



Universidad de Oviedo

**ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE
GIJÓN**

Trabajo Fin de Máster

**PUESTA EN MARCHA DE UNA TERMINAL DE
GAS NATURAL DESDE UN BUQUE METANERO**

Para acceder al Título de Máster Universitario en

TECNOLOGÍAS MARINAS Y MANTENIMIENTO

Autor/a: Rafael Fernández Reyes

Tutor/a: Noelia Rivera

Mayo-2018

Sumario

1	Introducción.....	4
2	Características del Gas natural licuado (LNG).....	5
3	Descripción del buque.....	6
3.1.	Motores auxiliares.....	6
3.2.	Almacenamiento del LNG.....	7
3.2	Trasiego de LNG.....	8
3.2.1	Bomba principal de descarga.....	8
3.2.2	Bomba de reachique (Stripping/ Spray).....	9
3.2.3	Bomba de alimentación de gas a motores (fuel gas pump).....	10
3.3.	Planta de tratamiento de LNG.....	11
3.3.1	Dispositivos encargados del tratamiento del vapor y el líquido como combustible.....	11
3.3.1.1	Mezclador (<i>In-line Mixer</i>).....	11
3.3.1.2	Separador de compuestos pesados (<i>Mist separator</i>) y pote de condensados (<i>Drain pot</i>).....	12
3.3.1.3	Compresor de baja carga (<i>low Duty Compressor</i>).....	13
3.3.1.4	Intercambiador Cooler Heater.....	14
3.3.1.5	Intercambiador Forcing Vaporiser.....	14
3.3.1.6	Rampa de gas (<i>gas valve unit</i>).....	15
3.3.2	Dispositivos encargados del tratamiento de gas y líquido como carga.....	16
3.3.2.1	Compresor de alta carga (<i>High duty compressor</i>).....	16
	16
3.3.2.2	Intercambiador Gas Heater.....	17
3.3.2.3	Vaporizador de LNG (<i>LNG vaporiser</i>).....	17
3.3.2.4	Manifold.....	18
3.4.	Elementos para el control de la carga.....	19
3.4.1	Custody transfer system.....	19
3.4.2	Alarmas de alto nivel de líquido en tanques.....	20
3.4.3	Sonda Whessoe.....	21
3.4.4	Elementos de seguridad y emergencia relacionados con la carga.....	22
3.4.4.1	Sistemas de parada de emergencia (<i>ESD, Emergency shutdown system</i>).....	22
3.4.4.2	Válvulas de emergencia.....	23
3.4.5	Bomba de descarga de emergencia.....	26
3.4.6	Unidad de quemado de gas.....	27
3.4.7	Palo de venteo.....	28
3.4.8	Cuadro resumen de presión en tanques.....	29

4 Descripción de la terminal.....	30
4.1. Brazos LNG.....	30
4.2. Tanques de LNG.....	32
4.3. Bombas principales.....	33
4.4. Recondensador.....	34
4.5. Bombas secundarias.....	35
4.6. Vaporizadores.....	36
4.7. Antorcha.....	36
4.8. Planta de medida y odorización.....	37
5 Operación.....	38
5.1. Operaciones previas a la llegada a puerto.....	38
5.1.1 Tareas a realizar en los días previos a la llegada.....	38
5.1.2 Tareas a realizar dos días antes de la llegada a puerto.....	41
5.1.3 Tareas a realizar un día antes de la llegada a puerto.....	42
5.1.4 Tareas a realizar el día de llegada.....	43
5.1.5 Tareas a realizar en la terminal.....	44
5.1.5.1 Comprobaciones de seguridad entre la terminal y el barco.....	44
5.1.5.2 Acuerdo de descarga de LNG entre la terminal y buque.....	48
5.1.6 Operación de conexión.....	50
5.2. Soplado de nitrógeno de los tanques de la terminal.....	52
5.2.1 Enfriado de líneas y brazos de la terminal.....	54
5.3. Descarga de LNG:.....	56
5.4. Procedimiento de desconexión.....	59
5.5. Situación al final de la descarga.....	61
6 Conclusiones.....	62
7 Bibliografía.....	63

1 Introducción

La principal motivación de realizar este trabajo viene dada por mi interés en la operación de los buques gaseros.

Durante mis meses de alumno a bordo del buque metanero Valencia Knutsen, conocí la complejidad de trabajar con dicho tipo de carga, y las precauciones a tomar durante las operaciones para el buen desarrollo de estas.

La operación de carga y descarga en un buque metanero se lleva a cabo según unos procedimientos específicos de cada terminal, ya que, según sus medios de bombeo, de toma de gas o de almacenamiento la operación deberá de ser llevado a cabo de una manera diferente.

En este caso la operación a realizar será la primera descarga de Gas natural Licuado en una terminal cuyas características se vislumbrarán en los siguientes capítulos de este trabajo.

La operación será vista desde el punto de vista de un buque metanero “tipo”, cuyas características serán luego comentadas, y comenzará con durante los últimos días antes de llegar a puerto, de este modo se explicarán métodos aplicables a esta operación específica, pero también a operaciones de descarga de forma general, tales como el enfriamiento de líneas, enfriamiento de tanques, etc.

El objetivo final de este documento será tener una guía general, que se pueda seguir a la hora de realizar la puesta en marcha de una terminal de gas desde el buque y sirva de ayuda a los encargados de la operación.

2 Características del Gas natural licuado (LNG)

El Gas natural es un conjunto de hidrocarburos, los cuales al pasar a estado líquido forman un líquido incoloro e inodoro. El LNG es transportado a una temperatura próxima a su temperatura de licuefacción (-160C).

La composición del gas natural licuado en cada parte del mundo puede variar debido a las proporciones de los hidrocarburos que lo forman, no obstante, la energía que se obtiene de este es proporcionada por su contenido en metano, además del metano otros componentes presentes en el LNG (gas natural licuado) son hidrocarburos pesados como el etano, propano, butano y pentano, existiendo también una parte de nitrógeno.

Durante el transporte en barco del gas natural la composición de este varía debido al vapor generado (boil off) formado en la parte superior del tanque, que es la evaporación de las fracciones más ligeras del LNG.

El límite inferior de inflamabilidad en aire del LNG es aproximadamente entre un 5 y un 14% en volumen.

	Ras Laffan	Das Islands	Bonny	Standard	Yemen
Methane (mol %)	84.5	90.28	90.53	89.63	92.89
Ethane (mol %)	12.9	6.33	4.94	6.32	5.59
Propane (mol %)	1.5	2.49	2.89	2.16	1.27
Butane (mol %)	0.5	0.49	0.85	1.20	0.12
Iso-Butane (mol %)	0.00	0.00	0.68	0.00	0.08
Pentane (mol %)	0.00	0.02	0.07	0.00	0.01
Iso-Pentane (mol %)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Nitrogen (mol %)	0.6	0.41	0.07	0.69	0.02
Average Molecular Weight	17.88	18.56	18.24	18.12	17.28
Boiling Point at Atmospheric Pressure (°C)	-160.8	-161.0	-159.4	-160.C	-
Density (g/cm ³)	0.461	0.456	0.459	0.459	-
Lower Heating Value (MJ/kg)	49.347	49.561	49.705	49.394	49.461

Ilustración 1: Composición del LNG según la terminal de carga.DSME.

3 Descripción del buque

El buque sobre el que se va a llevar a cabo la simulación de la primera carga de la instalación es un buque de gas natural licuado (LNG), a continuación, explicaré los sistemas del buque que trabajarán en el proceso de la descarga

3.1. Motores auxiliares

Existen 4 motores auxiliares encargados de la alimentación eléctrica del buque. 3 motores alternativos de combustión interna Wärtsilä 12V50DF y uno 9L50DF, los cuatro motores pueden ser alimentados tanto con MDO (Marine Diesel Oil), HFO (heavy fuel oil), o GNG (Gas natural gasificado)

En caso de trabajar con MDO o con HFO el motor realiza un ciclo Diésel; mientras que cuando se trabaja con GNG el ciclo de trabajo que se sigue es un ciclo Otto, con encendido provocado con una llama piloto debida a la inyección de diésel en la cámara de combustión.

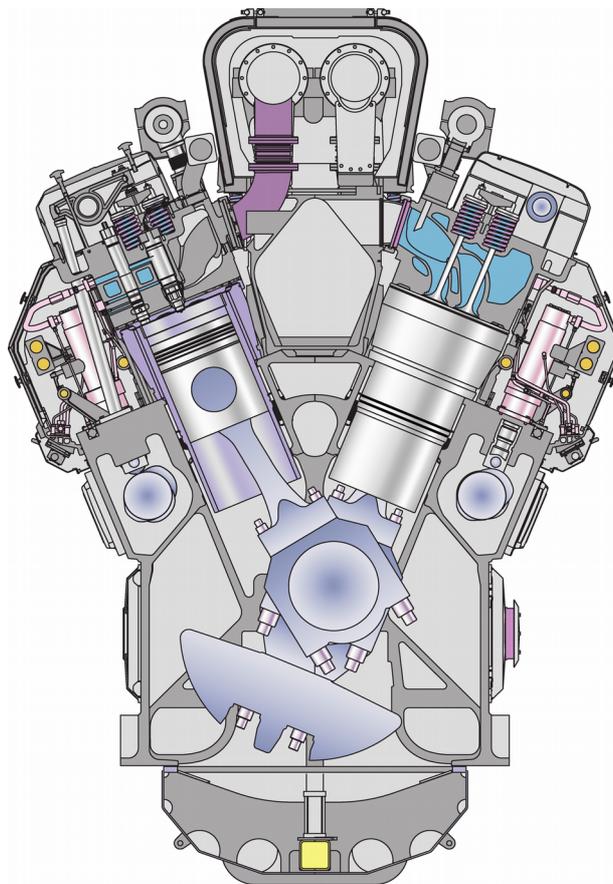


Ilustración 2: esquema de un motor dual fuel

3.2. Almacenamiento del LNG

El gas natural licuado en el buque se almacenará en los tanques. Estos tanques deberán de cumplir con unas características determinadas.

El sistema de almacenamiento consiste en 4 tanques prismáticos doblemente aislados situados en línea de proa a popa.

El espacio entre el casco interior, en el que se encuentran los tanques y el exterior es utilizado como tanque de lastre y protege los tanques en caso de varada o embarrancada.

Los tanques de carga se encuentran separados entre sí por cofferdams secos.

La distribución de los tanques de carga es la siguiente:

Encerrando el LNG se encuentra una capa de INVAR, a continuación, se encuentra un conjunto de cajas de madera llenas de perlita, este compartimento se denomina primera barrera y tendrá una atmósfera de nitrógeno de 2 bar

Cerrando la atmosfera de nitrógeno se encontrará otra capa de Invar, y a continuación de esta se encontrará otro conjunto de cajas de madera llenas de perlita, este segundo compartimento se denominará segunda barrera, y tendrá una atmósfera de nitrógeno de 4 bar.

Cerrando la segunda barrera se encuentra una chapa de acero, que junto con el forro del casco forma el tanque de agua de lastre.

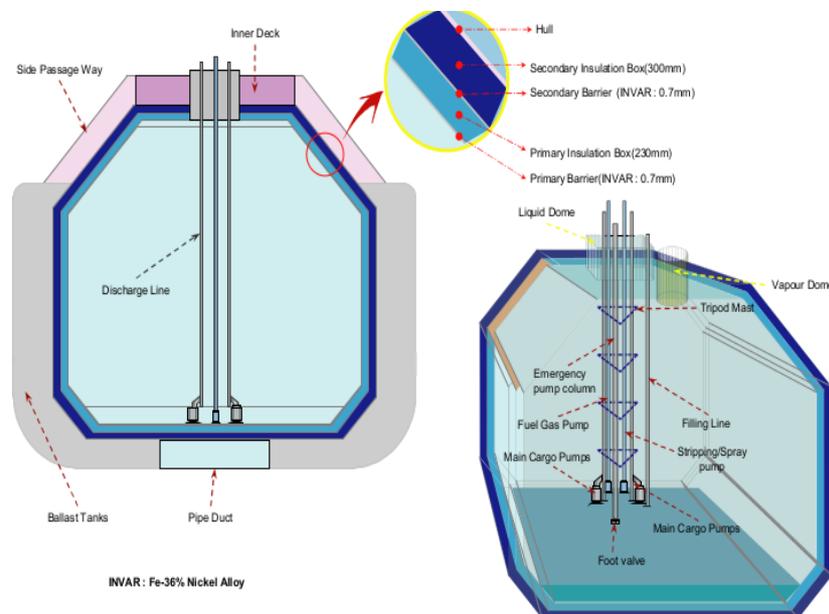


Ilustración 3: esquema tanque de carga de un buque LNG.

3.2 Trasiego de LNG

3.2.1 Bomba principal de descarga

En cada tanque se encuentran dos bombas principales de descarga, estas bombas se encuentran sumergidas en LNG, preparadas para temperaturas de hasta -170° centígrados, son de tipo centrífugo y cuentan con una etapa. Su función es la de impulsar el gas licuado desde el interior del tanque hacia la terminal, las bombas tienen un caudal de $1900 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una.

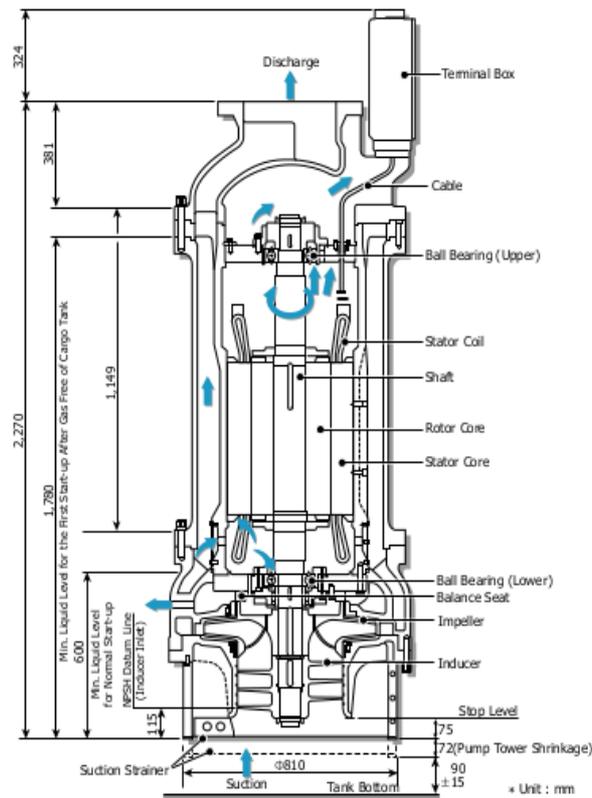


Ilustración 4: Esquema de bomba principal de descarga de LNG. DSME.

3.2.2 Bomba de reachique (Stripping/ Spray)

Las bombas de reachique (Stripping/ Spray) se encuentran sumergidas en cada tanque y tienen una etapa de impulsión.

Las bombas de reachique (Stripping/ Spray) tienen dos funciones principales:

-Impulsar el líquido del tanque hacia la corona de toberas de los domos de vapor, para así enfriar los tanques.

-Achicar el tanque.

Su caudal de trabajo es de 50 m³/h y sus características son similares a las de una bomba principal, pero de menor dimensión.

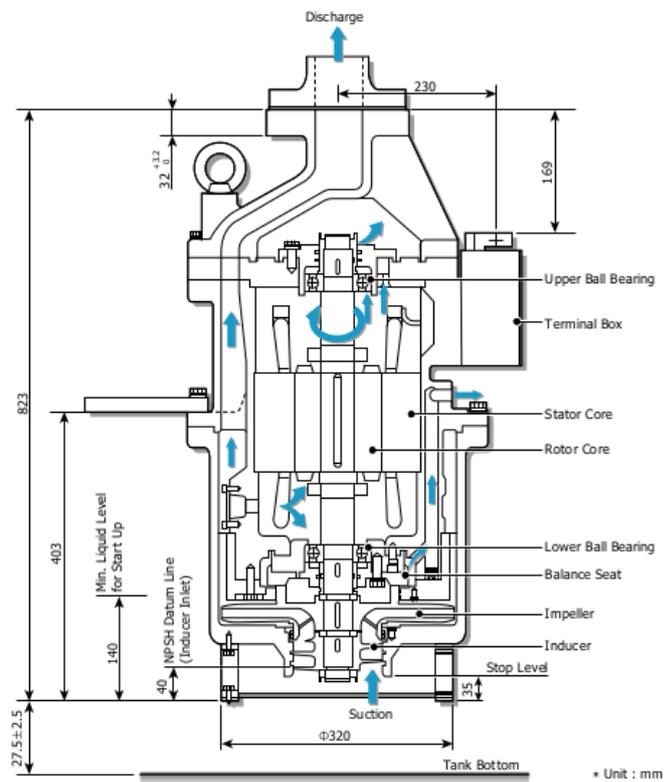


Ilustración 5: Bomba stripping Spray

3.2.3 Bomba de alimentación de gas a motores (fuel gas pump)

Las dos bombas de alimentación de gas a los motores (fuel gas pump) se encuentran sumergidas en los dos tanques situados más a popa, una en cada tanque.

La función de esta bomba es la de impulsar el gas desde los tanques hacia la planta de tratamiento de gas para posteriormente ser utilizado como combustible en los motores.

El caudal de esta bomba es de 18 m³/h.

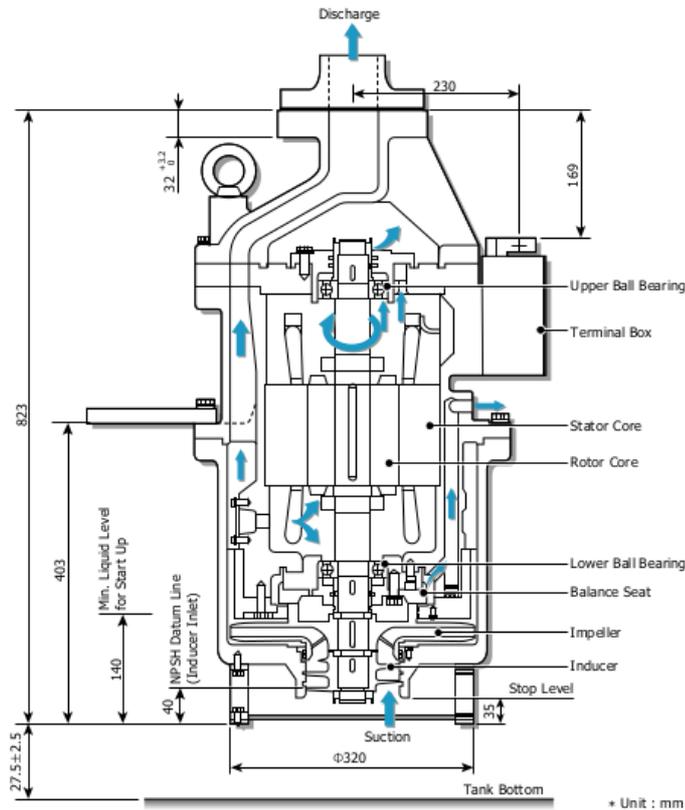


Ilustración 6: Bomba fuel gas

3.3. Planta de tratamiento de LNG

La función de la planta de tratamiento está compuesta por diferentes dispositivos encargados del gas licuado y del vapor producido (boil off) para ser consumido en los motores y dispositivos encargados del tratamiento del gas licuado y el vapor recibido desde tierra.

3.3.1 Dispositivos encargados del tratamiento del vapor y el líquido como combustible

Es sabido que durante la navegación se produce un movimiento en el barco, lo que produce un agitación en las partículas del líquido que se encuentra en los tanques de carga, esto produce un aumento de la energía interna de las partículas y por consiguiente un calentamiento de estas, lo que produce que exista una constante evaporación del LNG, y debido a esto se incrementa la presión en los tanques.

Para evitar ese aumento de presión en los buques gaseros se trabaja consumiendo ese gas formado. Y para ello son necesarios los siguientes dispositivos:

3.3.1.1 Mezclador (In-line Mixer)

Este dispositivo tiene como misión mezclar el gas caliente procedente de la evaporación del LNG (boil off) con gas frío.

El líquido del tanque es impulsado gracias a la bomba de alimentación de gas a motores hacia el in line mixer, ahí el líquido se evapora instantáneamente al inyectarse en una zona con un gradiente negativo de presión muy pronunciado, al producirse esta evaporación instantánea debido al calor latente de evaporación se produce un enfriamiento en el gas mezcla obtenido, gracias a esto obtendremos un gas más frío, que podremos comprimir más y con mejor rendimiento que el obtenido directamente de la vaporización en tanques.

3.3.1.2 Separador de compuestos pesados (Mist separator) y pote de condensados (Drain pot)

El Mist separator, separador de compuestos pesados, es el encargado de separar los compuestos más pesados en el gas natural de las fracciones más ligeras y que pueden ser consumidas por el motor.

Para que esto se lleve a cabo se utiliza un pote de condensados (Drain Pot) con un nivel que a medida que van condensando las fracciones más pesadas del gas se va llenando, cuando se llega al nivel indicado se producirá un disparo que consistirá en liberar de líquido del pote, que será barrido hacia los tanques, y purgarlo con nitrógeno, para que se vuelva a realizar el proceso.

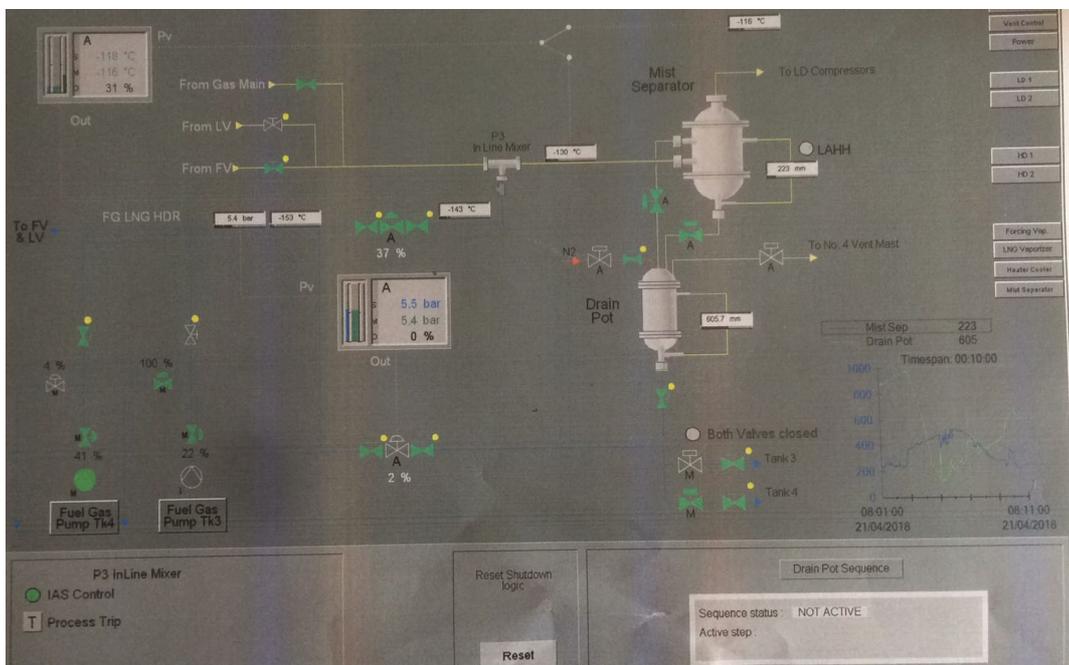


Ilustración 7: pantalla de visualización del separador de compuestos pesados (mist separatos)

3.3.1.3 Compresor de baja carga (low Duty Compressor)

Tras pasar por el separador de compuestos pesados (mist separator) y tener un gas de fracciones ligeras a unos -120°C se procede a su compresión gracias a un compresor de baja carga (low duty compressor), este es de tipo centrífugo y con dos etapas, y entre sus características más importantes está la de poder trabajar a temperaturas críticas, su capacidad de compresión es de hasta 6,5 bar, con un caudal de $4500\text{ m}^3/\text{h}$.

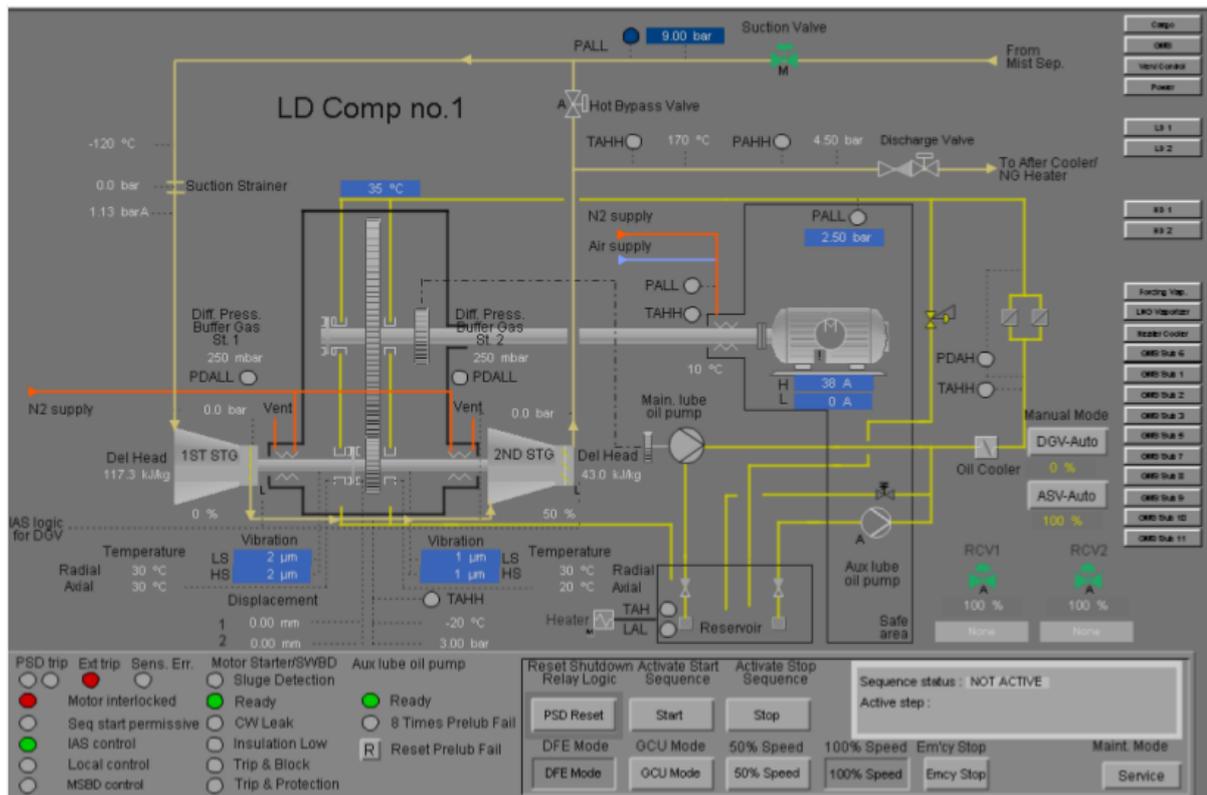


Ilustración 8: Pantalla de visualización del compresor de baja carga (Low Duty compressor)

3.3.1.4 Intercambiador Cooler Heater

Una vez que el gas es impulsado por el compresor de baja carga (Low duty compressor) pasa a través de un intercambiador (Heater/cooler) tubular, que calienta el gas con agua de refrigeración mezclada con glycol para evitar la congelación del agua. Se elevará la temperatura del gas hasta aproximadamente 20°C.

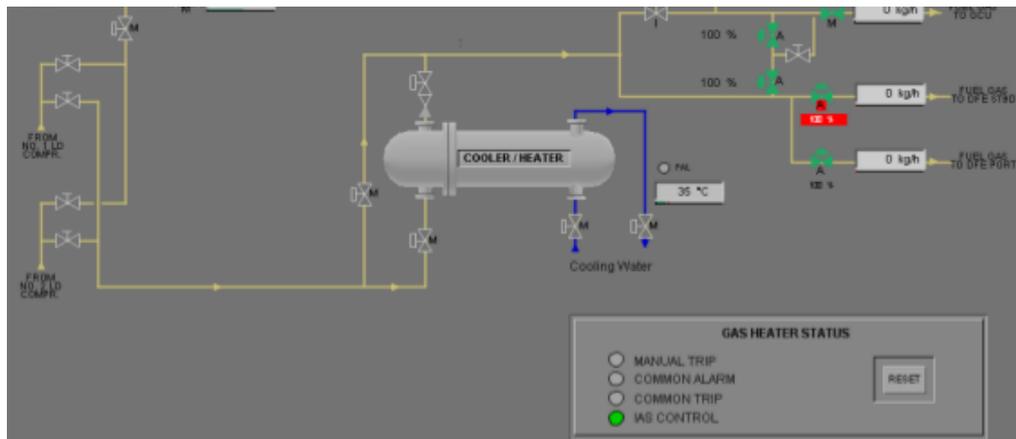


Ilustración 9: esquema del intercambiador cooler/ heater

3.3.1.5 Intercambiador Forcing Vaporiser

En casos en los que la producción de vapor generado en los tanques (boil off) de forma natural no sea suficiente para consumir en los motores será necesario vaporizar una fracción del líquido en los tanques en el dispositivo denominado forcing vaporiser.

Se trata de un intercambiador que calienta el líquido con vapor de agua y produce la vaporización del LNG.

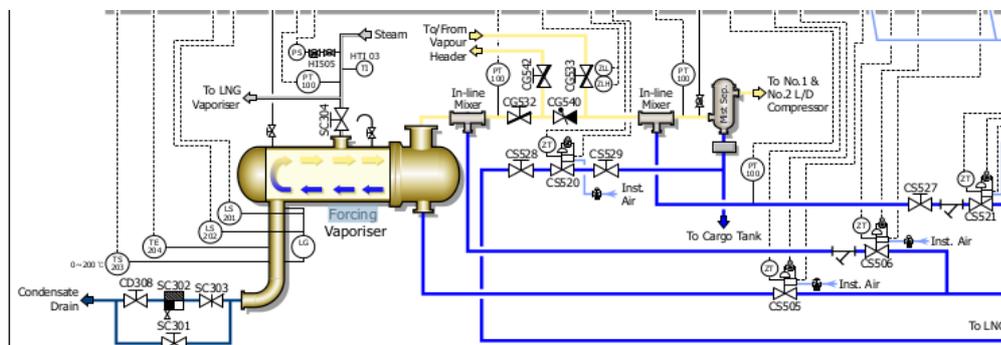


Ilustración 10: esquema del intercambiador forcing vaporiser

3.3.1.6 Rampa de gas (gas valve unit)

Una vez que el gas está a la temperatura correcta este pasa por una rampa de gas, compuesta por una serie de filtros y válvulas reguladoras de presión que adecuan el gas para su quemado en los motores.

La rampa de gas además de como regulación de presión sirve como medida de seguridad, ya que es el punto en el que se inyecta nitrógeno para barrer la línea de gas en caso de parada, arranque de un motor o fuga.

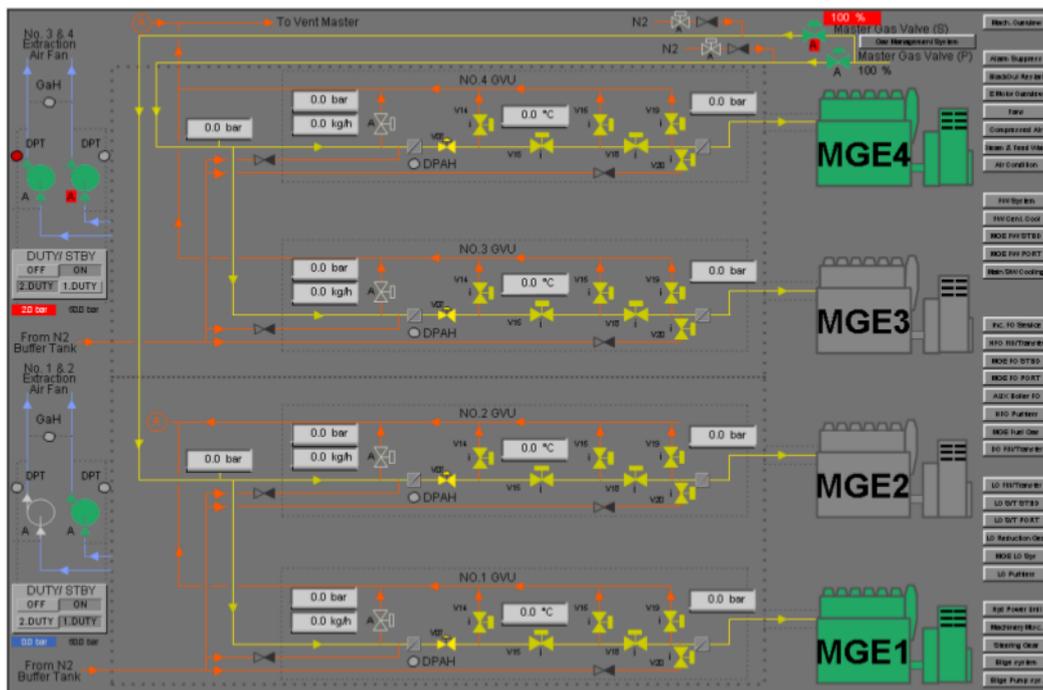


Ilustración 11: Esquema de la rampa de gas a motores

3.3.2 Dispositivos encargados del tratamiento de gas y líquido como carga

Durante la operación de descarga se da un fenómeno conocido como efecto pistón, el LNG al ser expulsado del tanque provoca la bajada de presión en el tanque, para evitar este fenómeno se deberá introducir gas en el tanque.

Lo contrario pasaría durante la carga, el vapor generado (boil off) deberá de ser impulsado al exterior del tanque para evitar el aumento de presión.

3.3.2.1 Compresor de alta carga (High duty compressor)

El compresor de alta carga (high duty compressor) se basa en un compresor centrífugo de una etapa y de velocidad constante, para controlar la presión de salida se regula la entrada del gas al compresor mediante el IGV (inlet gas vane).

Este compresor impulsa el Gas del interior del tanque hacia la terminal.

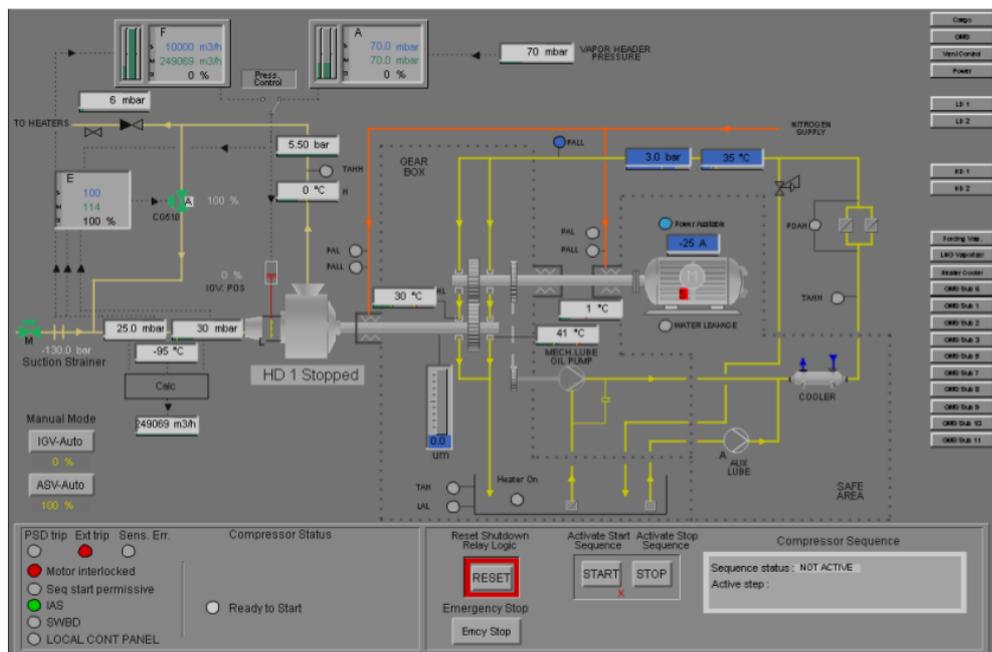


Ilustración 12: Pantalla de visualización del Compresor de alta carga (High Duty compressor)

3.3.2.2 Intercambiador Gas Heater

El Intercambiador gas heater es un intercambiador tubular en el que se busca calentar los vapores de LNG producidos de forma natural en los tanques para poder ser quemados en la Unidad de quemado de gas (GCU), calentar el gas inerte producido a bordo para posteriormente calentar los tanques en caso de ser necesario.

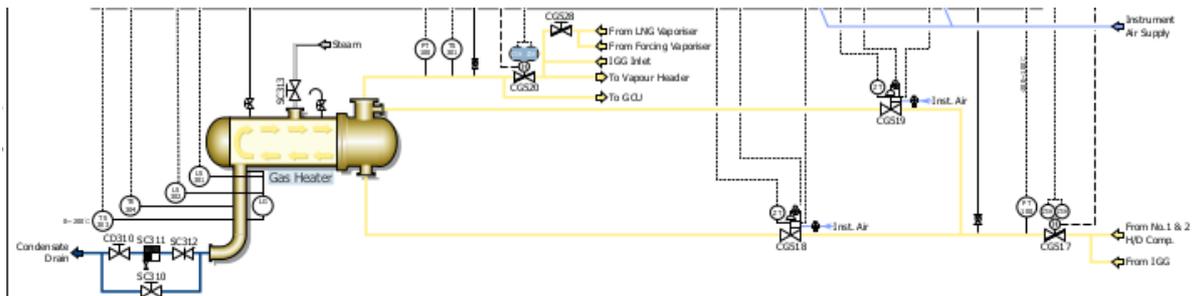


Ilustración 13: esquema del Gas heater

3.3.2.3 Vaporizador de LNG (LNG vaporiser)

El LNG vaporiser es un intercambiador tubular en el que se utiliza vapor de agua para calentar el LNG líquido y de este modo vaporizarlo.

Su funciones son:

- Producir vapor de LNG para mantener la presión en los tanque en caso de no recibir vapor desde la terminal.

- Producir vapor de LNG para gasificar los tanques tras salir de dique.

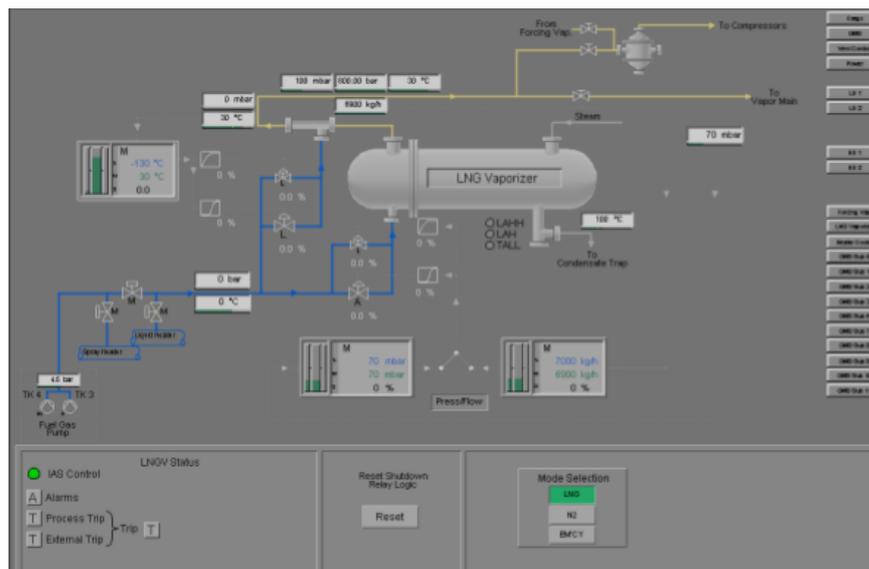


Ilustración 14: Esquema del LNG vaporiser

3.4. Elementos para el control de la carga

3.4.1 Custody transfer system

Los oficiales encargados de la operación y supervisión de la carga deben conocer el volumen de LNG que existe en los tanques y la temperatura a diferentes alturas del tanque, para ello consta de una sonda radar que indica el nivel del tanque, sensores de presión, medidores de temperatura a diferentes alturas del tanque y sensores que miden la escora y el asiento del barco (inclinómetros).

Con los datos obtenidos de los sensores anteriores se realiza el cálculo para conocer el volumen que se encuentra en el tanque, que podrá ser visualizado en las pantallas de las salas de control.

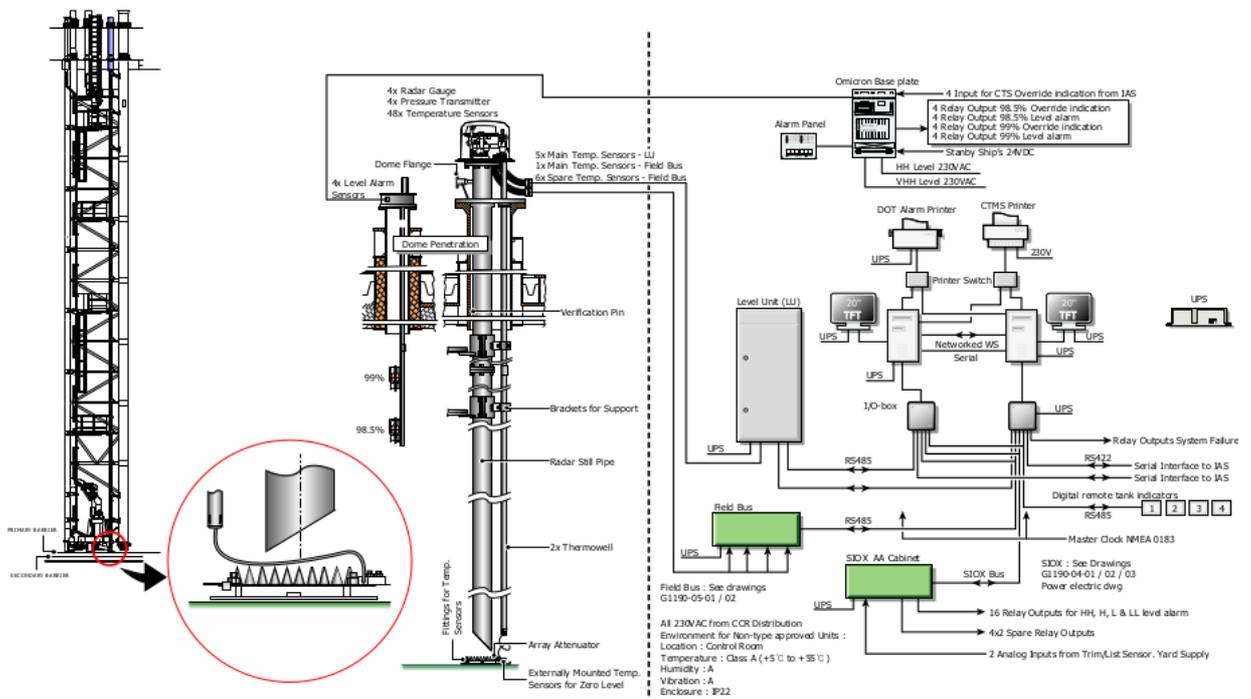


Ilustración 16: esquema del custody transfer system

3.4.2 Alarmas de alto nivel de líquido en tanques

En cada tanque existen dos alarmas de alto nivel, una al 98,5% de llenado y otra al 99% de llenado del tanque, estas alarmas se activan mediante flotadores.

El líquido hace que el flotador se eleve, cuando este llega al 98,5% de la altura del tanque cierra un contacto eléctrico que activará la alarma y se cerrarán las válvulas de llenado de todos los tanques, si el nivel sigue subiendo, cuando llegue al 99% de la altura cerrará otro contacto eléctrico que producirá una parada de emergencia ESD.

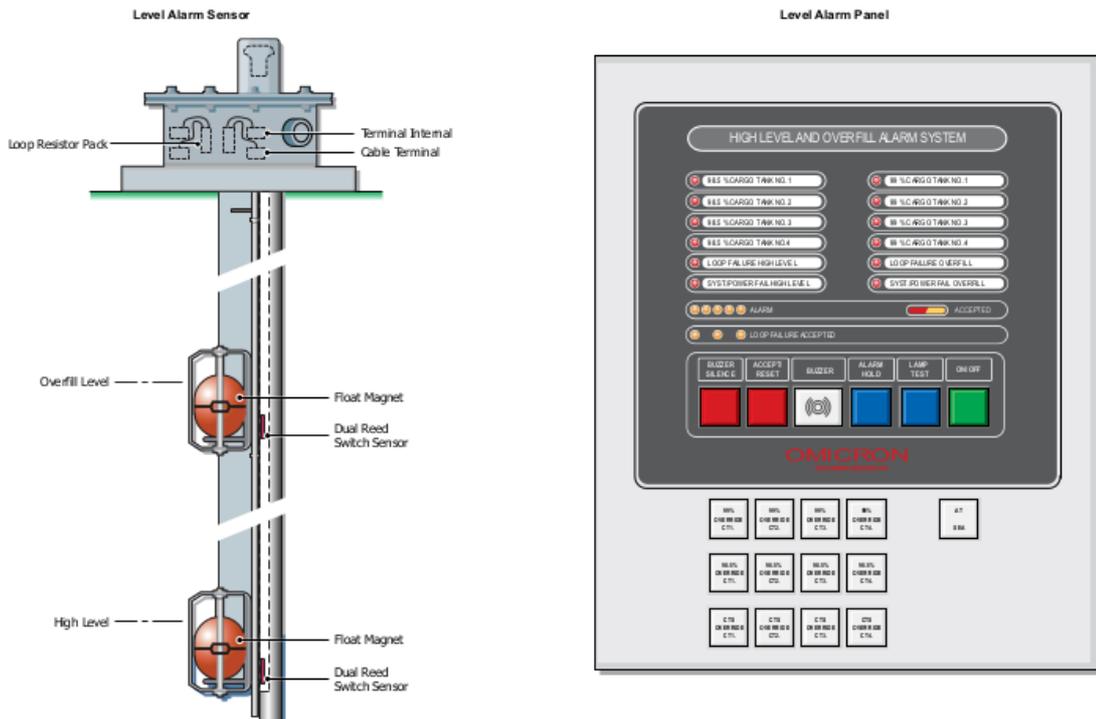


Ilustración 17: Esquema de alarmas de alto y muy alto nivel en tanques.

3.4.3 Sonda Whessoe

Esta sonda es de tipo flotador, es decir, mide la distancia desde la parte alta del tanque hasta el líquido, en el que está flotando el flotador.

Este equipo permite tener una medida local y mediante un transmisor la medida puede verse en la sala de control de carga (CCR)

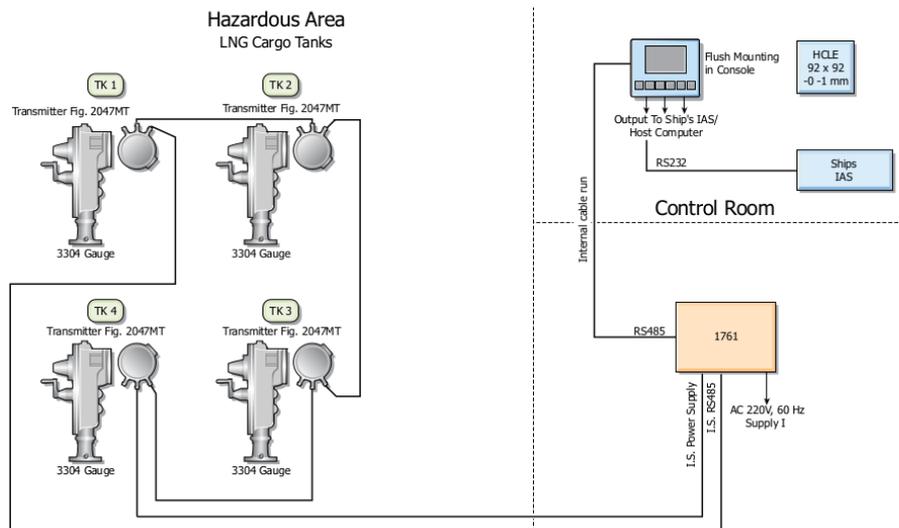


Ilustración 18: Conexión de la sonda Wescoe hacia CCR

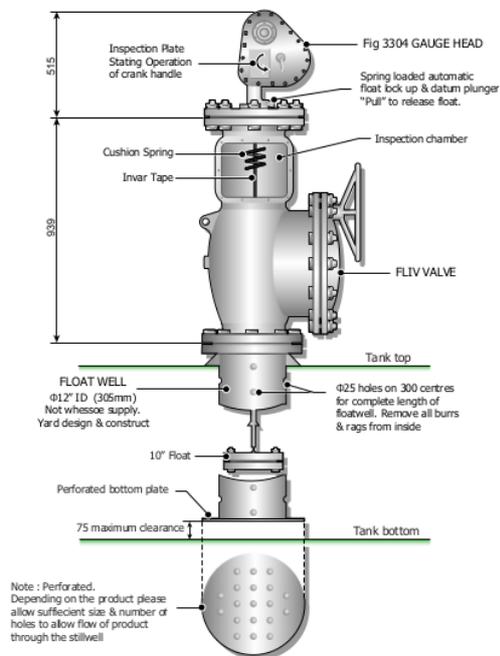


Ilustración 19: Esquema del dispositivo de la sonda Whessoe.

3.4.4 Elementos de seguridad y emergencia relacionados con la carga

3.4.4.1 Sistemas de parada de emergencia (ESD, Emergency shutdown system)

En caso de que surja una situación de emergencia será necesario tener un sistema que pare el sistema de carga en modo de emergencia, dado que esto se podría dar durante las operaciones de carga o descarga los medios de detección de ESD estarán conectados terminal-barco, esta conexión podrá ser de tipo eléctrica, óptica o neumática, el tipo de conexión será decidido por la terminal.

Para generar un ESD existen diferentes medios:

- Botones manuales de ESD, localizados en diferentes puntos de cubierta y salas de control.
- Melting plug, piezas de cobre que debido a la dilatación por temperatura, cuando se alcanza una temperatura de 100^o C, se juntan y cierran un contacto produciendo una señal de ESD.
- Detectores y sensores:
 - La presión en el colector de gas menor de 3 mbar.
 - La presión del colector de gas y la de la barrera primaria de N₂ se igualan.
 - La diferencia de presión entre un tanque y la barrera primaria alcanza 5 mbar.
 - La presión un tanque cae por debajo de la de la barrera primaria de N₂
 - Se alcanza el 99% del volumen de un tanque (alarma de muy alto nivel)
 - Fallo eléctrico general (Blackout)
 - Baja presión de aceite hidráulico.
 - Señal de ESD desde la terminal.
 - Baja presión en la conexión neumática barco-terminal.
 - Baja presión del aire de control.

Cuando se activa la señal ESD ocurren las siguientes acciones:

- Parada de las bombas de descarga
- Parada de las bombas de Stripping
- Parada de la bomba de emergencia de descarga
- Parada del compresor High duty
- Parada del compresor Low Duty
- Cierre de las válvulas de manifold

- Cierre de la válvula principal de Gas
- Parada de las bombas Fuel Gas

3.4.4.2 Válvulas de emergencia

Para evitar sobrepresiones en el tanque que pudieran dar lugar a fallos estructurales permanentes y escapes incontrolados de gas o líquido se instalan válvulas de seguridad.

-Válvulas de emergencia en tanques

Instaladas en los domos de vapor de los tanques, dos por cada tanque, el gas es liberado hacia el palo de venteo, son de tipo presión vacío, están taradas de fábrica y no deberán de ser modificadas, en caso de realizarles mantenimiento se deberán de devolver a sus especificaciones de fábrica como indica el fabricante. Taradas a 250 mbar y cierre a 220 mbar.

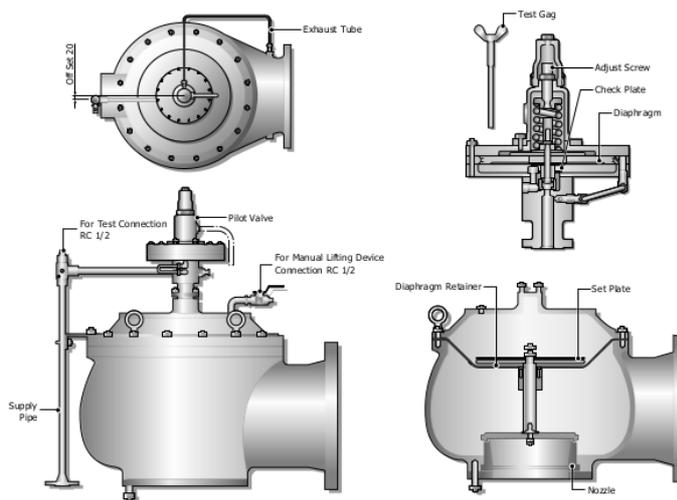


Ilustración 20: válvulas de alivio y ruptura de vacío de tanques

-Válvulas de emergencia en barreras de N2

Existen dos válvulas de emergencia en cada barrera, las válvulas de seguridad de las barreras primarias ventean el gas hacia el palo de venteo, mientras que las válvulas de alivio de las barreras secundarias ventean el gas a cubierta, ya que en caso de existir una fuga en las barreras secundarias el producto venteado será gas de LNG en lugar de líquido.

Al igual que con las válvulas anteriores en caso de mantenimiento será necesario devolverlas a sus especificaciones de fábrica según indique el fabricante, en este caso están taradas a 10 mbar, y se cerrarán a 8 mbar.

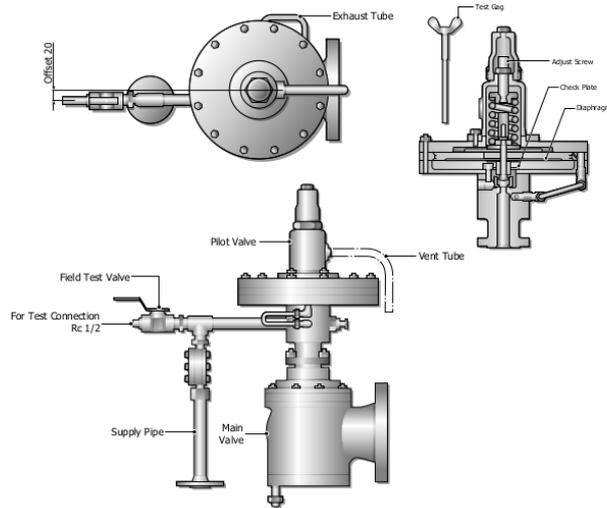


Ilustración 21: Esquema de válvulas de alivio en barreras de N2

-Válvulas de emergencia en tuberías de LNG

Cada sección de tubería de LNG, salvo las tuberías de vapor, cuenta con una válvula de seguridad, el gas que pudiera ser liberado por las válvulas de emergencia será expulsado hacia los domos de vapor de los tanques.

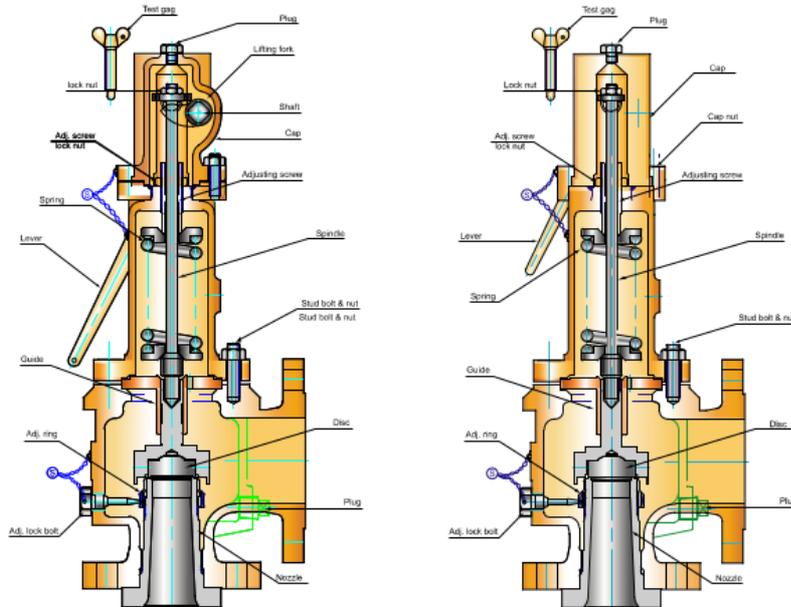


Ilustración 22: Esquema de las válvulas de alivio en tuberías

3.4.5 Bomba de descarga de emergencia

Cada tanque cuenta con una columna de emergencia, en la que se podría introducir la bomba de descarga de emergencia, normalmente guardada en un pañol.

La columna de emergencia está cerrada en la parte inferior mediante una válvula de muelle. Para introducir la bomba de emergencia en su carril será necesario previamente purgar la columna con N₂. Será conveniente que durante toda la instalación se introduzca N₂ en la columna.

Al introducir la bomba de emergencia el propio peso de esta hará que se abra la válvula, la columna de emergencia actúa como descarga de la bomba de emergencia.

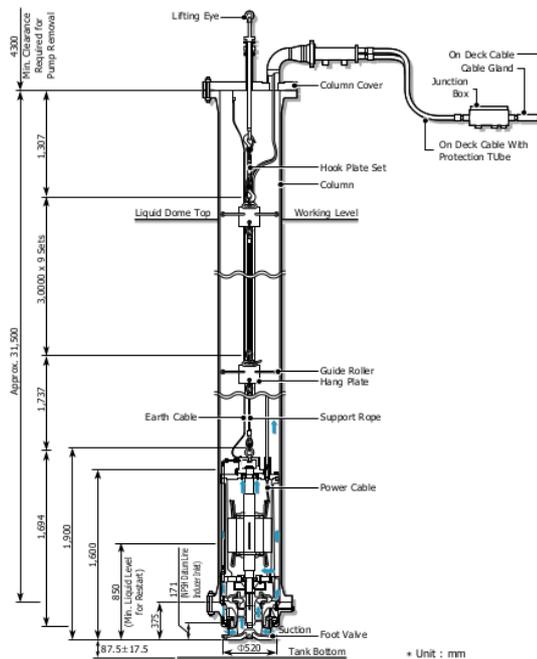


Ilustración 23: Esquema de la bomba de descarga de emergencia del buque.

3.4.6 Unidad de quemado de gas

Un medio de controlar la presión en los tanques y consumir el vapor generado en los tanques (boil off) , además del consumo de gas en motores, es la quema de gas en la Unidad de quemado de gases (GCU), y expulsar los gases de escape a la atmósfera.

La unidad de quemado de gases (GCU) consta de dos quemadores independientes en los que es posible quemar el exceso de vapor generado (boil off), podría quemar hasta unos 6.000 Kg/h de vapor.

La descarga de gases procedentes del compresor de baja carga (Low duty compressor) o del compresor de alta carga (High duty compressor) se da a través de una rampa de gas.

Para alimentar de oxígeno la GCU y que se produzca la combustión se utilizan 4 ventiladores.

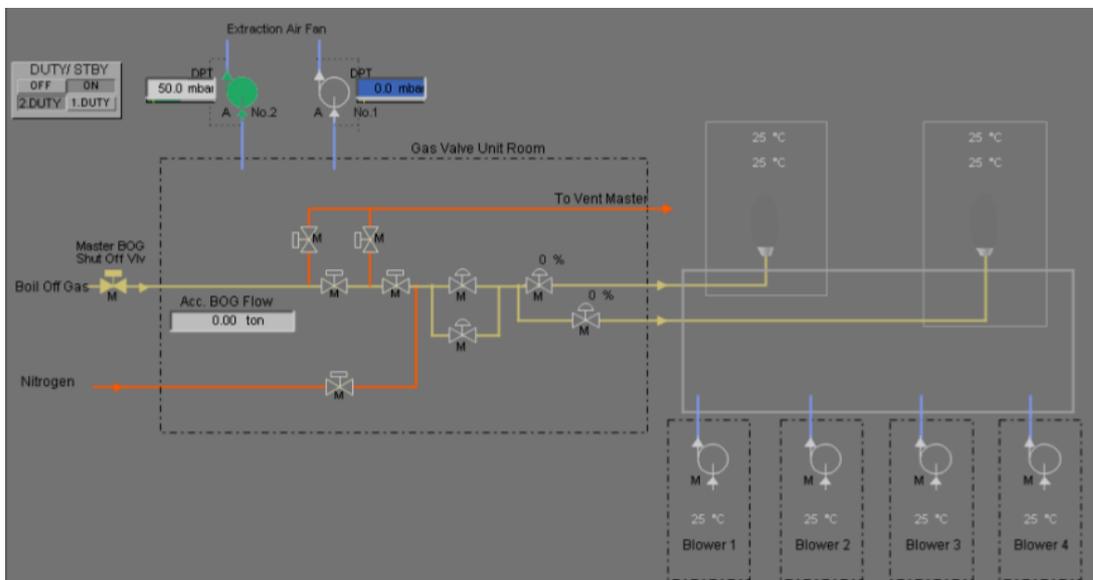


Ilustración 24: Pantalla de visualización de la unidad de quemado de gas.

3.4.7 Palo de venteo

Se utilizará el palo de venteo en caso de que la presión en tanques no pueda ser controlada quemando el vapor generado (boil off) en los motores o en la unidad de quemado de gases (GCU).

La apertura del palo de venteo se deberá realizar de manera automática en caso de que la presión del tanque supere los 230 mbar, el palo de venteo se abrirá y se cerrará cuando la presión baje de 210 mbar.

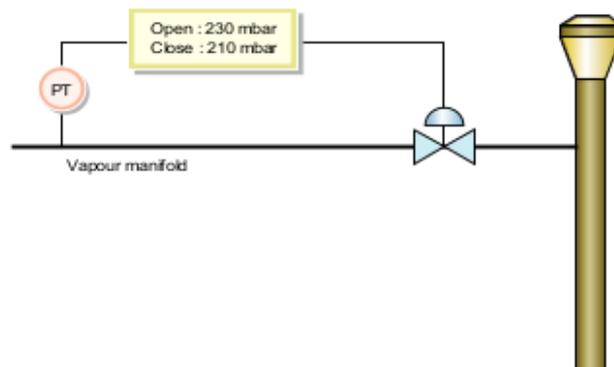


Ilustración 25: Esquema del palo de venteo

3.4.8 Cuadro resumen de presión en tanques

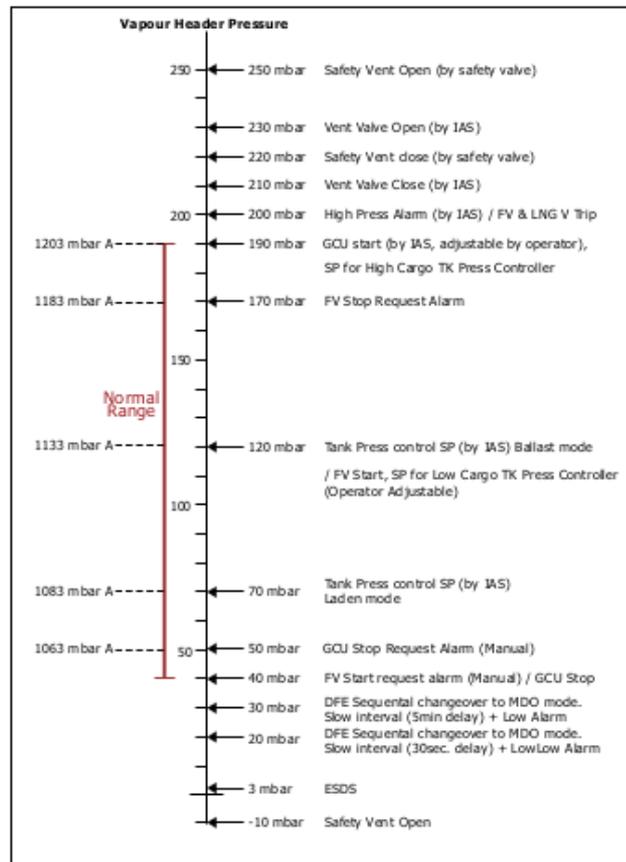


Ilustración 26: Cuadro resumen de presiones de seguridad y operación en el buque

4 Descripción de la terminal

Es importante conocer la terminal con la que vamos a trabajar, ya que será de vital importancia la comunicación terminal-barco, y el conocimiento de las características de la terminal a la hora de preparar la operación, tanto el amarre a la terminal, como las conexiones y los medios de carga/descarga.

4.1. Brazos LNG

La conexión barco- terminal se realiza mediante los brazos, la terminal indicará los brazos a utilizar.

Estos brazos se construyen con una aleación que preserve las condiciones del brazo durante su funcionamiento a temperaturas criogénicas.

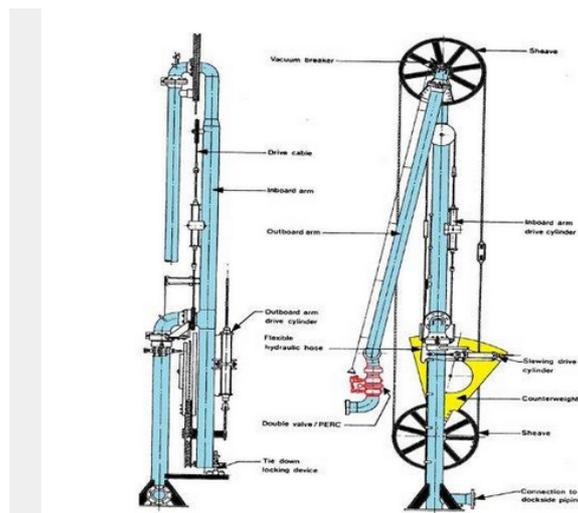


Ilustración 27: Esquema de brazos de la terminal

Los brazos de LNG son utilizados debido a su operatividad, ya que al contar con su propio sistema hidráulico no se dependerá de las grúas del barco, como en el caso de la descarga con manguera. En caso de que el movimiento del barco sea superior al soportado por los brazos se activarán los elementos de seguridad, que provocarán una desconexión controlada, de modo que no existan fugas de LNG.

El sistema de desconexión automática (AUTOMATIC RELÉASE ARMS ESD) consiste en dos válvulas de bola que se cierran al mismo tiempo cuando este se activa y a continuación se abren unos pistones hidráulicos que fijan el codo del brazo a la conexión del barco quedando el carrete hasta la brida del barco liberado, de esta manera se produce la desconexión, como se aprecia en la foto.



Ilustración 28: Demostración del cierre de seguridad en los brazos de la terminal.

Los brazos se conectarán al manifold de forma clásica, con tornillos, o con un sistema hidráulico según el cual el brazo agarra la brida de conexión del manifold, este sistema es llamado QCDC (quick connect/ disconnect couplings)

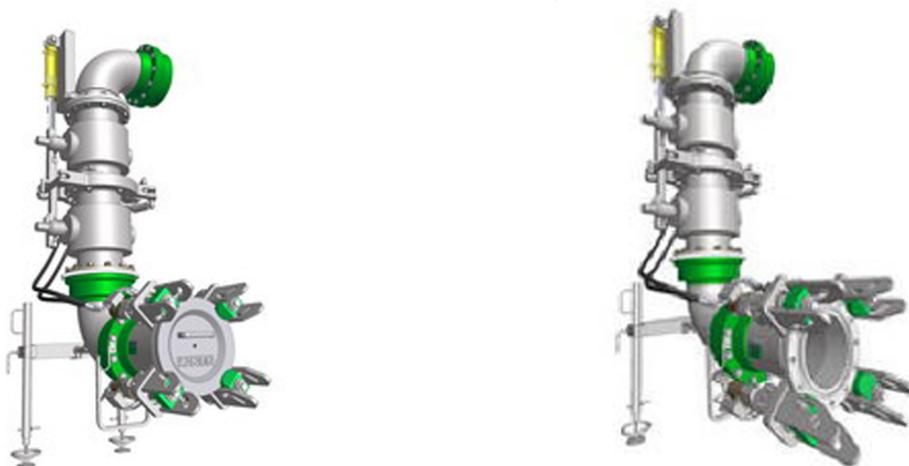


Ilustración 29: Conexión hidráulica de brazos

4.2. Tanques de LNG

Al igual que en el barco, los tanques que almacenan el LNG en tierra deberán tener protecciones del LNG contra el ambiente.

La construcción será de tipo cúpula con las paredes laterales en forma de cilindro fabricada en hormigón prensado, y la cúpula fabricada en hormigón y acero.

Se buscará aislar el fondo del tanque con una cúpula invertida, este colchón servirá como aislante, del mismo modo que funciona la cúpula superior.

En el interior del armazón de hormigón se encontrará el tanque interior, formado por una aleación con un 9% en níquel.

Al igual que en el barco existirá una barrera formada por un gas inerte entre el tanque interior y el tanque de hormigón.

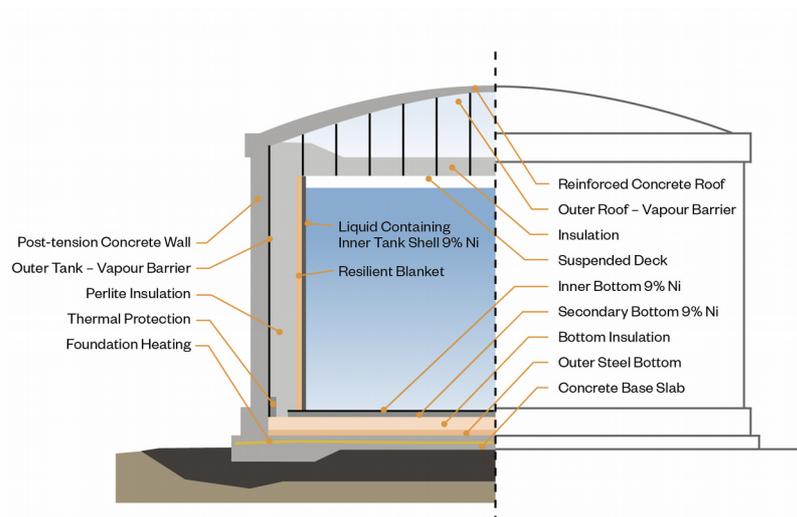


Ilustración 30: esquema de un tanque de la terminal

En el interior de los tanques se encuentran las bombas de descarga del tanque, encargadas de llevar el LNG hacia el barco, y las bombas de distribución, encargadas de llevar el LNG a los diferentes puntos de la planta para adecuar el gas a su distribución terrestre.

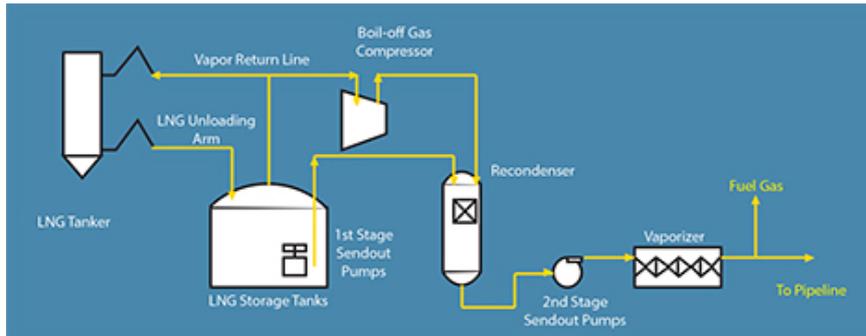


Ilustración 31: Esquema básico de una planta regasificadora

4.3. Bombas principales

Las bombas principales se encuentran sumergidas en el tanque y su misión es la de impulsar el LNG hacia las siguientes fases de la regasificación.

Estas bombas descargan el LNG una presión de unos 7-8 bar.

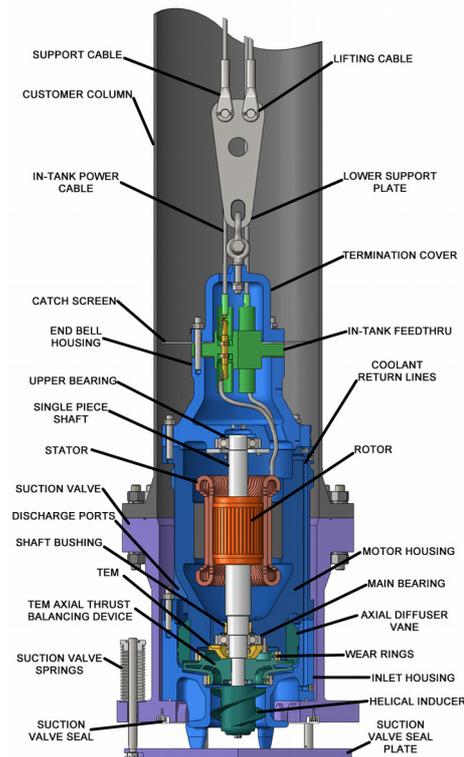


Ilustración 32: Esquema de bomba primaria situada en el interior del tanque de la terminal

4.4. Recondensador

El vapor generado en los tanques (boil off) se podrá enviar al barco para facilitar la descarga, pero en caso de que la terminal quiera ahorrar ese gasto será posible la compresión de ese gas y que sea enviado hacia el recondensador.

En el recondensador el gas caliente proveniente del tanque se enfría con el líquido procedente del tanque y se condensa, de este modo se consigue un mayor aprovechamiento del Boil off.

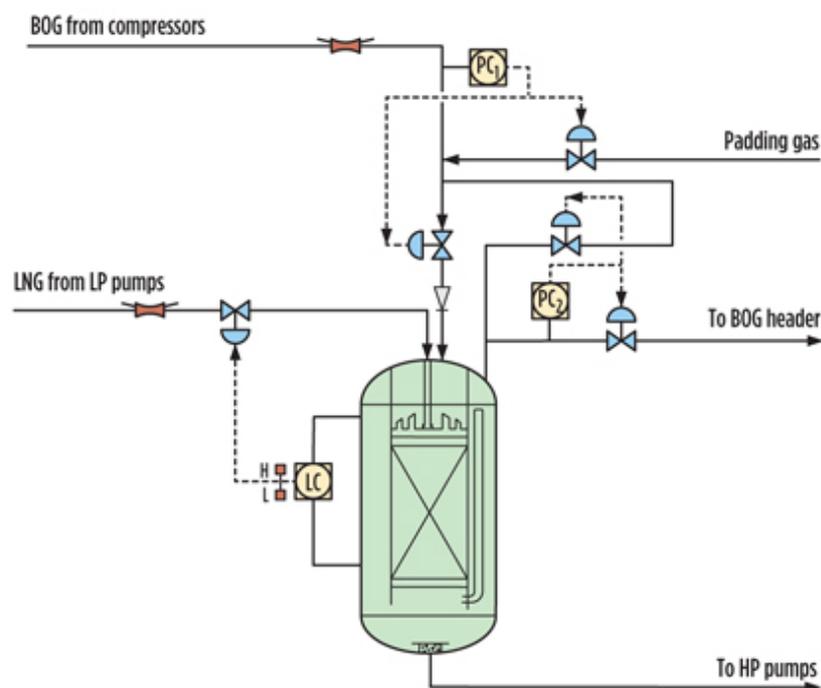


Ilustración 33: Esquema de recondensador

4.5. Bombas secundarias

Las bombas secundarias aumentan la presión del LNG y lo descargan hacia los vaporizadores

Son bombas criogénicas que impulsan el LNG a -145°C y a una presión de 75 bar para facilitar el proceso de vaporización



Ilustración 34: bomba secundaria de LNG

4.6. Vaporizadores

Para distribuir el LNG en la red de gas será necesario vaporizarlo, para ello se utiliza un vaporizador.

En este intercambiador el LNG es calentado por agua salada. El LNG fluye a través de unos conductos de diámetro similar a un bolígrafo, que unos junto a otros forman placas, sobre las que se vierte agua que baja lamiendo la superficie exterior y transfiriendo calor al LNG que es vaporizado.

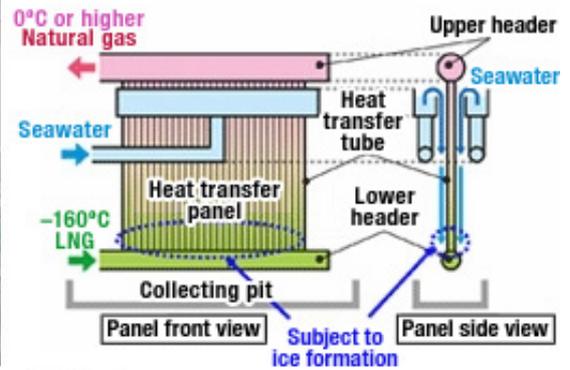


Ilustración 35: foto y esquema de un vaporizador

4.7. Antorcha

En caso de que exista una sobrepresión en los tanques y esta no pueda ser aliviada será necesario consumir el boil off de exceso, para ello se utiliza la antorcha.

La antorcha es un quemador colocado en una torre alta para evitar incidencias con el fuego.



Ilustración 36: antorcha terminal de LNG.

4.8. Planta de medida y odorización

Es necesario que se realice la medida del gas que abandona la planta, para esto se utiliza un caudalímetro , ya que con la medida de esta cantidad la terminal obtendrá el beneficio económico

El proceso de odorización se produce al dosar mercaptano en el gas. De este modo se aumenta la seguridad en las viviendas que utilicen gas natural, ya que será más sencillo encontrar fugas.



Ilustración 37: Planta de odorización. Enagas.

5 Operación

5.1. Operaciones previas a la llegada a puerto

Previo a la llegada a puerto será necesario llevar a cabo inspecciones y tareas que aseguren la seguridad en el momento de la llegada a puerto y la operación.

5.1.1 Tareas a realizar en los días previos a la llegada

El primer oficial de cubierta y el primer oficial de máquinas de carga (cargo engineer):

- Preparación del plan de carga, incluyendo en este la secuencia de estabilidad, calados, esfuerzos y asiento, y el plan de lastre.
- Discutir el plan de carga con los oficiales y la tripulación. Explicando a la tripulación las características de la terminal, los peligros de la carga, sus características, las restricciones del barco, los tiempos de comienzo y finalización de la operación, los flujos de descarga máximos y mínimos
- Prevenir a la máquina acerca del uso de las bombas de lastre y las bombas de descarga.
- Inspección visual de las líneas de carga y las líneas de gas de cubierta.
- Chequear el apriete de los tornillos de las válvulas de carga.
- Revisión de las expansiones de las tuberías de cubierta
- Ajustar las reducciones y los filtros en tuberías de carga. Revisar que todos los medidores de presión funcionan correctamente y las válvulas hacia los medidores están abiertas
- Testar las alarmas de alto y muy alto nivel de tanques, tanto audible como visualmente, desde la sala de control de carga (cargo control room)
- Chequear la correcta operación de los equipos fijos de detección de gas
- Chequear los detalles de contacto del equipo contra la polución por hidrocarburos de la localidad en la que se encuentre el barco.
- Asegurarse que los documentos obsoletos no influirán ni se mezclarán con los de la operación actual

- Comprobar la parada de emergencia (ESD) en caliente y registrar los tiempos de cerrado de válvulas

El primer oficial de carga (Cargo Engineer) deberá:

- Asegurar que el equipo de control del espacio de aislamiento de nitrógeno está operativo.
- La operación de todas las válvulas de carga funciona correctamente
- Asegurar que el sello del mamparo de aislamiento entre la sala de compresores (cargo compressor room) y la sala de motores eléctricos (motor room) está en perfectas condiciones
- Asegurar que las juntas del manifold están listas para la conexión de los brazos de carga y de vapor.
- Chequear que los medidores de presión del manifold funcionan correctamente
- Chequear los sensores del manifold y colectores.
- Chequear filtros.
- Chequear los equipos portátiles de medida de gases y facilitar los detectores de gas personales requeridos.
- Cargar los walkie talkies y facilitar los requeridos
- Asegurar que el sistema de glycol funciona correctamente
- Chequear que la planta de vapor en la sala de compresores funciona correctamente
- Comprobar el funcionamiento de la GCU.

El Primer oficial de cubierta deberá:

- inspeccionar, chequear y preparar todos los medios de amarre. Chequear el molinete y el ancla.
- Chequear que las maquinillas y molinetes están operativas. Chequear si existen fugas en los sistemas hidráulicos o de vapor. Asegurar que los sistemas de enfriamiento o calefacción se encuentran operativos.
- Chequear que cubierta y las zonas de amarre y de trabajo están limpias. Chequear que las luces de cubierta y de la pasarela.
- Quitar cobertores en de los medidores por flotador y en las cámaras de vigilancia
- Limpiar y ordenar cubierta y los pañoles de cubierta y la casamata
- Chequear que las bandejas del manifold están limpias y vacías, con la válvula de drenaje abierta. Chequear que la cortina de da agua del manifold está operativa.
- Si se realiza carga de combustible, preparar los elementos de SOPEP. Comprobar el funcionamiento las bombas de diafragma SOPEP, Comprobar aislamiento de las bombas de diafragma SOPEP, Asegurar que la zona en la que se almacenan los elementos SOPEP está claramente señalizada.
- Asegurar que los equipos contra incendios están correctamente estibados y señalizados.
- Asegurar que las linternas homologadas están cargadas y hay una cantidad necesaria para los equipos de guardia.
- Confirmar que el equipo d embarque del práctico, pasarelas, y escaleras de embarque, incluyendo las redes de seguridad se encuentran en buenas condiciones, limpias y preparadas para su uso.
- Asegurar que las grúas están preparadas y listas para ser usadas.
- Preparar redes y eslingas para la recogida de provisiones y pedidos.
- Preparar el tablón de indicaciones de la pasarela y el plan contra incendios.
- Preparar los contenedores de basura con su tapa

5.1.2 Tareas a realizar dos días antes de la llegada a puerto

El Primer oficial de cubierta de cubierta deberá:

- Confirmar la correcta operación de todos los equipos de amarre.
- Confirmar la correcta operación del Custody transfer system

El primer oficial de máquinas de carga (cargo engineer) junto al primer oficial de cubierta deberá:

- Chequear el sistema hidráulico de las válvulas del cargo
- Chequear los tiempos de apertura y cierre de las válvulas del cargo, registrar las lecturas. Comprobar que el cierre de las válvulas por parada de emergencia (ESD) se produce en menos de 30 segundos.
- Comprobar el funcionamiento de los sistemas de parada de emergencia (ESD) terminal – barco: fibra óptica, eléctrico o neumático.

El primer oficial de máquinas de carga (cargo engineer) deberá:

- Chequear los equipos de medida de gases portables
- Chequear el sistema de venteo por el palo.

El Oficial electrotécnico (ETO) deberá:

- Chequear todas las luces de cubierta
- Chequear que los equipos de teléfono de emergencia funcionan correctamente
- Chequear que el sistema de cámaras de vigilancia se encuentra operativo
- Chequear que los equipos de seguridad para alto voltaje se encuentran operativos

5.1.3 Tareas a realizar un día antes de la llegada a puerto

El primer oficial de carga deberá:

- Asegurar que el panel de ESD del cargo control room está puesto en condiciones de descarga.
- Introducir las consignas para la realización de la carga
- Asegurar las correctas condiciones del lastre para la llegada
- Comprobar que el monitor de amarre está operativo
- Comprobar que la información acerca de las mareas del puerto está preparadas
- Las impresoras de las pantallas de visualización (IAS) de la sala de control de carga (CCR) y del Custody transfer system están operativas
- Confirmar la correcta operación de las grúas de cubierta.

El cargo Engineer deberá:

- Comprobar los medidores de presión de los sistemas de carga

5.1.4 Tareas a realizar el día de llegada

El primer oficial de cubierta deberá:

- Comprobar y resetear el tiempo en el custody transfer system
- Desbloquear las alarmas del custody transfer system, asegurando que todos los selectores se encuentran en modo “IN PORT” y que las alarmas previas están aceptadas y subsanadas
- Comprobar:
 - Los dispositivos de polvo seco deberán estar listos para su uso
 - Las mangueras contra incendios se encuentran estiradas en cubierta asegurando que habrá por lo menos dos en la zona del manifold, una a proa y otra a popa.
 - La manguera del equipo fijo de polvo seco se encuentra desenrollada y a barlovento del manifold y que los equipos portales de polvo seco se encuentran en las cercanías del área del manifold.
 - Comprobar que se han realizado las listas de comprobación (checklist) necesarias tanto para la terminal como para el dueño de la carga (chárter), y que las que se tengan que realizar a continuación están preparadas.
- Verificar la correcta disposición de las líneas de carga.

El cargo engineer deberá:

- Bajar los medidores por flotador en los tanques (Sondas Whessoe).
- Comprobar el alineamiento de las válvulas en la sala de compresores
- Chequear la alimentación del vapor de agua hacia el intercambiador gas heater.
- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema hidráulico.
- Asegurar que las válvulas de drenaje en el manifold están cerradas
- Cerrar las entradas de ventilación a la acomodación
- Verificar la correcta disposición de las líneas de carga

5.1.5 Tareas a realizar en la terminal

5.1.5.1 Comprobaciones de seguridad entre la terminal y el barco

La lista de comprobación de seguridad entre la terminal y el barco dará unos mínimos de seguridad que se deberán cumplir para que la operación se pueda realizar de forma segura.

Está dividida en cuatro partes; una parte A que habla acerca de chequeos físicos en cuanto a la carga de líquidos a granel, una parte B que habla sobre la verificación verbal entre terminal y barco en cuanto a la carga de líquidos a granel, una parte C que habla acerca de una declaración verbal de la cara de gases líquidos a granel.

Parte A, Transporte de líquidos a granel, chequeos físicos

- Deberá existir un acceso seguro entre el barco y la terminal. Revisar
- El barco deberá estar amarrado de forma segura. Revisar
- Las comunicaciones barco-terminal están operativas. Se deberá de indicar el sistema elegido. Revisar
- Si la terminal lo requiere se deberá de tener lista la línea de remolque de emergencia (2 metros por encima del agua). Revisar
- Las mangueras y el equipo contra incendios estarán listos y operativos. Revisar.
- Los equipos contra incendios de la terminal deberán en posición y operativos. Revisar.
- Las líneas de carga y manifold del barco se encuentran en buenas condiciones y en correcta posición para la operación.
- Las líneas de cargo de la terminal y los brazos se encuentran en correctas condiciones, se realizará una inspección visual de las uniones y brazos.
- El equipo de descarga está suficientemente aislado drenado, permitiendo la retirada de las bridas ciegas antes de la conexión.
- Los scupper plugs se encuentran puestos y las bandejas se encuentran en posición, vacías y limpias. Revisar.
- La apertura de los scupper plugs estará constantemente monitorizada. Revisar.

- Los equipos de retención de fugas se encuentran correctamente estibados. Revisar
- Las conexiones inutilizadas se encuentran bloqueadas correctamente con bridas ciegas.
- Las tapas de inspección del lastre y combustible se encuentran cerradas.
- Las válvulas de descarga al mar se encuentran cerradas y selladas.
- Todas las puertas externas, portillos y ventanas de la acomodación, almacenes y maquina se encuentran cerradas, excepto la ventilación de la sala de máquinas. Revisar.
- El plan de emergencia contra incendios deberá de ser visible en el exterior de la acomodación, se colocará una copia del plan en la pasarela

Parte B, verificación verbal para carga/descarga de productos líquidos a granel

- El barco deberá estar listo para moverse por sí mismo. Revisar
- Habrá una guardia en cubierta efectiva, que vigile la operación entre la terminal y el buque. Revisar.
- Habrá suficiente personal a bordo y en la terminal para poder subsanar emergencias. Revisar.
- Habrá un acuerdo entre los procedimientos de carga, bunker (en caso de haberlo) y lastre. Revisar.
- Las señales de emergencia y ESD entre la terminal y el barco estarán explicadas y entendidas por ambas partes. Revisar.
- Se habrán facilitado las tablas de seguridad de la carga. Revisar.
- Los riesgos asociados con la toxicidad de la carga han sido identificados y entendidos.
- Existirá una conexión internacional contra incendios.
- Se habrá acordado los sistemas de venteo de los tanques. Revisar
- Se habrían acordados los requerimientos para la finalización de las operaciones. Revisar
- La operación de las válvulas P/V de alivio habrá sido verificada.
- Se han acordado los parámetros de utilización de la línea de vapor. Revisar.

- Las alarmas de alto nivel han sido testadas y están operativas. Revisar.
- Habrá medios de aislamiento eléctrico adecuados en la conexión. Revisar
- Las líneas de la terminal estarán provistas de válvulas de no retorno o medios que eviten el refluo de la carga. Revisar.
- Se habrán identificado las zonas de fumadores. Revisar.
- Se habrá tenido en cuenta la regulación de focos de luz desnudos. Revisar.
- Se habrá tenido en cuenta los teléfonos y/o móviles necesarios. Revisar.
- Las linternas utilizadas serán las homologadas.
- Los equipos VHF/UHF fijos y AIS se encuentran en un modo adecuado o apagados.
- Los equipos portátiles VHF/UHF son de un tipo homologado.
- Los transmisores aéreos del barco se encuentran a tierra y los radares apagados
- Los cables del equipo eléctricos en el área de peligro están desconectados
- Se mantendrá una presión positiva en el interior de la acomodación.
- Se asegurará la suficiente ventilación mecánica de la sala de bombas. Revisar.
- Existe provisión para un escape de emergencias
- Se han acordado los criterios de máximo viento y mar.
- Se han acordado los protocolos de seguridad entre el Oficial de seguridad del barco y del puerto

Parte C, verificación verbal para el caso de gases líquidos a granel:

- Las hojas de seguridad de los materiales estarán disponibles y darán información necesaria para llevar a cabo la operación de carga de forma segura
- El sistema de agua spray está listo para su inmediata operación

- Existe suficiente equipo de protección, ropa y equipos de respiración autónoma están listos para usar
- Los espacios de barreras primaria y secundaria se encuentran inertizados con nitrógeno
- Todas las válvulas controladas remotamente están operativas.
- Las bombas de carga y los compresores están operativos, y la máxima presión de descarga ha sido acordada entre el barco y la terminal
- Los equipos de control del vapor generado (Boil off) están operativos
- Los equipos de detección de gas han sido calibrados y testeados, y están operativos
- Los medidores y alarmas del cargo están operativos
- Los equipos ESD se encuentran operativos
- La terminal y el barco ha acordado el tiempo de cierre de las válvulas de cierre de emergencia (ESD)
- Se han acordado los máximos y mínimos temperaturas y presiones de la carga.
- Los tanques de carga estarán protegidos contra el sobre llenado durante las operaciones de carga
- La sala de compresores está correctamente ventilada, la sala de motores eléctricos está correctamente presurizada y el sistema de alarmas operativos
- Las válvulas de alivio de cada tanque están taradas correctamente.

Las tareas indicadas se deberán de revisar a intervalos de un tiempo acordado entre la terminal y el barco. En este caso el acuerdo será de 4 horas.

5.1.5.2 Acuerdo de descarga de LNG entre la terminal y buque

El acuerdo entre la terminal y el barco dirá cuando, como y quien deberá de realizar las operaciones, de este modo se establecen responsabilidades.

En este acuerdo también se establecen los caudales (flow rates) máximos de descarga de líquido y vapor, y las presiones de operación.

- Los motores no consumirán Gas natural licuado desde la entrada a la terminal.
- La terminal facilitará una línea caliente, un teléfono y un UHF, e instruirán a la tripulación del barco acerca de su uso.
- La terminal facilitará un ordenador para monitorizar la tensión en las líneas de amarre e instruirá a la tripulación del barco acerca de su uso.
- Se inertizará el brazo de vapor con nitrógeno hasta alcanzar un 1% o menos de oxígeno. Se harán pruebas de fugas a 500 mBar con una solución jabonosa.
- Los brazos de líquidos se inertizarán con nitrógeno hasta alcanzar un 1% o menos de oxígenos y, menos de un 2% en volumen. Se hará la prueba de fugas en la conexión barco-terminal a 5 bar con una solución jabonosa.
- El sondado de los tanques de carga se hará de acuerdo a los manuales del Custody transfer system, y los cálculos se harán según el acuerdo de compra. La terminal será testigo de la sonda y el inspector certificará los resultados.
- El test de ESD en caliente será realizado entre la terminal y el barco.
- El test ESD en frío ser realizará desde el barco.
- Las bombas de descarga del barco arrancarán cuando la terminal lo requiera. El barco notificará a la terminal la hora del arranque.
- El máximo caudal de descarga será de 1200 m³ / hora
- El barco notificará a la terminal la hora en que se alcance el caudal máximo (full rate).
- El máximo flujo de retorno al barco será de 16.000 Kg/h
- La máxima operación de trabajo del barco es de 160 mbar
- El barco notificará el nivel de los tanques y el rate de descarga cada hora
- El barco notificará una hora antes de darse el inicio de la disminución de caudal (ramp down)
- La terminal y el barco acordarán el drenaje/purga/desconexión de brazos durante la reunión post-descarga
- El barco notificará a la terminal el tiempo de parada de cada bomba de carga

- La terminal drenará el LNG de los brazos de líquido e inertizará con nitrógeno hasta que haya menos de un 2% de metano en volumen
- El cierre del sondado de tanques se realizará según los manuales des Custody transfer ship y calculado según el acuerdo de venta después de que los brazos estén libres de líquido.
- La terminal inertizará el brazo de vapor con nitrógeno hasta que se alcance menos de un 2% de metano en volumen.
- La terminal desconectará los brazos de líquido y vapor. Los filtros de líquido serán inspeccionados visualmente y se registrarán su estado.
- La terminal instalará bridas ciegas en los brazos y los colocarán en su posición de estiba
- La terminal Notificará la hora en la que los brazos están libres.
- El barco instalará bridas ciegas en sus brazos de líquido y vapor.

5.1.6 Operación de conexión

Una vez que las tareas de comprobación hayan sido realizadas y el acuerdo de la descarga y de seguridad se hayan firmado por ambas partes se procederá a la conexión.



Ilustración 38: barco atracado y conectado a terminal de gas.

La terminal interizará los brazos de conexión con nitrógeno hasta alcanzar menos de un 1% en oxígeno. Se realizará la conexión con el sistema hidráulico de los brazos, una vez conectados se abrirán las válvulas de purga del manifold para que el N₂ barra el posible O₂ o agua condensada que se haya podido quedar.

Tras comprobar que no hay humedad y la atmósfera a la salida de las purgas es N₂ con un contenido en oxígeno menor del 3% se procederá al cierre de las purgas.

Se buscará que en la conexión haya una presión de 5 bar en los brazos de líquido y 500 mbar en el brazo de vapor para poder realizar la prueba de presión, para ello se cubrirán los bordes de la junta de unión con una mezcla jabonosa y se comprobará que no se forman burbujas de jabón, lo que indicaría que la conexión brazo-manifold presenta fugas.



Ilustración 39: Prueba de fugas con jabón

Una vez realizada la conexión y las pruebas en todos los brazos conectados se procederá a realizar el primer CTS.

Con el CTS se registran los volúmenes de líquido en los tanques gracias al Tank Radar y el custody transfer system. La terminal y el barco aceptarán esos datos como los del inicio de la descarga.

Tras realizar los procesos anteriores se procederá a realizar un ESD en caliente desde la terminal y desde el barco, se registrará el tiempo de cerrado de las válvulas ESD, que deberá de ser de menos de 30 segundos.

5.2. Soplado de nitrógeno de los tanques de la terminal

Los tanques y líneas de la terminal se encuentran llenos de nitrógeno, que deberá de ser barrido con gas de LNG antes de comenzar la descarga de gas natural licuado.

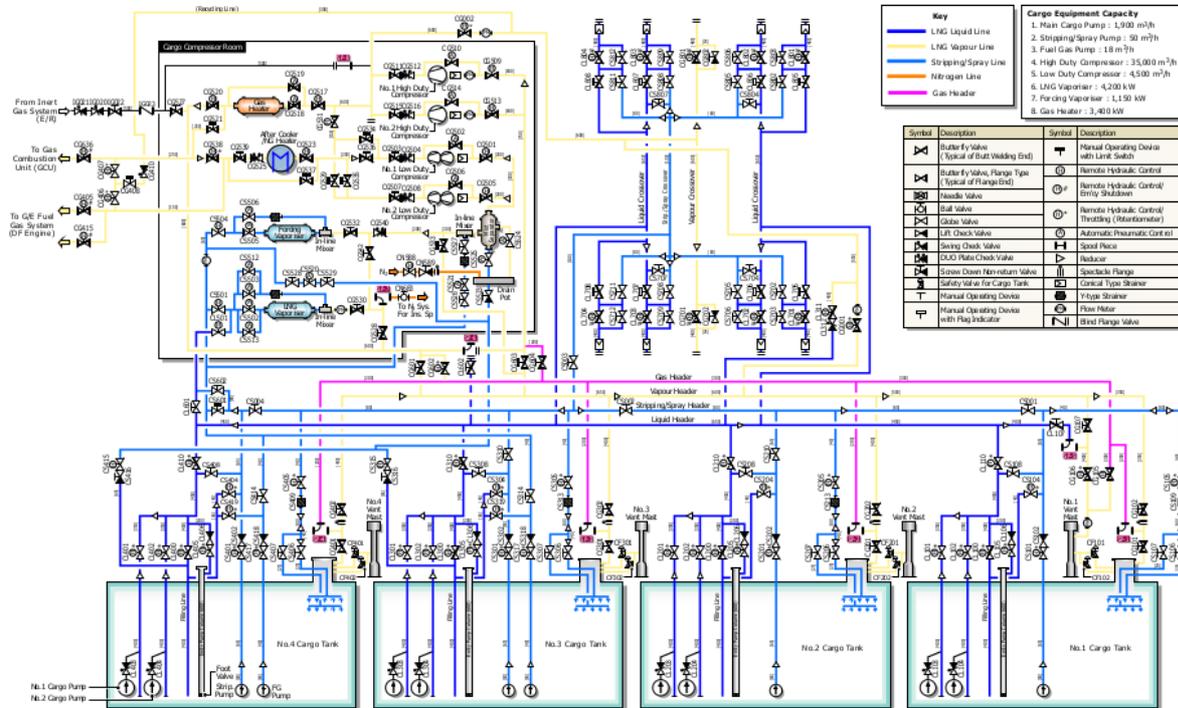


Ilustración 40: esquema de las líneas de líquido y vapor

Se preparará el LNG vaporiser:

- Se abrirá la válvula que alimenta al intercambiador desde el colector de la línea de Spray. CL602.
- Se abrirá la válvula de entrada de líquido hacia el LNG vaporiser. CS501.
- Se abrirá la válvula de salida del intercambiador LNG vaporiser. CG530.
- Se posicionará en AUTO la válvula de control de flujo del intercambiador LNG vaporiser. CS502.
- Se posicionará en AUTO la válvula reguladora de temperatura del intercambiador LNG vaporiser. CS503.
- Se abrirá la válvula de salida del gas del LNG hacia el colector de Vapor. CG528

- Se abrirá la válvula que introduce el gas en el colector de Vapor. CG601.

Soplado de nitrógeno:

- Se abrirá la válvula ESD de un brazo y la válvula principal de descarga. El soplado se realizará de brazo en brazo. CL804, CL808. CL803, CL807. CL802, CL806. CL801, CL805)
- Se activará el intercambiador LNG vaporiser y se arrancará una bomba de reachique (Stripping/Spray).
- En la terminal deberán de enviar el nitrógeno soplado y el gas que vaya con él hacia la antorcha.
- La operación se dará por concluida cuando todo el nitrógeno haya sido barrido de los tanques y en el venteo/ antorcha se detecte un 5% en volumen de metano.

Final de la operación de soplado:

- Se parará la bomba de reachique arrancada.
- Se parará el intercambiador LNG vaporiser.
- Se cerrará la válvula que alimenta al intercambiador desde el colector de la línea de Spray. CL602.
- Se cerrará la válvula de entrada de líquido hacia el LNG vaporiser. CS501.
Se cerrará la válvula de salida del intercambiador LNG vaporiser. CG530.
- Se cerrará la válvula de salida del gas del LNG hacia el colector de Vapor. CG528.

5.2.1 Enfriado de líneas y brazos de la terminal

El enfriado de líneas se produce al desplazar el gas de LNG que se encuentra en las líneas haciendo circular por este gas natural licuado (LNG) impulsado por las bombas de spray y llegando hasta los brazos y líneas de la terminal.

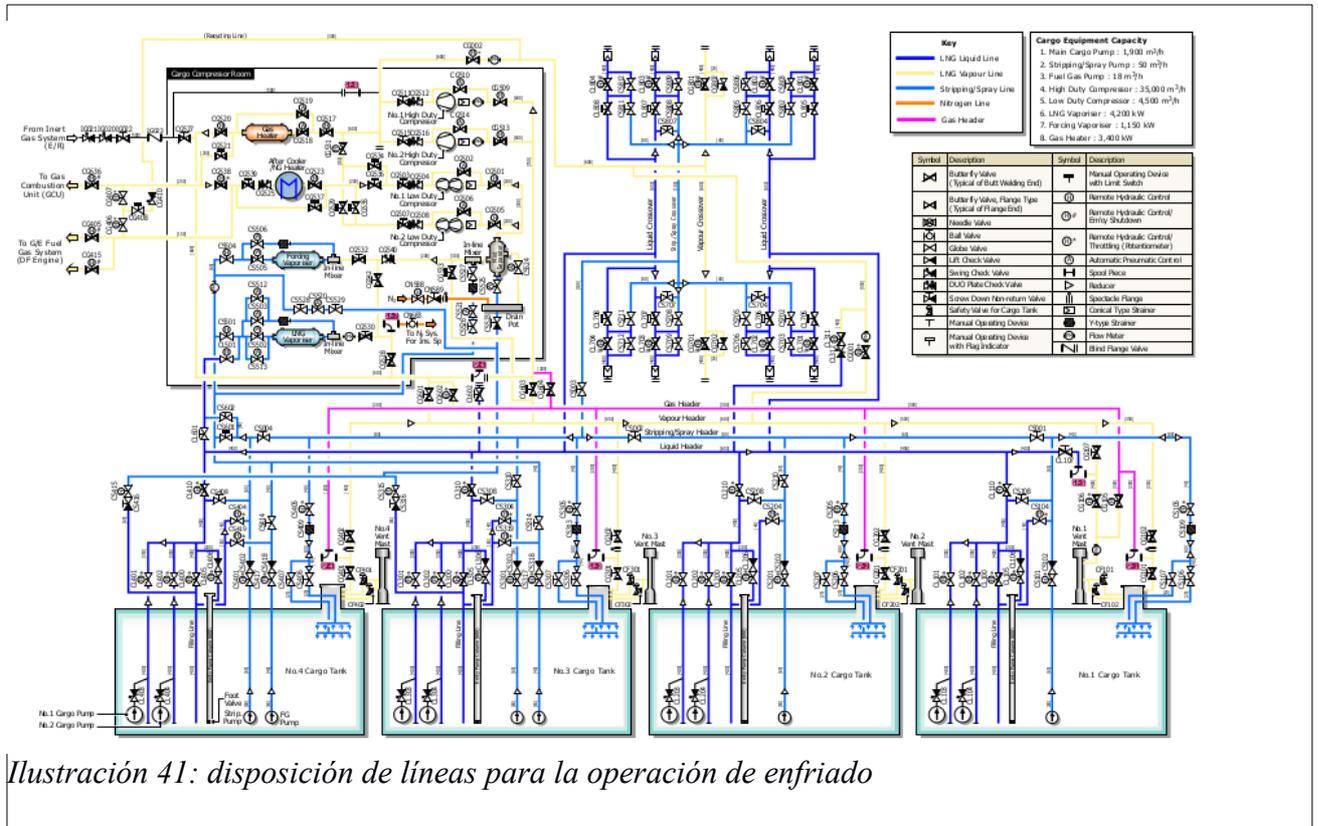


Ilustración 41: disposición de líneas para la operación de enfriado

Según el esquema anterior, para realizar el enfriamiento de líneas utilizando la bomba de Spray del tanque 3 se procederá de la siguiente manera:

Preparación del colector de Spray:

- Se abrirá la válvula de descarga de la bomba Spray del tanque 3 a un 20% “CS301”
- Se abrirán las válvulas que comunica la línea Spray del tanque 3 con el colector de líquido “CS308” y “CL310”
- Se abrirá la válvula de retorno de la bomba Spray del tanque 3 “CS304”

Preparación del colector de LNG líquido:

- Se despegará las válvulas master de líquido del tanque 1 “CL110”
- Se despegará la válvula master de líquido del tanque 2 “CL210”
- Se despegará la válvula master de líquido del tanque 3 “CL310”
- Se despegará la válvula master de líquido del tanque 4 “CL410”

Preparación del manifold:

- Se abrirán las válvulas de descarga de LNG y las válvulas ESD que comunican el barco con la terminal. (CL801, CL802, CL803, CL804 y CL805, CL806, CL807, CL808).

Se arrancará la bomba de reachique (Stripping/ Spray pump) del tanque (en este caso el tanque 3) desde el IAS.

Se podrá regular el flujo de enfriado y su velocidad regulando las válvulas CS301.

Parada de la operación:

- Detención de la bomba de reachique (Stripping/ Spray pump) desde el IAS.
- Cierre de la descarga de la bomba de reachique (Stripping/ Spray pump). "CS301"
- Cierre de las válvulas que comunica la línea Spray del tanque 3 con el colector de líquido "CS308" y "CL310"
- Cierre de la válvula de retorno de la bomba Spray del tanque 3 "CS304"

Tras el enfriado de los brazos se realizará una prueba de ESD en frío desde el barco

5.3. Descarga de LNG:

Se procederá a la descarga del LNG hacia la terminal con las bombas de descarga a bajo caudal hasta que se hayan enfriado los tanques de la terminal, momento en el que se podrá aumentar el caudal de descarga.

La descarga se llevará a cabo produciendo a bordo el gas que será introducido en los tanques para mantener la presión.

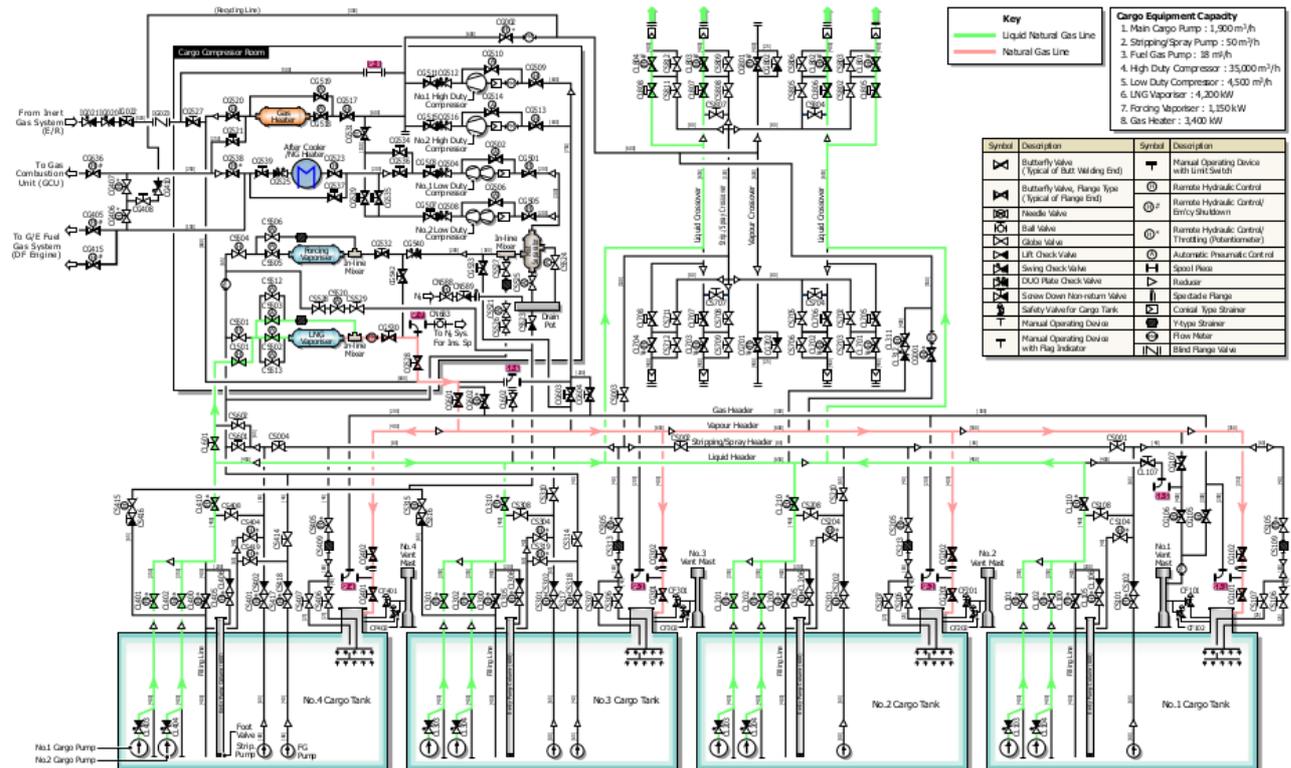


Ilustración 42: disposición de líneas para la descarga de LNG sin retorno de gas desde la terminal

Se preparará el LNG vaporiser:

- Se abrirá la válvula que alimenta al intercambiador forcing vaporiser desde el colector de líquido. CL601.
- Se abrirá la válvula de entrada de líquido hacia el LNG vaporiser. CS501.
- Se abrirá la válvula de salida del intercambiador LNG vaporiser. CG530.

- Se posicionará en AUTO la válvula de control de flujo del intercambiador LNG vaporiser. CS502.
- Se posicionará en AUTO la válvula reguladora de temperatura del intercambiador LNG vaporiser. CS503.
- Se abrirá la válvula de salida del gas del LNG hacia el colector de Vapor. CG528
- Se abrirá la válvula que introduce el gas en el colector de líquido. CL602.

Se abrirán las válvulas de carga principales y ESD entre terminal y barco:

- Se abrirán las válvulas ESD del manifold de babor. CL801, CL802, CL803, CL804.
- Se abrirán las válvulas principales del manifold de babor. CL805, CL806, CL807, CL808.
- Se abrirá la válvula de vapor ESD. CL801.
- Se abrirán las válvulas de cada ramal de tanques. CL110, CL210, CL310, CL410.
- Se abrirán las válvulas CL100, CL200, CL300, CL400.

Arranque y secuencia de bombas de carga:

- Se iniciará la secuencia de arranque de la bomba 1 del tanque 3.
- Se abrirá la válvula CL301 y CL300.
- Arrancará la bomba y el líquido será retornado al tanque 3 por la válvula CL300
- Se abrirá la CL310 al tiempo que se cerrará la Válvula CL300 de modo que la bomba enviará líquido hacia la terminal desde el tanque 3, se controlará el caudal enviado mediante el estrangulamiento de la válvula de descarga de la bomba. CL 301. Y la recirculación al tanque de la bomba. CL300
- Tras cumplir con la primera fase en la que se enviará LNG a la terminal a un flujo de aproximadamente 300 m³/h durante 36 horas se procederá al arranque de la segunda bomba, se buscará un caudal

aproximado de llenado del tanque de 1" por hora, hasta que el tanque de la terminal alcance -150°C.

- En este punto y en caso de ser necesario se pedirá el retorno de gas hacia el barco para evitar la formación de vacío en el tanque y mantener la presión en tanques por encima de 100 mbar, en caso de que la terminal no pueda mandarnos vapor, lo podemos producir nosotros con el LNG vaporiser.
- Se ajustarán las válvulas de descarga de las bombas hasta alcanzar un flujo de 3.500 m³/h.
- Cuando la sonda del tanque 3 alcance una sonda de 1.5 metros se parará la bomba 1 de descarga del tanque 3 y se arrancará la bomba 1 del tanque 1
- Cuando la sonda del tanque 3 alcance una sonda de 1 metros se parará la bomba 2 de descarga del tanque 3 y se arrancará la bomba 2 del tanque 1
- Cuando la sonda del tanque 1 alcance una sonda de 1.5 metros se parará la bomba 1 de descarga del tanque 1 y se arrancará la bomba 1 del tanque 2
- Cuando la sonda del tanque 1 alcance una sonda de 1 metros se parará la bomba 2 de descarga del tanque 1 y se arrancará la bomba 2 del tanque 2
- Cuando la sonda del tanque 2 alcance una sonda de 1.5 metros se parará la bomba 1 de descarga del tanque 2 y se arrancará la bomba 1 del tanque 4
- Cuando la sonda del tanque 2 alcance una sonda de 1 metros se parará la bomba 2 de descarga del tanque 2 y se arrancará la bomba 2 del tanque 4
- Cuando la sonda del tanque 4 alcance una sonda de 2.5 metros se parará la bomba 1 de descarga del tanque 4
- Cuando la sonda del tanque 4 alcance una sonda de 2 metros se parará la bomba 2 de descarga del tanque 4
- Cuando la operación haya concluido se cerrarán las válvulas de líquido ESD del manifold. CL801. CL802. CL803. CL804

5.4. Procedimiento de desconexión

Una vez cerradas las válvulas ESD del barco y de la terminal se procederá a realizar el cierre de las válvulas manuales del manifold.

- La terminal barrera con nitrógeno sus brazos hacia sus tanques, realizando 3 ciclos.
- Brazo por brazo se inyectará nitrógeno desde a la terminal a través de la válvula ESD del brazo.
- Una vez que se hayan alcanzado los 5 bar de presión se abrirá las válvulas de bypass de las válvulas ESD hasta que se alcance una presión de 0,5 bar. Este proceso se realizará 3 veces, barriendo el líquido remanente en las tuberías hacia el tanque 4.
- Una vez que se haya realizado la operación 3 veces se abrirá la purga de medida y se comprobará que no exista líquido y que la medida indica <50% LEL y < del 1% en volumen.
- Se despresurizará el brazos mediante la purga.
- Se repetirá el proceso para cada brazo.

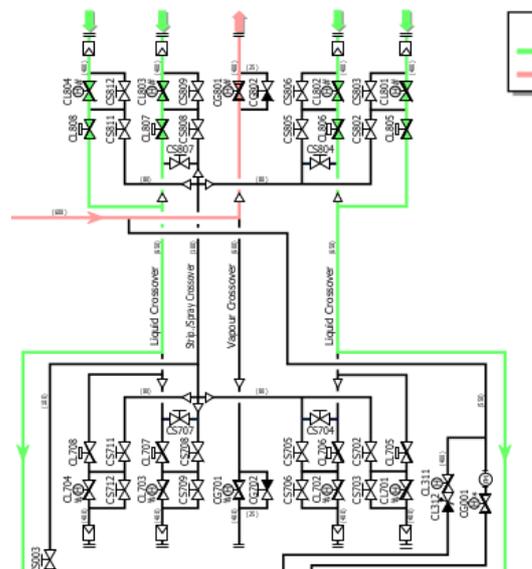


Ilustración 43: Esquema del manifold del buque

El siguiente procedimiento deberá ser llevado a cabo punto por punto, sin pasar al siguiente punto hasta que el anterior se haya realizado.

- Se colocará los posters de seguridad en cada brazo conectado.
- Se discutirá el procedimiento de desconexión con la terminal.
- En el manifold solo estarán las personas necesarias para la operación.
- Todas las personas del manifold deberán utilizar el equipo de protección personal (PPE) pertinente.
- Las líneas se drenarán y purgarán por el barco siguiendo los procedimientos de la compañía, purgando con nitrógeno tres veces cada línea.
- Se cerrarán todas las válvulas de tierra y el barco que tengan relación en la operación, incluyendo las válvulas de drenaje, las válvulas de Nitrógeno y las dobles válvulas ESD (PERC).
- Se confirmará que la presión en el manifold es mínima.
- Cuando sea seguro, se abrirá el drenaje del manifold lentamente. En caso de existir LNG líquido volver al drenado y purgado.
- Se confirmará que al abrir el drenaje el manifold se encuentra sin líquido.
- Se purgará el manifold hasta que el contenido en hidrocarburos sea menor del 1% en volumen o menor de un 50% del LEL. Se realizará la medida para cada manifold.
- Se chequeará y confirmará que todas las válvulas que no sean los drenajes estén cerradas y que no existen personas en las inmediaciones del manifold.
- Se informará a la terminal que no existen objeciones para desconectar los brazos.
- Antes de la desconexión, todas las personas se situarán a una distancia de seguridad del manifold.
- Este proceso se repetirá para cada brazo.

5.5. Situación al final de la descarga

Al finalizar la descarga se encontrará que los tanques del barco contarán con un remanente, que será mayor en el tanque 4, esto permitirá que se consuma LNG en los motores y además de facilitar la operación de enfriado de tanques en el siguiente puerto de carga. Los tanques de la terminal contarán con aproximadamente 165.000 m³ de LNG que deberá distribuir

6 Conclusiones

En las operaciones de buque es importante seguir unas pautas de seguridad que limiten al mínimo los riesgos a la hora de realizar la operación.

Si durante la operación surge cualquier problema, o se intuye por parte de cualquier tripulante que algo no se está desarrollando como se debería se deberá de avisar de inmediato a la terminal y activar el protocolo ESD de ser necesario. Es preferible que por una duda razonable se alargue el tiempo de operación a que por no querer parar una hora se desarrolle un episodio de peligro.

Durante las operaciones de conexión y desconexión, que son las que entrañan mayor peligro, ya que se expone el conducto de descarga a la atmósfera, será necesario aumentar las precauciones, recordando siempre que se conectarán/desconectarán los brazos siempre siguiendo las pautas de seguridad indicadas, recordando que no se podrá conectar/desconectar hasta que cada línea del manifold esté perfectamente aislada e inertizada.

Una vez finalizada las operaciones se entablará una reunión en la que se discutirá como se ha desarrollado la operación, si se han seguido las medidas de seguridad y las condiciones que se habían acordado por ambas partes.

7 Bibliografía

Valencia Knutsen Cargo operating manual. DSME

Valencia Knutsen Machinery operating manual. DSME

Terminales de GNL. Enagas S.A.

Construction and Operation of Loading Arms Used for LNG Carriers. www.marineinsight.com

Marine loading arm ERS test. www.youtube.com/watch?v=ZgwedDkel_c