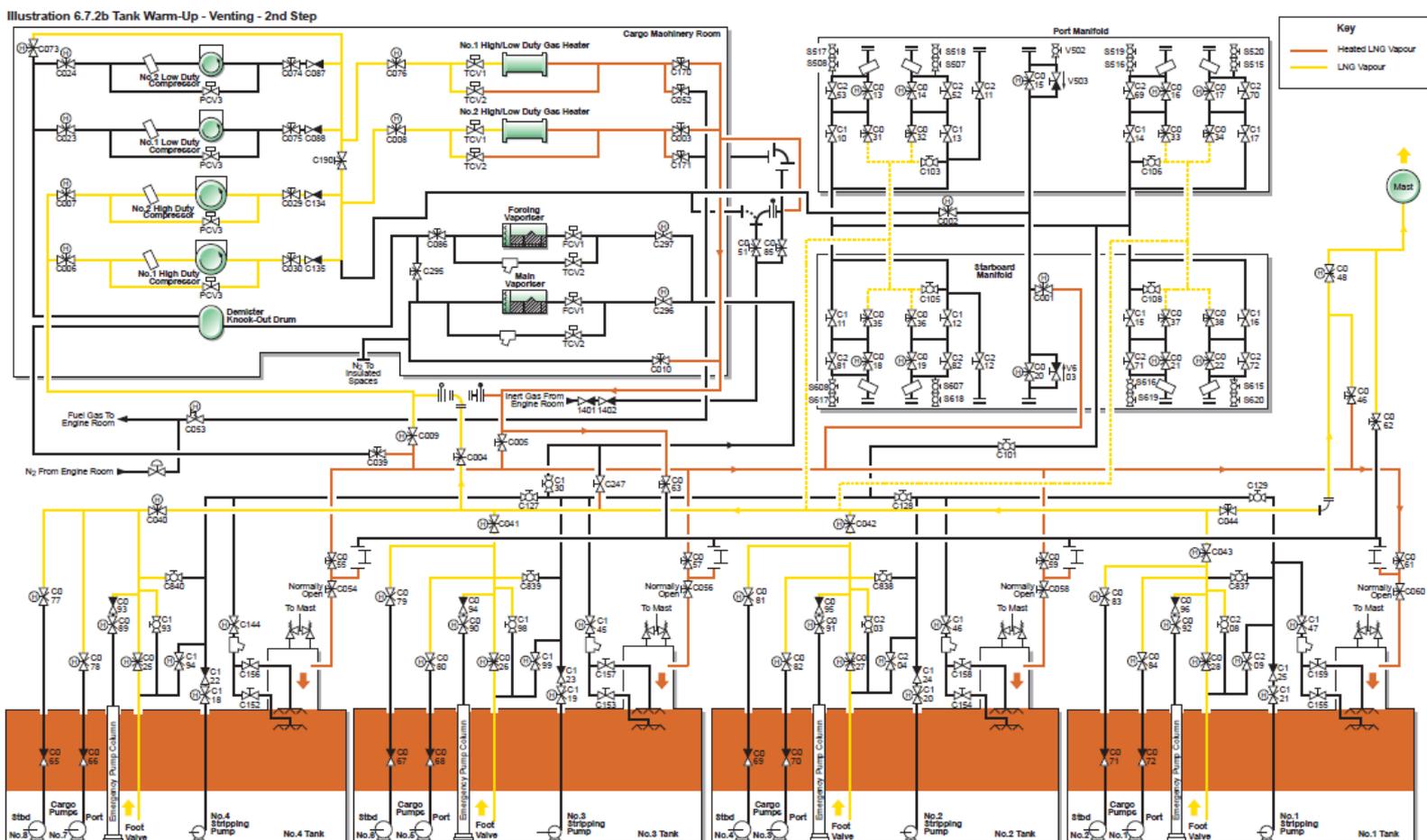


Figura 130: Calentamiento de los tanques – Venteo – 2n paso (domo vapor)

En el segundo paso se utilizarán los domos de vapor para el calentamiento de tanques. Una vez se ha vaporizado todo el líquido que no se ha podido bombear, se empezará a suministrar el vapor caliente por el domo de vapor en vez de por la filling. El gas frío se enviará al compresor HD a través de la línea de llenado.

La pieza intercambiable se cambiará uniendo la línea de líquido con la línea de los compresores. Se debe monitorizar la temperatura de los tanques y ajustar la apertura de la válvula de la filling para que el aumento de temperatura sea progresivo. Cuando la presión en los tanques empiece a descender se para el envío de gas a la máquina.

Al final de la operación, cuando la temperatura mínima en los espacios de aislamiento es de al menos +5°C se pararán los compresores HD, se cerrarán las válvulas de llenado y se restablecerá el venteo. Se pararán los calentadores y se empezará con los preparativos del inertado/desgaseado de tanques.

## DESGASEADO DE LOS TANQUES

Después de que los tanques hayan sido calentados, el LNG vapor se desplaza con gas inerte generado a bordo con la planta de gas inerte y se introduce por el fondo del tanque mediante la línea de llenado (filling). El vapor de LNG se ventea saliendo del tanque por el domo de vapor y al palo de venteo en caso de estar en la mar. Si se está en puerto se mandaría a la terminal.

Inertar es necesario para evitar una posible mezcla de aire/LNG que pueda entrar en el rango de inflamabilidad. La operación, que lleva unas 20 horas, se lleva a cabo hasta que se reduce el contenido de hidrocarburo por debajo del 2.5% en volumen (50% LEL). **Además de los tanques de carga también se deben inertar todas las líneas. Esto se puede hacer con gas inerte o bien, con nitrógeno** mientras se está realizando la desgasificación de los tanques.

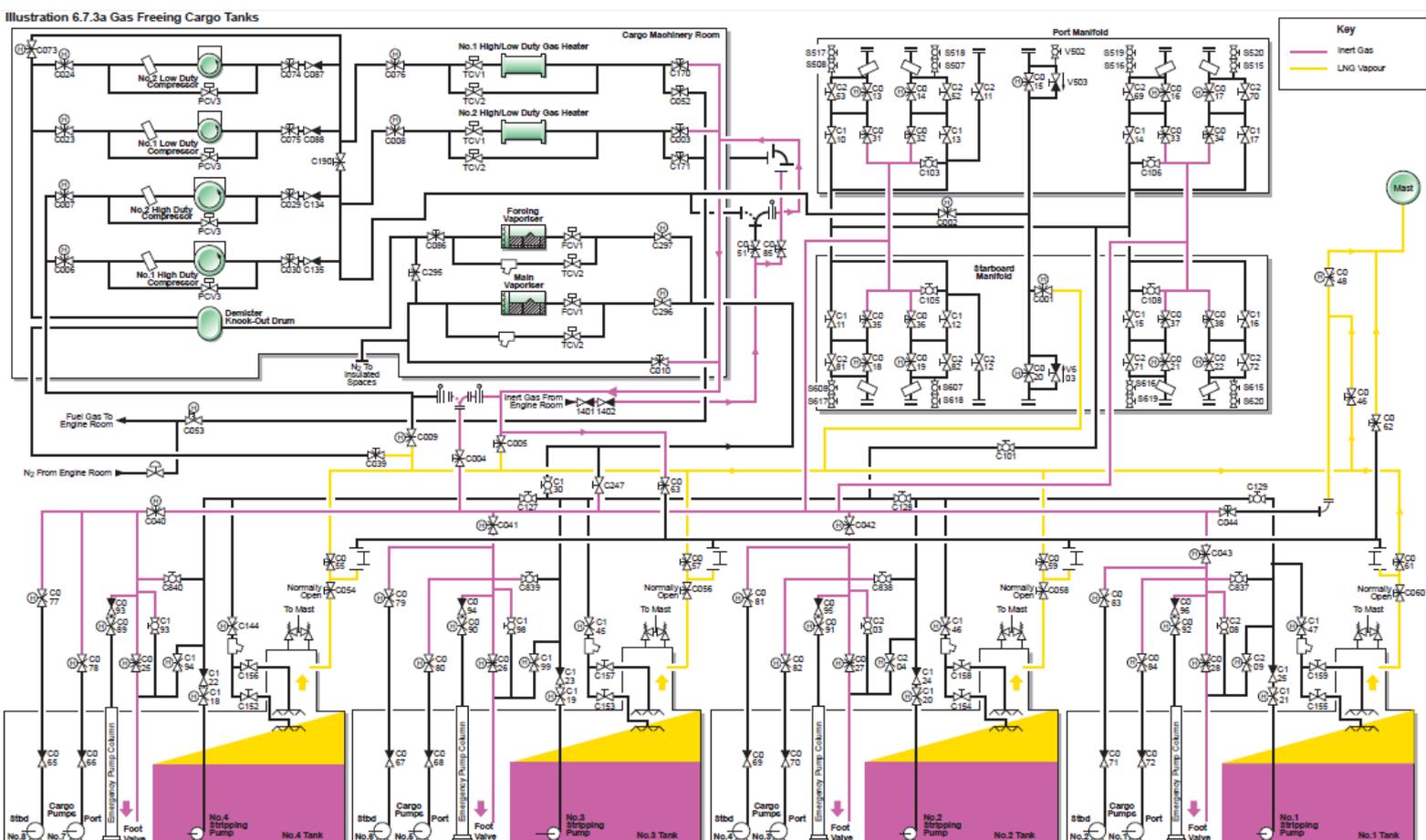


Figura 131: Desgaseado de los tanques

Para inertizar los tanques de carga se debe preparar la planta de aire seco/gas inerte. Se conecta la línea de líquido con la salida de los calentadores mediante la pieza intercambiable. Se ajustan las válvulas de ese tramo de línea para permitir el paso del gas inerte. También se deben abrir las válvulas de la línea de llenado y de los domos de vapor de todos los tanques. Se tara la presión del palo de venteo a 22.5 kPa.

Se arranca la planta de gas inerte descargando al guardacalor hasta que se consigue un punto de rocío de  $-45^{\circ}\text{C}$  y un contenido de oxígeno menor del 1%. Cuando se alcanzan estos valores se abren las válvulas de no retorno que suministran el gas inerte al sistema. Se debe monitorizar manualmente con el medidor tomando lecturas del punto de rocío y el contenido de HC en los puntos de muestreo en el domo de vapor de cada tanque. Cuando estos valores sean menores de  $-40^{\circ}\text{C}$  y 2% se considera que el tanque está inertado y se cierran la filling y el domo. El último tanque debería ser el N.1 que al estar más alejado nos asegura que todo el sistema está lleno de gas inerte. Entonces se para la plana de gas inerte.

Illustration 6.7.3b Inerting Cargo Tank Pipelines

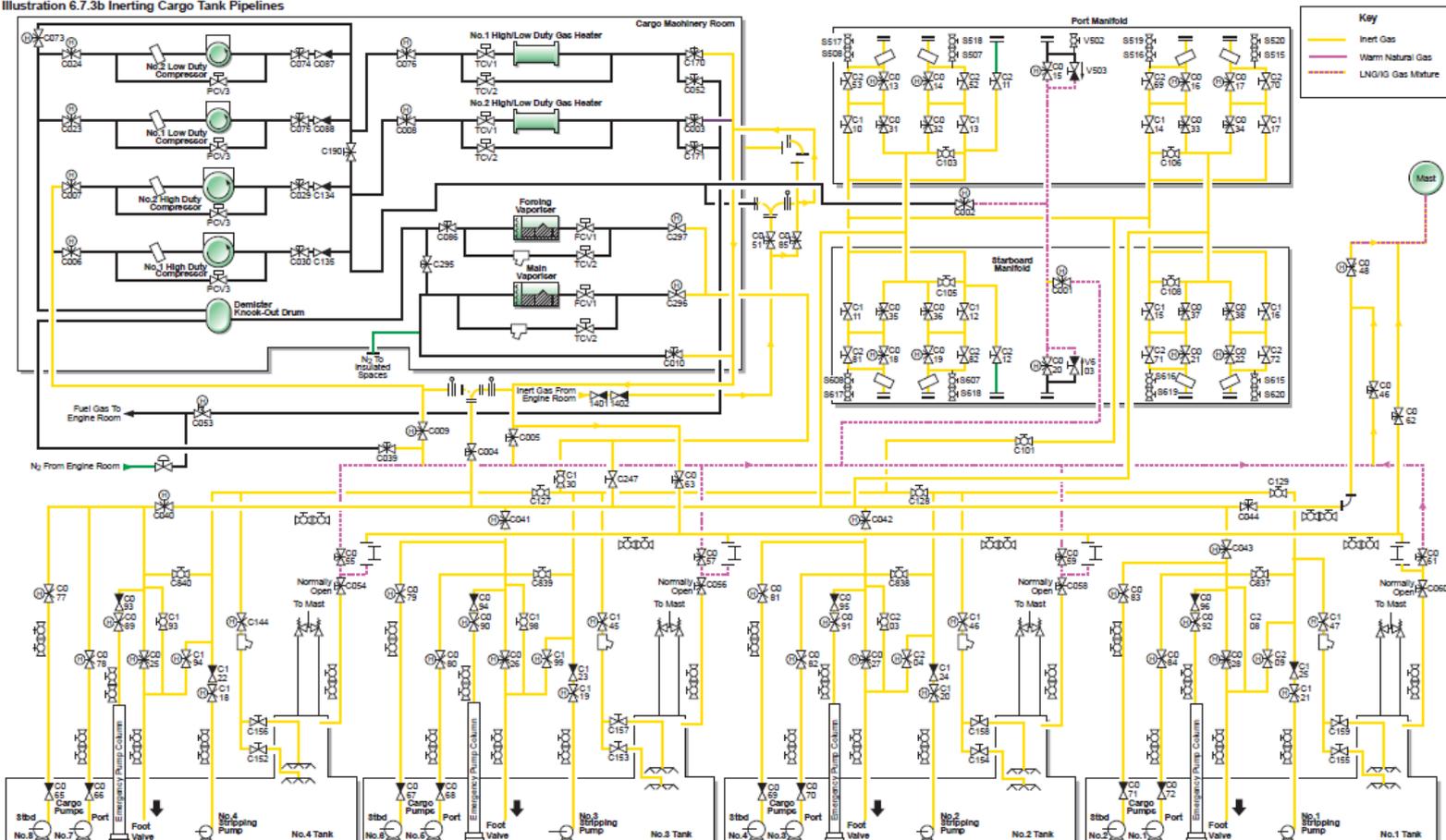


Figura 132: Inertado de líneas

El vapor de LNG que se haya podido quedar en las líneas de las bombas, en las sondas de flotador y cualquier línea asociada a la maquinaria de carga como compresores se purgará con gas inerte. Esto normalmente se lleva a cabo mientras se inertizan los tanques venteando por los puntos de muestreo localizados en las líneas hasta que se miden unos valores aceptables con el medidor para asegurar que los extremos sin salida han sido purgados.

Se purgan a través de las válvulas de muestreo y líneas de las bombas principales y de emergencia y en las columnas de las sondas de flotador. Cuando el valor que se mide es aceptable se pasa al siguiente. También la bomba de stripping y la línea se debe purgar

yendo del tanque N.4 al 1 (popa a proa). Los compresores, vaporizadores, calentadores y manifold se deben purgar con lecturas in situ para asegurarse de que están libres de LNG.

Durante el inertado de los tanques se va realizando la inertización de los espacios de la maquinaria de carga. Se deben abrir todas las válvulas de entrada y salida además de los puntos de muestreo de compresores, vaporizadores, calentadores y válvulas del manifold para asegurar que la purga se completa. A parte se tomarán mediciones hasta que el contenido en HC sea menor del 1%. Entonces se cerrarán los puntos de muestreo. En el manifold se repite la operación abriendo los puntos de muestreo y purgando durante 5 minutos yendo brazo por brazo asegurándose de que los finales con bridas ciegas quedan limpios y tomando medidas tanto en los de líquido como en el de vapor.

Finalmente, cuando los tanques, líneas de carga y maquinaria de carga han sido purgados con gas inerte y la línea de entrada a la caldera con nitrógeno, se puede proceder al aireado de los tanques.

Illustration 6.7.3c Inerting Cargo Machinery Spaces

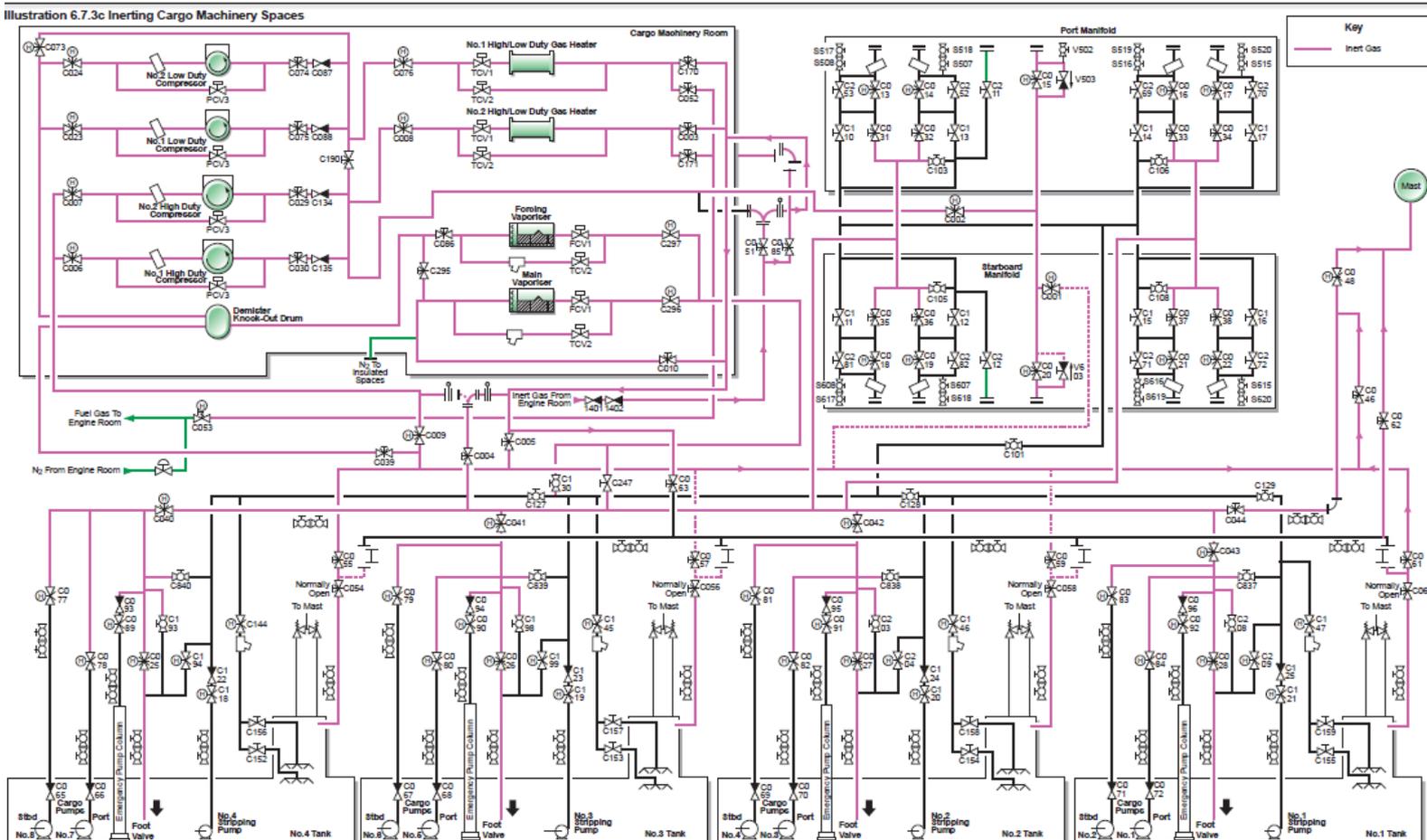


Figura 133: Inertado de la maquinaria de carga

## AIREADO DE LOS TANQUES

El aireado se lleva a cabo después del inertado y asegura que la atmosfera es segura para entrar y hacer cualquier reparación. La operación finaliza cuando se han tienen los siguientes valores:

- Oxígeno > 20 %
- Hidrocarburo < 0.2 %
- $CO_2$  < 0.5 %
- $CO$  < 50 ppm
- Temperatura de rocío < -40°C

Con la planta de gas inerte/aire seco, los tanques se purgan con aire seco hasta que se llegue a lecturas de más de 20% en oxígeno. La planta de aire seco produce un aire con una temperatura de rocío de -55°C a -65°C. El aire seco entra por el tope del tanque a través del domo de vapor. Entonces la mezcla de gas inerte y aire seco sale por la línea de líquido (filling) por el fondo del tanque y se ventea a la atmosfera por el palo de venteo N.1. Durante esta operación se debe mantener una presión baja en los tanques.

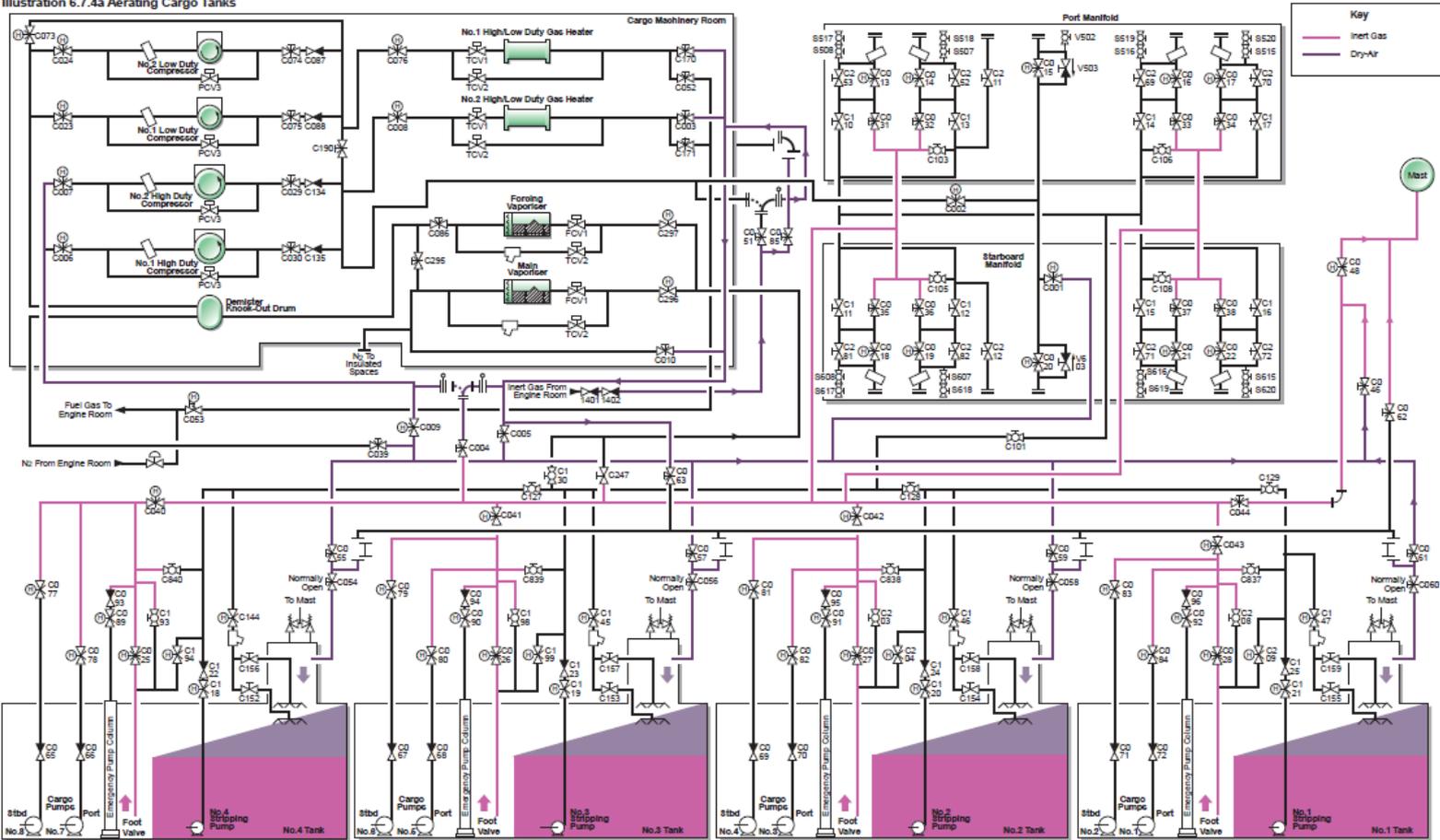
Antes de entrar en los tanques se deben tomar mediciones en busca de concentraciones de gases nocivos procedentes del gas inerte y tomar precauciones de seguridad. Esta es una operación que llevará unas 20 horas.

Para airear los tanques, se debe preparar la planta de aire seco. Conectar la línea de líquido con el palo de venteo mediante la pieza intercambiable. Ajustar las válvulas para conectar la salida de los calentadores con la línea de vapor para introducir el aire seco por el domo de vapor. Abrir las válvulas de los domos de vapor y de la línea filling. Se arranca la planta de aire seco descargando al guardacalor hasta que el valor de la temperatura de rocío es de -45°C. Una vez se han conseguido a través de dos válvulas de no retorno se suministra al sistema de líneas de carga.

Se debe tener en cuenta las presiones de los tanques y de los espacios de aislamiento ya que la de los tanques debe ser siempre como mínimo 0.1 kPa (manómetro) superior a la de los espacios de aislamiento. A intervalos frecuentes de una hora al principio y después más frecuentemente, se deben tomar muestras en la línea filling para comprobar el contenido de oxígeno en el fondo del tanque. Eso dirá si se está finalizando la operación. A la vez que se airean los tanques se deben ir purgando los vaporizadores, compresores, calentadores, líneas de las bombas principales y de emergencia, línea y bomba de stripping, manifold pero las líneas de carga se deben dejar para el final cuando ya se tiene un 20 % de oxígeno en los tanques para asegurar el éxito de la operación. Aunque la operación haya acabado, se debe seguir suministrando aire seco hasta que se certifique que esa atmosfera es segura. Se incrementará la presión del tanque hasta 100 mbar (10 kPa) (manómetro) en cada tanque y se apagará la planta de aire seco. **Cuando la presión del tanque se iguale a la atmosférica y se pueda entrar se parará el suministro nitrógeno a los espacios primario y secundario y se**

igualará la presión de los espacios de aislamiento a la atmosférica también. Se cerrarán las válvulas de la línea de líquido por donde se venteaba la mezcla y se restablecerá el sistema de venteo.

Illustration 6.7.4a Aerating Cargo Tanks



# ANEXO

## **CONCLUSIONES**

- Después de haber finalizado mis prácticas de embarque durante un año a bordo siento que todo lo aprendido me servirá para poder realizar las funciones de un oficial a bordo.
- Este proyecto me ha servido para poder recopilar todos mis conocimientos del mundo de los gaseros y plasmarlo de esta manera.
- A lo largo de este año, tras haber pasado por cinco buques de diferentes características: HSC, Ro-Pax, Portacontenedores, Remolcador de Salvamento y LNG/c. He podido aprender diferentes tareas a bordo así como operativa de los diferentes barcos.
- Desde mi punto de vista, no hay barcos mejores ni peores. Cada tipo de buque es diferente y tiene su especialización que solo se aprende con años de experiencia a bordo. Es el marino el que se tiene que adaptar al buque.
- Este último tipo de buque me ha parecido muy interesante ya que cumplía con todas mis expectativas: viajes internacionales, realización de voyage plan totalmente nuevo sin conocer el puerto de destino, buque tanque, fondeos, ship to ship...

## **BIBLIOGRAFÍA**

- IMO. Cargo Systems Operating. Issue 1 – February 2009. IMO Nº 9338797.
- LNG Shipping Knowledge. Underpinning to the SIGTTO 2005 standards. 1º edición. Whiterby Seamanship International Ltd., 2008. Volume 1-6. ISBN 13: 978 1 905331 17 8.
- LNG Operations (Membrane vessels). 1ª edición. Warsash Maritime Centre, April 2002.
- Tanker Safety Guide Liquified Gas. 2ª edición. International Chamber of Shipping, 1995.
- ESD arrangement and linked ship/shore systems for liquified gas carriers. 1º edición. Whiterby Seamanship International Ltd., 2009. ISBN: 978 1 905331 90 1.
- LNG Operational Practice. 1º edición. Whiterby Seamanship International Ltd., 2006. ISBN 13: 978 1 85609 321 7