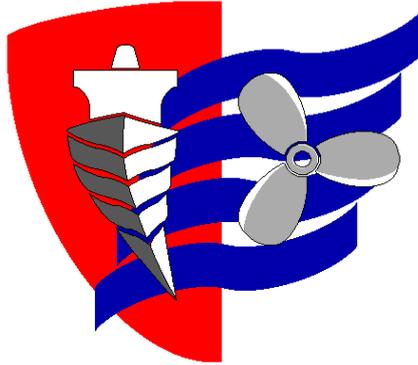


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**PROCESO DE CARGA Y DESCARGA
DE LNG EN UN BUQUE METANERO**

**LOADING AND UNLOADING PROCESSES
OF A LNG CARRIER**

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN
MARÍTIMA**

Autor: Pablo T. Zamora Sarabia

Director: Francisco Correa Ruiz

Julio - 2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Máster

**PROCESO DE CARGA Y DESCARGA
DE LNG EN UN BUQUE METANERO**

**LOADING AND UNLOADING PROCESSES
OF A LNG CARRIER**

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN
MARÍTIMA**

Julio – 2017

Índice

Índice.....	I
Resumen y Palabras clave	II
Summary and keywords	V
I.- Introducción.....	1
II.- MEMORIA DESCRIPTIVA	3
II.1.- Planteamiento técnico del problema.....	3
II.1.1.- Hipótesis de partida	3
II.1.2.- Hipótesis de resultado.....	4
II.2.- Herramientas de resolución	4
II.2.1.- Herramienta I: conceptos generales del LNG.....	4
II.2.2.- Herramienta II: tipos de tanques de contención	15
II.2.3.- Herramienta III: Conocimientos descriptivos sobre los sistemas de carga y descarga	46
II.2.4.- Otras herramientas	118
II.3.- Metodología	119
II.3.1.- Proceso de carga.....	119
II.3.2.- Proceso de descarga	151
III.- DESARROLLO PRÁCTICO	171
III.1.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO ANTES DE CARGAR	171
III.2.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DURANTE EL ATRAQUE.....	172
III.3.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DURANTE LA CARGA	173
III.4.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DESPUÉS DE LA CARGA	174
IV.- CONCLUSIONES	175
Índice de Ilustraciones	176

Resumen y Palabras clave

El mundo del LNG es uno de los sectores con mejores condiciones para los Marineros Mercantes. Siendo los buques metaneros muy tecnológicos, hacen que sus tripulaciones tengan que ser muy especializadas y con altos conocimientos en la materia. Es por ello que antes de embarcar en uno de estos barcos es de obligación de los marinos a embarcar tener unos conocimientos generales y específicos.

Además es considerado el sector más seguro en cuanto al transporte marítimo pues no existen accidentes significantes o derrames a lo largo de su historia. No obstante, hay que seguir trabajando duro para mantener dicha posición pues el sector está creciendo muy deprisa y hace que exista falta de experiencia y de entrenamiento suficiente en el personal que operan tanto en los buques como en las terminales, personal que a veces se cubre de forma precipitada para satisfacer la actual demanda.

Lo que se pretende con este trabajo es, mediante los conocimientos obtenidos durante las prácticas en un buque metanero de transporte de gas natural licuado (GNL), poder llevar a cabo sus operaciones de carga y descarga, con todos los procedimientos intermedios que ello conlleva. Para ello, se presentarán los flujogramas correspondientes a dichas operaciones, de tal manera que el desarrollo de los mismos quedará plasmado de manera tanto teórica como práctica.

Primeramente se desarrollan los conceptos teóricos acerca del buque, los propios tanques de carga y los procedimientos, ya que entiendo que es imposible entender de manera práctica un proceso de carga y descargar, sin conocer previamente la teoría que lo respalda.

Como se ha mencionado anteriormente, en este documento se tratará de desarrollar los procesos de carga y descarga, así como todas las operaciones intermedias, de un buque de transporte de gas natural licuado. Estos desarrollos, explicaciones y operaciones serán aplicables a todos los buques metaneros de LNG. Para la elaboración de toda esta documentación y flujogramas de operaciones, ha sido necesario seguir las disposiciones y recomendaciones de reglamentos como el IGC Code, “ International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in

bulk”, así como de numerosas publicaciones y manuales (citados posteriormente en el apartado de Herramientas), así como del conocimiento personal adquirido tras el embarque.

El objetivo final y más práctico de este trabajo será, a través de todas las herramientas y conocimientos expuestos, la elaboración de un flujograma. Todo ello en su conjunto permitirá considerar este documento como una guía completa y definida en todo su detalle, para entender en profundidad los procesos de carga y descarga de un buque de transporte de gas natural licuado, o LNG.

Gracias a este trabajo se aprende sobre todas las cuestiones teóricas acerca del gas licuado, cómo comenzó su transporte y los problemas y peligros de este tipo de gases en los tanques, lo cual tiene como consecuencia práctica todas las maniobras que deben tener lugar durante los procesos de carga y descarga, las cuales han sido desarrolladas a lo largo de este documento, de forma práctica a través de los citados flujogramas.

Como punto final señalar que, gracias a este trabajo, he llegado a la conclusión de que el funcionamiento de este tipo de buques está totalmente optimizado y se lleva a cabo de una manera precisa y eficiente. Por lo que los únicos errores que podrían surgir serían los derivados de un fallo humano, o por causa mayor, como serían causas naturales.

PALABRAS CLAVE:

- LNG
- GNL
- GAS NATURAL LICUADO
- METANERO
- PROCESO DE CARGA DE UN GASERO
- PROCESO DE DESCARGA DE UN GASERO
- TANQUES DE MEMBRANA
- TANQUES ESFÉRICOS
- INERTARDO DE TANQUES DE CARGA
- MANIFOLD

Summary and keywords

The transportation of liquified natural gas (LNG) is one of the sectors with better conditions for the seafarers. Due to the fact that the methane carriers are very technologically advanced vessels, the crews on board such ships need to be highly specialised and knowledgeable in the matter. It is for that reason that before embarking in one of these ships it is the obligation of the seafarers to have certain general as well as specific knowledge and skills.

The LNG sector is in addition considered as one of the safest with regards to significant accidents or spillages within the marine transportation industry. Nevertheless it is necessary to keep working hard in order to keep such favourable position. The sector is developing and growing quickly, causing lack of experience and training required for both the seafarers and the terminal personnel, being the latter sometimes covered on a rushed way to satisfy the demand.

The goal of this project is to set up in paper the workflow of the loading and unloading operations with all the intermediate procedures based on the knowledge obtained during the training months spent on board a methane LNG carrier. In order to display the workflow of these procedures flowcharts have been prepared for the loading and unloading operations to gather the practical know-how of such operations in a theoretical way.

The first step is to establish the theoretical concepts and background of the ship, along with the description of the tanks and the procedures. This information will set up the starting point to understand the loading and unloading procedures described afterwards.

The rules and regulations of the International Code for the Construction and Equipment of ships carrying Liquefied Natural Gasses in Bulk (IGC Code) have been taken into consideration during the development of the flowcharts, as well as numerous publications and manuals (mentioned later on in the section 'Tools').

The final objective and more practical aim of the document is to develop the flowcharts so they can be used as detail guidelines to understand the processes of loading and unloading an LNG carrier.

It is also the aim of this document to provide knowledge regarding the general challenges of transporting liquefied natural gas, possible dangers related to these type of gasses carried on the tanks and how these dangers and challenges affect the manoeuvring of the ship during such loading and unloading operations.

Thanks to the development of this document I have come to realise that the processes on board these vessels is totally optimized and they are handled on a precise and efficient way. The main failures that could occur would be therefore of human nature or due to, for example, natural causes.

KEYWORDS

- LNG
- Liquefied natural gas
- Methane carrier
- Loading process of a gas carrier
- Unloading process of a gas carrier
- Membrane tanks
- Spherical tanks
- Inertisation of tanks
- Manifold

I.- Introducción

Este trabajo funciona como guía y ha sido desarrollado para toda persona que quiera tener una visión bastante completa acerca de la actividad que desarrollan los buques metaneros. Es una guía práctica para familiarizarse con el transporte de LNG antes de embarcar en un buque metanero, para reforzar conocimientos y aprender otros.

Aunque los consejos no cubren la totalidad del sector, sí que proveen una guía general y muy completa para aprender las características de estos buques y tener conocimientos suficientes para saber diferenciar todos los elementos que forman parte del buque y para qué sirven cada uno de ellos entrando en materia en la operatividad de los buques.

El mundo del LNG es uno de los sectores con mejores condiciones para los Marineros Mercantes. Siendo los buques metaneros muy tecnológicos, hacen que sus tripulaciones tengan que ser muy especializadas y con altos conocimientos en la materia. Es por ello que antes de embarcar en uno de estos barcos es de obligación de los marinos a embarcar tener unos conocimientos generales y específicos, conocimientos que verán suficientemente completados con esta guía, la cual se ha intentado hacer lo menos densa posible y lo más eficaz en cuanto a conocimientos.

El transporte de LNG ha ido creciendo desde 1958 cuando el buque LNG “Methane Pioneer” operó por primera vez desde Estados Unidos a Reino Unido. Desde entonces, la flota de metaneros no ha hecho más que aumentar año a año pasando de una flota de 9 buques a finales de los años 60, a 49 buques a finales de los 70, a 71 buques a finales de los 80 y a 117 buques a finales de los 90. En la actualidad se estiman más de 400 buques, además de más de un centenar que están en proceso de construcción.

Además es considerado el sector más seguro en cuanto al transporte marítimo pues no existen accidentes significantes o derrames a lo largo de su historia. No obstante, hay que seguir trabajando duro para mantener dicha posición pues el sector está creciendo muy deprisa y hace que exista

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

falta de experiencia y de entrenamiento suficiente en el personal que operan tanto en los buques como en las terminales, personal que a veces se cubre de forma precipitada para satisfacer la actual demanda.

Espero que esta guía suscite interés y concienciación acerca de los conocimientos necesarios para trabajar en buques metaneros.

II.- MEMORIA DESCRIPTIVA

II.1.- Planteamiento técnico del problema

Lo que se pretende con este trabajo es, mediante los conocimientos obtenidos durante las prácticas en un buque metanero de transporte de gas natural licuado (GNL), poder llevar a cabo sus operaciones de carga y descarga, con todos los procedimientos intermedios que ello conlleva. Para ello, se presentarán más adelante los flujogramas correspondientes a dichas operaciones, de tal manera que el desarrollo de los mismos quedará plasmado de manera tanto teórica como práctica.

Primeramente se desarrollan los conceptos teóricos acerca del buque, los propios tanques de carga y los procedimientos, ya que entiendo que es imposible entender de manera práctica un proceso de carga y descargar, sin conocer previamente la teoría que lo respalda.

II.1.1.- Hipótesis de partida

Como se ha mencionado anteriormente, en este documento se tratará de desarrollar los procesos de carga y descarga, así como todas las operaciones intermedias, de un buque de transporte de gas natural licuado. Estos desarrollos, explicaciones y operaciones serán aplicables a todos los buques metaneros de LNG. Para la elaboración de toda esta documentación y flujogramas de operaciones, ha sido necesario seguir las disposiciones y recomendaciones de reglamentos como el IGC Code, “ International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in bulk”, así como de numerosas publicaciones y manuales (citados posteriormente en el apartado de Herramientas), así como del conocimiento personal adquirido tras el embarque.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

II.1.2.- Hipótesis de resultado

El objetivo final y más práctico de este trabajo será, a través de todas las herramientas y conocimientos expuestos, la elaboración de un flujograma. Todo ello en su conjunto permitirá considerar este documento como una guía completa y definida en todo su detalle, para entender en profundidad los procesos de carga y descarga de un buque de transporte de gas natural licuado, o LNG.

II.2.- Herramientas de resolución

II.2.1.- Herramienta I: conceptos generales del LNG

II.2.1.1.- Características de LNG. Física y química

El verdadero origen del gas natural se remonta a millones de años. Este gas surge como resultado de la descomposición de plantas y animales que quedaron enterrados bajo capas de arena, fango y lodo de gran espesor.

El gas natural es un tipo de combustible fósil, por lo que su origen se basa, como su propio nombre indica, en la naturaleza, y así como otros combustibles fósiles, se obtiene de tres tipos diferentes de fuentes: pozos subterráneos, minas de carbón y grandes yacimientos petrolíferos. En esta última fuente, el gas licuado suele encontrarse junto con otros gases, estando disuelto en el crudo o separado en una especie de bolsas, alojadas por encima del crudo.

Existen diversas técnicas de extracción del gas natural, pero simplemente voy a hacer una breve referencia a la más novedosa de todas ellas, y a la vez una de las más polémicas: el “fracking”. Esta práctica consiste en la extracción del gas mediante la fracturación hidráulica de la roca original, la pizarra o el esquisto. Para ello primeramente se debe realizar una perforación vertical de unos 5 Km, seguida de una perforación horizontal también de unos 2 a 5 Km. Después a través de esa perforación se inyecta

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

arena junto con aditivos químicos a gran presión, lo que provoca la fractura de la roca y por ello, la liberación del gas, el cual asciende a la superficie.

El motivo por el cual esta técnica conlleva polémica es por los riesgos medioambientales que acarrea; contaminación de las aguas superficiales así como de las subterráneas, e incluso riesgos sísmicos que han desembocado en temblores, provocados en el momento de la fracturación de la roca.

En lo que concierne a la composición del gas natural, éste elemento se puede desglosar en una serie de hidrocarburos, cuyos porcentajes varían dependiendo de su origen geográfico y su proceso de licuefacción. Estos componentes son incoloros e inodoros, siempre y cuando el gas se encuentre en estado de licuación. También suele contener cantidades variables de agua y nitrógeno, así como otras sustancias que no son hidrocarburos.

El principal gas de que se compone el gas natural es el Metano (CH_4), sea cual sea su origen, aunque como hemos dicho anteriormente, su porcentaje puede variar, encontrándose siempre entre un 75% y un 95%. Otros de los hidrocarburos pesados que se encuentran en el gas natural pueden ser el propano, butano, etano, pentano, ...pero siempre en una proporción infinitamente menor. Los rangos en los que se encuentran el resto de elementos suelen ser : Nitrógeno (5% - 0.2%) e hidrocarburos pesados como Etano, Propano, Butano, etc. (1% - 25%), siendo siempre el Etano uno de los principales.

Comentar por último que, a la hora de realizar los cálculos para determinar datos importantes como por ejemplo la pérdida de presión en las tuberías, se simplifica como si el LNG fuera metano puro, porque los otros elementos están en un porcentaje ínfimo en comparación con el Metano, y en este caso no se necesitan unos cálculos tan precisos. En cambio, en las operaciones realizadas para el conocido como “custody transfer”, los datos deben ser mucho más exactos, por lo que se toman con precisión las propiedades y porcentajes de todos los elementos.

Para ver con claridad la comparación de todo lo comentado anteriormente, he elaborado la siguiente tabla, en la que se reflejan los más conocidos LNG (definidos por su lugar de obtención) con los diferentes porcentajes de los hidrocarburos que los componen.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

	Metano CH ₄	etano C ₂ H ₆	Propano C ₃ H ₈	Butano C ₄ H ₁₀	Nitrógeno N ₂	DENSIDAD (Kg/ m ³)
Arzew	87.4	8.6	2.4	0.05	0.35	466
Arun	89.33	7.14	2.22	1.17	0.08	N/A
Badak	91.09	5.51	2.48	0.88	0.03	N/A
Bintulu	91.23	4.3	2.95	1.4	0.12	457
Bonny	90.4	5.2	2.8	1.5	0.07	453
Das Is	84.83	13.39	1.34	0.28	0.17	465
Kenai	99.8	0.1	0	0.1	0.1	421
Lamut	89.4	6.3	2.8	1.3	0.05	463
Marsa el Braga	70	15	10	3.5	0.9	531
Point Fortin	96.2	3.26	0.42	0.07	0.008	433
Ras Laffan	90.1	6.47	2.27	0.6	0.25	457
Skikda	91.5	5.64	1.5	0.5	0.85	451
Withnell	89.02	7.33	2.56	1.03	0.06	460

Tabla 1 Composición gases según puerto. Fuente: elaboración propia


Atlantic

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

ATLANTIC LNG COMPANY OF TRINIDAD AND TOBAGO
ATLANTIC AVENUE, POINT FORTIN, TRINIDAD W.I.

SECTION 1. CHEMICAL/GENERAL PRODUCT INFORMATION

Product Name: **LIQUIFIED NATURAL GAS**
Synonyms: LNG, Liquid Methane
Chemical Name: Methane
Chemical Family: Alkane
Chemical Formula: CH₄
CAS Reg. No.: 74-82-8
Product No.: Not Established

Product and/or Components entered on EPA's TSCA Inventory: YES

This product is in U.S. commerce, and is listed in the Toxic Substances Control Act (TSCA) Inventory of Chemicals; hence it may be subject to applicable TSCA provisions and restrictions.

Manufacturer's Name and Address:

ATLANTIC LNG COMPANY OF TRINIDAD AND TOBAGO
ATLANTIC AVENUE, POINT FORTIN, W.I.

Telephone Numbers:

Emergency: 1-868-648-2916 Ex2000
General MSDS Information: 1-868-648-2880

SECTION 2. COMPOSITION AND HAZARD IDENTIFICATION

Product and/or Component (s) Carcinogenic According to:

OSHA IARC NTP OTHER NONE
~~X~~

Components	CAS No.	Weight %	OSHA PEL	ACGIH TLV
Methane	74-82-8	>96.1	NE	Simple Asphyxiant
Ethane	74-84-0	>3	NE	Simple Asphyxiant
Propane	74-98-6	<1	NE	Simple Asphyxiant
Isobutane	75-28-5	<1	NE	NE
n-Butane	106-97-8	<1	800ppm	800ppm
Pentanes and heavier	Various	<1	600ppm*	600ppm
Nitrogen	7727-37-9	<1	NE	Simple Asphyxiant
Carbon Dioxide	124-38-9	<1	10,000ppm	5,000ppm

Normal composition ranges are shown. Exceptions may occur which would invalidate data on this form.

* For n-Pentane.

Ilustración 1 Composición del GNL en Pampa Melchorita en Perú. Fuente: Terminal Melchorita

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Como regla general el LNG se transporta y se estiba a presión atmosférica aproximada de -161°C y una temperatura cercana a su temperatura de evaporación.

Durante un viaje para el transporte de LNG, se produce el proceso conocido como “Boil off”, que consiste en que parte de la carga de gas se vaporice por la temperatura que le llega a través del aislamiento, lo que provoca que la composición del gas cambie. De esta manera, el LNG que se descargue tendrá un menor porcentaje de nitrógeno y metano, ya que éstos son los componentes más ligeros, con un punto de ebullición menor, y se vaporizan antes. En cambio, tendrá más porcentaje de los componentes pesados, que son etano, propano y butano.

Uno de los aspectos más importantes en lo que concierne a la seguridad durante el transporte del LNG es el riesgo de que explote la carga. El componente que puede provocar esta explosión es el metano, cuyo coeficiente de inflamabilidad en aire (del 5.3 al 14% por volumen de aire) depende del oxígeno. Por lo tanto, para reducir este grado de inflamabilidad, se debe reducir el contenido de oxígeno. Teóricamente, la explosión se produciría con una cantidad de oxígeno en la mezcla superior al 13%, con independencia de contenido de metano. Sin embargo por razones de seguridad, empleando gas inerte a través de los generadores, se realiza un purgado hasta llevar el porcentaje de oxígeno por debajo del 2%.

Cuando se vaporiza el LNG por el proceso antes descrito del “boil off”, se genera un vapor cuya temperatura, que depende de la composición del gas, suele ser de unos -110°C . Este vapor generado es más ligero que el aire, por lo que en su expulsión, sube por el palo de venteo y se dispersa rápidamente a la atmósfera. En este momento se producirá una nube de color blanco por el efecto de la condensación, ya que cuando el vapor a una temperatura tan fría se mezcla con un vapor, en este caso el aire, a temperatura ambiente, esta mezcla reacciona de esa manera.

Debido a que la temperatura de auto ignición del metano es de 595°C , normalmente no existe un riesgo significativo de inflamabilidad de la mezcla en las zonas que se sitúan por debajo de esta nube blanca.

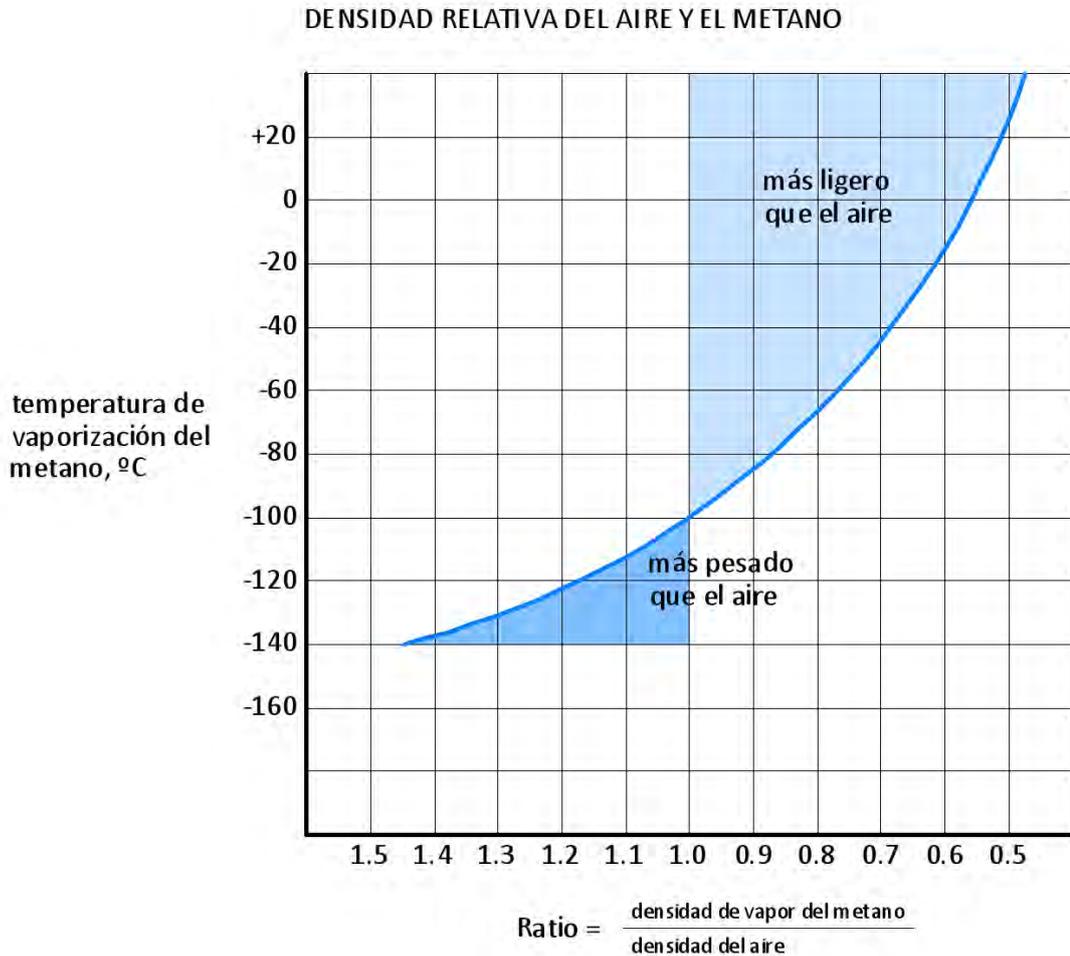


Ilustración 2 Relación de densidades en función de la temperatura del vapor. Fuente: elaboración propia

Prevención de la inflamabilidad

Como lógicamente cabe pensar, en todo momento debe evitarse que la mezcla de Metano y Oxígeno se haga inflamable.

Para ello podemos analizar cómo se llevaría a cabo esa prevención (a modo de cálculo) en la siguiente gráfica:

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

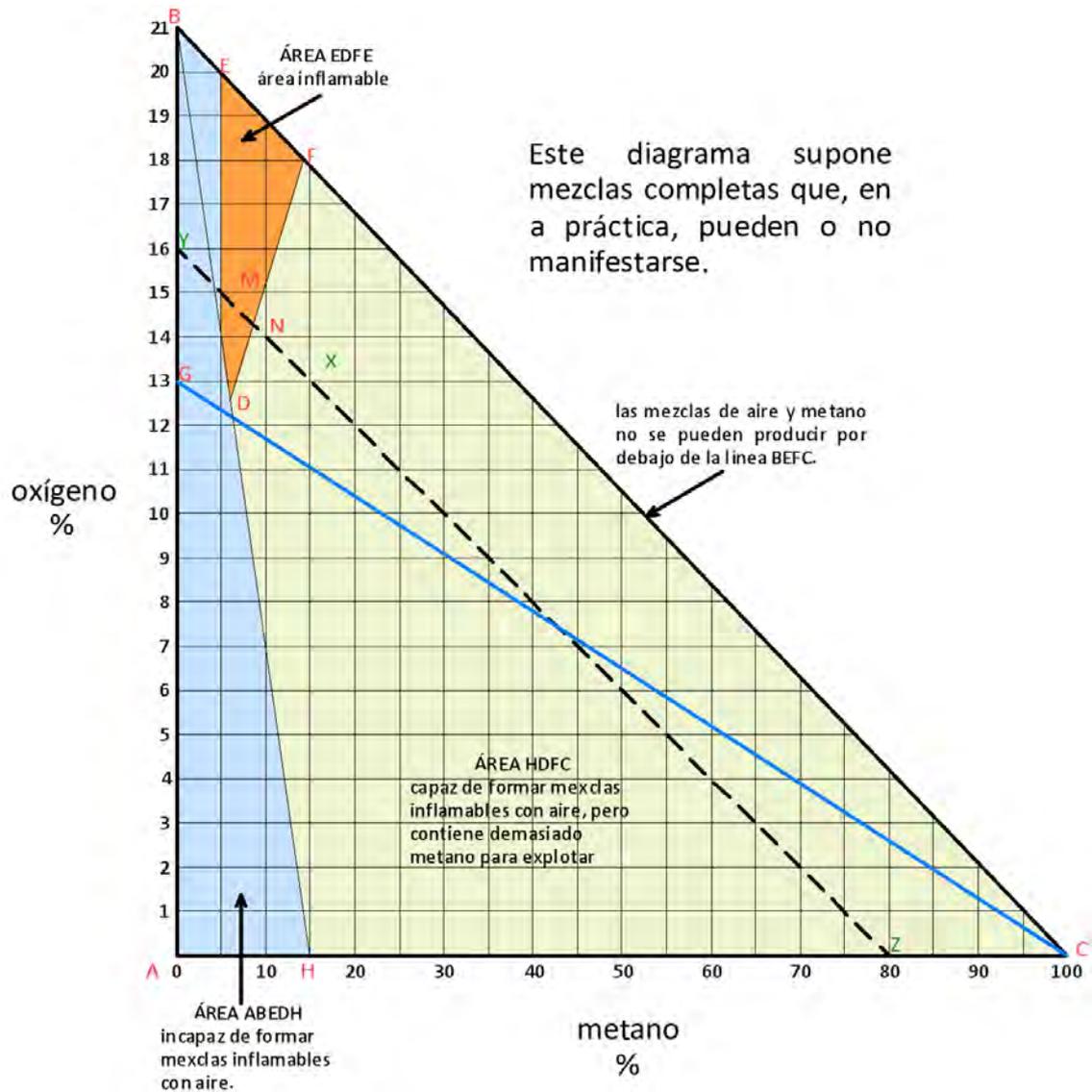


Ilustración 3 Inflamabilidad de la mezcla de Metano, Oxígeno y Nitrógeno. Fuente: elaboración propia

Primero analizaremos el triángulo de vértices ABC:

- El eje vertical A-B representa la mezcla de Nitrógeno-Oxígeno, pero sin Metano. Los porcentajes varían desde el 0% de Oxígeno-100% Nitrógeno en el punto A, al 21% de Oxígeno-79% Nitrógeno en el punto B.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- El eje horizontal A-C representa la mezcla Nitrógeno-Metano. En este caso, los porcentajes varían desde el 0% de Metano-100% Nitrógeno en el punto A, al 100% de Metano-0% Nitrógeno en el punto C.

De esta manera, un punto como el D, que analizaremos a continuación, situado dentro de este triángulo ABC, tendrá una mezcla de diferentes proporciones de Metano, Oxígeno y Nitrógeno.

En el caso particular del punto D, la composición sería la siguiente: 81,8% de Nitrógeno (el valor desde su posición hasta el 100%), 12,2% de Oxígeno (valor que se obtiene en el eje A-B), y 6% de Metano (valor que se obtiene del eje A-C).

Siguiendo con el análisis del diagrama, pasamos a las tres diferentes áreas que aparecen coloreadas:

- El área ABEDH: las mezclas de esta área no son inflamables al combinarse con el aire.
- El área HDFC: en esta área, las mezclas se vuelen inflamables al unirse al combinarse con el aire, pero contienen demasiada proporción de Metano como para tener lugar un proceso de ignición.
- El área EDF: conocida como el área inflamable, por lo que aquí, cualquier mezcla es inflamable.

Ahora sólo queda saber cómo se usa el diagrama para evitar la inflamabilidad, y peor aún, la ignición de una mezcla de gases que transporte el buque (en nuestro caso LNG).

Teorizamos sobre que el punto Y, que se sitúa en el eje vertical A-B, o Nitrógeno-Oxígeno, se une con el punto Z, situado en el eje horizontal A-C o Nitrógeno-Metano, mediante una línea recta. La supuesta mezcla que tendría lugar por este proceso sería la correspondiente al punto X, que oscilará del punto Y al Z según aumente la proporción de la mezcla Z. Realmente el punto X simboliza una composición de carácter variable, que pasa por la zona EDF o zona inflamable, donde el contenido de Metano de la mezcla estaría entre un 5,5% (punto M) y un 9% (punto N).

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Ahora aplicaremos todo este proceso teórico al funcionamiento real del buque. Y en el proceso en el que lo haremos será en el de la inertización del mismo.

Cuando, antes del enfriado de un tanque de carga, se lleva a cabo este proceso de inertización, deducimos que el tanque de encontraré lleno de aire, lo que equivaldría al punto B de la gráfica. Después, se procedería a reducir su cantidad de Oxígeno, para lo que se añadiría Nitrógeno. Así estaríamos ahora en el punto G, con un 13% de Oxígeno. Posteriormente se añade Metano, lo que creará una variación en los diferentes porcentajes de la mezcla, que se moverán a lo largo de la línea GDC, pero sin atravesar la zona inflamable, aunque sería tangencial a ella en el punto D. Por lo tanto, si antes de añadir Metano, se disminuyera el contenido de Oxígeno entre un 0-13% (correspondientes respectivamente a los puntos A y G del diagrama), la nueva mezcla que resultaría al añadir el Metano no atravesaría en ningún momento la zona inflamable EDF.

De esta manera se entiende que el procedimiento a realizar sería añadir Nitrógeno en el momento de inertizado del tanque, para reducir la proporción del Oxígeno por debajo del 13%. Pero en la práctica real, la reducción se lleva hasta el 2% por razones de seguridad, de tal manera que es imposible que se produjese una mezcla completa del nitrógeno y el aire.

Se sigue una maniobra similar cuando el tanque de carga está lleno de Metano y se pretende ventilarlo, por lo que hay que inertizarlo antes. Así, partiendo del punto C del diagrama, se añadiría nitrógeno, con lo que el contenido de Metano descendería hasta el 14%, o punto H. La composición de la mezcla variaría, en este caso a lo largo de la línea HDB, que es de nuevo tangente a la zona inflamable, aunque como anteriormente, no la traspasaría. Así que, de nuevo por razones de seguridad como en el caso anterior, la reducción del Metano se lleva hasta alcanzar valores inferiores al 5%, para que no tuviera lugar de ninguna manera una mezcla completa de Nitrógeno y Metano.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

II.2.1.2.- Origen e historia del LNG

Para transportar este gas, como cualquier otro, primero se debe llevar a cabo un proceso de licuefacción o licuación, en el que el gas pasa de su estado gaseoso original a estado líquido.

Las primeras tentativas de licuefacción de este gas para su transporte surgieron en 1930 en EEUU, pero realmente se hicieron efectivas en 1940 cuando se construyó la primera planta de licuefacción. Sin embargo, todos esos años de investigación y avances sufrieron un duro golpe debido a un accidente en 1944 en una planta de Cleveland, que ocasionó un largo periodo de hibernación en el sector.

Este periodo llegó a su fin en los primeros años de los 50, cuando debido al descenso de producción del carbón, el Consejo de Gas Británico empezó a interesarse por la obtención de gas. De esta forma en 1957, firmaron junto con la Union Stock Yard, Continental Oil Co. y el Constock Liquid Methane Corporation, un convenio mediante el cual se convertiría un antiguo buque de la Segunda Guerra Mundial en un buque de LNG de una capacidad de 5000 m³. Este buque, con el nuevo nombre de “Methane Pioneer” realizó su primer viaje , transportando gas desde Lake Charles (Louisiana) hasta la isla de Canvey (Reino Unido), siendo este el primer célebre viaje de un total de seis. El buque estaba dotado de cinco tanques construidos con aluminio, con forma prismática y aislados mediante paneles prefabricados de madera de balsa al exterior, y madera de roble y arce al interior. Con el paso de los años este tipo de tanques de carga pasó a ser conocido con el término IMO TIPO B, o tanques prismáticos auto-suspendidos.

Prácticamente en paralelo, Francia también comenzó con sus primeras tentativas de transporte de gas licuado, en este caso desde Argelia. Para ello se siguió un proceso similar al de Reino Unido, reutilizando un buque de guerra, pero en este caso se instalaron en él tres tanques diferentes, tanto en su diseño (prismático, lobular y cónico), como en sus materiales, como la localización de los astilleros. Lo único que estos tanques tenían en común fue su aislamiento, compuesto por bloques de PVC y perlita.

Argelia comenzó a postularse como un lugar de referencia debido al descubrimiento de un yacimiento de gas natural, y Reino Unido no quería

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

quedarse atrás con respecto a Francia, por lo que en ese mismo año la British Gas Corporation firmó un acuerdo con Argelia para transportar gas durante quince años. Para ello se utilizarían dos buques, con capacidad de 27400 m³, cuyos tanques de carga seguían un diseño de tipo CONCH, que consistía en tanques de forma prismática auto-sustentados, de aluminio aleado y con un sistema de aislamiento que añadía a la madera de balsa una barrera secundaria de fibra de vidrio.

El diseño de estos tanques se podría considerar como revolucionario, ya que permitían un Boil-off máximo del 0.33% del volumen total del tanque por día, el cual a la vez utilizaban como combustible para el propio buque.

A pesar de todos estos avances en la construcción de nuevos tanques de carga, la industria del gas licuado sufría un momento difícil por la feroz competencia del sector del petróleo. Pero gracias a la implantación de normas medioambientales más estrictas, el gas natural comenzó a tener cada vez más relevancia, en detrimento del petróleo, convirtiéndose así el transporte marítimo de LNG en una industria cada vez más desarrollada y exitosa.

De hecho la evolución del sector ha seguido una trayectoria vertiginosa, pasando de una flota de 9 buques a finales de los años 60, a 49 buques a finales de los 70, a 71 buques a finales de los 80 y a 117 buques a finales de los 90. En la actualidad se estiman más de 400 buques, además de más de un centenar que están en proceso de construcción.

En la actualidad, todos los tanques cuentan con modernas tecnologías para su construcción, siendo las más usadas las membranas de tipo GTT, más específicamente la No96 o su nueva versión, la Mark III, la cual se va implantado progresivamente.

En el sector, destacan los buques Japoneses por diferenciarse del resto: son los únicos que construyen buques aún propulsados por turbinas y con tanques de forma esférica. De hecho, en el resto del mundo se tiende a abandonar el sistema de propulsión mediante turbinas para reemplazarlo por motores eléctricos de diésel.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Hablando de astilleros, Corea se coloca en el primer puesto, llevando a cabo prácticamente la totalidad de los nuevos buques, con mucha ventaja y diferencia de la construcción de buques en el resto del mundo.

II.2.2.- Herramienta II: tipos de tanques de contención

Después de muchos años de avances y diferentes diseños, en la actualidad se puede resumir la clasificación en dos tipos fundamentales de buques para LNG: los buques con tanques esféricos independientes o Moss-Rosenberg, y los de sistema de membrana GTT o “Gaz Transport & Technigaz”, con sus diferentes tipos (GTT No96, GTT Mark III y GTT CS1). Podríamos decir que existe un tercer tipo de buques, aunque en un porcentaje mucho menor que los dos anteriores, con una capacidad de tan sólo 100 000 m³, con un sistema de contención de tanques independientes IMO tipo C.

Una de las características fundamentales de los buques que transportan LNG es su doble casco, el cual envuelve por completo los tanques de carga. Es precisamente en este espacio intermedio donde se sitúan los tanques de lastre. Así mismo este espacio debe estar siempre inertizado, evitando la necesidad de un sistema de control de la atmósfera de estos espacios. Esta característica se repite en cualquier tipo de buque, excepto en los que tienen los tanques en forma de esfera.

En un supuesto caso de accidente, como por ejemplo una colisión, la cual provocase daños en el casco del buque, éste debe estar capacitado para mantenerse a flote a pesar de las posibles inundaciones. Además, los tanques también llevan su propia protección ante este tipo de daños en el buque, localizándose siempre a una distancia mínima de seguridad hacia el interior de los costados del buque.

Éstas y el resto de normas que se deben seguir a la hora de construir un buque están recogidas en el CÓDIGO IGC (“código internacional para la construcción de buques que transportan gas licuado”).

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Hoy día, en el sector del LNG los buques más usados son los de membrana de tipo GTT, más específicamente la No96 o su nueva versión, la Mark III, la cual se va implantando progresivamente.

1.1 Tanque esférico tipo Moss

Los buques de GNL con sistema Moss, están clasificados como tanques tipo “B” (los cuales suelen ser esféricos) de acuerdo con el código IGC. Suelen estar conformados por un total de entre 4 o 5 tanques esféricos independientes usualmente.



Ilustración 4 Buque LNG Moss. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

El sistema Moss fue introducido en 1971 siendo el primer buque en utilizarlo en 1973. En los primeros dos buques construidos con este sistema se utilizó para la construcción del tanque de un acero al 9% de Níquel. Posteriormente se realizaron todos en aluminio siendo de un grosor considerable con una “camisa” en su parte central. Son de aluminio porque tiene una alta resistencia a tensiones y al efecto de la corrosión y tiene un valor bajo de conductividad térmica. Su forma esférica permite que una grieta pueda convertirse en un problema mayor pudiendo ser fácilmente identificado y pudiendo ser drenado por el sistema de drenaje que contienen.

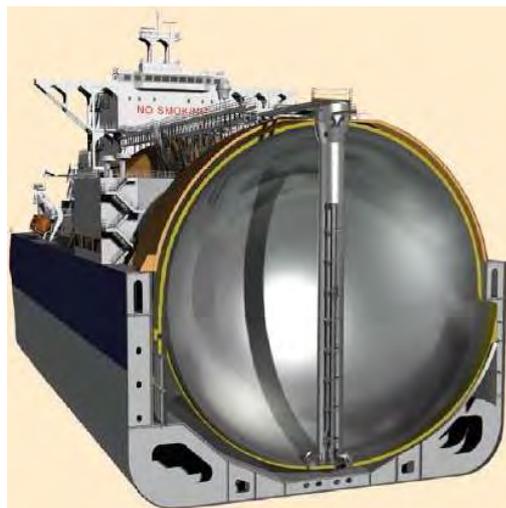


Ilustración 5 Interior tanque esférico. Fuente: www.liquefiedgascarrier.com

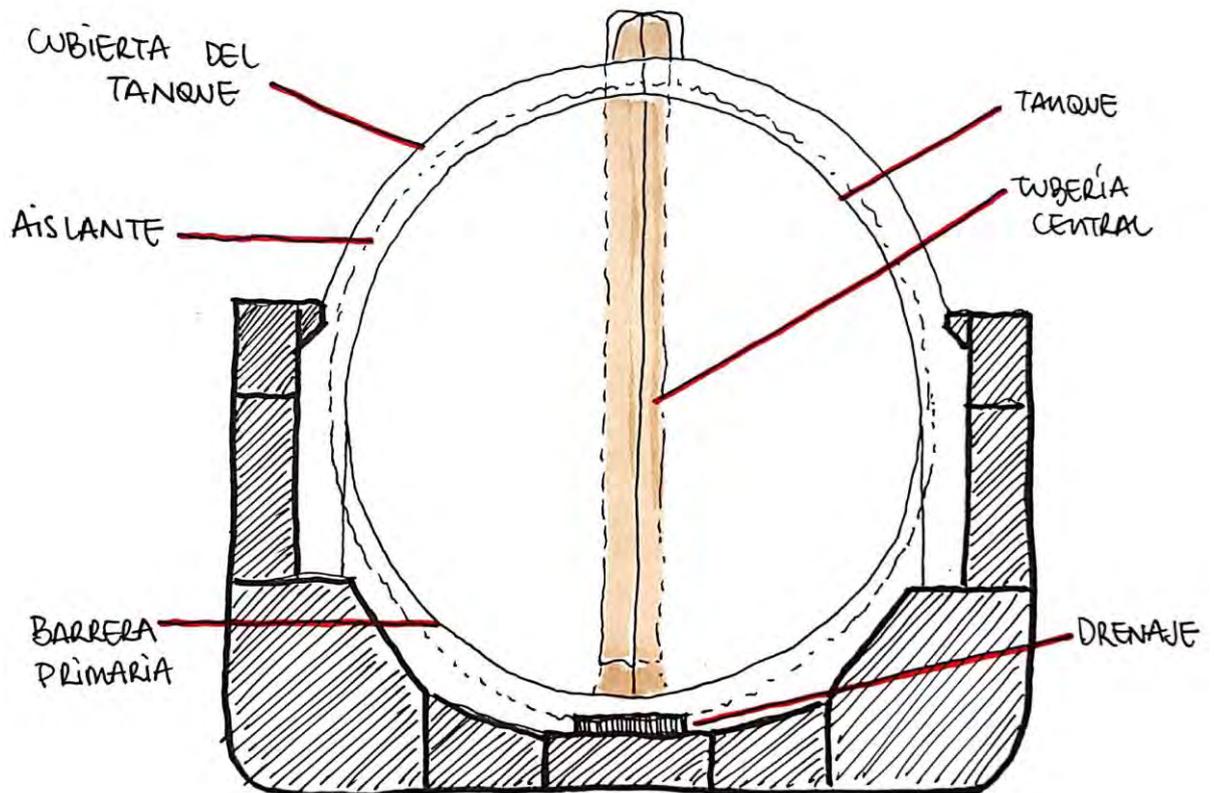


Ilustración 6 Sección transversal de un tanque tipo Moss. Fuente: elaboración propia

El sistema de contención está diseñado para poder mantener la carga de GNL a una temperatura de -161°C y poder estar aislado del casco del buque, asegurándose que el límite de la temperatura criogénica del acero del casco adyacente al tanque no es menor a -30°C , permitiendo usar acero normal. La forma esférica de los tanques reduce considerablemente el efecto del sloshing dentro del tanque.

Los tanques tipo "B", según el Código IGC, sólo requieren tener una barrera secundaria parcial comprendida de una bandeja anti goteo y una barrera para las salpicaduras. Estos tanques tipo "B" usan un aislamiento interno tipo "2" el cual se define en el código IGC como "tanques cuyo aislamiento o combinación de aislamientos funcionan como barrera primaria y barrera secundaria a la vez siendo claramente distinguidas"

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Por encima de la cubierta, el tanque se cubre por una capa de acero para protegerlo de los fenómenos meteorológicos siendo esta capa soldada a la cubierta para formar una junta hermética.



Ilustración 7 Tanque de Carga. Fuente: Veristarnews

En cuanto al tema de las dimensiones de los tanques, podemos analizar el caso de un barco de GNL de tipo Moss de 135.000 metros cúbicos y 4 tanques en el cual el diámetro de la esfera de uno de sus tanques es de 40 metros, teniendo una capacidad de 34.000 metros cúbicos, un grosor de 250 mm y una presión máxima de seguridad en su interior de 250 milibares aunque puede llegar hasta los 0,7 bares de presión en su interior incluso hasta los 1,9 bares de presión en el caso concreto de la clase Hyundai tipo Moss de 135.000 metros cúbicos de carga gracias a que el aislamiento interior de los tanques están respaldados por una apropiada estructura independiente mejorando considerablemente su resistencia a ese aumento de presión tan grande.



Ilustración 8 Construcción de una esfera. Fuente: Shell

El tanque de carga estará construido de aluminio y cada esfera tendrá un recubrimiento en el centro de 17 cm a la altura de su ecuador para poder expandirse o contraerse de una forma libre. Esta “camisa” cilíndrica está soldada como una sola parte a la estructura del casco estando diseñada para absorber las flexiones del casco. El tanque tendrá también un sistema de drenaje para poder drenar cualquier fuga hacia los espacios del aislamiento o espacios del casco adyacentes. La esfera también estará recubierta de una capa de bloques de espuma de poliuretano de entre 20 y 25 cm de grosor y que está cerrada por una capa de acero que no permite la salida de gas y que drena a una bandeja de goteo también de aluminio que se encuentra en la zona mas baja de la esfera. El grosor de esta última capa

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

de acero puede ajustarse para poder conseguir el boil-off deseado por día el cual suele rondar entre 0,1 y 0,15% del volumen total de carga por día.



Ilustración 9 Camisas centrales de los tanques esféricos. Fuente: SIGTTO

Todos los cables, tuberías, medidores de temperatura, niveles del tanque alarmas de alto nivel (95%), de muy alto nivel(98,5%) y de extremadamente alto nivel (99,3%), los detectores de gas y las bombas estarán bien fijadas dentro de la torre central la cual también se usa para descender hasta el fondo del tanque por medio de una escalera también fijada a ella.

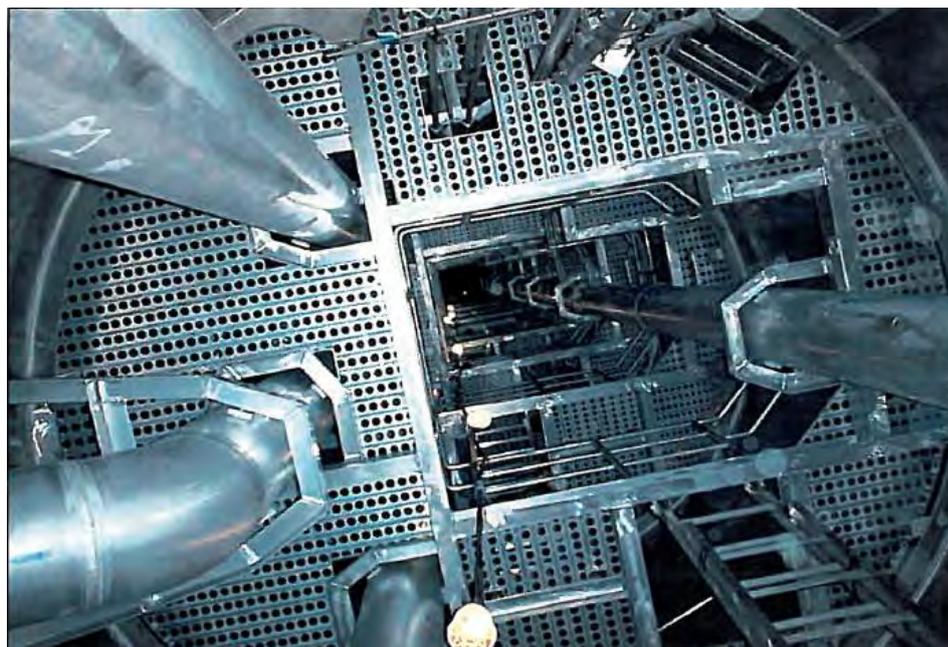


Ilustración 10 Tubería central Tanque Moss. Fuente: Shell

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Los tanques no podrán llenarse de líquido por encima del 98% salvo en ocasiones concretas dictadas por la administración después de tener en cuenta parámetros como la forma del tanque, las válvulas de seguridad, etc, llegando a ser posible cargar hasta el 99,3% en los sistema Moss (siendo del 98,5% en el caso de los tipo Membrana.)

Su carga y su descarga se realizará por medio de los manifolds que tiene en sus dos costados.



Ilustración 11 Manifold de un buque tipo Moss en Singapore. Fuente: elaboración propia

1.2 Tanque de Membrana



Ilustración 12 Buque LNG Methane Shirley Elisabeth. Fuente: www.americanhistory.si.edu

Los tanques de Membrana constan de una barrera muy fina encargada de contener el GNL y que está unido al casco por medio de unos aislantes para conservar la temperatura y que además contiene una barrera secundaria de seguridad, por lo que dicho sistema tendría dos compartimentos de seguridad rellenos con material aislante llamados barrera primaria y barrera secundaria.

Los tanques de membrana aguantan menos el exceso de presión de los tanques y también el límite del llenado que será del 98% salvo en esos casos en los que los estados de abanderamiento y las sociedades de clasificación lo permitan, basándose siempre en la media de evaporación diaria del 0,15% de la carga total de un tanque, se podrá llenar hasta el 98,5% de llenado del tanque.

Por el interior del tanque se encuentra una única estructura que sirve de acceso al interior del tanque por medio de una escalera, sirve también para soportar las tuberías y cables de las bombas de carga de las bombas de spray, de los sensores de temperatura, los niveles de capacidad y la whesoe. Todo esto entra por el llamado domo de líquido. También estos

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

tanques tienen un domo de vapor que es como un tapón en la parte superior del tanque que sirve para introducir o sacar LNG en estado gaseoso, para explayar liquido en el taque y como medida de seguridad por donde sale el gas hacia los palos de venteo si hubiese un exceso de presión en el tanque.

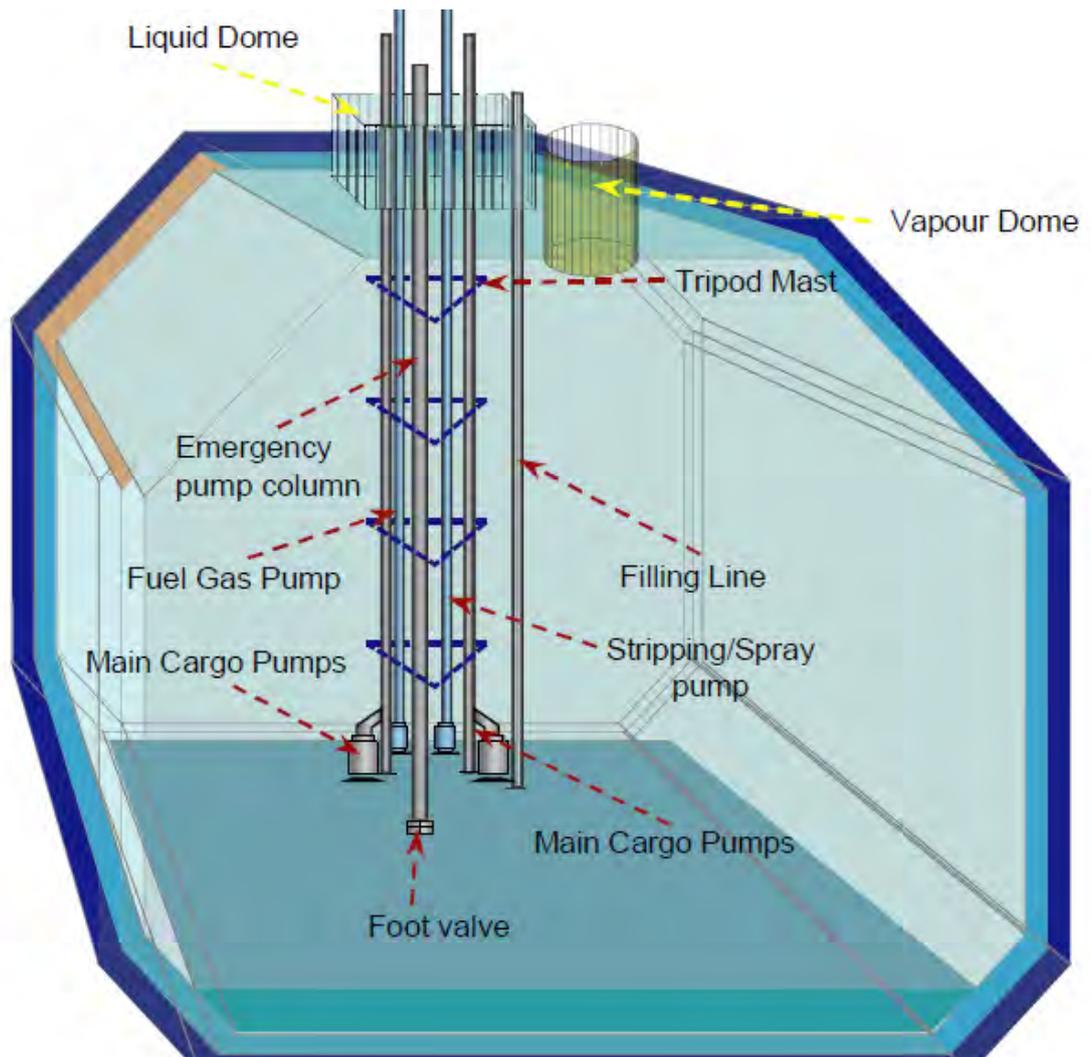


Ilustración 13 Ejemplo del interior de un tanque de membrana. Fuente: SIGGTO

El sistema de membranas que más se utiliza a día de hoy es el sistema GTT (Gas Transport and Technigaz) surgido por la fusión en 1994 de ambas compañías.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Existen tres variantes del sistema de contención de membranas: El sistema No 96 de Gaz Transport, el sistema Technigaz Mark III y el sistema CS1 que explicaré a continuación.

- El sistema No 96 de Gaz Transport. Fue introducido por primera vez en 1973 y ha evolucionado de los anteriores Nos 88, 85 y 82.

Este sistema está diseñado para buques GNL de gran tamaño cuya capacidad poder ir desde los 100.000 metros cúbicos hasta los 200.000 con un rango de boil off de $\leq 0.15\%$ por día y por tanque.

Su construcción se basa en unos tanques de carga situados dentro del casco interior separados unos tanques de otros por los cofferdams. El tanque está separado del casco por los tanques de lastre, y a su vez separados de los tanques de lastre por dos capas aislantes denominadas barrera primaria y barrera secundaria.

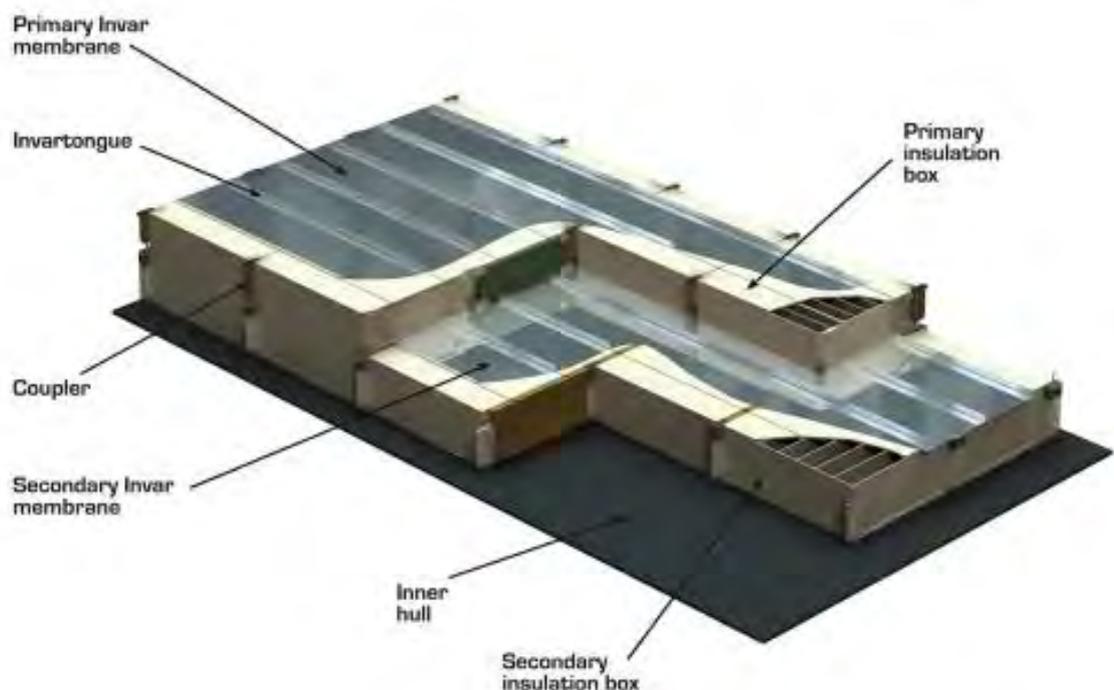


Ilustración 14 Diferencia de las dos barreras. Fuente: Marchani

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Estas barreras y la superficie interior del tanque están construidos por un material denominado Invar, una aleación de hierro al 64% y de Niquel al 36% inventado por Charles Édouard Guillaume en 1896 cuya mayor característica es que tiene un bajo coeficiente de dilatación.

La composición del Invar es la siguiente:

Ni: 35-36,5%

C: < 0,04%

Si: <0,25%

Mn: <0,2 a 0,4%

S: <0,003%

P: <0,008%

S + P: <0,02

Fe: El resto



Ilustración 15 Interior de un tanque No 96. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

La superficie interna del tanque está formado por planchas de Invar de 0,7 mm de grosor en su mayor parte, siendo de 1,5 mm de grosor en zonas donde hay ángulos o por donde penetran tuberías. La barrera primaria está formado por planchas de un grosor de 0,7 mm teniendo un espacio de aislamiento de 200 y 300 mm entre dicha barrera y la superficie interna del tanque. En ese espacio se encuentran unas cajas de madera contrachapada de abedul de 9mm de grosor que contienen bolsitas llenas de perlita que funcionan como aislante siendo un material muy ligero. Dicha perlita se proviene de roca volcánica que al ser calentada a temperaturas superiores de 800°C se transforma en bolitas muy pequeñas. Dichas bolitas se las aplica un tratamiento de silicio para que sean impermeables al agua y a la humedad. Las cajas contienen unos orificios para que pueda penetrar gas de forma libre durante las operaciones de inertado de las barreras con nitrógeno.



Ilustración 16 Cajas de madera donde van las bolsas de perlita. Fuente: elaboración propia

Esas cajas de madera de la barrera primaria van delimitadas por las planchas de Invar de la parte interior del taque por un lado y por otro lado por las lanchas de Invar de la barrera primaria.



Ilustración 17 Cajas de la barrera primaria unidas a las planchas de la barrera secundaria.

Fuente: elaboración propia

Dichas cajas en la barrera primaria irán unidas al casco interior por medio de la barrera secundaria gracias a vigas de madera, perfiles angulares y varillas que se colocan sobre la parte exterior, que es de Invar, de la barrera secundaria.

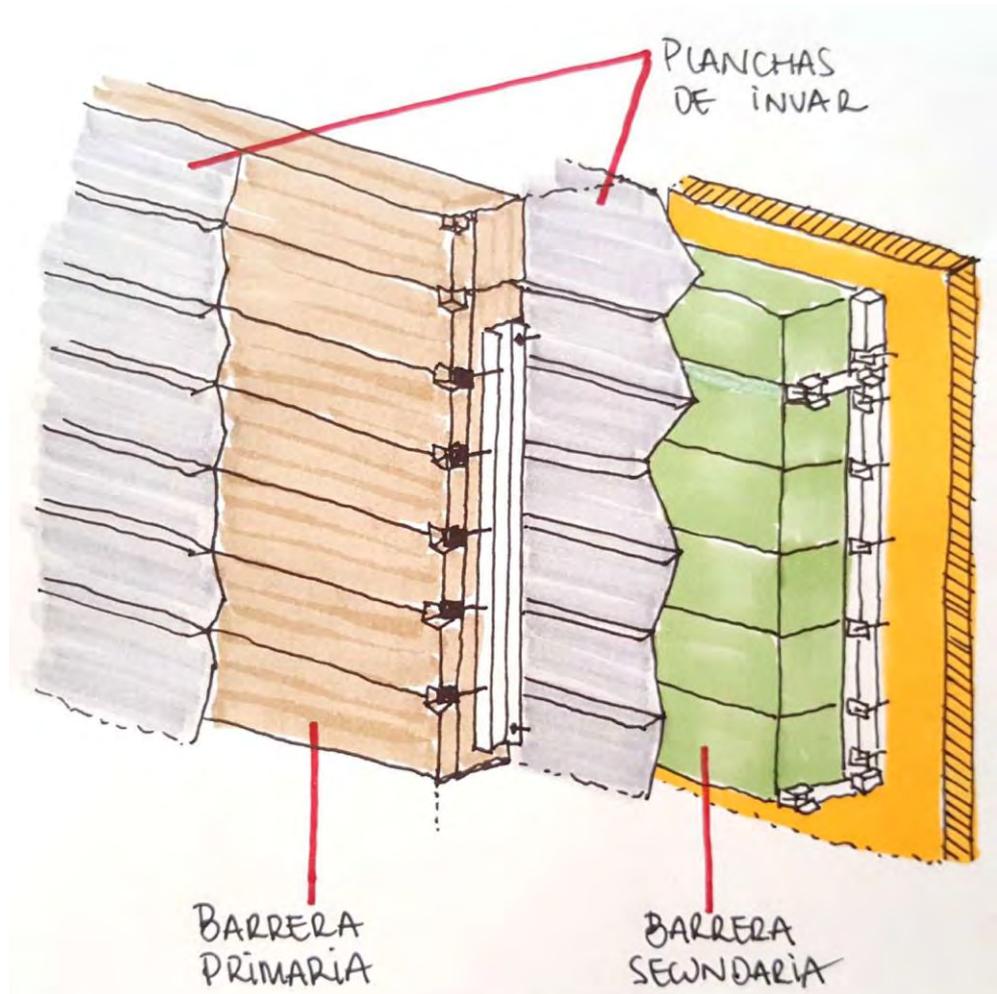


Ilustración 18 Unión de las cajas de la barrera primaria (rosa) con la barrera secundaria (verde).

Fuente: elaboración propia

Lo mismo pasará con las cajas de madera de la barrera secundaria que estarán delimitadas por un lado por las planchas de Invar de la barrera primaria y por el otro lado por la parte interior del casco por medio de varillas roscadas que a su vez están soldadas al casco interior.

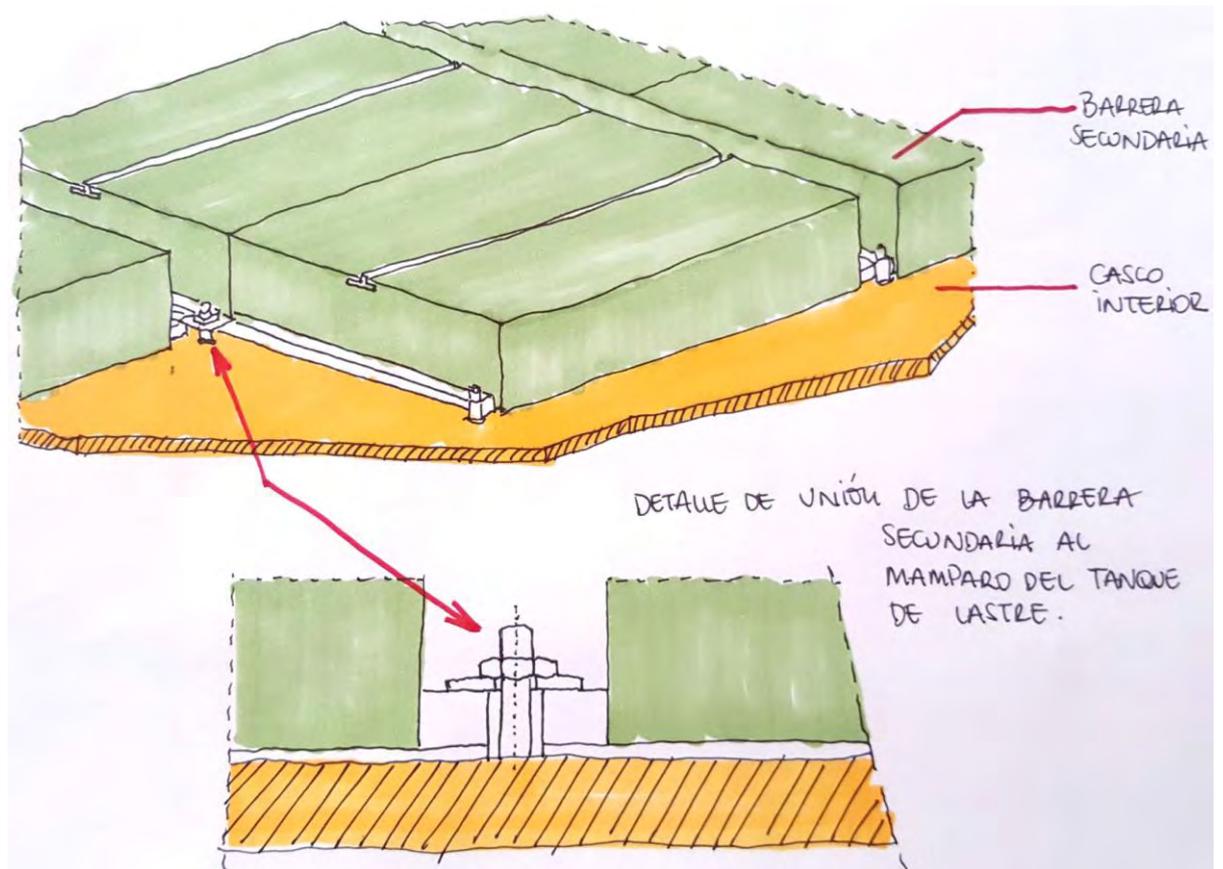


Ilustración 19 Uniones de las cajas de madera al casco en la barrera secundaria. Fuente: elaboración propia

Respecto a la barrera secundaria, es una copia de la primaria que funciona como “back up” y debe de poder contener una pérdida del tanque por un periodo de 15 días de acuerdo con el Código IGC. Ambas barreras se llenan con Nitrógeno para tenerlas inertizadas en todo momento.

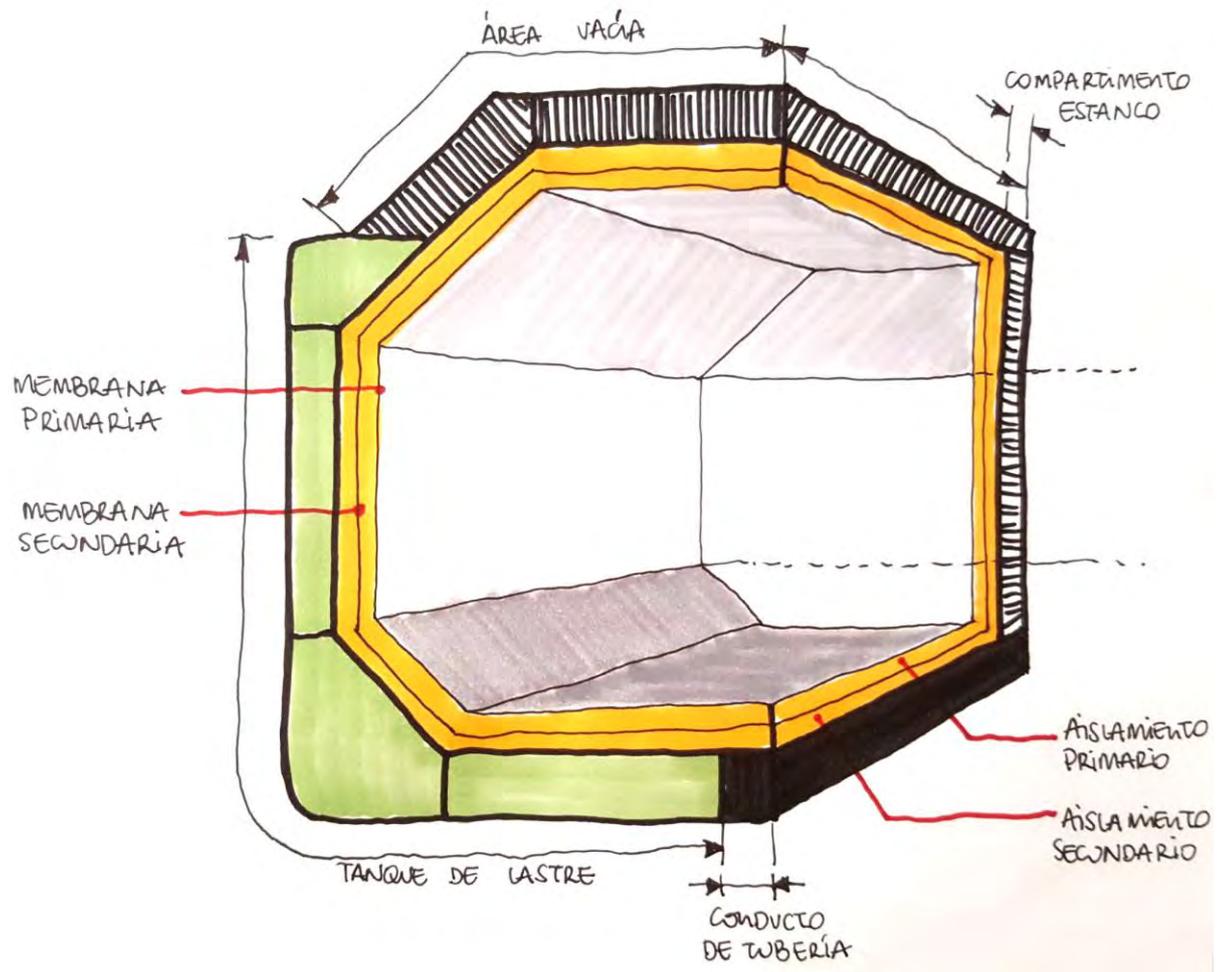


Ilustración 20 Estructura de un tanque mostrando toda su disposición. Fuente: elaboración propia

La membrana de Invar se sujeta al sistema de aislamiento de cajas por medio lengüetas en forma de L que se introducen en las cajas de madera que tal forma que quedarán unidas entre sí aunque la presión en el tanque sea inferior a la presión de la barrera primaria, siendo esto un caso anormal en el uso de las presiones pues siempre se intenta que la presión en el tanque sea superior a la presión de la barrera primaria y esta a su vez tenga mayor presión que la barrera secundaria.

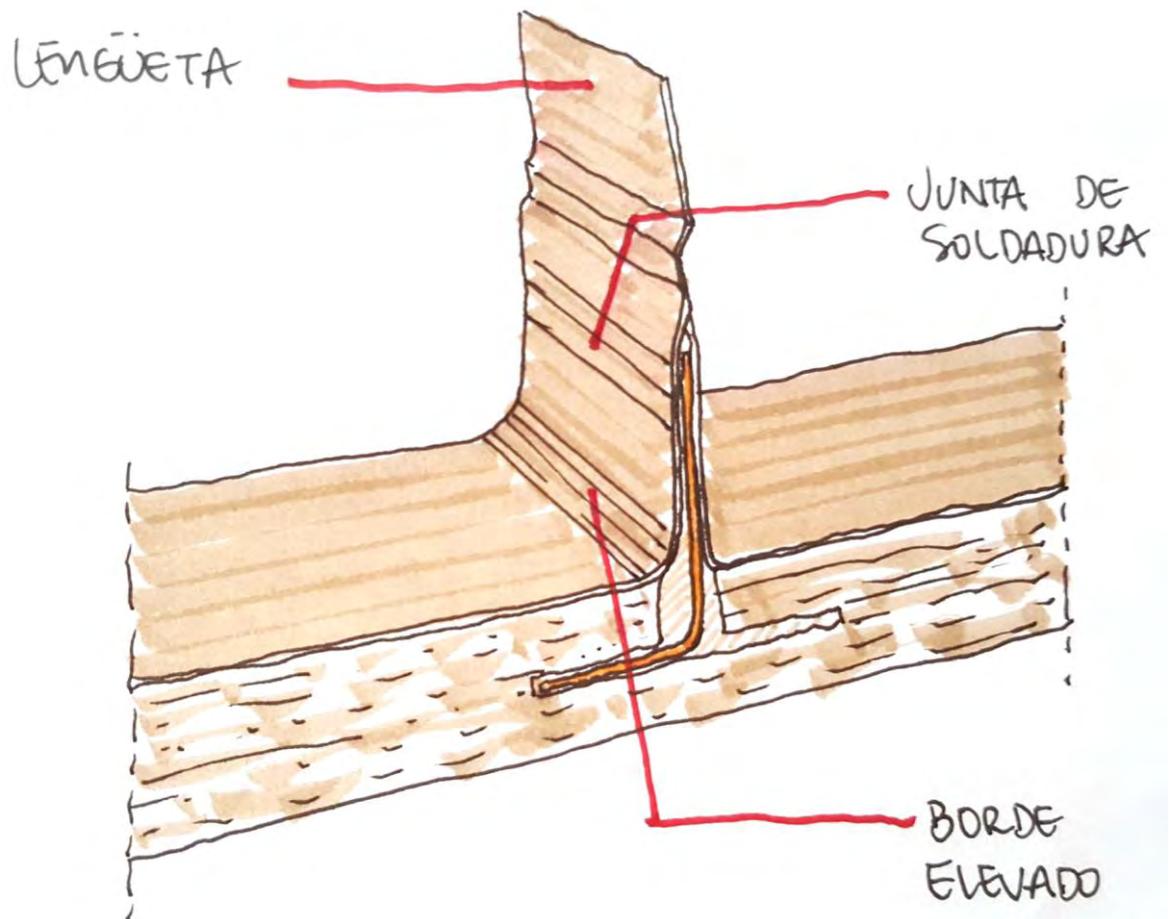


Ilustración 21 Detalle de la lengüeta de unión de las membranas. Fuente: elaboración propia

La unión entre las planchas y las lengüetas que hacen que quede todo sujeto se sueldan por medio de un robot bajo la supervisión de un operario. En las esquinas, aristas y arandelas se utiliza la soldadura tipo “filete” que es otro tipo de soldadura llevada a cabo por medio del sistema TIG. A cada caja se le hace una ranura por donde se introducirá dicha lengüeta.

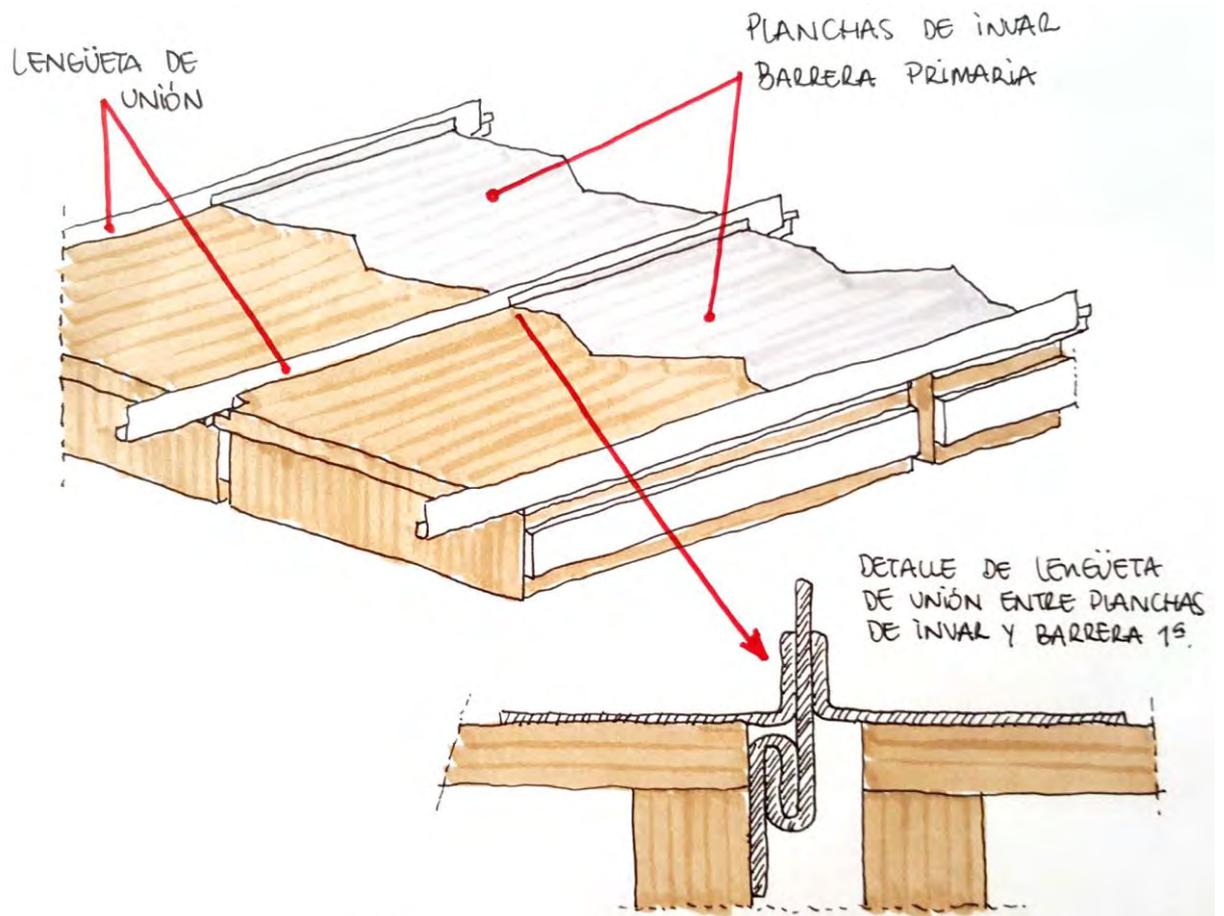


Ilustración 22 Unión de las cajas de madera a las planchas de Invar. Fuente: elaboración propia

Tanto la barrera primaria como la barrera secundaria están de forma permanente presurizadas con nitrógeno y continuamente motorizadas y controladas. El Nitrógeno fluye libremente gracias a unos agujeros que se realizan en las cajas de madera como hemos visto anteriormente. La presión en el interior de las barreras no deberá exceder en ningún momento de la presión que hay dentro del tanque.



Ilustración 23 Interior de un tanque de Membrana con sistema N0.96 a la vista el Domo de Vapor.

Fuente: elaboración propia

- El sistema Mark I y Mark III de Technigaz. Al igual que el sistema anterior, el sistema Technigaz ha sido desarrollado por los franceses con la finalidad de transportar LNG en grandes buques. Sus orígenes se remontan a los años 60 y siendo el primer buque en llevar este sistema el buque metanero Pythagore.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Al igual que en los No 96, los tanques de carga de los buques con sistema Technigaz están formados por espacios prismáticos delimitados tanto en sus costados como en el fondo por los tanques de lastre, como hemos visto anteriormente. Por la parte superior se encuentra la “trunk deck” elevada dando una característica muy significativa en estos buques completando así su forma prismática.

Estos tanques tienen la peculiaridad de ser auto-soportantes haciendo que puedan soportar por sí solos los efectos de contracción y dilatación cuando la temperatura en el interior del tanque pasa de temperatura ambiente a temperaturas de -160°C .

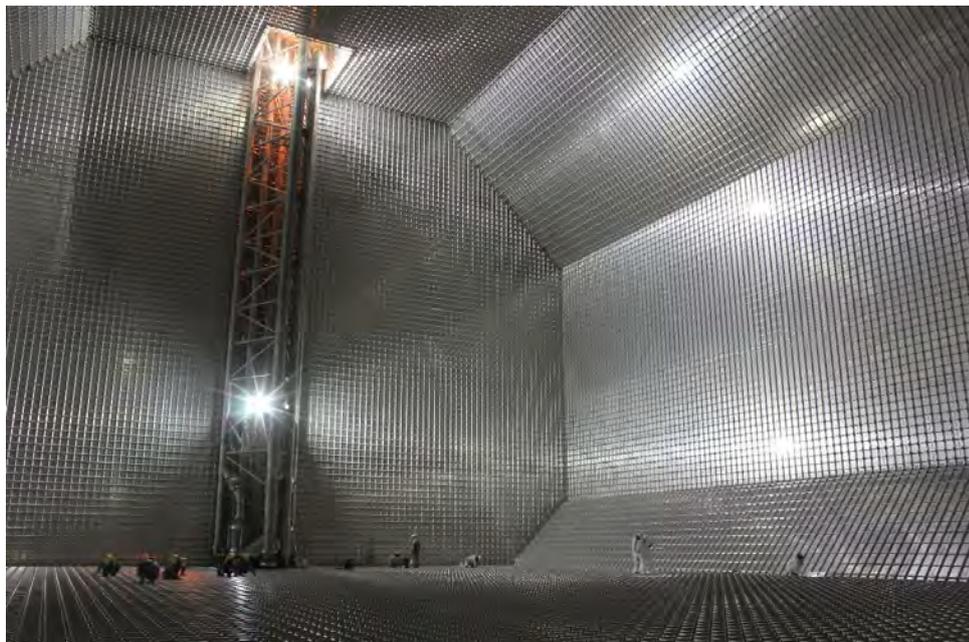


Ilustración 24 Interior de un tanque Mark III sistema Technigaz. Fuente: Technigaz

Dentro de este sistema podemos hablar de su barrera primaria la cual es su principal característica. Esta barrera primaria está construida en planchas de acero inoxidable corrugado tanto longitudinalmente como transversalmente de calidad ISO A316 (UNE 18-8-2) (recordemos que en el anterior sistema eran planchas de Invar). Esta forma corrugada es para que pueda absorber

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

los efectos dinámicos y estáticos debido a los cambios de temperatura. Un dato bastante curioso lo encontramos en el técnico que desarrolló la unión de los pliegues el cual era u técnico en papiraflexia.

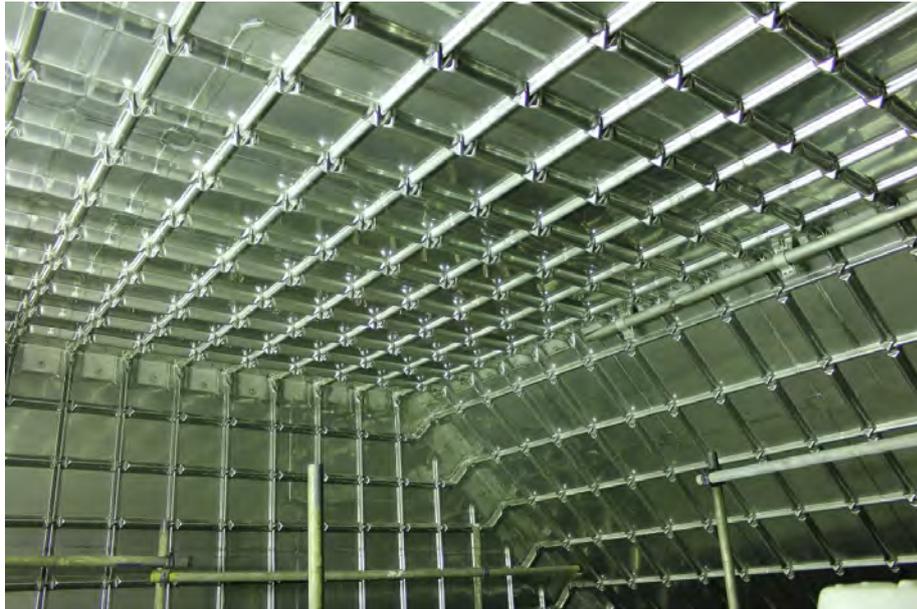


Ilustración 25 Detalle de las formas corrugadas de la barrera primaria característico de este sistema. Fuente: elaboración propia

El grosor de las planchas de acero inoxidable de la barrera primaria es de 1,2 mm, siendo este un grosor bastante considerable consiguiendo una mayor resistencia a los esfuerzos dinámicos y estáticos que se producen dentro del tanque. A las planchas son corrugadas para permitir un movimiento bidireccional aumentando de esta forma el factor de contracción del acero inoxidable.

La construcción de los tanques de carga comienza en el casco interior del buque delimitado en sus costados y en la parte inferior por los tanques de lastre, por los cofferdams a proa y a popa del tanque y por void spaces en la parte superior. Todos estos mamparos van a delimitar la forma del tanque y es en estos mamparos donde se colocarán unos listones de madera donde irán sujeta una chapa de acero.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

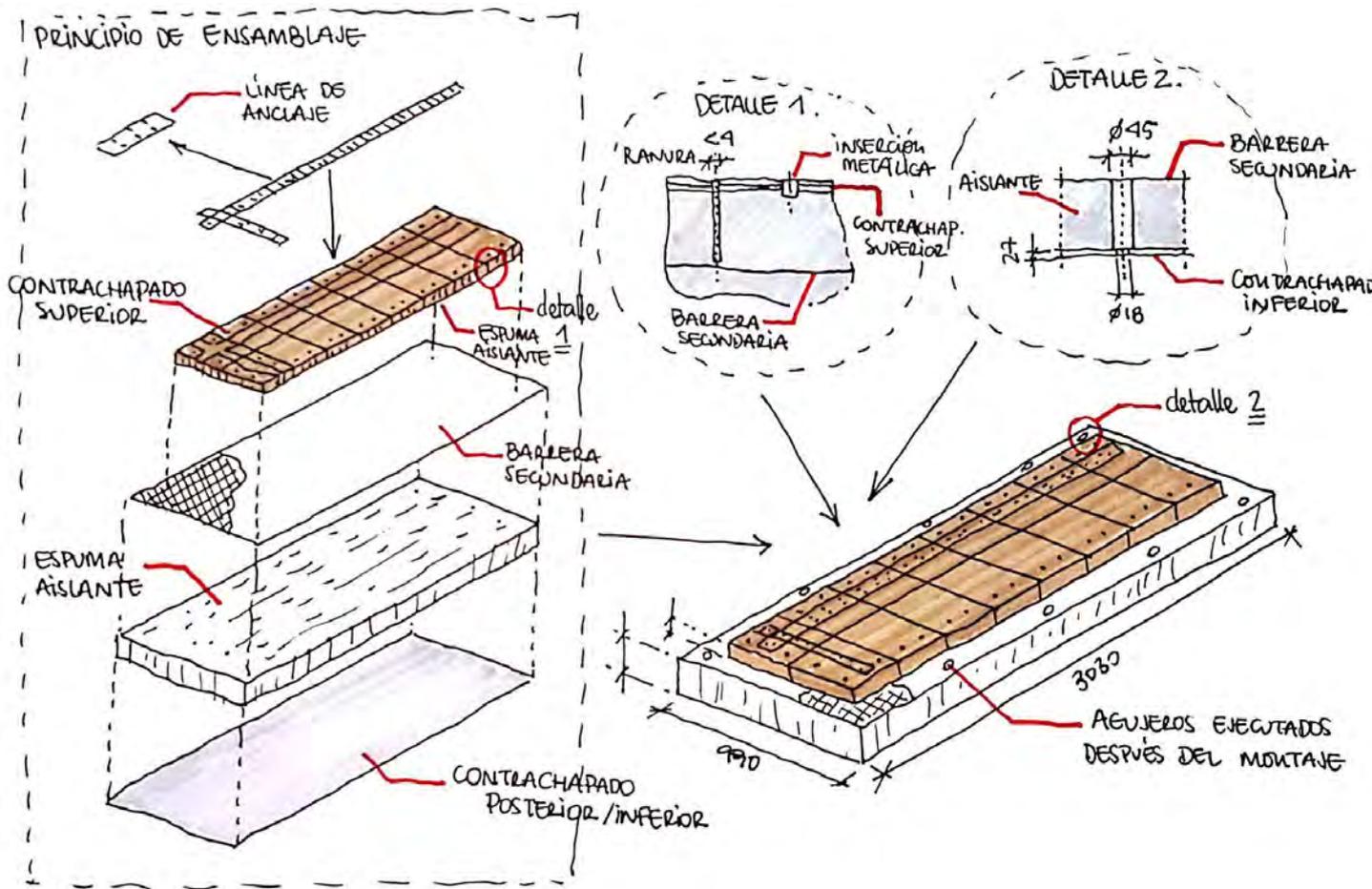


Ilustración 26 Detalle constructivo del principio de ensamblaje. Fuente: elaboración propia

El espacio creado entre los mamparos y esa chapa de acero se llena con fibra de vidrio que actuará como aislante del tanque de carga. Después, en esa chapa de acero se monta la membrana secundaria que se conoce con el nombre de espacio aislante.



Ilustración 27 Detalle de los listones donde se apoya la chapa de acero, el espacio aislante y la barrera secundaria de un sistema Mark III. Fuente: elaboración propia

Esta membrana está sujeta por medio de cuñas de PVC unidas estas a su vez a una plancha de madera impermeable que conforma la barrera secundaria. Este espacio se rellena con material aislante que permite el paso del Nitrógeno que sirve para inertizar la zona.

Por último, nos encontramos con la barrera primaria.

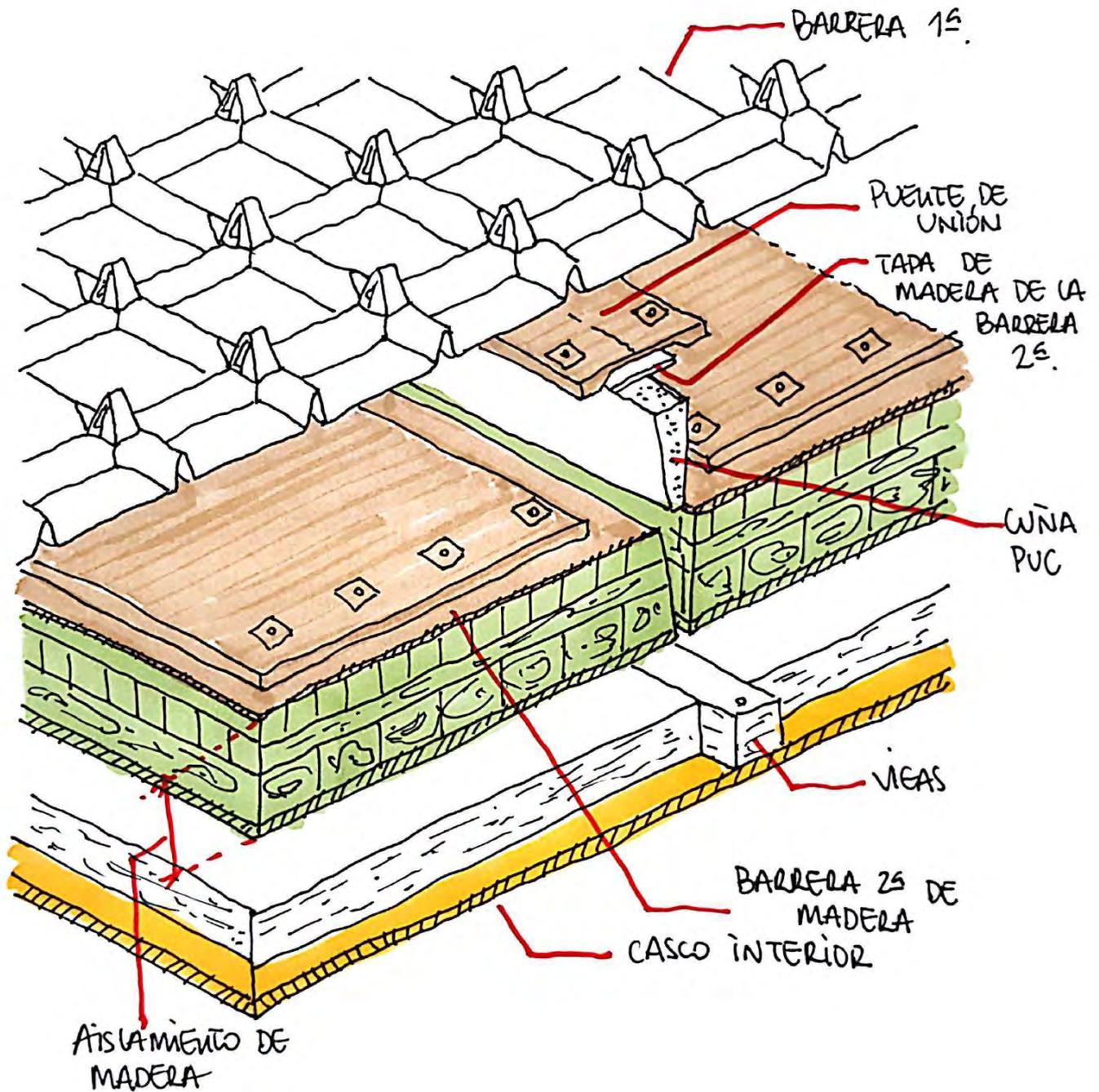


Ilustración 28 Detalle de las diferentes capas y barreras del sistema Technigaz.

Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

La barrera primaria está compuesta de una chapa de acero inoxidable corrugado de 1,2 mm de grosor bidireccional para aumentar de esta forma el factor de contracción del acero inoxidable debido a los cambios de temperatura.

La barrera primaria está anclada a la membrana primaria, o espacio entrebarreras, por medio de unos tornillos fijos que sujetan unas chapas de acero inoxidable donde se ancla la barrera primaria. Las planchas de acero inoxidable corrugado de la barrera primaria tienen unas dimensiones de 1000 mm de ancho por 1000 mm de largo soldadas entre sí por medio de soldadura TIG hasta sellar por completo el tanque. Una vez completada esta fase, se procede a asegurarse por medio de rayos X de la estanqueidad tanto a líquidos como a gases de las soldaduras.

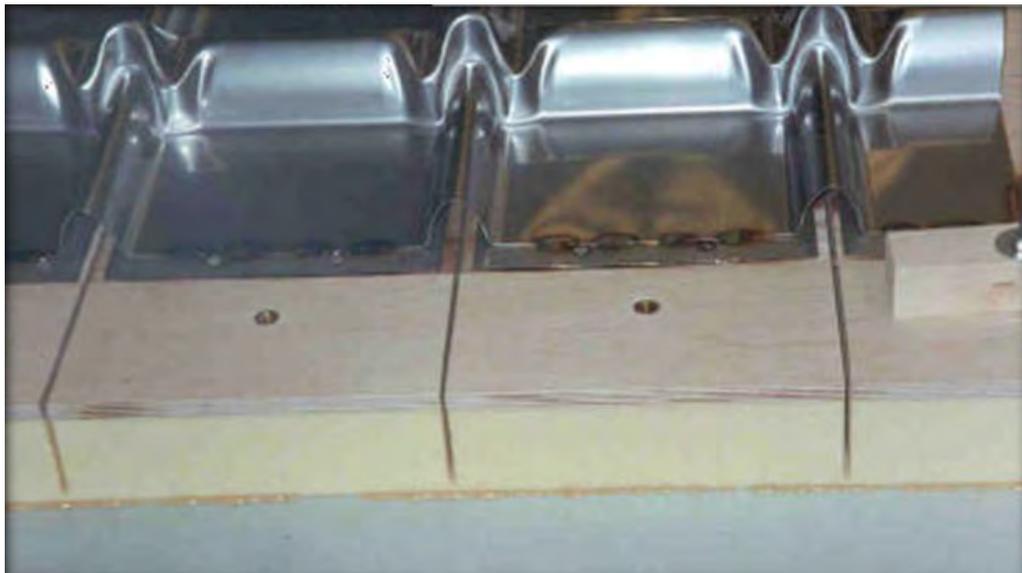


Ilustración 29 Detalle de la barrera primaria a la capa aislante. Fuente: GTT

En los primeros sistemas Mark I y Mark II, se usaba madera de balsa en forma de listones y cajas sobre las cuales descansaba la barrera primaria. No obstante, en el sistema Mark III las cajas ya no son de madera si no que son de poliuretano expandido para reducir la degradación natural que sufren materiales naturales como la madera de balsa.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

El sistema Mark III fue desarrollado para reducir el boil-off que se producía en el sistema Mark I. En este sistema Mark III, el sistema de membranas se coloca sobre una fina barrera primaria metálica la cual está anclada a la capa aislante. Después de este espacio nos encontramos con la barrera secundaria conocida como Triplex barrier (barrera triple) llamada así porque está formada por una lámina de aluminio entre dos capas de vidrio.

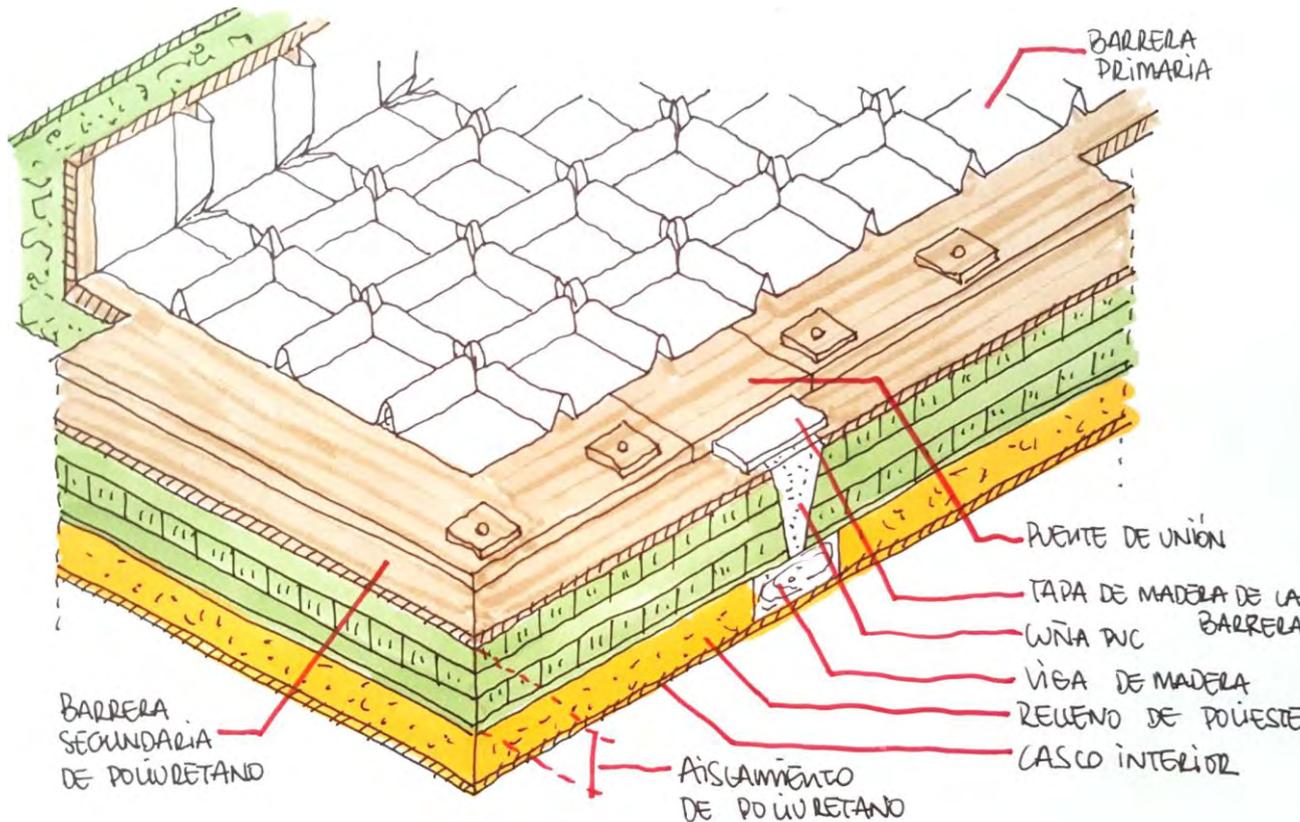


Ilustración 30 Detalle de las diferentes capas y barreras del sistema Technigaz Mark III. Obsérvese el aislamiento de Poliuretano. Fuente: elaboración propia.

Gracias a este sistema, se están construyendo buques con una enorme capacidad de carga llegando a cargas superiores de 250.000 m³ como es el caso del buque Rasheeda perteneciente a QatarGas pudiendo cargar hasta 266.000 m³.



Ilustración 31 Buque Rasheeda. Fuente: Vessel finder

Hay que decir que este sistema también consta de un domo de líquido, un domo de vapor y una torre interna para soportar las bombas, cableado y accesos al fondo del tanque igual que el sistema del No 96.

Cabe decir que este sistema reduce considerablemente el proceso de construcción gracias a la posibilidad de prefabricar las láminas y las partes de aislamiento.

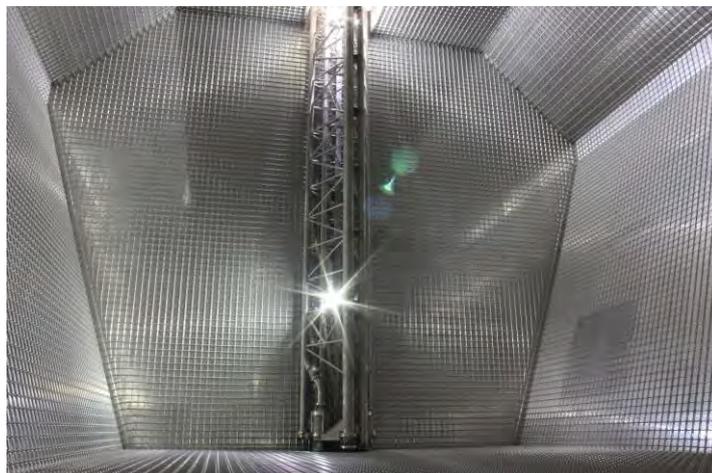


Ilustración 32 Interior de un tanque de carga con el sistema Mark III. Fuente: GTT

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Y el sistema combinado CS1 de GTT. Este sistema es una combinación de los sistemas No96 y del sistema Mark III explicados anteriormente siendo la novedad que el grupo GTT ha introducido en la construcción de buques LNG.

El sistema CS1 lo que va a hacer es acumular las ventajas de los sistemas No96 y del sistema Mark III las cuales son:

- Utilizar la espuma de poliuretano como aislante, utilizado en el sistema Mark III.
- Rapidez en la construcción gracias a la prefabricación.
- Reducción de los costes en la instalación de los paneles de la barrera primaria.

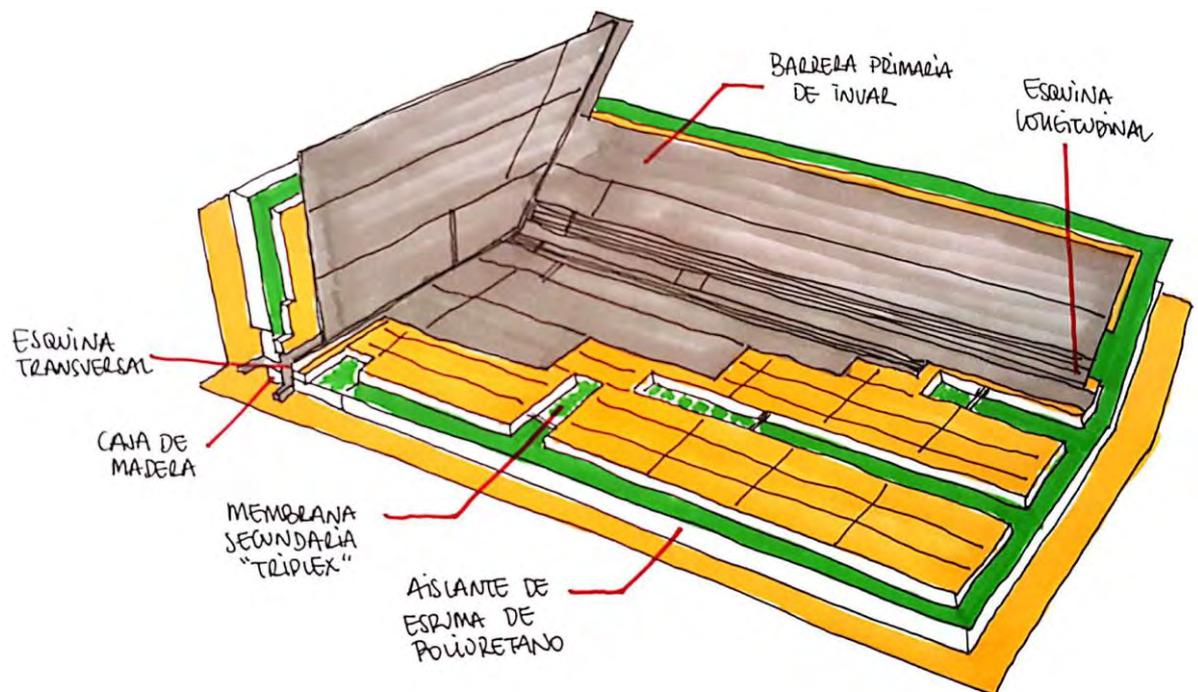


Ilustración 33 Detalle del interior de un tanque CS1 SIGTTO. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

En el sistema CS1 usa dos membranas siendo el material de la primera membrana Invar y teniendo un grosor de plancha de 0,7 mm de grosor como el sistema No 96. Las planchas de Invar tienen unas dimensiones de 500 mm de ancho y se extienden a lo largo de las paredes del tanque estando fijadas al aislamiento primario. La barrera secundaria es una membrana triple formada por aluminio y fibra de vidrio como el sistema Mark III.

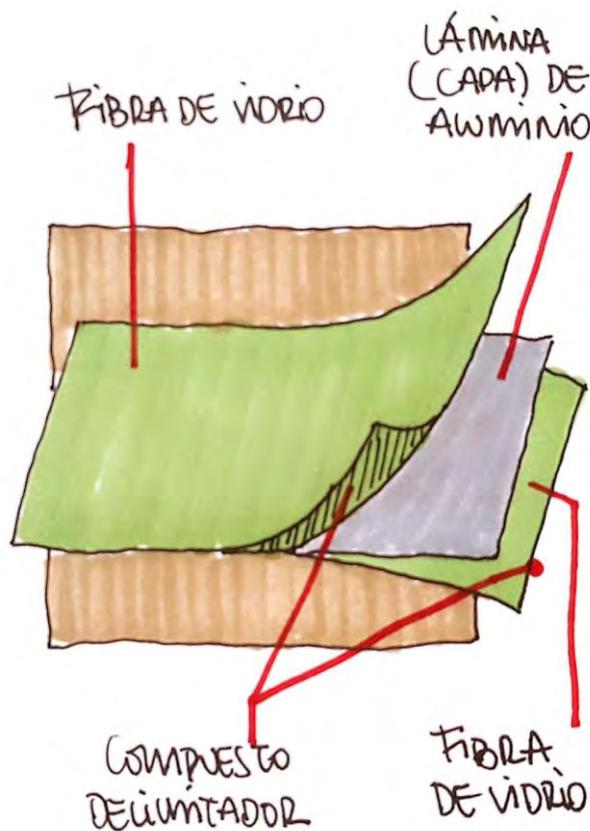


Ilustración 34 Detalle de la composición de la membrana secundaria triple. Fuente: elaboración propia

El aislante será copiado del sistema Mark III siendo bloques prefabricados de espuma de poliuretano. Dicha espuma de poliuretano es la mitad que el sistema del que sale, consiguiendo de esta forma aumentar hasta en un 5% la capacidad de carga de los tanques. La reducción de los costes llega a ser de hasta un 15% lo que le hace un sistema muy atractivo para la industria.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

1.3 Tanque SPB

El sistema SPB (Self-supporting, Prismatic Shape, IMO Type-B) es otro Sistema de contención de la carga de un metanero desarrollado por Ishikawaima Harima Heavy Industries (IHI). Aunque se remonta a principios de los años 80, no han conseguido mucho éxito.

Gracias al diseño de este buque, solo requiere una barrera secundaria parcial.

La principal ventaja de este sistema es que el tanque de carga está situado bajo la cubierta maximizando de esta forma todos los espacios bajo cubiertas al no tener formas angulares por sus costados.

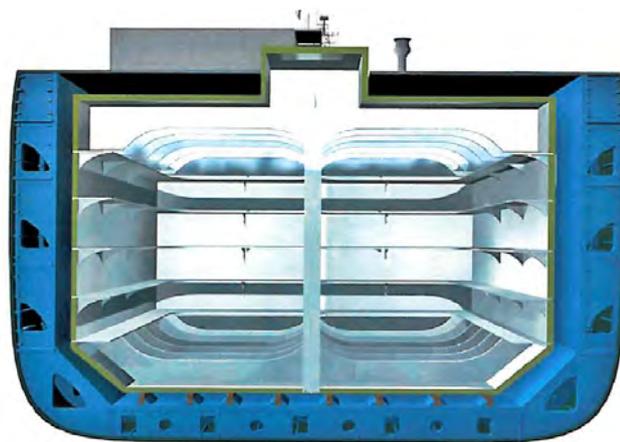


Ilustración 35 Interior de un tanque SPB. Fuente: SIGTTO

Los tanques están contruidos en aluminio con un grosor de entre 15 y 35 mm teniendo vigas horizontales y uniones curvas en las esquinas del fondo del tanque para reducir los efectos del sloshing para cualquier capacidad de carga del tanque.

Los tanques de aluminio tienen un sistema aislante que consiste en un forro de madera contrachapada relleno con espuma plástica con una capa superficial de 25 mm que actúa como barrera secundaria y que puede contener cualquier fuga de LNG por un periodo no inferior a 15 días. Este espacio se rellena con un sistema de detección de gas.

II.2.3.- Herramienta III: Conocimientos descriptivos sobre los sistemas de carga y descarga

En este apartado trataré todos aquellos sistemas que intervienen en un proceso de carga y de descarga de un buque metanero. Para esta explicación me centraré en los equipos de un barco con sistema de contención tipo membrana, que son los más comunes hoy en día siendo el sistema favorito en los buques de nueva construcción. Si bien, el resto de tipos de buques de GNL tienen los mismos sistemas con alguna diferencia en su colocación.

6.1. Sistema de líneas de carga

La carga líquida se carga y se descarga por medio de los manifolds, los cuales se encuentran en la zona central del barco teniendo uno a estribor y otro a babor. Suelen tener un total de 5 conexiones a cada banda de las cuales 4 se utilizan para la carga y la descarga de la carga y una quinta conexión es para la salida o entrada de GNL en estado vapor. Esta tubería, la del estado de vapor, estará conectada a tierra y recibirá GNL en estado vapor en el momento de la descarga del material a tierra para evitar que se genere vacío dentro de los tanques de carga al descargar el material. En el caso contrario, o sea, en la carga de GNL por medio de la terminal a los tanques, la conexión del brazo de vapor enviará GNL en estado vapor para evitar el efecto contrario, es decir, la sobrepresión dentro de los tanques de carga.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG



Ilustración 36 Ejemplo de Manifold con 4 conexiones de líquido y una (la central) de vapor.
fuente: elaboración propia

Como ejemplo para entenderlo mejor, sería como si bebiendo de una botella de agua sólo nos dedicamos a absorber todo el agua de dentro sin dejar que entre aire dentro de la botella, esto hace que se genere vacío dentro de la botella y se comprima, lo contrario pasará si nos dedicamos a introducir agua dentro de una botella sin dejar que el aire de dentro salga, generando un exceso de presión dentro de la botella. La forma de evitar esto sería hacer un agujero o dejar algo de hueco cuando bebemos de la botella, pues bien, esta es la función del brazo de vapor en un buque GNL.



Ilustración 37 Manifold de estribor de un buque. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Desde los Manifolds, las líneas recorren toda la “Trunk deck” que es la cubierta que va sobre los tanques de carga, hasta llegar a cada tanque, donde se introduce por el domo de líquido de cada tanque y también se conecta a los domos de vapor de cada tanque lo cuales están conectados entre sí por medio de la línea “Vapour Header” que recorre de proa a popa toda la “Trunk deck” hasta la conexión de vapor del manifold. La línea “Vapour header” es la encargada también de expulsar a la atmósfera el exceso de boil-off generado dentro de un tanque por medio de los palos de veteo. El venteo se suele hacer por el palo que esté mas a proa para alejar lo máximo posible la descarga a la atmósfera de la zona de la habilitación.

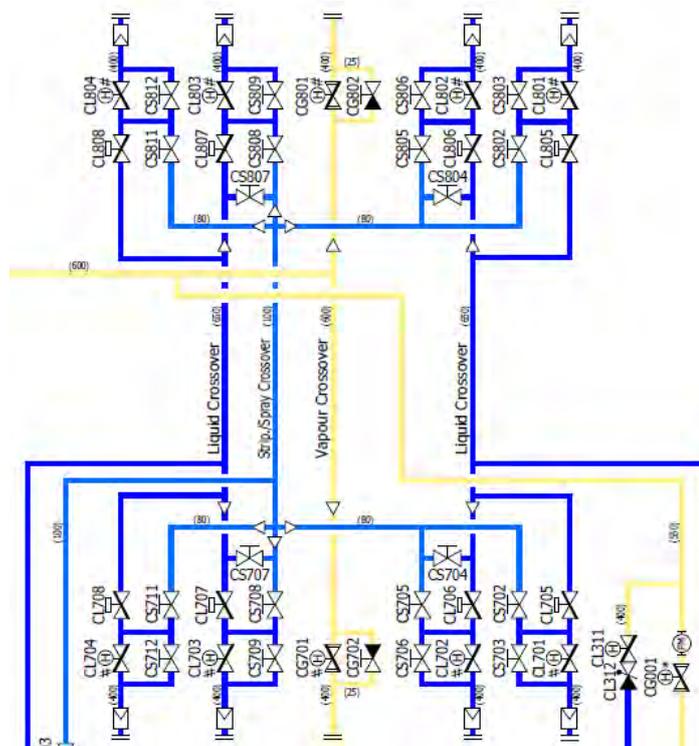


Ilustración 38 Representación de manifolds en un plano. La línea amarilla es la conexión de vapor. Fuente: IAS

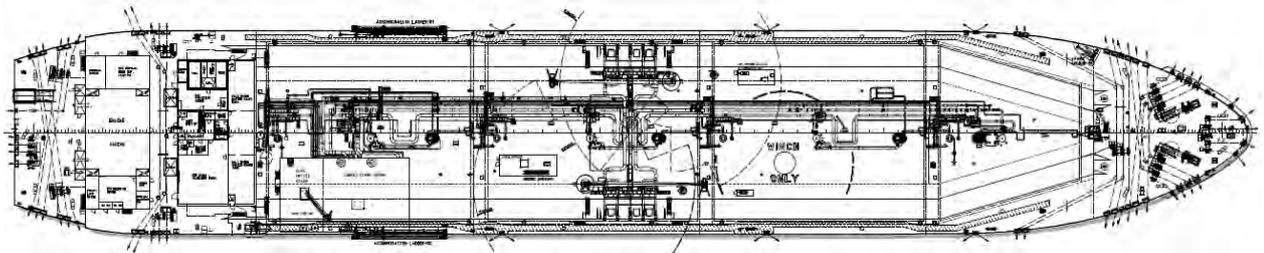


Ilustración 39 Vista superior de un buque GNL donde se aprecian las líneas que recorren la Trunk Deck y los Manifolds Fuente: Manual metanero

En definitiva, las líneas son tuberías construidas en metal criogénico para poder soportar temperaturas de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin dañarse que recorren toda la “Trunk Deck” estando reforzadas de fibra de vidrio y que unen los Manifolds, los tanques, los palos de venteo, los compresores de alta y de baja presión, los vaporizadores y el gas que se transporta a la máquina. También nos encontramos por la Trunk Deck con las líneas de nitrógeno que van conectadas a las barreras primarias y secundarias de cada tanque.

Todos los tanques quedan conectados entre sí tanto por la línea de líquido como por la línea de gas.



Ilustración 40 Detalle de líneas en una Trunk Deck. También se ven los palos de venteo, los Manifolds y el cuarto de compresores. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Importante decir que las líneas de carga/descarga, no se fijan a la cubierta, si no que se apoyan en unas estructuras que las dejan una pequeña libertad de movimiento. Esto se hace pensando en evitar la rotura por posibles dilataciones en las líneas. El material en el que van apoyadas es de teflón.



Ilustración 41 Detalle de fijación de una línea a la cubierta. Donde apoya se encuentra el teflón.
Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

En las líneas también nos encontramos unos anillos de expansión, que funcionan como muelles ante las contracciones y expansiones de la misma.



Ilustración 42 Detalle de los anillos de expansión de línea de nitrógeno. Fuente: elaboración propia



Ilustración 43 Anillos de expansión justo antes de llegar al palo de venteo. Fuente: elaboración propia.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Las líneas de líquido van serpenteando por la cubierta haciendo formas de “u”. esto se hace con la misma finalidad, que ayude a sofocar las tensiones que se producen durante las contracciones y dilataciones.

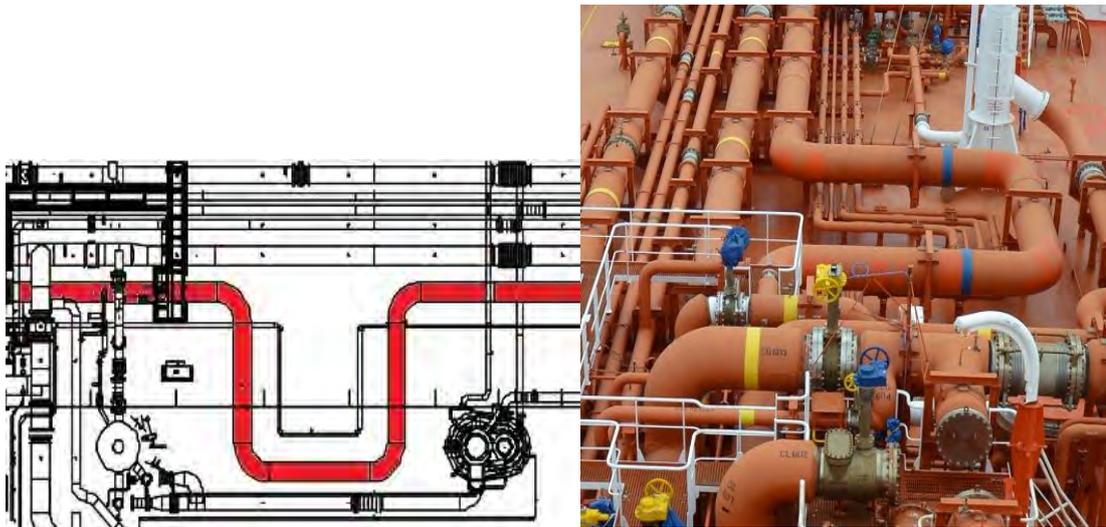


Ilustración 44 A la izquierda, detalle de un plano donde aparece la forma “U” de la Línea de líquido en un punto medio. a la derecha, detalle de la misma “U”. Fuente: elaboración propia

Las Principales líneas que recorren la “Trunk deck” son las siguientes:

- Línea de líquido. Se diferencia del resto por ser la de mayor diámetro, por ella se cargan los tanques o se descarga a la terminal el LNG en estado líquido. Son de acero inoxidable criogénico.



Ilustración 45 Línea de líquido a la altura del Manifold. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Línea de Stripping o Spray Header. También son de acero inoxidable criogénico. Es una línea de poco grosor que llega hasta los manifolds y penetra en todos los tanques por los domos de líquido. Esta línea es fundamental pues tiene diferentes funciones; por un lado es la encargada de transportar LNG en estado líquido al “In-line Mixer” donde se expulsa el LNG en el Boil-off para aumentar y mejorar las propiedades del “gas a la máquina”. Por otro lado, la línea de spray comunica el domo de líquido con el domo de vapor, en este caso se hace para pulverizar LNG en los tanques con diferentes propósitos como el aumentar la presión dentro del tanque para conseguir más “Boil-off” o para enfriar los tanques antes de realizar una carga. También es la línea por donde la “bomba de Stripping” aspira LNG del tanque para su descarga a la terminal cuando queda muy poco material y las bombas de descarga no pueden seguir funcionando.



Ilustración 46 Línea de Spray introduciéndose en un tanque por el domo de Líquido. Fuente: elaboración propia.

- Línea de vapor. Como he explicado anteriormente, esta línea conecta todos los tanques entre sí con los domos de vapor de cada tanque y con los manifolds a sus extremos, su función durante la carga es la de enviar LNG en estado vapor de vuelta a la terminal para reducir la presión dentro del tanque mientras se llenan de LNG líquido, en el caso de la descarga, se introduce LNG en estado de vapor a los tanques para que

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

la descarga de LNG en estado líquido no genere vacío. Es una línea fundamental pues es la encargada de enviar el “boil-off” desde los domos de vapor de los tanques a los compresores que funcionará como el combustible del buque. Visualmente son prácticamente iguales que las líneas de líquido.



Ilustración 47 Líneas de Vapor (en amarillo) líneas de líquido (Azul) Son prácticamente iguales.
Fuente: elaboración propia



Ilustración 48 Línea de Vapor conectada a un Domo de Vapor. Fuente: elaboración propia

- Línea de Venteo. Durante una operación normal, la presión en los tanques es controlado por medio del Boil-off en los motores que es usado como combustible o en la GCU (Gas Combustion Unit) donde se quema el exceso de boil-off. Como seguridad, la presión en los tanques la controlamos por medio del palo de venteo de más a proa, aunque por cuestiones de seguridad, si la presión en los tanques llega a ser excesiva, cada tanque tiene un palo de venteo conectado al domo de vapor, por el cual se abre una válvula de seguridad y reduce la presión hasta que vuelva haber una presión segura dentro del tanque.



Ilustración 49 Válvula de seguridad que conecta el domo de Vapor con el palo de venteo. Fuente: elaboración propia



Ilustración 50 Palo de venteo venteando LNG por exceso de presión dentro de un tanque.
Fuente: elaboración propia

- La línea de nitrógeno. Son las encargadas de nitrogenar las barreras tanto primaria como secundaria de todos los tanques recorriendo toda la cubierta y estando también conectadas todas las barreras entre sí. Si en las barreras hubiese un aumento de presión, tanto la barrera primaria como la barrera secundaria tienen unas seguridades. La seguridad de la barrera secundaria es un pequeño palo de exhaustación. En cuanto a la barrera primaria, con un exceso de presión se abriría la válvula de seguridad y enviaría ese exceso de presión al palo de venteo.



Ilustración 51 Línea de Nitrógeno con piano de válvulas de salida. Fuente: elaboración propia.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Línea de gas inerte. Comunica el gas inerte hacia los tanques de carga, los tanques de lastre y la Duct Keel.



Ilustración 52 Línea de gas inerte. Fuente: elaboración propia



Ilustración 53 Línea de gas inerte que se introduce en los tanques de lastre y en el Duct Keel. Fuente: elaboración propia.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- La última gran línea que tenemos recorriendo la “trunk deck” es la “Gas Header”. Es una línea que se utiliza en operaciones especiales como por ejemplo para hacer inerte los tanques, procesos que se hacen sólo en astillero. Al no ser muy utilizadas, se encuentran aisladas por bridas ciegas y para poder ser operadas han de conectarse por medio de codos a la línea de vapor para desarrollar la operación requerida y al palo de venteo de mas a proa.

Aunque todas las líneas conectan entre sí a todos los tanques con diferentes espacios como puedan ser los palos de venteo o con los compresores, se encuentran a su vez aisladas y divididas por medio de válvulas las cuales cerramos y abrimos en función de los espacios que queremos conectar.



Ilustración 54 Válvula de una línea de líquido. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 55 Válvula en una línea de líquido en la Trunk Deck. Fuente: elaboración propia.

Las válvulas de las líneas tienen una forma alargada que las caracteriza. Esta forma tiene su razón de ser pues son válvulas criogénicas para aguantar temperaturas extremas sin que su operatividad se vea afectada.



Ilustración 56 Válvulas criogénicas. Fuente: elaboración propia.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.2. Control de presión de los tanques.

Para proteger los tanques de carga de una sobre presión debido al boil-off que se genera de forma natural en su interior, se envía al GCU (Gas Combustios Unit) o se envía a la atmósfera por medio de los palos de venteo.

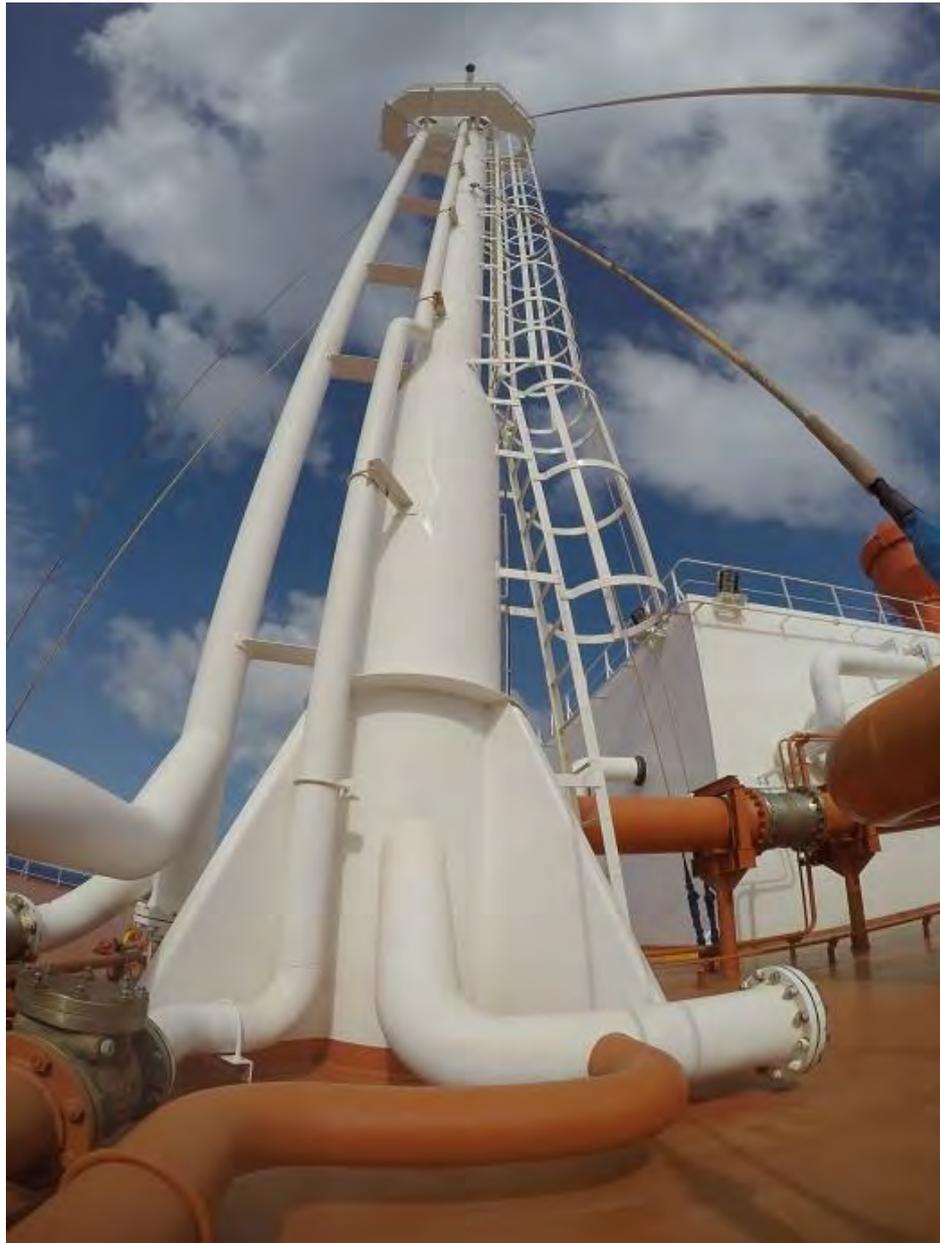


Ilustración 57 Palo de Venteo. Fuente: elaboración propia.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

El compresor LD (Low duty) será el encargado de suministrar el boil-off que se genera de forma natural hacia la GCU y hacia la máquina, donde se usará como combustible. Si la máquina requiere menos boil-off para su funcionamiento, la presión en el “Vapour header” va a aumentar para lo que tendremos que arrancar la GCU (Gas Combustion Unit) para que se quemese ese exceso de boil-off que no se va a usar y que se está generando de forma natural en nuestros tanques.



Ilustración 58 Por donde se expulsa el LNG ya quemado en la GCU. Fuente: elaboración propia

Se puede dar el caso contrario, es decir, el déficit de presión suficiente, en este caso, para proteger a los tanques de una reducción considerable de presión, la máquina empieza a utilizar FO (Fuel oil) como combustible. Realmente, de darse el caso en el que la máquina esté funcionando con NBO (natural boil-off) y se da una reducción de presión del gas que va a la máquina, de forma automática los motores empiezan a consumir DO (Diesel oil) sin ni siquiera interrumpir el normal funcionamiento de los motores. Una vez esté preparado, empieza a consumir FO (fuel oil). No obstante, el Forcing Vaporiser arrancará antes de que esto suceda. Un buen operario tiene que darse cuenta de que todo esto pase controlando la presión que hay dentro de los tanques. Si viese que esa presión es demasiado baja, habrá que esprayar por medio de la Stripping Pump el interior de los tanques

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

para producir un aumento de presión dentro de los tanques y por lo tanto el boil-off aumente.

Por lo tanto, como acabo de explicar, el control de la presión dentro de un tanque se controla por medio de:

- Palo de venteo
- GCU (Gas Combustión Unit)
- Modo de prevención automático por descenso de presión.
- Monitorización por medio de un operario.

6.3. Domo de Líquido y Domo de Vapor

La entrada y salida de las líneas en los tanques se hacen por medio de los domos. Cada tanque tiene un domo de vapor y un domo de líquido.

Por el domo de líquido es por donde se accede al interior del tanque por medio de una estructura en forma triangular en la que se fijan las líneas y las bombas (de descarga, de stripping, Fuel/gas y la de emergencia).



Ilustración 59 Domo de líquido con las líneas entrando en él. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Está cerrado por un tapón hecho del material del tanque (INVAR o Inox) y relleno de cajas de madera con perlita. Por el Domo de líquido se introduce en el tanque el LNG en estado líquido. También es usado en operaciones de astillero en las que también pasa por sus líneas gases (gas inerte).



Ilustración 60 Tapón de un domo de Líquido. Fuente: elaboración propia.

El domo de vapor es por donde se aspira el boil-off (por los compresores), por donde se espraya LNG para aumentar la presión dentro del tanque, por donde se expulsa LNG en estado vapor por el palo de venteo si se produjese un aumento de presión dentro del tanque o en operaciones de inertado. El domo de vapor se diferencia del domo de líquido en su forma cilíndrica que sobresale de la cubierta, es como el tapón de una botella.



Ilustración 61 Domo de Vapor Fuente: elaboración propia

6.4. IAS (Integrated Automation System)

El IAS es un sistema de control monitorizado que debido a su flexibilidad cubre un ancho rango de aplicaciones y diferentes tipos de barcos.

El IAS es un conjunto de hardware y de software que controlan diferentes procesos que ocurren en el barco conectándolos, controlándolos y monitorizándolos.

Los procesos que controla el IAS son los siguientes:

- El control de la carga.
- La monitorización de la propulsión.
- Los Compresores, los Heaters y los Vaporisers.
- Monitorización de la sala de máquinas.
- Alarmas.
- El sistema de potencia.
- El lastre.

Todo esto se monitoriza desde diferentes pantallas que hay en el buque, las cuales están en el puente de mando, en la sala de control de la máquina y en el control de la carga.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.5. Bombas de carga

Se encuentran dentro de los tanques de carga. En todos tenemos el mismo número de bombas con la salvedad de los tanques más a popa, que son los que tienen las bombas de Fuel/Gas

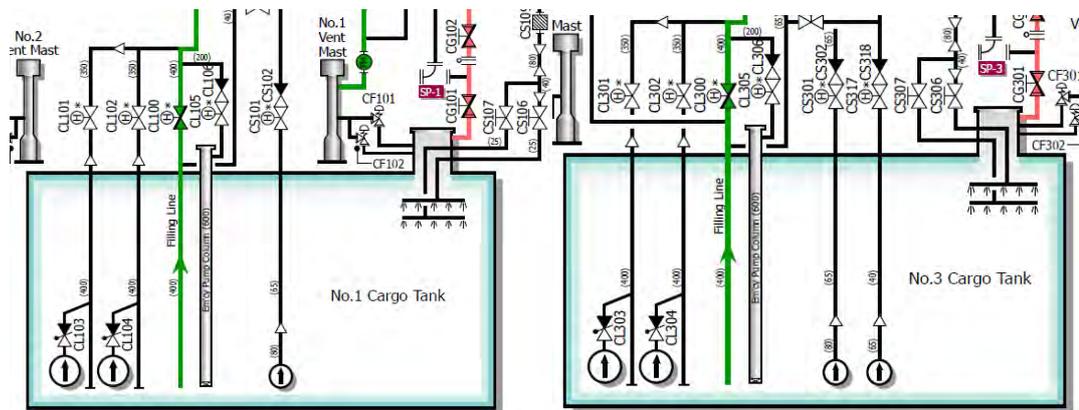


Ilustración 62 Detalle de las bombas del tanque de carga número 1 a la izquierda y del número 3 a la derecha. Fuente: elaboración propia

6.5.1. Bombas principales de carga

Los tanques de carga tienen 2 bombas para la descarga de sus tanques. Estas bombas son centrífugas y verticales de una sola fase que funcionan con un motor eléctrico.

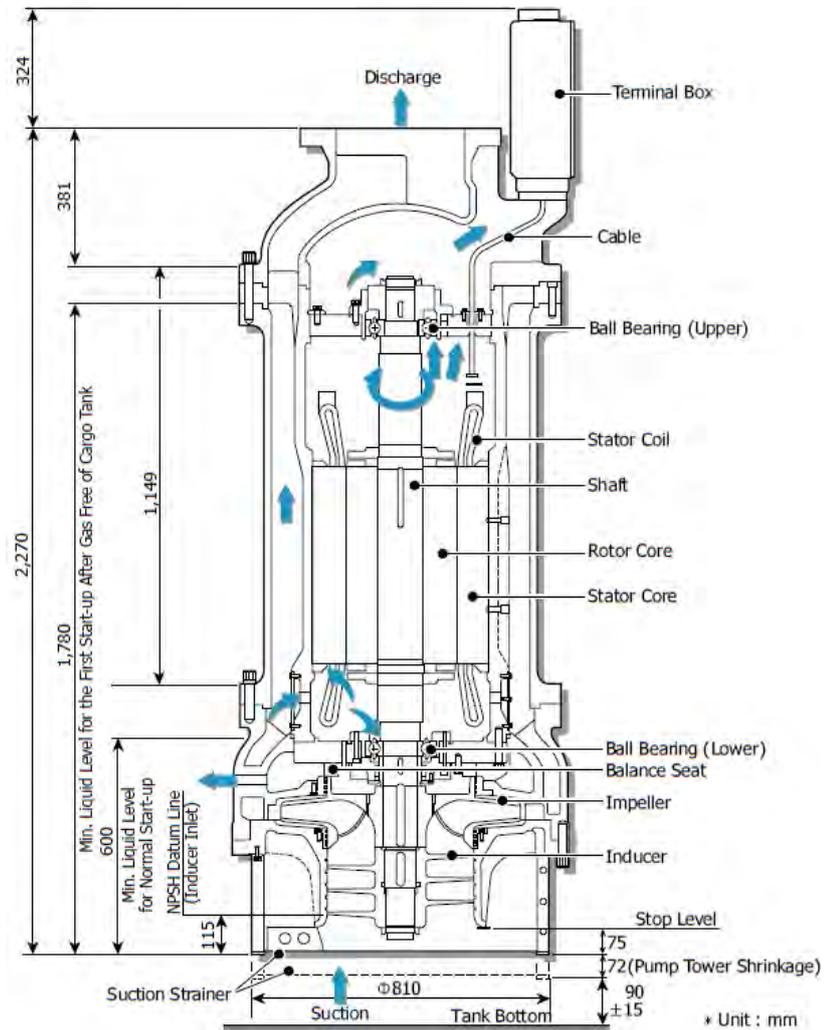


Ilustración 63 Bomba de descarga DSME modelo SM 350. Fuente: Shinko Ind. Ltd.

Cada bomba descarga a una cantidad en torno a los 1900 metros cúbicos la hora de LNG. Para descargar todos los tanques con la mayor celeridad se pondrán en marcha en la descarga las dos bombas de descarga de cada tanque, eso quiere decir que si el buque tiene 4 tanques, descargará con 8 bombas funcionando al unísono.



Ilustración 64 Bomba descarga dentro de un tanque. Fuente: elaboración propia

A cada bomba, para conseguir una mayor optimización en la descarga, se estrangula su salida por di de válvulas, todo esto monitorizado continuamente desde la sala de control de carga. Las bombas no funcionan hasta el final, de hecho, suelen perder el máximo rate cuando la cantidad en el tanque de LNG es inferior a 1 metro de profundidad. Una vez que llegan las bombas por debajo de ese nivel tripean y se paran por culpa de la cavitación y de la pérdida de succión. Una vez se paran, es imposible volver a arrancarlas y el resto del material que quede dentro del tanque se descarga por medio de las bombas de stripping. Para que las bombas arranquen, tienen que tener un mínimo de material LNG en los tanques que suele rondar entre los 2 y 4 metros de profundidad.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

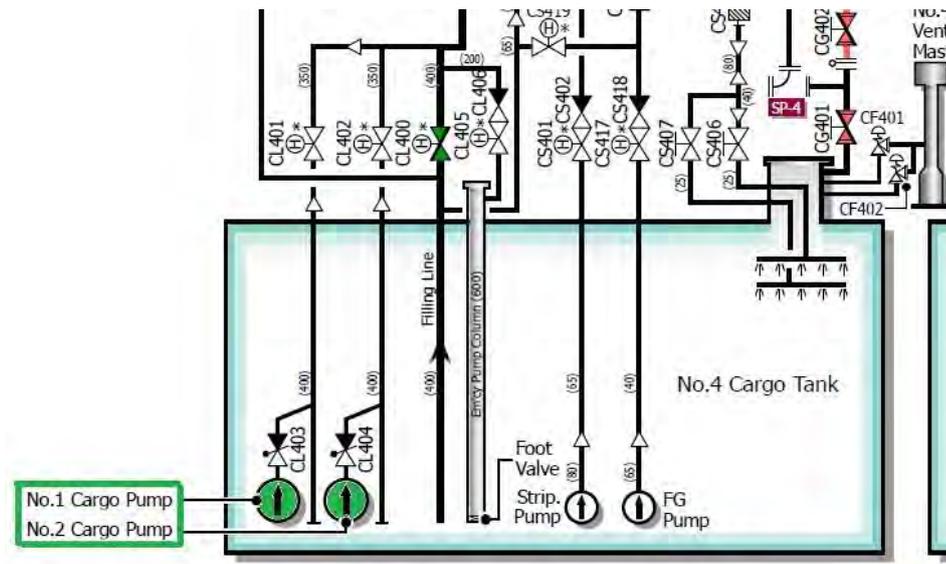


Ilustración 65 Detalle del plano de las bombas de descarga en un tanque de carga. Fuente Manual de carga Metanero

Las válvulas de descarga se van estrangulando (cerrando) para estabilizar un flujo constante y en caso de necesitarlo, se parará una de las bombas dejando una bomba para que acabe la operación. Todo esto se controlará desde el IAS.

TANK 4	TANK 3	TANK 2	TANK 1
Cargo Start Prevention P S Strip Fuel SI Blk By Disch. VV Restart Level CP: Tank level > 1.942m SP: Tank level > 0.168m FG: Tank level > 0.168m 2 Starts Allowed 1 Starts Allowed 15 Min Waiting 30 Min Waiting CP: 0.762m > Tank level < 1.942m 1 Starts Allowed 30 Min Waiting Start Blocking Level CP: Tank level < 0.762m SP: Tank level < 0.168m FG: Tank level < 0.168m Shutdown	Cargo Start Prevention P S Strip Fuel SI Blk By Disch. VV Restart Level CP: Tank level > 1.942m SP: Tank level > 0.168m FG: Tank level > 0.168m 2 Starts Allowed 1 Starts Allowed 15 Min Waiting 30 Min Waiting CP: 0.762m > Tank level < 1.942m 1 Starts Allowed 30 Min Waiting Start Blocking Level CP: Tank level < 0.762m SP: Tank level < 0.168m FG: Tank level < 0.168m Shutdown	Cargo Start Prevention P S Strip Fuel SI Blk By Disch. VV Restart Level CP: Tank level > 1.942m SP: Tank level > 0.168m 2 Starts Allowed 1 Starts Allowed 15 Min Waiting 30 Min Waiting CP: 0.762m > Tank level < 1.942m 1 Starts Allowed 30 Min Waiting Start Blocking Level CP: Tank level < 0.762m SP: Tank level < 0.168m Shutdown	Cargo Start Prevention P S Strip Fuel SI Blk By Disch. VV Restart Level CP: Tank level > 1.942m SP: Tank level > 0.168m 2 Starts Allowed 1 Starts Allowed 15 Min Waiting 30 Min Waiting CP: 0.762m > Tank level < 1.942m 1 Starts Allowed 30 Min Waiting Start Blocking Level CP: Tank level < 0.762m SP: Tank level < 0.168m Shutdown

Ilustración 66 Pantalla desde donde se monitorizan las bombas para su arranque. Fuente: IAS

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

A la hora de descargar, como las bombas se encuentran a popa del tanque, lo que se hace es apopar el buque para dirigir el material hacia la zona de popa del tanque. De esta forma podremos descargar más cantidad de material pues creará un efecto de cuña que elevará el nivel y las bombas podrán trabajar más tiempo antes de tripear. Este apopamiento se consigue con dos formas combinadas, por un lado se consigue que se descarguen antes los tanques de más a proa en orden, es decir, primero que acabe el tanque número 1, después el 2 y así sucesivamente, consiguiendo que poco a poco, al haber más cantidad en los tanques de popa, el buque se apopa. Por otro lado, esto se consigue con los tanques de lastre ya que siempre se trabaja a la vez, es decir, mientras se carga el buque se descargan los tanques de lastre, y si se está descargando los tanques de carga, se llenarán los tanques de lastre.

Al principio de la operación de descarga, a las bombas se las hace recircular el material para asegurarse de que todo va bien. Esto se consigue cerrando la “Branch” que es la válvula que conecta la línea de líquido con el domo de líquido, y abriendo las válvulas de carga, haciendo de esta forma que las bombas descarguen material que vuelve otra vez al tanque por las líneas de carga. Este proceso es necesario si queda poco materia para descargar y la operación de descarga se paraliza por cualquier motivo. Con esto lo que se consigue es que las bombas no tripeen por los motivos citados anteriormente. Esto es necesario hacerlo una vez dejado el puerto de descarga para asegurarse de que todas las bombas funcionan correctamente y de que en caso de no funcionar alguna, que dé tiempo a instalar la bomba de emergencia.

A la hora de arrancar la bomba, nos aseguramos que la válvula de descarga esté un poco abierta para intentar mitigar el efecto de “golpe de ariete” o “Water Hammer” para evitar que esta válvula se dañe o se acabe rompiendo.



Ilustración 67 Válvulas de descarga. Fuente: elaboración propia

Antes de empezar la descarga, las líneas de descarga de las bombas han de enfriarse, esto se hace recirculando LNG por medio de la bomba de stripping.

Cada bomba se controla por medio de controles PID por medio del IAS, donde se monitoriza toda la información pudiendo arrancarlas o pararlas. Todas estas operaciones se realizan en el control de carga (Cargo Control Room).

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.5.2. Bomba Stripping

Cada tanque de carga tiene una bomba de Stripping/Spray con el objetivo de enfriar y de forzar la evaporación de LNG. Son bastante pequeñas con un rate de en torno los 50 metros cúbicos por hora, nada que ver con las bombas de descarga y sus cerca de 2000 metros cúbicos por hora.

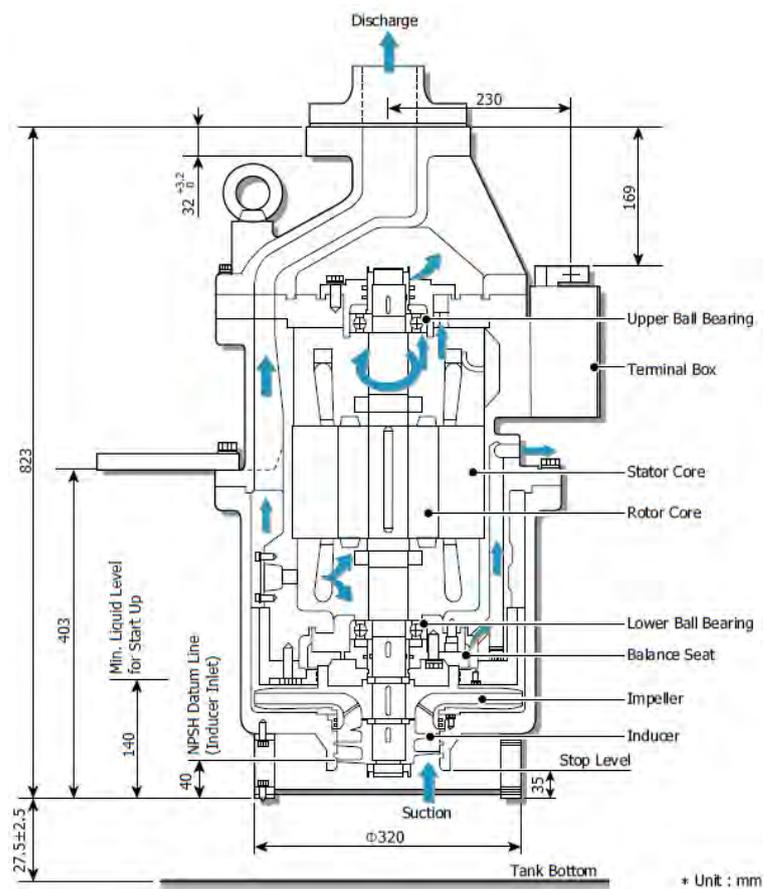


Ilustración 68 Bomba de stripping tipo SM 65 Fuente: Shinko Ind. Ltd.

Su principio de funcionamiento es el mismo que el de las bombas de descarga. Sin embargo, su objetivo es diferente ya que estas se usan para

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

enfriar los tanques antes de ser cargados después de un viaje en lastre. Esto se hace para que cuando se cargue, el material no sufra mucho cambio de temperatura y no se evapore, aumentando en exceso la presión en el tanque.



Ilustración 69 Bomba de Stripping en el interior de un tanque. Fuente: elaboración propia

Otro uso de estas bombas es para aumentar la presión dentro de los tanques en un viaje de carga para generar más Boil-off. Esto se consigue pulverizando LNG por los domos de vapor del tanque provocando que se evapore un poco de carga de la parte superior y así aumentar la presión.

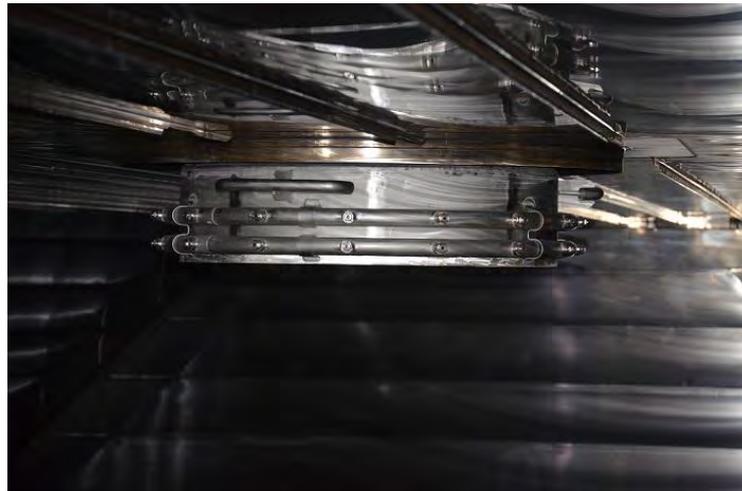
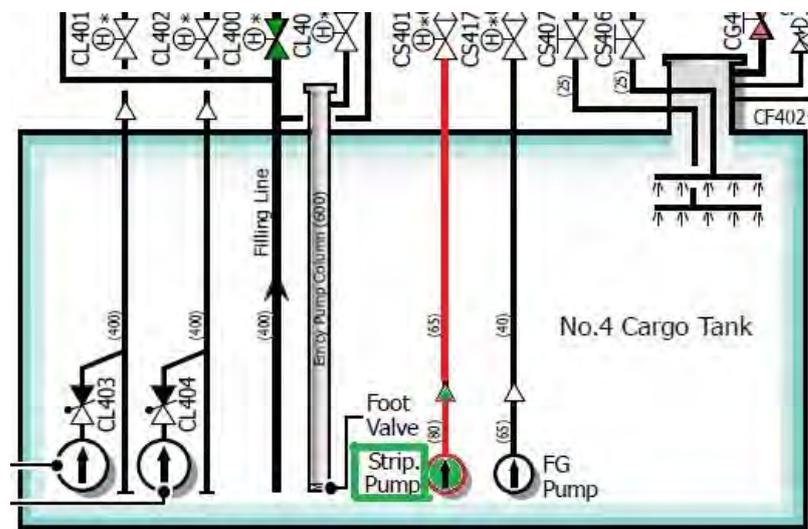


Ilustración 70 Domo de vapor dentro de un tanque de carga. Fuente: elaboración propia.

Por último, se usa para achicar los tanques. Como hemos visto con las bombas de carga, llega un momento en el que tripean y dejan de funcionar, no pudiéndose arrancar de nuevo, es entonces cuando las bombas Stripping empiezan a funcionar y acaban el trabajo de la descarga. Si por alguna razón las bombas de descarga se averían y no disponemos de bomba de emergencia pues la estuviésemos usando en otro tanque (hecho casi improbable), entonces podríamos usar la bomba de Stripping para descargar, eso sí, nos llevaría días dicho proceso.



PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Ilustración 71 Detalle del plano de una bomba stripping en un tanque de carga Fuente: Manual de carga buque metanero

La profundidad de carga que debe de haber en el tanque es de unos 20 cm, ya que por debajo de eso, la bomba no arrancará por falta de succión.

A la hora de arrancar la bomba, nos aseguramos que la válvula de descarga esté un poco abierta para intentar mitigar el efecto de “golpe de ariete” o “Water Hammer” para evitar que esta válvula se dañe o se acabe rompiendo.

Cada bomba Stripping se controla por medio de un controlador PID desde el IAS y su rate por medio de su válvula de descarga.

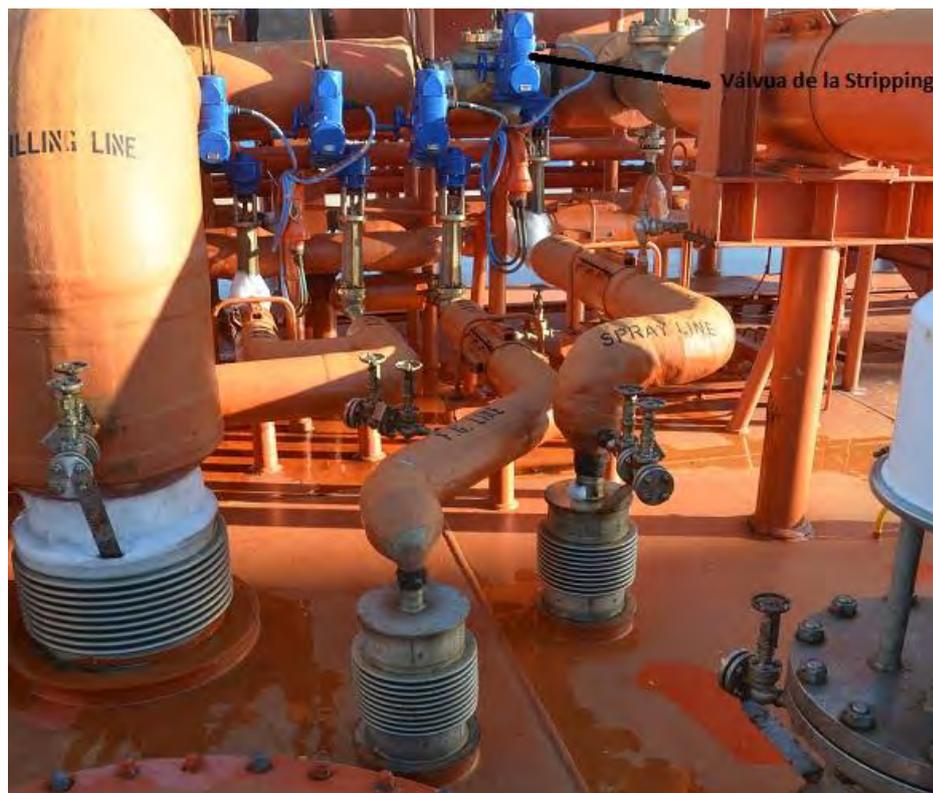


Ilustración 72 Válvula descarga línea de stripping Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.5.3. Bomba Fuel Gas

Estas bombas no se encuentran en todos los tanques, suelen estar en los tanques de carga más a popa puesto que están más próximos al cuarto de compresores, a donde se dirige el LNG que bombea desde el tanque. Por lo general, en un buque de 4 tanques, suelen estar en los tanques de carga número 3 y en el número 4.

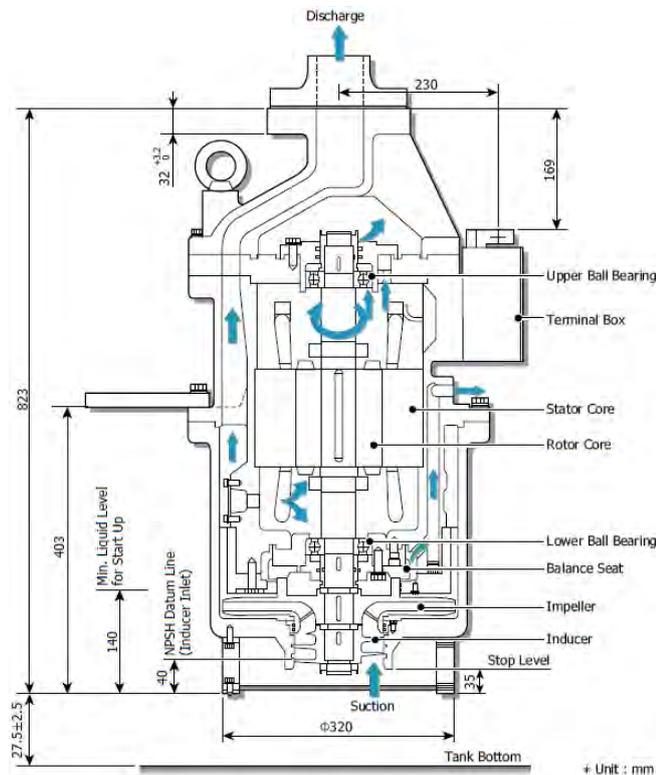


Ilustración 73 Fuel Gas Pump SM50. Fuente: Shinko Ind. Ltd.

Esta bomba es la encargada de suministrar LNG como parte del suministro de combustible del gas a la máquina. Se dirige al In-Line Mixer donde se espraya por medio de un filtro a la línea de Gas Header para mejorar la mezcla. Después la mezcla del LNG en estado vapor debido al boil-off y el LNG en estado líquido de la bomba de Fuel/Gas irá al Mist Separator, que es

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

un filtro que sólo deja pasar al LNG en estado vapor, de ahí va a los low duty que lo envía a los motores como combustible.

Se caracterizan por ser las más pequeñas, con un rate máximo de unos 18 metros cúbicos por hora.

Al igual que las bombas de stripping y las de descarga, las válvulas de la Fuel/Gas deben estar algo abiertas en el momento de arrancarlas, entre el 15 y el 25% para evitar el golpe de ariete que se produce al arrancar la bomba y generar bastante presión en la línea.

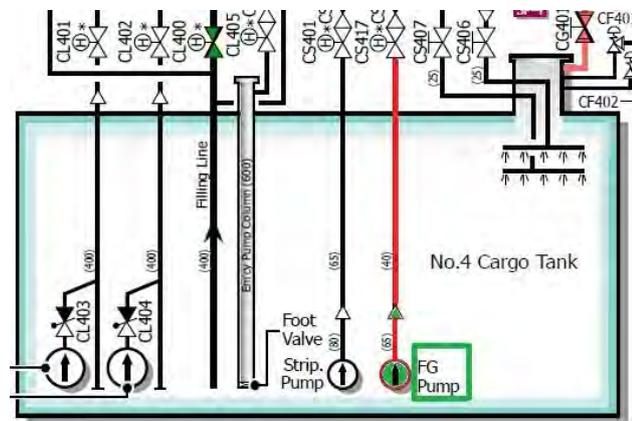


Ilustración 74 Detalle del plano de la bomba Fuel/Gas. Fuente Manual de carga Metanero

Para que la bomba pueda arrancar, la profundidad en el tanque de LNG debe ser mayor o superior a los 15 cm y debe estar enfriada en el LNG cargado por un periodo que los fabricantes recomiendan en una hora y media.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.5.4. Bomba de emergencia

La bomba de emergencia es una única bomba que se encuentra guardada, nunca colocada, a buen recaudo en el buque. Sirve de por si acaso alguna de las bombas de descarga de cualquiera de los tanques pudiese fallar.

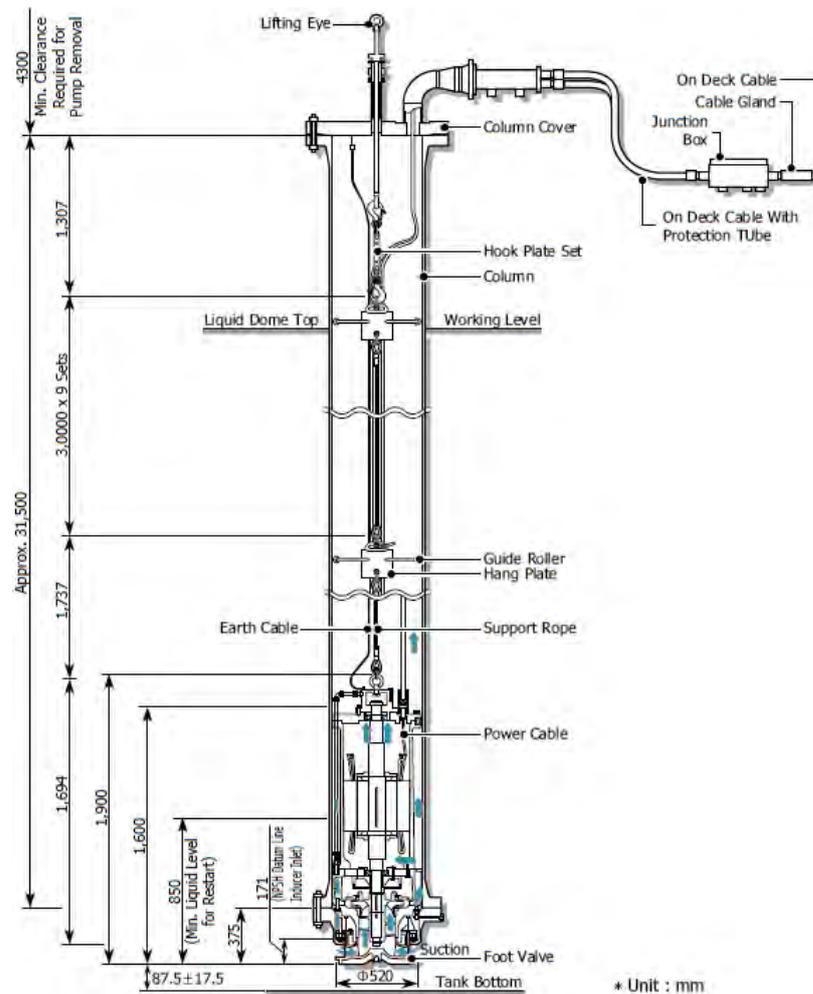


Ilustración 75 Detalle de una bomba de emergencia colocada en la tubería con su mismo nombre. Fuente: Manual de carga Metanero.

Se coloca en una tubería hueca que penetra por el domo de líquido y llega hasta el fondo en todos los tanques de carga.

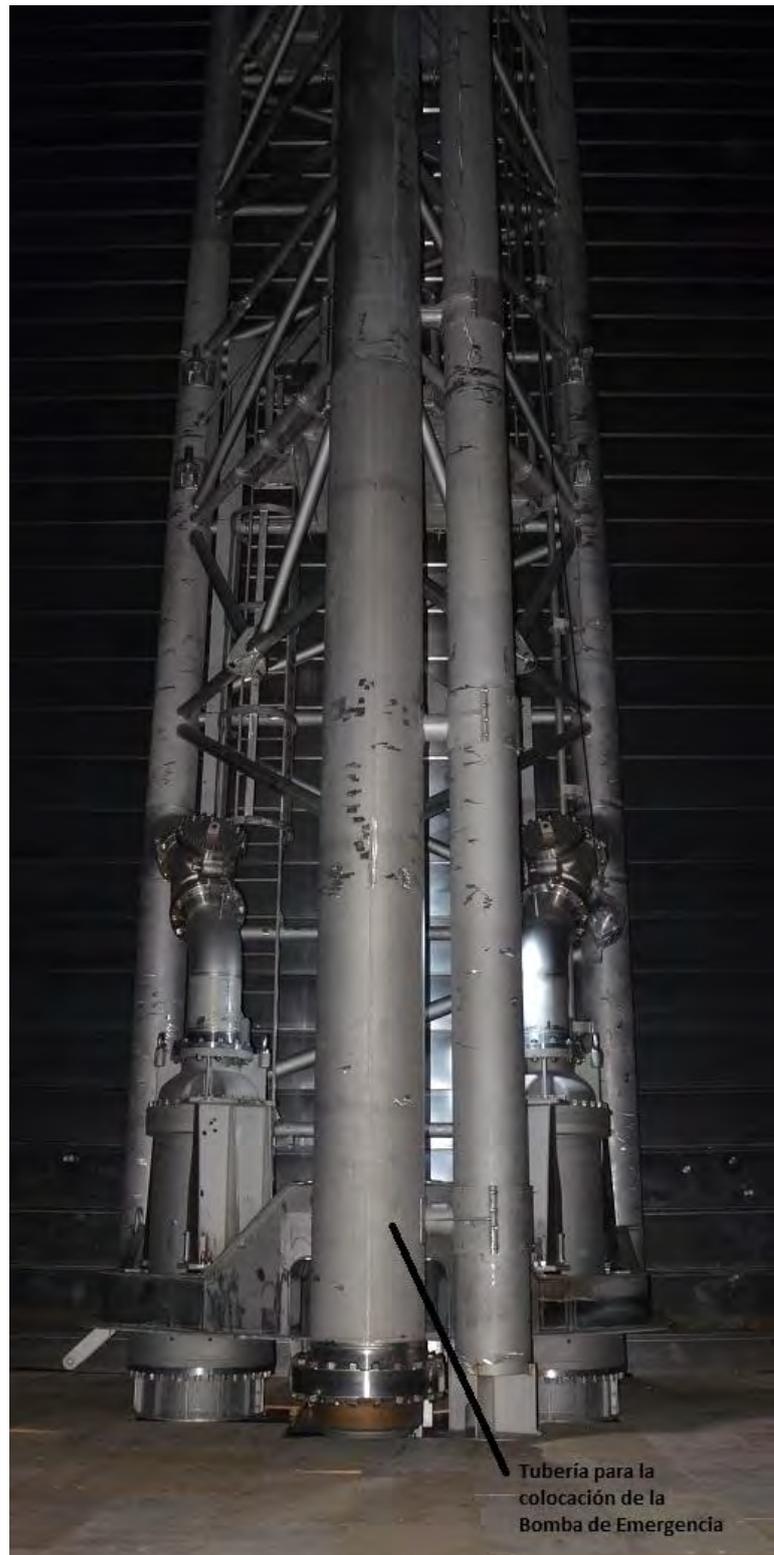


Ilustración 76 Detalle de donde se coloca la Bomba de Emergencia. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Suele tener un máximo rate de 550 metros cúbicos por hora, lo que no se asemeja a las bombas de descarga pues tan sólo es de emergencia.

Su colocación rara vez se produce pues es muy difícil que dos bombas de descarga y la bomba de stripping de un tanque se estropeen. Además su colocación es muy compleja y costosa pues no sólo es abrir una tapa e introducir la bomba, requiere purgar la tubería con nitrógeno antes y durante su colocación, también es recomendable reducir la presión del tanque hasta tener la misma que la presión atmosférica.

Si el nivel de profundidad de la carga es menor a 0,85 metros, la bomba no podrá arrancar y para evitar los golpes de ariete, deberá abrirse la válvula de descarga de la bomba de emergencia entre un 10 y un 25%.

No es recomendable que la bomba de emergencia arranque antes de estar 1 hora y media enfriándose hasta tener la temperatura de la carga. De no respetarse ese tiempo puede dañar seriamente sus piezas.

Esta bomba se controla igual que las anteriores por medio de controladores PID desde el IAS y se controla con la válvula de descarga de la bomba de emergencia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.6. Cuarto de Compresores y de Motores Eléctricos. Compresores.

Los compresores se encuentran en el cuarto de compresores, que es un habitáculo de grandes dimensiones que se encuentre sobre la Trunk Deck en estribor y a popa, cerca de la habilitación. Es uno de los elementos más característicos en un gasero con el sistema de contención tipo membrana.



Ilustración 77 Cuarto de compresores y de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia

Se trata de 2 parejas de compresores, dos son los High Duty, que se utilizan para comprimir el LNG en estado de vapor que se envía a la terminal en una operación de carga, para el purgado del tanque y para el calentamiento del tanque (estas dos últimas operaciones están encuadradas e operaciones

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

especiales de astillero), por otro lado, también se encuentran dos Low Duty utilizados para comprimir LNG producido por el Boil-off para ser usado como combustible en la máquina, también se usa para dirigir el Boil-off sobrante que no se necesita en la máquina a la GCU (Gas combustión Unit).

Las dos parejas de compresores, tanto los High Duty como los Low Duty funcionan gracias a un motor eléctrico que tiene acoplado cada uno de ellos. Estos motores eléctricos se encuentran en el cuarto de motores que está contiguo al cuarto de compresores y separados por un mamparo atravesado por el eje del motor.



Ilustración 78 Motores eléctricos que accionan a los compresores. Fuente: elaboración propia

Esto se hace porque dentro del cuarto de compresores circula LNG, que es lo que hay que separar de los motores eléctricos por si se produjese alguna chispa en ellos y hubiese una fuga de LNG en compresores, lo que se convertiría en un problema fatal. Para conseguir mayor estanqueidad entre ambos habitáculos, entre el cuarto de compresores y el de motores eléctricos se separan por un mamparo y se colocan unos sellos de nitrógeno

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

a presión justo por donde penetra el eje del motor para no dejar ni una rendija por la que pudiese acceder el LNG por dicho mamparo quedando completamente aislados.



Ilustración 79 Mamparo y sello de nitrógeno en cuarto de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia.

Además, se crea una atmósfera positiva por medio de enormes ventiladores en el cuarto de motores eléctricos para conseguir que ningún gas entre al no poder superar esa presión en el interior. Por otro lado, en el cuarto de compresores se hace lo contrario, es decir, se genera presión negativa dentro que se expulsa por los ventiladores hacia afuera para evitar concentración de LNG de una posible fuga.

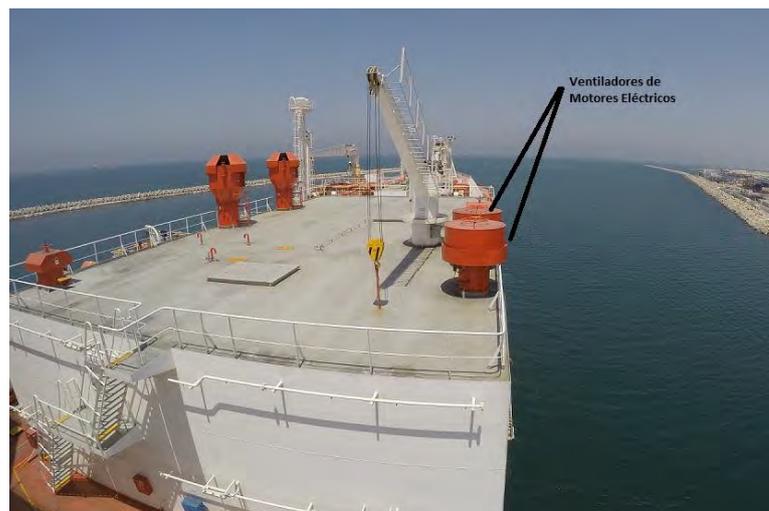


Ilustración 80 Detalle de los Ventiladores del cuarto de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia.

Los 4 compresores son controlados y monitorizados desde el IAS.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.6.1. Compresor High Duty

Son un total de dos y se encuentran, como ya hemos dicho, en el cuarto de compresores.

Estos compresores trabajan a una sola velocidad y se utilizan para los siguientes cometidos:

- Reenviar el NBO (Natural Boil-off) y el gas inerte de vuelta a la terminal en una operación de Cool Down (enfriamiento de tanques).
- Reenviar NBO a la terminal durante una operación de carga de los tanques.
- Recircular NBO caliente con el propósito de calentar los tanques como operación previa a una operación especial de astillero.

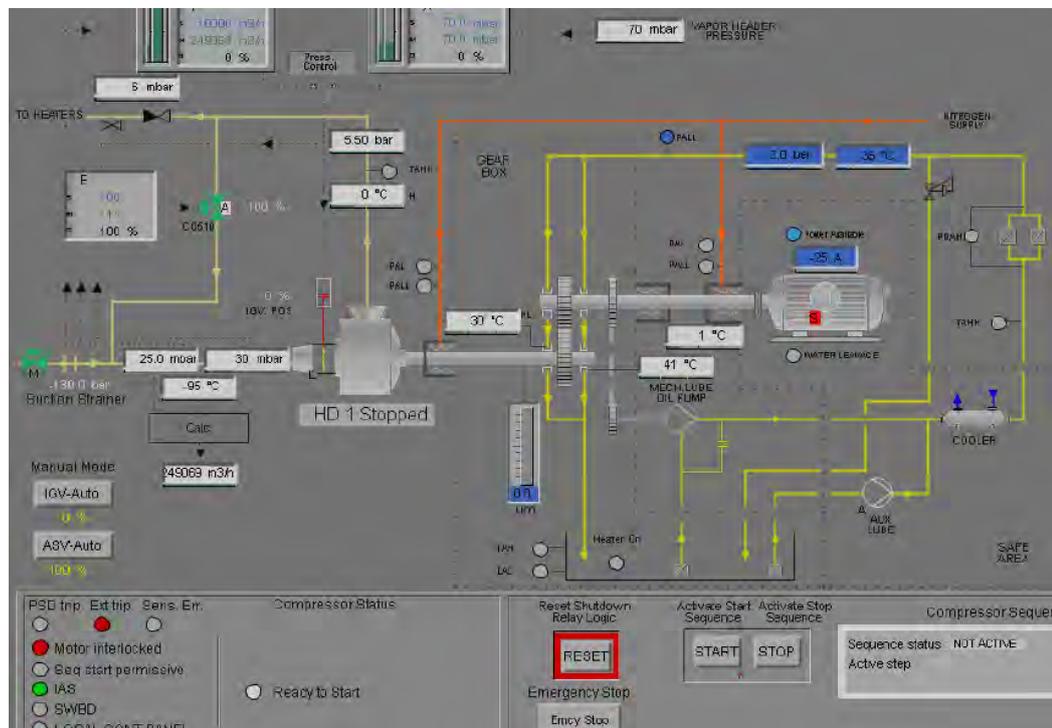


Ilustración 81 High Duty Fuente: pantalla del IAS

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

En cualquiera de estas operaciones es donde se usan los High Duty aunque sólo hará falta que 1 de ellos esté en funcionamiento llevando a cabo la operación, quedando el otro en Stand-By. De esta forma, si el primer High Duty tripea, estará listo el otro para seguir con la operación.

Cada uno de estos dos high duty es accionado por un motor eléctrico que se encuentra en el cuarto de motores eléctricos y separados por medio de un mamparo, como acabamos de ver y están monitorizados y controlados por medio del IAS. Se pueden accionar de forma local o en remoto. De estar en local, el IAS quedará desactivado, sólo pudiendo monitorizarlo y en caso de que ocurra un shutdown, el IAS si que podrá tripear el compresor.



Ilustración 82 Compresor High Duty. Fuente: elaboración propia

Estos High Duty, al tener una sólo velocidad, el flujo de vapor de LNG se controla por medio de la posición del IGV (Inlet Guide Vane) consiguiendo así la presión deseada. De esta forma, si la presión aumenta, la IGV se abre y si la presión baja, la IGV se cierra.



Ilustración 83 Compresor High Duty. Fuente: elaboración propia

6.6.2. Compresor Low Duty

Son un total de dos y se encuentran, como ya hemos dicho, en el cuarto de compresores.

Los compresores Low Duty se utilizan para comprimir LNG producido por el Boil-off para ser usado como combustible en la máquina, también se usa para dirigir el Boil-off sobrante que no se necesita en la máquina a la GCU. Se utiliza en la operación de warm up propia de los High Duty donde los high duty recirculan NBO caliente al tanque antes de entrada en astillero. En esta operación los Low Duty se encargan de enviar BOG (Boil Off Gas) hacia la GCU.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

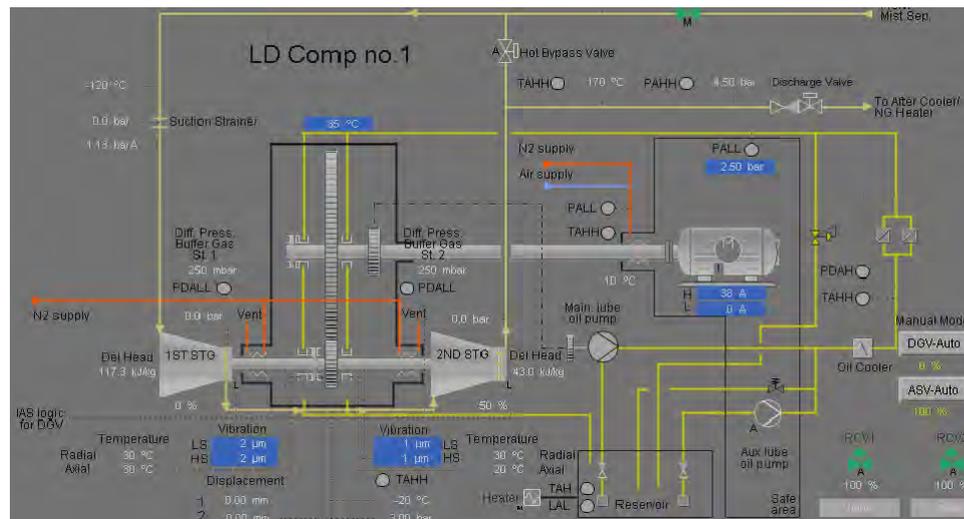


Ilustración 84 Low Duty Fuente: pantalla del IAS

Estos compresores son de dos etapas de velocidad dual donde el flujo de LNG que se comprime en él se controla por medio del DGV (Diffuser Guide Vane). La posición de este DGV varía dependiendo de la demanda que se necesite.

Los Low Duty son como ventiladores enormes que se encargan de comprimir el BOG de una presión de 1 Bar hasta los 5 Bares que se destinan en la máquina. Esto lo hace por medio de dos etapas para controlar el aument de temperatura ya que los compresores normales se refrigeran y lubrican por medio de aceites lubricantes, en este caso no se puede pues se inutilizaría el BOG que se dirige a la máquina. Con estas dos etapas conseguimos aumentar la presión sin tener que usar aceite lubricante.



Ilustración 85 Compresore Low Duty. Fuente: elaboración propia

6.7. Gas Heater

El Gas Heater es un calentador de gas que se encuentra en el cuarto de compresores. Su forma exterior es la de un tubo alargado.



Ilustración 86 Gas Heater en el Cuarto de Compresores. Fuente: elaboración propia

Sus funciones son las siguientes:

- Calentar la carga de LNG en estado vapor que viene del compresor High Duty con la finalidad de calentarlo a una temperatura específica para calentar el interior de los tanques antes de una operación de aireado del tanque en astillero.
- Ventear el NBO (Natural Boil-off) en la GCU (Gas Combustion Unit) que viene del compresor Low-Duty.
- Ventear por “Free Flow” (Ventear sin necesidad de ayuda como de un compresor) el NBO.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Hay que tener precaución cuando se retorna el vapor calentado de vuelta a los tanques de carga, pues la temperatura en la salida del Gas Heater no deberá exceder de los 80° C para evitar dañar las líneas de carga y as válvulas.

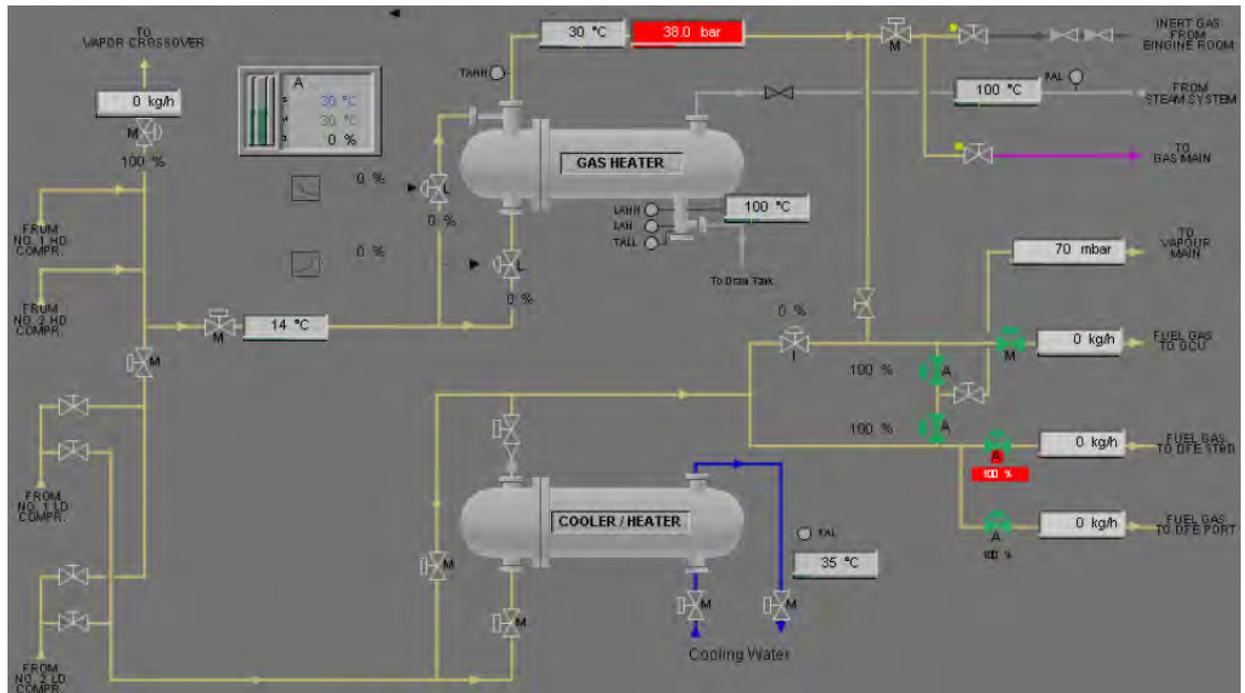


Ilustración 87 Gas Heater en el IAS. Se ve que parte de los compresores y sale hacia diferentes finales (Gas Main, GCU...) Fuente: IAS

6.8. After Cooler/Heater

El After Cooler Heater se encuentra en el cuarto de compresores. Es un intercambiador de calor con forma de tubo alargado muy similar al Gas Heater.



Ilustración 88 After Cooler/Heater. Fuente: elaboración propia

Este intercambiador tiene como propósito enfriar o calentar el gas que se utiliza como combustible para que tenga la temperatura precisa para poder ser usado en la máquina. Estos cambios de temperatura los consigue por medio de agua dulce.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

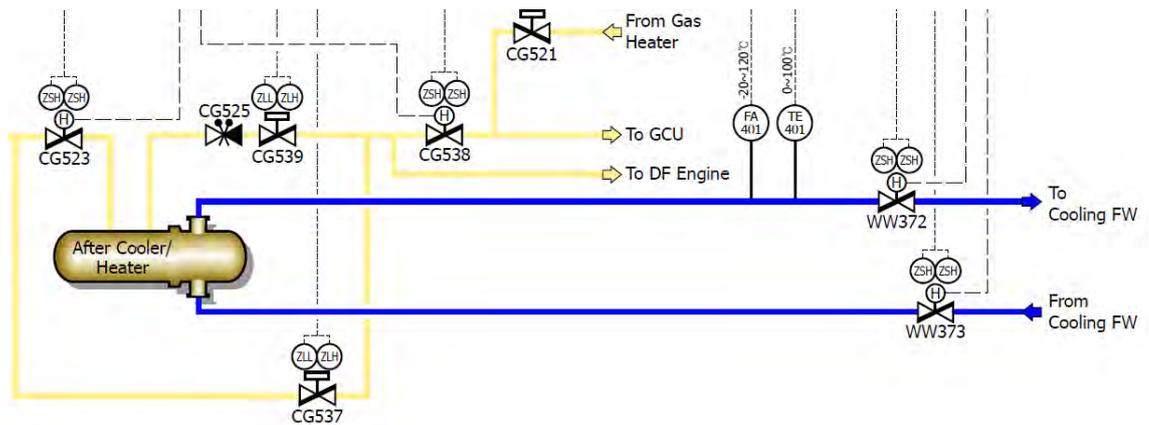


Ilustración 89 After cooler/heater con el sistema de agua dulce para calentar/enfriar el LNG que va a la máquina desde los Compresores Low Dutys. Fuente: IAS

El After Cooler/Heater recibe el LNG en estado vapor de los compresores Low Dutys y después de calentarlo o enfriarlo por medio del agua dulce, lo destina a los motores como combustible o en caso de no necesitarse, se expulsaría por la GCU.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.9. LNG Vaporiser

El LNG Vaporiser se encuentra en el cuarto de compresores y también tiene forma de tubo alargado. Es un intercambiador de calor equipado con controladores automáticos de temperatura y de flujo.



Ilustración 90 LNG Vaporiser. Fuente: elaboración propia.

Se utiliza para los siguientes cometidos:

- Presurización de los tanques de carga. Cuando se descarga un tanque, desde la terminal en tierra nos envían gas de retorno a los tanques para mantener la presión dentro de los tanques. Si por cualquier razón desde tierra no es posible enviar ese gas de retorno, en los tanques se produciría una pérdida de presión que podría ser fatal para los tanques. Para solucionar este problema, el LNG Vaporiser se encarga de forzar

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

vapor de LNG que introduce en el tanque para evitar ese vacío que pudiese darse.

- En operaciones de Gassing-up después de haber inertado con gas inerte. Una vez finalizada la operación de inertado con gas inerte. Antes de enfriar los tanques de carga de nuevo para poderlos cargar, hay que expulsar ese gas inerte con gas natural. Entonces, la terminal suministra al LNG Vaporiser a través de la línea de Spray. Se calienta a una temperatura de unos 20° C y se envía al tanque por el domo de vapor para expulsar por la línea de líquido todo el gas inerte. Al estar caliente, no habrá cristalización del gas inerte, proceso que puede acabar dañando las líneas y las válvulas por medio del polvillo que se genera. Además, al estar caliente en gas, efectuará un efecto pistón mucho más eficiente consiguiendo que el gas natural expulse eficazmente al gas inerte.
- Vaporización de nitrógeno para inertar los tanques de carga y los espacios de aislamiento. El LNG Vaporiser puede operar cuando una enorme cantidad de nitrógeno se requiere para el inertado de los tanques de carga y de los espacios de aislamiento.
- En operaciones de emergencia. En caso de que el Forcing Vaporiser (que veremos a continuación) esté fuera de servicio, el LNG Vaporiser será usado como sustituto suyo.

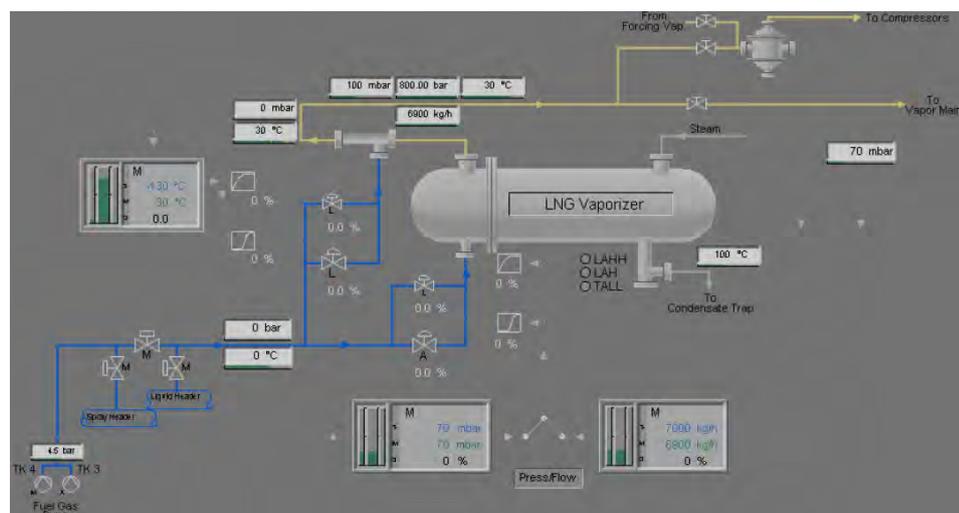


Ilustración 91 LNG Vaporiser Fuente: pantalla IAS

6.10. Forcing Vaporiser

El Forcing Vaporiser se usa para evaporar LNG líquido para generar gas como combustible a los motores de la máquina o enviarlo a la GCU. Se encuentra en el cuarto de compresores y visualmente es muy parecido a los anteriores.



Ilustración 92 Forcing Vaporiser. Fuente: elaboración propia

Lo que va a hacer el Forcing Vaporiser es evaporar LNG líquido que viene de la bomba de Stripping/Spray para suplementar el Boil-Off que será usado en la máquina como combustible.

La temperatura en el Forcing Vaporiser se controla por medio de una válvula que controla la presión de entrada y la de salida. También tiene un controlador de temperatura para corregir desviaciones de la temperatura requerida.

En caso de que el Forcing Vaporiser no funcione, el LNG Vaporiser le sustituirá.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

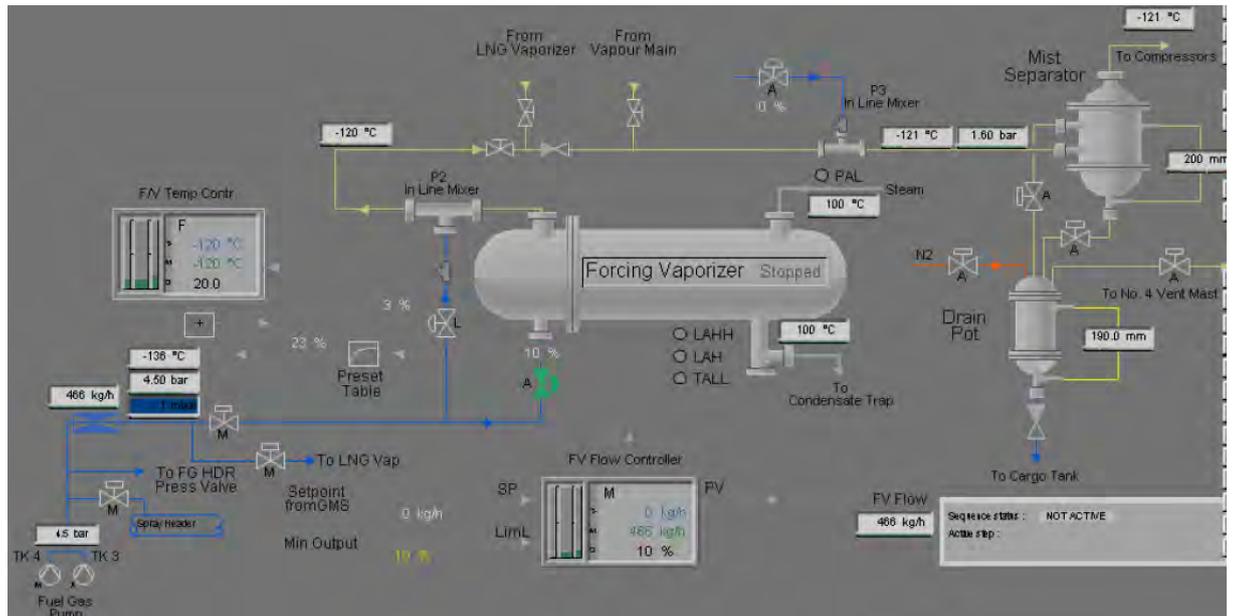


Ilustración 93 Forcing Vaporiser Fuente: pantalla IAS

6.11. Bombas de Vacío (Vacuum pumps)

Las bombas de vacío se utilizan para aislar espacios inertándolos antes de que el buque salga a navegar. También se utilizan para inertar espacios para controlar operaciones en el buque.



Ilustración 94 Bobas de Vacío. Fuente: elaboración propia

Las bombas no deben ser usadas durante una operación normal del buque ya que son para controlar espacios cerrados y que estos queden monitorizados haciendo inútil estar tocando dichas bombas pues volverían inestables las mediciones y no sabríamos si hay alguna fuga o cualquier otro problema.

Para operarlas, puesto que como hemos dicho no son de uso continuo, si no que sólo se usan durante las operaciones de astillero hay que hacerlas un chequeo inicial para asegurarnos su correcto funcionamiento. Para ello es necesario quitar el polvo que puedan tener las bombas y las líneas que se van a usar debido al poco uso que se hace de ellas. También se chequeará

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

las conexiones de succión y de descarga así como la integridad mecánica de las mismas. Controlaremos que el agua de camisas (para refrigerar) funcione correctamente y rellenaremos de aceite lubricante si fuese necesario. Tendremos que dejar las bombas corriendo una media hora sin carga para revisar las vibraciones y que todo funcione correctamente. Después de esta prueba, dejaremos las bombas funcionar unas 3 horas a la presión de trabajo. Durante la operación revisaremos el amperímetro, la lubricación y el agua de refrigeración de forma regular

Las bombas de vacío se encuentran en el cuarto de compresores y están accionados por motores eléctricos (uno para cada bomba) que se encuentran en el cuarto de motores eléctricos, que es el que está separado por un mamparo del cuarto de compresores, en el mismo sitio que los motores que accionan los compresores High y Low dutys.



Ilustración 95 Motores Eléctricos de las Bombas de Vacío. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.12. Custody Transfer System (CTS)

La forma de controlar las cantidades de LNG que se cargan y se descargan en cada tanque y la forma de medir las temperaturas y las calidades del material cargado se hace por medio del Custody Transfer System (CTS) el cual está formado por diferentes componentes para asegurarnos una enorme exactitud.

Estos datos son los que se entregan firmados por el capitán y por el loading master en la terminal para certificar la cantidad que entregas o que cargas.

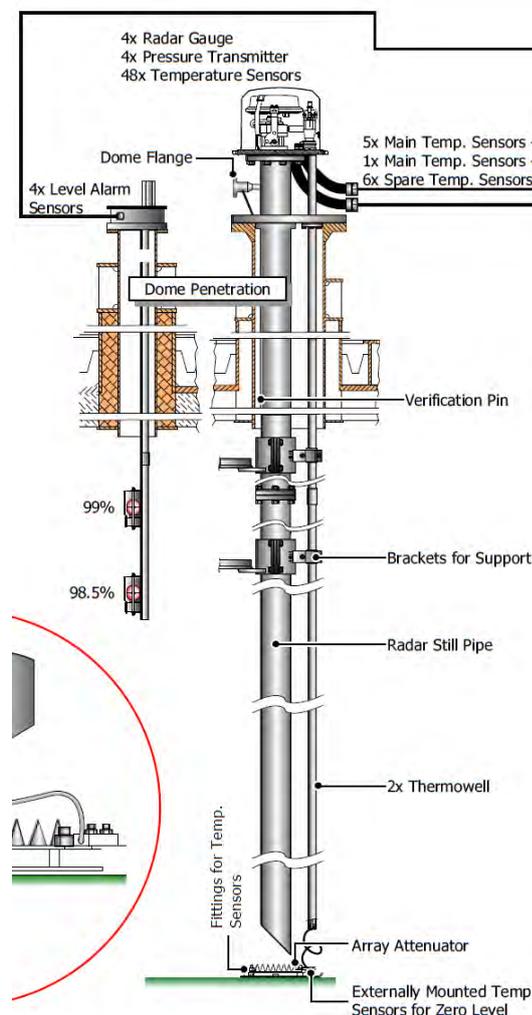


Ilustración 96 Entrada de equipos de medición por el domo de líquido. Fuente: DSME

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

El sistema suele estar formado por los siguientes componentes.

- Una Work Station.
- Una unidad de nivel
- I/O Box, para comunicaciones.
- Un Gauge (medidor) por cada tanque.
- Una tubería vertical para cada tanque
- Sensores de temperatura Pt100.

La descripción del sistema la podemos dividir en la descripción de los diferentes componentes que componen al Custody Transfer System.

- La Work Station se usa por el operador para monitorizar los niveles de los tanques, las temperaturas, las presiones de vapor y todos los datos obtenidos por los radares de dentro del tanque. La Work Station está en contacto con otros sistemas como los calculadores de la carga y los niveles del lastre. Lo que hace es controlar y monitorizar todos los datos que aportan los demás componentes.
- La unidad de nivel se usan como niveles de seguridad de los Gauges. Lo que hacen es procesar señales de los Gauges para calcular los parámetros de los tanques como los niveles de corrección del tramado y de la escora, las temperaturas en el domo de líquido y en el domo de vapor, etc. Todos estos datos los comunica a la Work Station.
- Los Gauges miden la distancia de producto que hay gracias a una señal radar.



Ilustración 97 Caja electrónica que procesa la señal del radar. Fuente: elaboración propia

Los Gauges tienen una caja electrónica que se encarga de generar y de procesar la señal del radar. Dentro de la caja del Gauge también se encuentra el cableado de equipos adicionales como los sensores de temperatura, la presión de vapor o el Display local.



Ilustración 98 Atenuador de la señal del radar. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Sistema Float Level Gauge. Es un sistema que mide la cantidad de líquido de LNG que hay dentro de un tanque.



Ilustración 99 Float Level Gauge. Fuente: elaboración propia

Cada tanque tiene uno y su funcionamiento es manual. Consta de un soporte que se encuentra en la “trunk deck” y desde el que sale una tubería que entra en el tanque por el domo de líquido. Esta tubería contiene un flotador que se baja girando una manivela, cuando el flotador contacta con el líquido se para y podremos leer la medida muy exacta de la cantidad de LNG que hay dentro del tanque.



Ilustración 100 Detalle del flotador. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

La tubería por la que baja el flotador llega hasta el fondo del tanque y está sujeta a la plataforma que se utiliza para hacer firmes a las bombas de carga, de stripping, de la bomba fuel gas, las líneas y por donde se baja al fondo del tanque.



Ilustración 101 Tubería por donde baja el flotador. Fuente: elaboración propia

La señal visual emite una señal que es recibida en el IAS donde se monitoriza.

- La unidad Trimado/Escora es una unidad con inclinómetros que miden el Trimado y la escora. Esta unidad se encuentra en los cofferdam y suele estar en la mitad del buque (en el cofferdam nº3). Se usan para corregir las medidas de los Gauges ya que los Gauges te miden la cantidad de LNG del tanque en línea recta pero el buque siempre va a tener algo de escora o de trimado por lo que esos valores no son reales, la unidad de trimado/escora corregirá esos valores.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Los Sensores de presión de vapor miden la presión absoluta en el tanque. Se encuentran en los armazones de los Gauge.
- Sensores de temperatura instalados para medir en diferentes zonas del tanque de carga la temperatura. Miden tanto la temperatura del líquido y la del vapor.



Ilustración 102 Detalle de por dónde bajan hasta el final del tanque de carga los sensores de temperatura. Fuente: elaboración propia

- Sistema de alarma de alto nivel. Este sistema se coloca para cumplir con los requisitos de la IMO, DNV y de USCG. Para cumplir con los requisitos, el sistema de alarma de alto nivel y el de máximo nivel son sistemas separados. Se compone por medio de dos flotadores los cuales se pueden probar independientemente.

Su funcionamiento es muy simple, durante la carga de un tanque, cuando el nivel llega al 98,5%, que es donde se encuentra el primer flotador, la alarma

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

salta y se genera un ESD (Emergency Shut Down) y se pararía el llenado del taque por medio del cierre de las válvulas de la “brunch”. Si el taque sigue llenándose, el nivel en el tanque llegaría al segundo flotador, el cual indica el 99% del llenado del tanque por lo que se produciría un ESD largo que paralizaría cualquier operación que se esté llevando a cabo como por ejemplo el gas a la máquina.



Ilustración 103 Sistema de alto nivel. Flotadores. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.13. Sistema de Producción de Nitrógeno

Se trata de una unidad que separa el aire en oxígeno y nitrógeno y que está siempre monitorizado para asegurar la pureza del nitrógeno.

El Nitrógeno es el gas más abundante en la naturaleza, representando el 78% del volumen del aire. Es un gas incoloro e inoloro con una densidad de 1,25 Kg/m³.

Es un gas inerte, siendo no inflamable y sin propiedades químicas.

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

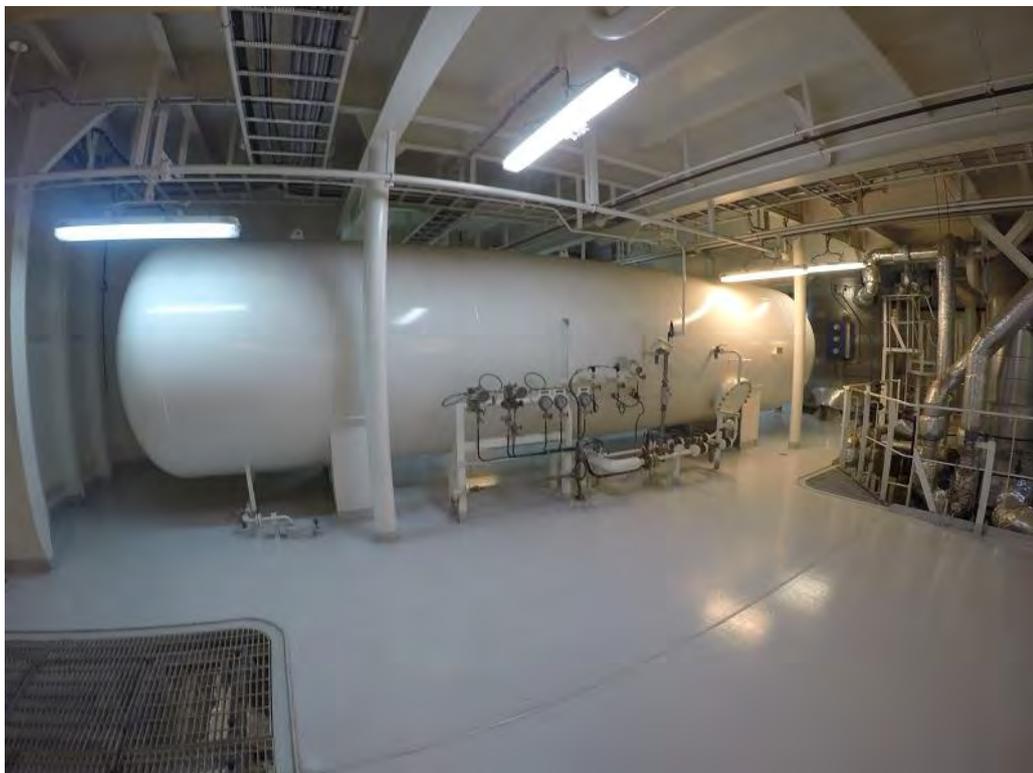


Ilustración 104 Tanque donde se guarda el N₂ generado. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.14. Sistema de gas inerte y de aire seco

La planta de gas inerte y de aire seco se encuentra en la sala de máquinas y produce tanto gas inerte como aire seco y se usa para introducir estos gases en los tanques de carga, en las líneas, en los tanques de lastre y en la pipe duct después de astillero o durante un periodo de inspección.

La planta consiste principalmente en un generador de gas inerte, un filtro scrubbing (filtrado del gas con agua) una zona de enfriado y una unidad de secado.

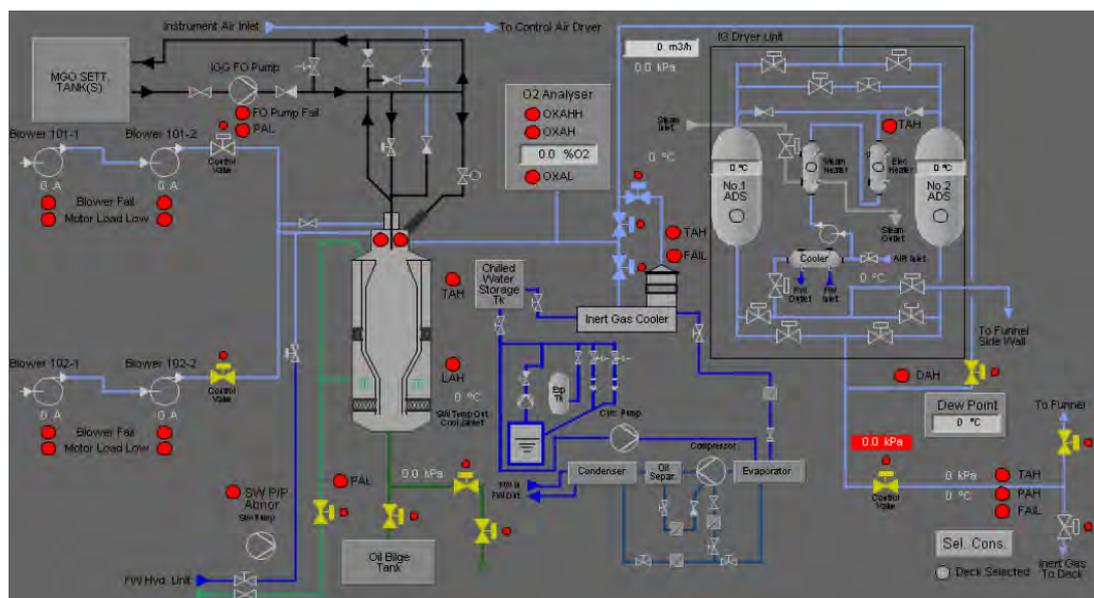


Ilustración 105 Planta de Gas inerte y de aire seco Fuente: pantalla del IAS

La misma unidad produce tanto gas inerte como aire seco, aunque no puede hacerlo a la vez. El funcionamiento es muy básico:

- En cuanto a la producción de gas inerte, lo que se hace es quemar gasoil en el generador que se mezcla con aire para conseguir la ignición. Los productos en la combustión son principalmente dióxido de carbono, agua y pequeñas cantidades de oxígeno, monóxido de carbono, óxidos

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

de azufre e hidrógeno. El gas inerte produce un contenido de 85% de Nitrógeno y de un 15% de dióxido de carbono. El gas inerte producido se enfría con agua de camisa salada. Los óxidos de azufre se limpian por medio del agua de la "Scrubber". Las gotitas de agua se retiran y después se enfría a una temperatura de unos 5°C para condensar los restos de agua que puedan quedar y son también retirados. Por último, al gas se le pasa por unos secadores.

El punto de rocío y la cantidad de oxígeno son monitorizados de forma continua no pudiendo superar el contenido de oxígeno en un 1% y el punto de saturación del agua los -45°C.

- En cuanto a la generación de aire seco, es el mismo funcionamiento, sólo que esta vez no entra en juego el diésel.

El aire seco se utiliza para introducirlo en espacios cerrados que han sido inertados con anterioridad y que es necesario que se protejan de la humedad como es el caso de los tanques de carga. Los tanques de carga del No 96 son de INVAR lo que hace que se oxiden con facilidad. Para evitar esto, para poder entrar en los tanques se envía aire seco a los tanques, aire que es respirable y que al no tener humedad no daña a los tanques.

6.15. ESD (Emergency Shutdown System)

En caso de haber una situación de emergencia tanto en el buque como en la terminal, toda operación de carga o de descarga debe ser interrumpida inmediatamente. De darse esta situación, debe comunicarse la naturaleza del siniestro inmediatamente entre el buque y la terminal. Todo esto debe hacerse de forma automática y se le llama ESD o Emergency Shutdown System (Sistema de Parada de Emergencia).

Hay muchas situaciones que pueden considerarse como emergencia como por ejemplo un fuego, algún tipo de inseguridad en un tanque de carga, una parada de emergencia manual, etc. En estas situaciones, los equipos que intervienen son las bombas de carga, los compresores (Tanto los High Duty como los Low Duty) y válvulas relevantes.

El método de comunicación entre la terminal y el buque se hace a petición de la terminal, pudiendo ser por medio de una conexión eléctrica, conexión óptica o neumática. Siendo la más común la conexión eléctrica.

Para generar un ESD, puede ser de forma manual apretando un botón, que suelen estar repartidos por el buque en diferentes zonas:

- En el puente de mando.
- En el cuarto de control de la carga.
- En la “fire control station”.
- En cada uno de los domos de líquido de los tanques.
- En el cuarto de compresores y el en el de motores eléctricos.
- En los Manifolds.

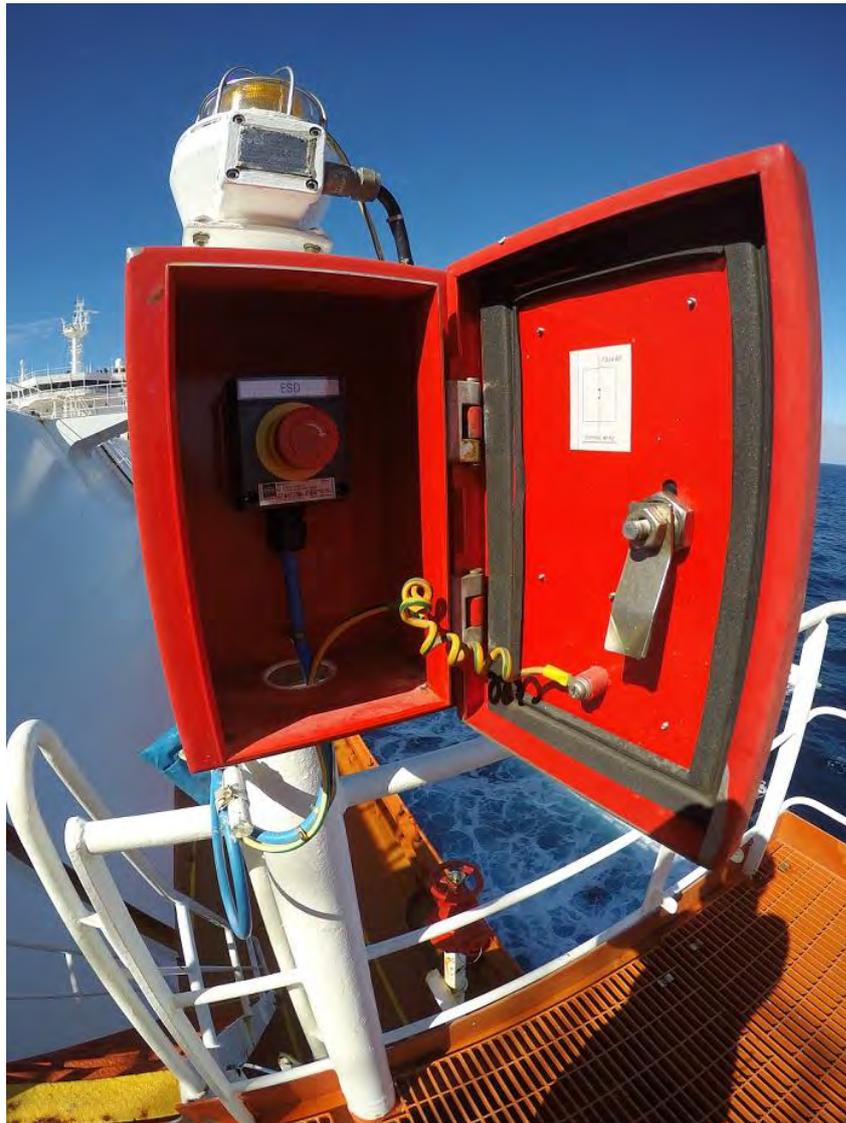


Ilustración 106 Botón de ESD en Cubierta. Fuente: elaboración propia

Otra forma de generar un ESD es de forma automática por medio de los “Melting Plugs” que son cajas rojas que al calentarse a unos 100°C se funde unos tapones de resina que hacen que se produzca una conexión entre cables y que activa el ESD. Estos se encuentran en diferentes sitios:

- Domos de líquido.
- Domos de vapor.
- En los manifolds.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- En el cuarto de compresores y en el de motores eléctricos.

La otra forma de generar un ESD en el buque es de forma automática sin que intervengan los Melting Plugs. En estos casos, el ESD se produce por lo siguiente:

- Cuando la presión dentro de la línea de carga y de la barrera primaria es la misma
- Exceso de presión dentro de los tanques
- Si los niveles de los tanques de carga llegan al 99% del llenado total.
- ESD por fallo eléctrico (Blackout).
- Por baja presión de aceite hidráulico.
- Por señal de ESD enviada desde la terminal



Ilustración 107 Melting Plug en un Manifold. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Al producirse un ESD, lo que sucede es lo siguiente:

- Las bombas de descarga se paran.
- La bomba Stripping se para.
- La bomba de emergencia (de estar instalada) se para.
- Los compresores High Duty se paran.
- Los compresores Low Duty se paran.
- Las válvulas de los Manifolds se paran
- La bomba de Fuel/Gas se para.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

6.16. Sistema de Comunicación entre el buque y la terminal “Ship Shore communication system”

El sistema de comunicación tierra buque, se ha usado de forma universal en la industria del LNG desde la introducción de las recomendaciones de SIGTTO para la conexión del ESD tierra/buque en 1987. El sistema se encarga de comunicar y de transferir datos entre el buque y la terminal.



Ilustración 108 Caja con los diferentes tipos de conexiones Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Cada terminal usa un tipo de conexión (que explicaré a continuación) y a veces hasta dos tipos de conexión diferente y es la que exige al buque que sistema usar.

Los diferentes tipos de conexiones que existen son los siguientes:

- Conexión de fibra óptica. Este sistema utiliza una combinación de conexión eléctrica y de fibra óptica. La conexión en el buque se encuentra en una caja a la altura de los manifolds.



Ilustración 109 Conexión de fibra óptica Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Conexión Pyle National 37-way connector. El Sistema eléctrico fue introducido por la compañía El Paso en el año 1976 usando la conexión Pyle National. La manufactura del Pyle National continuó a manos de EEC en 1997. Desde agosto de 2003, la certificación es de Atex. Lamentablemente hay muchos pines tanto antiguos como nuevos en muchas terminales haciendo que su uso esté muy limitado.



Ilustración 110 Conexión Pyle National 37-way Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Conexión Miyaki. Son una unidad vertical con una palanca para ser activada. Se usan sólo en Asia



Ilustración 111 Conexión Miyaki. Fuente: elaboración propia

6.17. Válvulas de emergencia. Relief System

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

Las válvulas de seguridad de los tanques se encuentran en los domos de vapor de cada tanque y van directamente al palo de venteo de cada tanque. Se activarán si hay un exceso de presión o de depresión dentro del tanque. Para que estas tengan un correcto funcionamiento, es necesario controlar el estado del palo de venteo.



Ilustración 112 Fuente: elaboración propia Fuente: elaboración propia.

Las barreras primaria y secundaria de cada tanque tienen 2 válvulas de seguridad cada una, la barrera secundaria suelta los gases a la atmósfera a la altura de la cubierta.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG



Ilustración 113 Seguridad de la Barrera secundaria. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la barrera primaria, se sueltan los gases a la atmósfera por medio del palo de venteo de su tanque. Esto es por si hubiese alguna contaminación en la barrera primaria por LNG del tanque de carga.



Ilustración 114 Válvula de seguridad de la barrera primaria y entrada de N2 en la misma barrera. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Otras válvulas de seguridad son las que hay en las líneas de carga a excepción de la línea de Vapor. Tienen una forma característica y nos las encontramos siguiendo las líneas por cubierta.



Ilustración 115 Válvula de seguridad en un brazo de líquido del Manifold. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

II.2.4.- Otras herramientas

- II.2.4.1.- “LNG. Fundamental knowledge and understanding” SIGTO (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.2.- “LNG. Equipment” SIGTO (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.3.- “LNG. Support systems” SIGTO (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.4.- “LNG. Estándar operations” SIGTO (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.5.- “LNG. Commercial considerations” SIGTO (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.6.- “Liquefied gas handling principles on ships and in terminals” MCGUIRE AND WHITE (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.7.- “Tanquer safety guide. Liquefied gas” INTERNATIONAL CHAMBER OF SHIPPING (ICS) (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.8.- Código IGC (SISTEMA OBJETO DE ESTUDIO)
- II.2.4.9.- Conocimientos adquiridos por la asignatura “Sistemas integrados de gestión” (cursada durante el máster Ingeniería Náutica y Gestión Marítima) (CONTEXTO CIENTÍFICO-TÉCNICO)
- II.2.4.10.- Conocimientos acerca de flujogramas adquiridos por la asignatura “Sistemas integrados de gestión” (cursada durante el máster Ingeniería Náutica y Gestión Marítima) (CONTEXTO CIENTÍFICO-TÉCNICO)

II.3.- Metodología

II.3.1.- Proceso de carga

II.3.1.1.- Antes de llegar al puerto de carga

En este apartado se describen los procesos que se llevan a cabo antes de llegar al puerto de carga, los cuales aparecerán posteriormente en el flujograma. Para relacionar estos procesos con su aplicación práctica en el comentado flujograma, se utilizarán las siglas OP_XXX correspondiente.

OP_001 CÁLCULOS DE CARGA

Una vez se conocida la cantidad que se va a cargar, se calculan las condiciones de llegada y salida y se guardan. Estas condiciones que deben cumplir con todos los requerimientos de esfuerzos calados estabilidad, etc.

Seguidamente se hace el cálculo de la carga hora a hora junto con el lastre que se ha de ir sacando paralelamente teniendo en cuenta que hay que cumplir con efectos cortantes, momentos flectores, estabilidad (GM y KG), momento por superficies libres y calados máximos y mínimos dentro de los que hay que moverse.

Hay que tener en cuenta que durante la primera hora (ramp up) entran muchos menos metros cúbicos en cada tanque. De en torno a 1000 m³ en cada tanque.

Entonces se hace una resta entre el volumen total después de la primera hora y el total al 98,5% del final.

La cantidad resultante se divide entre el rate, que es la cantidad de metros cúbicos que cargamos a la hora y nos da el tiempo total que se tardará en cargar.

Con este tiempo se calcula el rate de cada tanque según el orden que se quiere que lleguen. La secuencia para un buque con 4 tanques suele ser 1-4-2-3.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Entonces se resta al tiempo total 0,3 para el tanque 1.

Se resta 0,1 al tiempo total para el tanque 4.

Se suma al tiempo total 0,1 para el tanque 2.

Se suma al tiempo total 0,3 para el tanque 3.

Con estos tiempo obtenidos y teniendo en cuenta el volumen final que quedará en cada tanque se calcula el rate individual de cada uno de ellos.

OP_002 PRE ARRIVAL MEETING

Se hace con todos los tripulantes con responsabilidades durante la operación de carga/descarga, en él se aclaran los procedimientos a seguir, hay un listado de las obligaciones de cada uno de los puestos necesarios durante la operación.

OP_003 PREPARACIÓN DE LA TRUNK DECK Y DE LA MAIN DECK

- Se extienden todas las mangueras contra incendios sin obstaculizar los caminos de seguridad.



Ilustración 116 Detale de colocación de mangueras en la Tunk Deck. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Se extienden las mangueras de las estaciones de polvo seco de forma que lleguen dos a cada domo de vapor y de gas.



Ilustración 117 Detalle Hose Cabinet de polvo seco. Fuente: elaboración propia

- Los cañones de polvo (Monitor) tendrán las válvulas abiertas y los tapones quitados, estarán apuntando hacia el manifold, así están listos en caso de tener que dispararlos remota o localmente.



Ilustración 118 Detalle estación polvo seco. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Se llevan los EPIs necesarios al manifold.
- Se lleva un carro contraincendios al manifold de por si acaso.
- Se preparan la caja del ISPS, la conexión contraincendios internacional de tierra y el safety plan para llevarlos a la escala de tierra.
- Se prepara una manguera de agua dulce con un cubo de inox y trapos para posibles pequeñas perdidas.
- Se ponen los tapones de los imbornales.
- Se cierran las válvulas de drenaje de la bandeja de los manifolds.



Ilustración 119 Detalle bandeja manifold. Fuente: elaboración propia

- Se pone con suficiente antelación la planta de glicol (sobre todo antes del cooldown de tanques en la carga)



Ilustración 120 Plant Glicol. Fuente: elaboración propia

OP_004 PRUEBAS ESD

Lo primero que haremos serán las pruebas de ESD, para asegurarnos de que todo funciona correctamente. Se hacen entre 48 y 24 horas antes de operaciones se realizan las pruebas de ESD y de la operatividad de las válvulas principales de carga

Tenemos 2 tipos de ESD, un ESD corto en el que nos tripean las bombas de carga de Spray y las válvulas ESD, y un ESD largo en el que nos tripean los compresores, las válvulas master de gas y las bombas de Fuel/Gas.

- a) Lo primero es conectar el Dummy, en la caja de conexiones que está a la altura del manifold. Lo conectaremos y desde ahí provocaremos un ESD corto simulado desde tierra con el eléctrico para asegurarnos que nuestro cable está bien.

Con el óptico únicamente cerramos el circuito, asegurándonos así que desde la conexión hacia el barco el circuito está en buenas condiciones. Si nos falla puede ser por algo de suciedad, existe un kit de limpieza para limpiarlo y volver a probar.

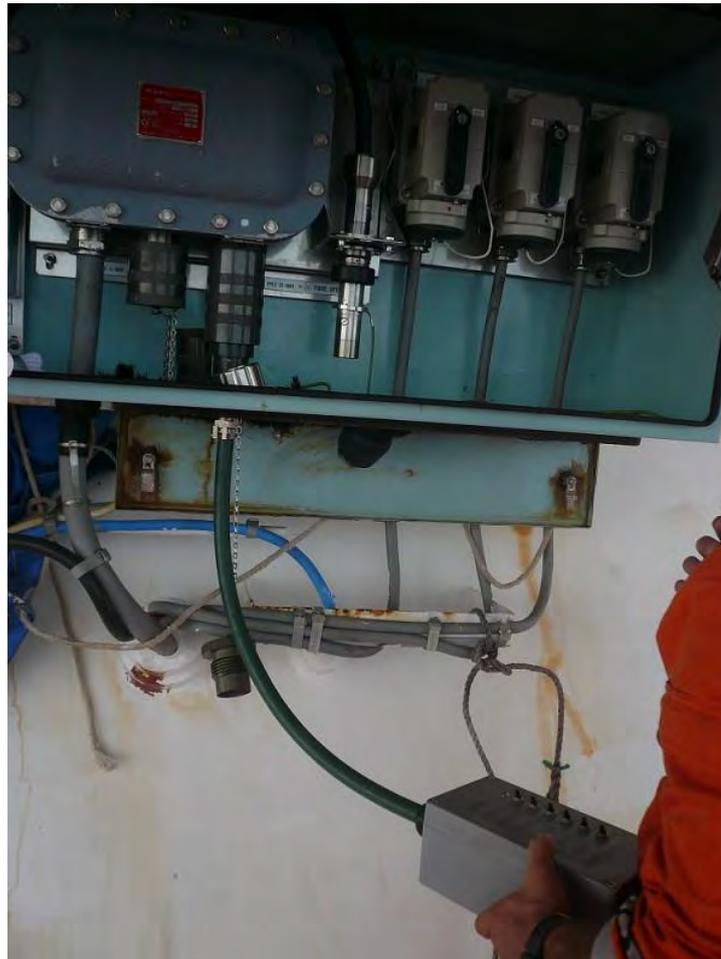


Ilustración 121 Dummy conectado a la caja de conexiones. Fuente: elaboración propia

- b) Presionaremos el pulsador ESD desde el manifold. Tendremos todas las válvulas abiertas (las válvulas de las líneas de líquido y la de vapor) y tomamos el tiempo que tardan en cerrar, no deben tardar más de 30 seg. La velocidad la podemos variar regulando la recirculación de los hidráulicos que suelen estar en los passageways.



Ilustración 122 Detalle de botellas llenas de aceite hidráulico en los Passageways. Fuente: elaboración propia

La primera vez probaremos con las 5 válvulas pero en los sucesivos ESD solo con 1 valvula abierta es suficiente ya que esta prueba puede acabar dañando de verdad alguna válvula.

- c) Probamos los Melting plugs. En este caso probaremos los del manifold. Lo que hacemos es abrir el circuito, simulando la apertura que se produciría al fundirse un melting plug.



Ilustración 123 Melting Plug. Fuente: elaboración propia

- d) Altos Niveles (Omicron). Para hacer esta prueba abrimos las válvulas de descarga y la Branch que están en los domos de líquido. Evitaremos abrir y cerrar la filling innecesariamente para cuidarla más.



Ilustración 124 Detalle válvulas de descarga y la Branch. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Las alarmas de altos niveles son:

98,5 % Se cierra la filling

99 % Nos hace un ESD corto

Al terminar dejamos la Filling y la Branch al 100% y las descargas de las bombas al 20% preparadas para la operación.

OP_005 PREPARAR CONTROL DE CARGA

Prepararemos el hidraulic power pack del cargo. Esto se hace con el IAS en uno de los ordenadores del control de carga. Para ello, con las dos bombas principales en Auto, seleccionamos “main mode”. Entonces nos arrancará la primera bomba en st/by y nos parara la Top up.

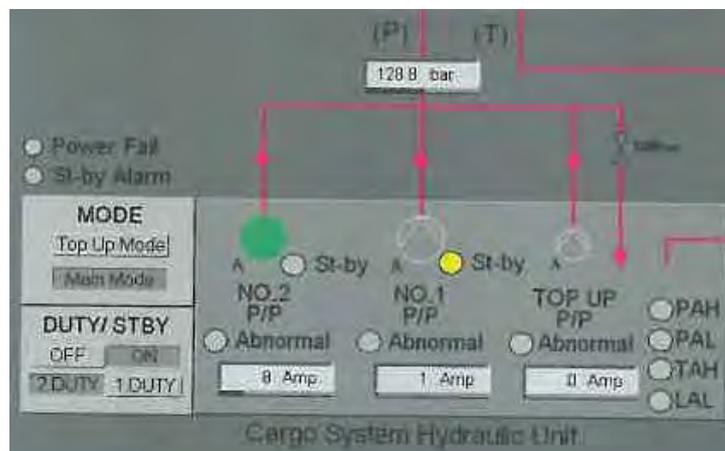


Ilustración 125 Detalle Hidraulic power pack. Fuente: IAS

Volveremos a poner en Auto la Top up pump para que al terminar las pruebas ESD y pasar a “top up mode” nos arranque y se paren las principales.

Antes de comenzar tendremos el switch de ESD MODE en “block”. Seguidamente en la pantalla del IAS elegimos el LINK que queremos, en

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

este caso “Electric S/S Link”; y en “terminal selection” designaremos si vamos a terminar de carga o descarga. Comprobaremos que tanto el eléctrico como el óptico (desde el barco a tierra) están “Healthy”, sin olvidarnos de designar el nombre de la terminal a la que vamos.

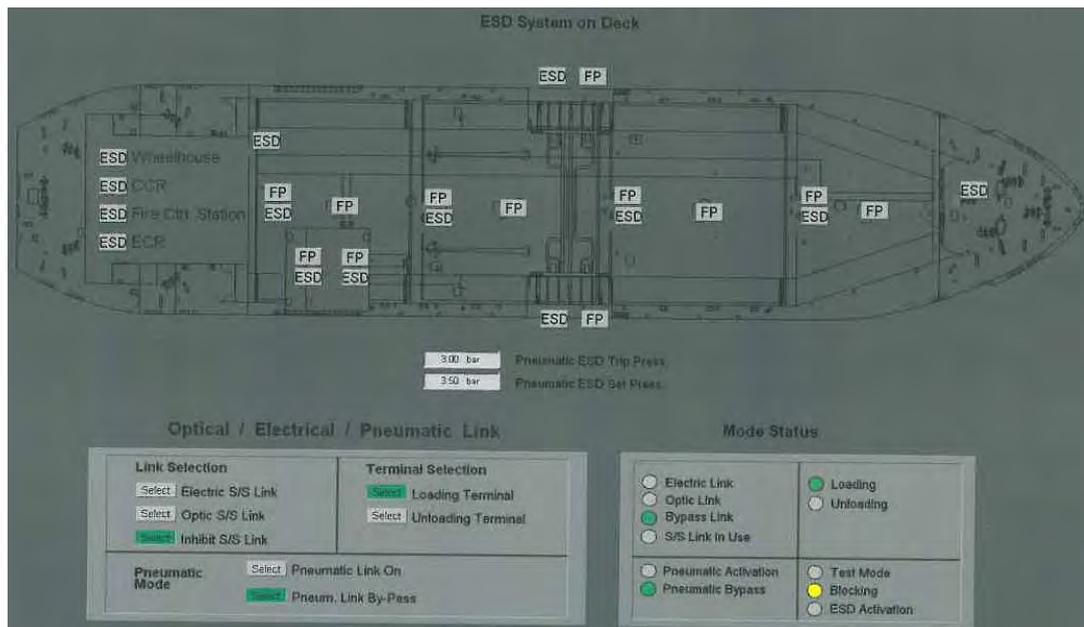


Ilustración 126 Localización Botones ESD. Fuente: IAS

Para hacer las pruebas ESD tendremos abiertas las válvulas Branch y las Filling.

Antes de que hagan el primer ESD debemos asegurarnos que el switch lo hemos pasado de Normal a Block y que hemos reseteado.

Desde el manifold provocaran el ESD eléctrico que nos cierra las válvulas ESD. Para el resto de pruebas seguimos con el óptico. Hay que seleccionarlo tanto en el IAS como con el switch de la consola. Estos cambios se realizan siempre en el modo “block” y se vuelve a “normal”, lo reseteamos y se vuelve a “block”, es decir:

BLOCK → RESET / RESET → BLOCK

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Cuando probamos el ESD desde el CCR (Cargo Control Room) pasamos a “test”, se provoca el ESD y para resetarlo se pasa a “Block” antes de resetear para evitar así tirar el gas a la maquina.

Cuando van a probar los niveles (Tank protection System) cerramos la branch de cada tanque para evitar que el hidráulico trabaje en exceso. Al 98% nos cierra la filling y al 99% con el modo normal nos hace ESD como hemos dicho anteriormente.

OP_006

ENFRIAMIENTO DE LOS TANQUES DE CARGA

a) Con Heel:

El Heel es remanente de la carga que se deja en los tanques para ser usado como Boil-off o para enfriar los tanques antes de cargar o de enfriar las líneas antes de descargar. Cuando se va hacia una terminal de descarga y se reciben órdenes de dejar heel hay que hacer el cálculo para que la cantidad llegue hasta la fecha de la siguiente carga permitiéndonos entrar fríos y así reducir el tiempo que se esté en la terminal.

Para el cálculo del heel con el que llegaríamos a la operación de carga hay que tener en cuenta los consumos de gas diarios.

He aquí el Heel necesario para un buque metanero de 170.000 metros cúbicos de carga:

- Consumo diario para mantener la presión en lastre – 200 m³/día equivalente a navegar a 16,33 nudos.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Estando fondeado el consumo mínimo para mantener la presión es 160 m³/día.
- Para el enfriamiento de tanques y líneas se usan alrededor de 600 m³.
- Para velocidades superiores habrá que entrar en las tablas de velocidad/consumo . También se puede pedir al cargo los datos del consumo diario que se está haciendo.
- Se suele calcular un día extra de travesía por los inconvenientes y después se “Juega” con márgenes de en torno un 10 % de todo el heel calculado y se suma para evitar posibles errores.

Con todos estos datos solo habría que multiplicar el consumo diario del punto 1 por los días de navegación y, si los hubiera, de fondeo (con su consumo correspondiente). La cantidad final sería el heel necesario que debe quedar después de la descarga para llegar a la siguiente carga fríos.

Una vez tengamos todos los cálculos, lo que hacemos es alinear todas las válvulas desde el tanque con líquido hasta el que queramos enfriar, dejando las reguladoras al 100% y abriendo un juego de toberas entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ vuelta.

Arrancaremos la bomba spray / stripping. Al poner la bomba en marcha la presión sube rápidamente porque el líquido frío se encuentra con una línea caliente y se expande.

Cuando la línea se vaya enfriando y baje la presión vamos cerrando la recirculación al tanque progresivamente intentando mantener una presión no muy alta en la línea spray que nos asegure un buen enfriamiento. Es cuando alineamos para que el Heel vaya desde el tanque donde se encuentra hasta el domo de vapor del tanque que queremos enfriar.



Ilustración 127 Detalle de unión de la línea de Spray con el domo de vapor. Fuente: elaboración propia

Para llegar fríos a cargar lo que necesitamos es tener una temperatura media de -130 grados en las temperaturas de los tanques hasta el 95%.

Al meter líquido a un tanque caliente se generará vapor con lo que necesitaremos quemar más en la GCU para controlar la presión y llegar por debajo de unos 130 mbar a la terminal.

Si tenemos heel, los tanques estarán fríos, con lo que las barreras no necesitarán una gran cantidad de N2.

b) Sin Heel

En este caso, el enfriamiento se hará con gas que nos mande la terminal a través de un brazo; y abriremos las válvulas de spray a los tanques al 100%.

Poco a poco irán enfriando el brazo de la terminal, y continuaran en este caso metiendo liquido para enfrían nuestra línea de stripping que se ira llenando de liquido. Hay que controlar que la presión, evitando así un enfriamiento brusco en los tanques que pudiera provocar una bajada tan

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

rápida de la presión de N₂ en las barreras que los generadores no fueran capaz de mantener el set point establecido.

El enfriamiento (cooling down) de los tanques, partiendo de unos 20 °C suelen ser unas 11h.

Es muy importante controlar la presión de nitrógeno en las barreras. Como los tanques van a estar calientes y necesitaremos una gran cantidad de nitrógeno podemos subir el set point de arranque a los generadores para asegurar una aportación constante. Además, aprovechando que tenemos una mayor presión en la botella de nitrógeno, podemos aumentar el set point de entrada de N₂ a las barreras para que se presuricen con mayor rapidez.

Cuando falten un par de horas para acabar el enfriamiento de los tanques (-130 / -135C), se empiezan a enfriar el resto de los brazos a través de la línea de liquido. Se abren las válvulas ESD, manuales del manifold, branch y filling.

Durante este enfriamiento de tanques no se puede quemar en la GCU puesto que ya se ha hecho el CTS (Custody Transfer System); así que debemos regular la presión en los tanques con el HD. Mientras estén enfriando el brazo de la terminal y el header de stripping enviaremos el gas a la terminal por free flow, pero seguramente cuando empecemos a sprayear para enfriar los tanques debemos poner en marcha el HD.

El cooldown de los tanques se considera completo cuando la temperatura media entre los sensores que están desde el 0% hasta el 80% de altura del tanque tiene una media de -130°C. GTT afirma que se podría empezar a cargar con una temperatura media de -80°C, pero en la práctica no se haría en ningún caso por requerimiento de las terminales.

Cuando se termina el cooldown se dejan las válvulas a los tanques abiertas para evitar que se presurice la línea de spray

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

II.3.1.2.- Llegada al puerto de carga

En este apartado se describen los procesos que se llevan a cabo en el momento de llegada al puerto de carga, los cuales aparecerán posteriormente en el flujograma. Para relacionar estos procesos con su aplicación práctica en el comentado flujograma, se utilizarán las siglas OP_XXX correspondiente.

OP_007 **BARCO EN POSICIÓN**

Cuando nos estemos acercando al muelle pondremos el barco en posición. La referencia será nuestro brazo de vapor alineado con su marca en tierra.

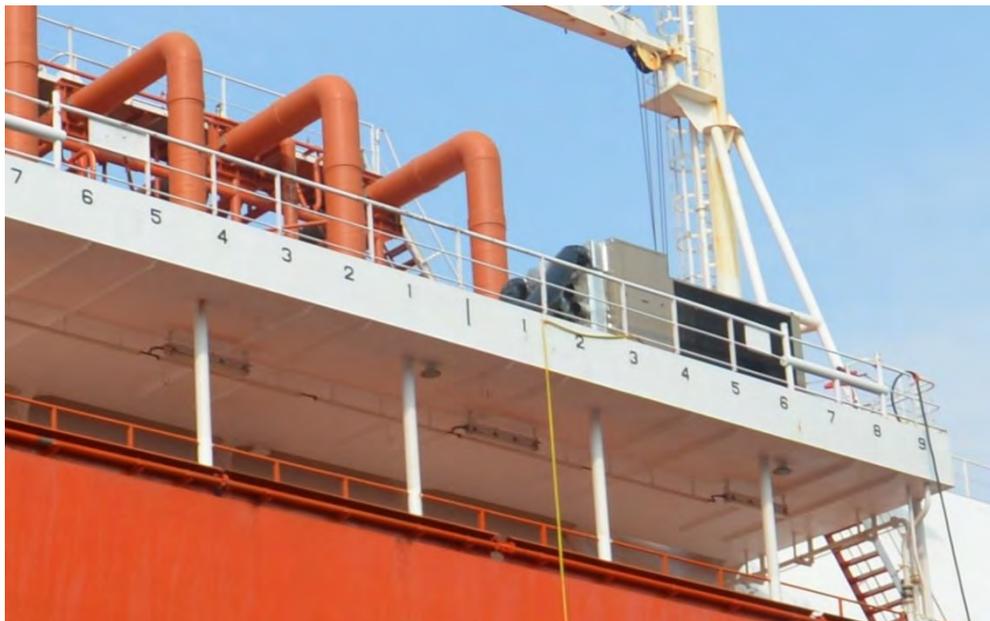


Ilustración 128 Detalle línea de posición en el manifold. Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

OP_008

PRE-OPERATION SAFETY MEETING

Lo llevan a cabo el Loading Master de la terminal con el Chief Mate del buque, es aquí donde se acuerdan los detalles y procedimientos a seguir durante la operación:

- Itinerario de la operación.
- Se rellena el “Safety Pre loading checklist”.
- Se pone el rate máximo permitido.
- El flujo máximo de retorno de vapor.
- La presión requerida para el enfriamiento de líneas y brazos de carga, normalmente se empieza poco a poco y se termina entre 1 y 1,5 bares.
- La presión máxima permitida en el manifold, normalmente alrededor de 4,5 bares.
- Las presiones para el leak test y purgado, brazos de liquido 5 bares y brazo de vapor 1 bar.
- Como y cuando se realizaran las pruebas del ESD.
- El CTS inicial, cuando se realiza.
- Hacia donde se hará el barrido una vez terminada la carga, si hacia el buque o terminal.
- Si se permite quemar gas en la maquina y usar la GCU.
- Se informa de lo que durara el ramp up y el ramp down.
- Se informa si existe algún problema técnico por parte del buque o la terminal que afecte a la operación.
- Demás datos técnicos que cada terminal pueda requerir.

OP_009 RONDA DE SEGURIDAD

Ronda de seguridad que le hace el oficial de guardia al Loading Master

OP_010 APERTURA DE BRAZOS

Quitaremos las tapas de los conos y nos habremos asegurados que los del otro manifold estén bien apretados. Las tapas no las volveremos a apretar hasta que no estén a temperatura ambiente.

Inspeccionaremos las superficies de las bridas y el estado de los filtros.

La junta que va entre el brazo y el cono/ carrete la traen personal de la terminal.



Ilustración 129 Líneas de nitrógeno conectadas al brazo de Vapor en astillero. Fuente: elaboración propia

OP_011

BAJAR NIVELES WHESSOE

Abriremos las Whessoe (niveles). Para ello abriremos las tapas, engranamos la manivela, sacamos el pin y cuando haya llegado el flotador al fondo terminaremos desengranando la manivela de nuevo.



Ilustración 130 Detalle Whesshoe. Fuente: elaboración propia

OP_012

CORTINA DE AGUA

Abrir la cortina de agua. Esto hace que el agua se deslice por el costado del casco y lo protege de posibles pérdidas de LNG durante la carga. Cubre toda la zona del costado del buque a la altura del manifold.

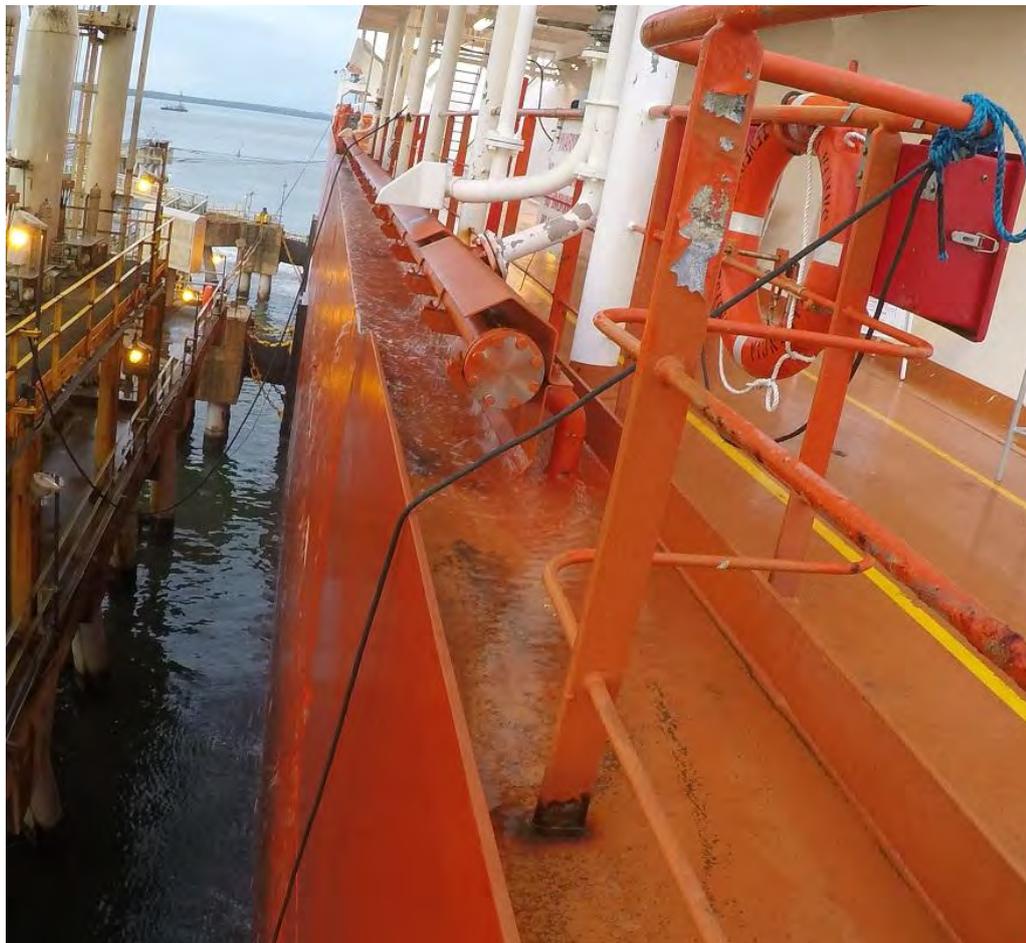


Ilustración 131 Cortina de agua de un metanero. Fuente: elaboración propia

OP_013

CONEXIÓN BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR

Cuando se coloca el gangway iremos a conectar y bajaremos las barandillas para meter los brazos.

Haremos el leakage test. En los brazos de líquido ira a 4 – 5 bares mientras que en el de vapor ira entre 1 y 2 bar.



Ilustración 132 Detalle de conexión de los brazos del manifold del buque con los de l terminal.
Fuente: elaboración propia

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

OP_014 CONEXIÓN ESD

Desde la terminal nos pasarán la conexión del ESD eléctrico y óptico.

Cuando todo lo anterior este realizado podremos volver al control de carga para hacer los ESD test y el line up. Nos tendrán que abrir in situ las válvulas manuales.



Ilustración 133 Caja de conexión debajo del Manifold. Fuente: elaboración propia

OP_015 QUITAR GAS A LA MÁQUINA

Cuando haya que quitar gas a la maquina se pasará el generador que esté en funcionamiento a MDO y posteriormente a HFO.

Pararemos el Compresor Low Duty y dejamos que la GCU consuma el gas que hay en la línea. Cuando la temperatura baje de 50 grados se paran los ventiladores. Se deja "ready to start".

Además pararemos la Fuel Gas Pump.

OP_016 CTS

Al comienzo de la operación (carga o descarga) se imprime un CTS before loading/discharging y simultáneamente un pantallazo de los contadores del IAS.

OP_017 ESD CALIENTE

Pararemos la bomba de spray y se abren las válvulas ESD. Las manuales de las líneas de líquido las mantenemos cerradas. Haremos es ESD desde el Control de Carga (CCR) en modo "Test". Se activa el ESD y se llevan a cabo todas las acciones de un ESD corto.

OP_018 APERTURA VÁLVULAS BRAZO DE VAPOR

Hay que abrir la válvula ESD del brazo de vapor y la válvula de descarga del High Duty y cerrar la válvula de seguridad del Low Duty. De esta forma estamos expulsando el gas por free flow. Si fuese necesario se pone el High Duty.

OP_019 ENFRIAMIENTO BRAZOS

Hay que abrir las válvulas ESD, manuales del manifold, filling al 100% y Branch de los tanques. Se hace pasar líquido hasta que ellos tienen los brazos fríos. Con -100C en el liquid header consideraremos que las líneas del barco están frías.

El enfriamiento suele llevar entre 1 y 2 horas, y aunque lo habitual es arrancar el HD para bajar la presión en los tanques podría no ponerse y enviarles el gas por free flow.

OP_020 ESD EN FRÍO

Cuando se da por finalizado el enfriamiento de las líneas se lleva a cabo otro ESD que activara la terminal.

Se activa el ESD y se llevan a cabo todas las acciones de un ESD corto es decir, se paran las bombas de stripping, carga y HD compressor y se cierran las válvulas ESD.

II.3.1.3.- Durante el proceso de carga

En este apartado se describen los procesos que se llevan a cabo durante el proceso de carga, los cuales aparecerán posteriormente en el flujograma. Para relacionar estos procesos con su aplicación práctica en el comentado flujograma, se utilizarán las siglas OP_XXX correspondiente.

OP_021 **ALINEAMIENTO DE LÍNEA DE LÍQUIDO**

Deberemos abrir las válvulas ESD con sus correspondientes válvulas manuales.

Después abriremos las válvulas Branch y las Filling de cada tanque.

Al fin y al cabo es abrir las válvulas que comunican los Manifold con los tanques para que el líquido vaya libre desde la terminal hasta el interior de los tanques.

Se variaran la apertura de las filling a lo largo de la operación para que se llenen los tanques por igual.

OP_022 **ALINEAMIENTO DE VAPOR**

Se hace para reducir la presión que se genera dentro del tanque por la evaporación del LNG durante el proceso de carga. Se hace con los High Duty y se reenvía ese vapor a la terminal.

El HD aspirará desde los tanques LNG en estado vapor y lo mandara hacia la terminal para controlar la presión.

Se arrancará el HD con sus válvulas de recirculación abiertas al 100%, de forma que recircularemos parte del vapor al tanque a la vez que lo enviamos hacia la terminal. Poco a poco iremos cerrando las válvulas de la recirculación para enviar cada vez más a la terminal. Enviaremos lo que nos admitan, pero no permitiendo que la presión a bordo nos suba de 180 mbar.

OP_023

RAMPING UP

En ese momento, con todo alineado, se considera que estaríamos listos para comenzar a cargar. Se comunicaría a la terminal para empezar con el Ramping Up.

El Ramping Up es el comienzo de la carga, momento en el que el Rate es muy bajo debido a que la tendencia de la presión dentro de los tanques es a subir bruscamente y por eso hay que empezar muy despacio y subir poco a poco el rate, esta tendencia se suaviza cuando la sonda en los tanques alcanza los 0,5 m. Ahí la evaporación brusca debido a la turbulencia se reduce muchísimo.

Una vez se ve en la gráfica de presiones de los tanques que la presión se estabiliza se sigue subiendo por volumen, pidiendo 1000 m³ /h – 2000 m³ /h– 3000 m³ /h– 4000 m³ /h(a estas alturas de ramp up suele alcanzarse el 0,5m de sonda y se sube de 2000 m³ /h en 2000 m³ /h) – 6000 m³ /h – 8000 m³ /h – 10000 m³ /h – Full rate.

La presión dentro del tanque se controla de forma continuada a lo largo de la operación con el High Duty como ya hemos dicho.

OP_024

FULL RATE

Es el momento en el que todas las bombas de la terminal están funcionando al 100%.

Aquí iremos controlando la presión dentro de los tanques y la cantidad de LNG dentro de los tanques ya que no queremos que acaben todos a la vez si no que queremos que acaben por turnos. Esto lo conseguiremos abriendo y cerrando las válvulas de la Branch de cada tanque, válvula que permite el paso de LNG líquido dentro del tanque.

Cuando se está llegando a los metros cúbicos deseados se establece una hora para empezar a disminuir el rate y es cuando comenzará el ramping down.

OP_025

CONTROL DEL LASTRE

El control del lastre se hace durante la carga de los tanques, mientras los tanques de carga se van llenando, los tanques de lastre se van vaciando. Todo ello viene indicado en el plan de carga que ha sido realizado por el Primer Oficial y firmado por todos los oficiales que estarán en la operación. Hay que tener mucho cuidado con las superficies libres. El punto más crítico es cuando el nivel del agua se llega por el pantoque que es cuando hay más superficies libres.

OP_026

RAMPING DOWN

Es el momento del final de la carga, cuando se reduce el Rate de la terminal para acabar poco a poco. Esto nos permite ser muy precisos a la hora de cargar la cantidad prefijada.

Al ir disminuyendo el Rate nos bajara la presión. Entonces podremos ir cerrando parcialmente las filling para ajustar los niveles de los tanques.

Se inhiben las alarmas del 98.5% del Omicron (altos niveles) ya que nos cerrarían las filling (El 99% hace ESD), haciendo eso sólo nos sonará la alarma.

Cuando nos acerquemos a la sonda final cerramos la filling al 50%.

El SAAB nos indicara que se ha llegado al 98.5% del volumen real del tanque teniendo en cuenta la escora del barco.

Cerraremos la filling y la branch del Tk 1 que es el primero en cargar. Ese tramo de tubería no se presuriza porque las anti retorno tiene un orificio pequeño por el que se drena el líquido. De cualquier manera al terminar la operación las volveremos a abrir. Hay que chequear que no pierden y evitar así seguir llenando el tanque.

Este mismo procedimiento lo repetiremos primero para el Tk4 y luego para el Tk2. El Tk3 en vez de llenarlo hasta el 98,5% del volumen se deja un límite para que al purgar las líneas se termine llenando hasta ese volumen.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Cuando se da por finalizada la carga se cierran las ESD de los brazos de líquido.

Si se da el caso que durante el ramping down la presión en los tanques baja mucho a pesar de que el HD está a la carga mínima podremos abrir la válvula de recirculación para que vuelva al tanque.

Esta sería una tabla de ramp down de carga al 98,5% de capacidad.

<i>Time to Go</i>	<i>Loading Rate</i>	<i>Volume on Board</i>	<i>Volume to Go</i>	<i>Rate x min. (m3/min)</i>	<i>Action</i>
120,0 min	11000	155.692	15275	183,33	Advice terminal 1 h x Ramp Down
90,0 min	11000	161.192	9775	183,33	Advice terminal 1/2 h x Ramp Down
60,0 min	11000	166.692	4275	183,33	Reduce to 8000 m3. Commence ramp down.
48,0 min	8000	168.292	2675	133,33	Reduce to 6000 m3.
36,0 min	6000	169.492	1475	100,00	Reduce to 4000 m3
24,0 min	4000	170.292	675	66,67	Reduce to 2000 m3
12,0 min	2000	170.692	275	33,33	Reduce to 1000 m3
0,0 min	1000	170.892	75	16,67	STOP LOADING
LINE DRAIN		170.967	0		

Tabla 2 Ramping Down. Fuente: elaboración propia

En este caso, en las líneas había 75 m³ que hay que tener en cuenta porque al purgar, esa cantidad también va a los tanques.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

II.3.1.4.- Después del proceso de carga

En este apartado se describen los procesos que se llevan a cabo después del proceso de carga, los cuales aparecerán posteriormente en el flujograma. Para relacionar estos procesos con su aplicación práctica en el comentado flujograma, se utilizarán las siglas OP_XXX correspondiente.

OP_027 **PURGADO DE LÍNEAS**

La terminal purga sus líneas. Para purgar las líneas del buque, se presurizaran con Nitrógeno. La terminal drena hacia la terminal mientras que el buque abre las bridas ciegas de las purgas y las válvulas de la línea de Spray. Cuando cada uno de los brazos este presurizado a 4 bares se abrirán válvulas de Spray. Se hará hasta que la presión baje a 2 bares la primera vez; y hasta 1.5 bares la segunda vez. Entonces miramos a ver si hay líquido.



Ilustración 134 Detalle Purgado de líneas. Fuente: elaboración propia

Con dos veces suele ser suficiente. Además de ver si nos sale líquido por la purga el sonido ronco durante el purgado nos indicara la presencia de líquido.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

OP_028 **DESCONEXIÓN BRAZOS DE LÍQUIDO**

La desconexión de los brazos de líquido se hará una vez haya finalizado el purgado, sin que estén presurizados.

OP_029 **PARAR EL HD**

Se le bajará la carga al mínimo y le daremos a la secuencia de parada.

OP_030 **CTS Y DOCUMENTACIÓN**

Al final de la operación se imprime un CTS after loading/discharging, un Loading/unloading Certificate y otro pantallazo de los contadores.

Al término de la operación de carga cuando ya se ha terminado el cálculo, se pasa a firmar y sellar toda la documentación de la carga. Los documentos que tenemos que quedarnos en el barco y que se archivan en los archivadores del CCR dentro de una carpeta individual para cada operación son los siguientes:

- Condición de salida; se obtiene con el programa de carga y en él aparecen todos los datos de estabilidad, calados, sondas de tanques, graficas de estabilidad, esfuerzos cortantes y momentos flectores. Además de los resultados de la evaluación de todas las condiciones realizadas por la computadora de carga.
- Ship-Shore Safety Checklist; en él se hace una comprobación por parte del loading master y el chief officer de que todos los procedimientos y chequeos han sido seguidos y realizados correctamente.
- Checklist de emergencia en caso de terremoto y tsunami; es el plan de contingencia a seguir en caso de terremoto o tsunami.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Carta de compromiso; en ella el capitán del buque y el firmante (si es otro) se responsabilizan de todas las medidas de seguridad durante la estadía del buque.
- Marine Department Checklist; es una lista con los pasos a seguir desde 48 horas antes de la llegada del buque hasta el desatraque en orden cronológico, la lleva a cabo la terminal y a partir del atraque también el buque, en las materias que le conciernen.
- Carta de compromiso en los procedimientos; en ella se afirma que todos los procedimientos se han contemplado.
- Parte Meteorológico; es facilitado por la terminal, en él se da la previsión, como mínimo, durante todo el periodo atracado.
- Itinerario de la operación completa; en él se da un desglose de toda la operación desde el embarque de práctico hasta la salida del canal con el tiempo estimado que durará cada una de ellas.
- Condición de llegada; se saca del Lodicator y tiene los mismos parámetros que la de salida pero con los datos correspondientes a la condición de llegada.
- Loading Plan; es realizado por el primer oficial y en él se explica detalladamente todo el proceso de la operación desde la maniobra de atraque hasta el final de la operación. Pasando por los plan de carga, plan de lastre, válvulas que se abrirán y las que permanecerán cerradas, banda de atraque y brazos a conectar.
- Records programados; en el Saab se programa para que imprima cada hora un CTS con los datos del estado actual de la carga. Estos se utilizan para calcular el rate cada hora.
- Custody Transfer Data del buque; estos deben ser firmados por el buque y por la terminal, y consta de un CTS before loading/discharging, un CTS after loading/discharging y un Certificate of Loading/discharging en el que viene las diferencias entre los dos anteriores, es decir, las cantidades descargadas.

- Página de Contadores Impresa; se sacan dos veces dos copias cada vez, uno junto al before loading y otro junto al after loading/. También se firman por ambas partes.
- Papeles del Cálculo de Liquidación; es un doble check que realiza el surveyor con los datos de la terminal más el cálculo realizado con los del buque para confirmar que los datos de cantidades facilitados por el buque son correctos. Estos documentos se dan al buque por duplicado (Original y copia) y constan de:
 1. Report de cantidad enviada según los contadores de la terminal.
 2. Report de análisis, en el que se facilita la composición del LNG cargado.
 3. Opening Custody Transfer, son las sondas, temperaturas y presiones de los tanques de carga del buque antes de comenzar la carga. Utilizando como sistema de medida el primario, el Saab.
 4. Closing Custody Transfer, son las sondas, temperaturas y presiones de los tanques de carga del buque al terminar la carga. Utilizando como sistema de medida el primario, el Saab.
 5. Secondary Custody Transfer, son los mismos datos (solo sondas y volúmenes) de los dos anteriores pero en un solo documento y utilizando el sistema de medida secundario, la Wessoe.
 6. Time log; es la hoja de tiempos, en la que se ponen las horas en las que se han dado los acontecimientos importantes para la operación.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

OP_031 VOLVER A QUEMAR GAS EN LA MÁQUINA

Cuando se acaba de cargar se pone en marcha el L.D. y es cuando se empieza a quemar en la GCU lo que se pueda (2000 – 2500 kg/h) a una presión “baja”. En ese momento podemos llamar a la terminal para que cierren sus válvulas ESD de vapor.

Se arrancará la bomba Fuel Gas Pump también.

OP_032 CERRAR VALVULA ESD VAPOR

Proceso a cargo del primer oficial en el que se cierra la válvula ESD por medio del IAS.

OP_033 DESCONECTAR BRAZO DE VAPOR

Este proceso lo protagoniza el Ingeniero de carga con los trabajadores de la terminal.

OP_034 PONER TAPAS A LOS BRAZOS

Se dejarán las tapas puestas pero sin apretar todas las tuercas, dejaremos las suficientes en cruz para que quede bien sujeto pero no cerrado del todo. El resto de tornillos se cerrarán al día siguiente cuando ya todo este frio y de esta forma evitar de esa forma posibles sobrepresiones al calentarse tramos de línea cerrados.

OP_035 CERRAR LA CORTINA

Una vez finalizada la operación de carga, se cierran las válvulas de la cortina de agua.

OP_036

DESCONEXIÓN ESD

Se desconectarán las conexiones ESD entre la terminal y el buque.

OP_037

SUBIR WESSHOE

Se subirán los flotadores de las Wesshoe para que no estén trabajando innecesariamente durante la navegación. Se volverán a bajar en el puerto de descarga.

II.3.2.- Proceso de descarga

Aquí se repetirá mucha de la información escrita en el anterior punto Operación de Carga, no obstante esto tiene como finalidad que si alguien sólo quiere acceder a la información de cómo se descarga un metanero, no tiene más que venir a este punto sin necesidad de pasar por la operación de carga.

Los pasos en la operación de Descarga son prácticamente los mismos que en la operación de Carga. Las principales características de la operación de descarga son:

- Hay que enfriar las líneas. Obviamente los tanques no hace falta. (en la operación de carga enfriábamos los tanques antes de cargarlos)
- El gas nos lo envían desde la terminal hasta los tanques para evitar el vacío que pueda producirse dentro de los tanques de carga. (en la operación de carga es el buque el que envía a la terminal el gas por medio del brazo de vapor)
- Descargamos el LNG de los tanques con nuestras bombas de descarga y las Stripping. (en la carga, son las bombas de la terminal las que se encargan de introducir el LNG en los tanques del buque.)

II.3.2.1.- Antes del atraque

1. PRE ARRIVAL MEETING

Se hace con todos los tripulantes con responsabilidades durante la operación de carga/descarga, en él se aclaran los procedimientos a seguir, hay un listado de las obligaciones de cada uno de los puestos necesarios durante la operación.

2. PREPARCIÓN DE LA TRUNK DECK Y DE LA MAIN DECK

- Se extienden todas las mangueras contra incendios sin obstaculizar los caminos de seguridad.
- Se extienden las mangueras de las estaciones de polvo seco de forma que lleguen dos a cada domo de vapor y de gas.
- Los cañones de polvo (Monitor) tendrán las válvulas abiertas y los tapones quitados, estarán apuntando hacia el manifold, así están listos en caso de tener que dispararlos remota o localmente.
- Se llevan los EPIs necesarios al manifold.
- Se lleva un carro contra incendios al manifold de por si acaso.
- Se preparan la caja del ISPS, la conexión contra incendios internacional de tierra y el safety plan para llevarlos a la escala de tierra.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Se prepara una manguera de agua dulce con un cubo de inox y trapos para posibles pequeñas pérdidas.
- Se ponen los tapones de los imbornales.
- Se cierran las válvulas de drenaje de la bandeja de los manifolds.
- Se pone con suficiente antelación la planta de glicol (sobre todo antes del cooldown de tanques en la carga)

3. PRUEBAS ESD

Lo primero que haremos serán las pruebas de ESD, para asegurarnos de que todo funciona correctamente. Se hacen entre 48 y 24 horas antes de operaciones se realizan las pruebas de ESD y de la operatividad de las válvulas principales de carga

Tenemos 2 tipos de ESD, un ESD corto en el que nos tripean las bombas de carga de Spray y las válvulas ESD, y un ESD largo en el que nos tripean los compresores, las válvulas master de gas y las bombas de Fuel/Gas.

- Lo primero es conectar el Dummy, en la caja de conexiones que está a la altura del manifold. Lo conectaremos y desde ahí provocaremos un ESD corto simulado desde tierra con el eléctrico para asegurarnos que nuestro cable está bien.
- Con el óptico únicamente cerramos el circuito, asegurándonos así que desde la conexión hacia el barco el circuito está en buenas condiciones. Si nos falla puede ser por algo de suciedad, existe un kit de limpieza para limpiarlo y volver a probar.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Presionaremos el pulsador ESD desde el manifold. Tendremos todas las válvulas abiertas (las válvulas de las líneas de líquido y la de vapor) y tomamos el tiempo que tardan en cerrar, no deben tardar más de 30 seg. La velocidad la podemos variar regulando la recirculación de los hidráulicos que suelen estar en los passageways.
- La primera vez probaremos con las 5 válvulas pero en los sucesivos ESD solo con 1 válvula abierta es suficiente ya que esta prueba puede acabar dañando de verdad alguna válvula.
- Probamos los Melting plugs. En este caso probaremos los del manifold. Lo que hacemos es abrir el circuito, simulando la apertura que se produciría al fundirse un melting plug.
- Altos Niveles (Omicron). Para hacer esta prueba abrimos las válvulas de descarga y la Branch que están en los domos de líquido. Evitaremos abrir y cerrar la filling innecesariamente para cuidarla más.

Las alarmas de altos niveles son:

98,5 % Se cierra la filling

99 % Nos hace un ESD corto

Al terminar dejamos la Filling y la Branch al 100% y las descargas de las bombas al 20% preparadas para la operación.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

4. PREPARAR EL CONTROL DE CARGA

Prepararemos el hidráulic power pack del cargo. Esto se hace con el IAS en uno de los ordenadores del control de carga. Para ello, con las dos bombas principales en Auto, seleccionamos “main mode”. Entonces nos arrancará la primera bomba en st/by y nos parara la Top up.

Volveremos a poner en Auto la Top up pump para que al terminar las pruebas ESD y pasar a “top up mode” nos arranque y se paren las principales.

Antes de comenzar tendremos el switch de ESD MODE en “block”. Seguidamente en la pantalla del IAS elegimos el LINK que queramos, en este caso “Electric S/S Link”; y en “terminal selection” designaremos si vamos a terminar de carga o descarga. Comprobaremos que tanto el eléctrico como el óptico (desde el barco a tierra) están “Healthy”, sin olvidarnos de designar el nombre de la terminar a la que vamos.

Para hacer las pruebas ESD tendremos abiertas las válvulas Branch y las Filling.

Antes de que hagan el primer ESD debemos asegurarnos que el switch lo hemos pasado de Normal a Block y que hemos reseteado.

Desde el manifold provocaran el ESD eléctrico que nos cierra las válvulas ESD. Para el resto de pruebas seguimos con el óptico. Hay que seleccionarlo tanto en el IAS como con el switch de la consola. Estos cambios se realizan siempre en el modo “block” y se vuelve a “normal”, lo reseteamos y se vuelve a “block”.

Cuando probamos el ESD desde el CCR (Cargo Control Room) pasamos a “test”, se provoca el ESD y para resetarlo se pasa a “Block” antes de resetear para evitar así tirar el gas a la maquina.

Cuando van a probar los niveles (Tank protection System) cerramos la branch de cada tanque para evitar que el hidráulico trabaje en exceso. Al 98% nos cierra la filling y al 99% con el modo normal nos hace ESD como hemos dicho anteriormente.

II.3.2.2.- Operaciones durante el atraque y hasta el comienzo de la descarga

5. ENFRIAMIENTO DE LÍNEAS

Al ir a realizar una operación, el enfriamiento de líneas corre a cargo de quien posea en ese momento la carga. En este caso, al ir a descargar, somos nosotros los encargados de enfriar las líneas, y posteriormente los brazos a la terminal.

Empezaremos a enfriar líneas, a modo de referencia, cuando embarque el práctico.

Lo haremos con una bomba stripping de los tanque centrales, 2 o 3. Todo el spray header lo tendremos cerrado hacia los tanques, es decir, las toberas que utilizamos para enfriar tanques estarán cerradas. Las isolation valves que nos permiten incomunicar el spray header entre tanques estarán abiertas.

Para comunicar el spray header con los manifold lo haremos a través de válvulas.

Por medio de válvulas comunicaremos al liquid header antes de las manuales de los manifolds y abriremos las Branch y Filling (100%) del Tk 1 (10%) y Tk 4 (10%) para que retorne el liquido hasta alcanzar al menos -100 C

Si esta operación, por alguna razón, se extendiese en el tiempo, hay que tener en cuenta que estamos llenando los tanques 1 y 4.

La recirculación de la bomba la habremos ido cerrando progresivamente.

6. BARCO EN POSICIÓN

Cuando nos estemos acercando al muelle pondremos el barco en posición. La referencia será nuestro brazo de vapor alineado con su marca en tierra.

7. PRE OPERATION SAFETY MEETING

Lo llevan a cabo el Loading Master de la terminal con el Chief Mate del buque, es aquí donde se acuerdan los detalles y procedimientos a seguir durante la operación:

- Itinerario de la operación.
- Se rellena el “Safety Pre discharging checklist”.
- Se pone el rate máximo permitido.
- El flujo máximo de retorno de vapor.
- La presión requerida para el enfriamiento de líneas y brazos de carga, normalmente se empieza poco a poco y se termina entre 1 y 1,5 bares.
- La presión máxima permitida en el manifold, normalmente alrededor de 4,5 bares.
- Las presiones para el leak test y purgado, brazos de liquido 5 bares y brazo de vapor 1 bar.
- Como y cuando se realizaran las pruebas del ESD.
- El CTS inicial, cuando se realiza.

- Hacia donde se hará el barrido una vez terminada la descarga, si hacia el buque o terminal.
- Si se permite quemar gas en la maquina y usar la GCU.
- Se informa de lo que durara el ramp up y el ramp down.
- Se informa si existe algún problema técnico por parte del buque o la terminal que afecte a la operación.
- Demás datos técnicos que cada terminal pueda requerir.

8. RONDA DE SEGURIDAD

Ronda de seguridad que le hace el oficial de guardia al Loading Master

9. APERTURA DE BRAZOS

Quitaremos las tapas de los conos y nos habremos asegurados que los del otro manifold estén bien apretados. Las tapas no las volveremos a apretar hasta que no estén a temperatura ambiente.

Inspeccionaremos las superficies de las bridas y el estado de los filtros.

La junta que va entre el brazo y el cono/ carrete la traen personal de la terminal.

10. BAJAR NIVELES

Abriremos las Whessoe (niveles). Para ello abriremos las tapas, engranamos la manivela, sacamos el pin y cuando haya llegado el flotador al fondo terminaremos desengranando la manivela de nuevo.

11. CORTINA DE AGUA

Abrir la cortina de agua. Esto hace que el agua se deslice por el costado del casco y lo protege de posibles pérdidas de LNG durante la carga. Cubre toda la zona del costado del buque a la altura del manifold.

12. CONEXIÓN DE BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR

Cuando se coloca el gangway iremos a conectar y bajaremos las barandillas para meter los brazos.

Haremos el leakage test. En los brazos de líquido ira a 4 – 5 bares mientras que en el de vapor ira entre 1 y 2 bar.

13. ESD

Desde la terminal nos pasarán la conexión del ESD eléctrico y óptico.

Cuando todo lo anterior este realizado podremos volver al control de carga para hacer los ESD test y el line up. Nos tendrán que abrir in situ las válvulas manuales.

14. QUITAR GAS A LA MÁQUINA

Cuando haya que quitar gas a la maquina se pasará el generador que esté en funcionamiento a MDO y posteriormente a HFO.

Pararemos el Compresor Low Duty y dejamos que la GCU consuma el gas que hay en la línea. Cuando la temperatura baje de 50 grados se paran los ventiladores. Se deja "ready to start".

Además pararemos la Fuel Gas Pump.

15. CTS

Al comienzo de la operación (carga o descarga) se imprime un CTS before loading/discharging y simultáneamente un pantallazo de los contadores del IAS.

16.ESD EN CALIENTE

Pararemos la bomba de spray y se abren las válvulas ESD. Las manuales de las líneas de líquido las mantenemos cerradas. Haremos es ESD desde el Control de Carga (CCR) en modo "Test". Se activa el ESD y se llevan a cabo todas las acciones de un ESD corto.

17.APERTURA BRAZO DE VAPOR

Hay que abrir la válvula ESD del brazo de vapor y la válvula de descarga del High Duty y cerrar la válvula de seguridad del Low Duty. De esta forma estamos expulsando el gas por free flow. Si fuese necesario se pone el High Duty.

18.ENFRIAMIENTO DE BRAZOS

Hay que abrir las válvulas ESD, manuales del manifold, filling al 100% y Branch de los tanques. Se hace pasar líquido hasta que ellos tienen los brazos fríos. Con -100C en el liquid header consideraremos que las líneas del barco están frías.

El enfriamiento suele llevar entre 1 y 2 horas, y aunque lo habitual es arrancar el HD para bajar la presión en los tanques podría no ponerse y enviarles el gas por free flow.

19.ESD EN FRÍO

Cuando se da por finalizado el enfriamiento de las líneas se lleva a cabo otro ESD que activara la terminal.

Se activa el ESD y se llevan a cabo todas las acciones de un ESD corto es decir, se paran las bombas de stripping, carga y HD compressor y se cierran las válvulas ESD.

II.3.2.3.- Durante las operaciones de descarga

20. ALINEAMIENTO DE LÍQUIDO

Deberemos abrir las válvulas ESD con sus correspondientes válvulas manuales.

Después abriremos las válvulas Branch y las Filling de cada tanque.

Al fin y al cabo es abrir las válvulas que comunican los Manifold con los tanques para que el líquido vaya libre desde los tanques hasta la terminal.

21. ALINEAMIENTO VAPOR

Se hace para que no se genere vacío dentro de los tanques cuando se están descargando. Se envía desde la terminal el gas al buque.

22. CONTROL DE LASTRE

El control del lastre se hace durante la descarga de los tanques, mientras los tanques de carga se van vaciando, los tanques de lastre se van llenando. Todo ello viene indicado en el plan de descarga que ha sido realizado por el Primer Oficial y firmado por todos los oficiales que estarán en la operación. Hay que tener mucho cuidado con las superficies libres. El punto más crítico es cuando el nivel del agua se llega por el pantoque que es cuando hay más superficies libres.

23. ARRANCAR BOMBAS DE CARGA

Se arranca la primera bomba y se la pone al mínimo (15% / 50%). La presión en el manifold nos subirá momentáneamente, y cuando baje, podremos ir arrancando sucesivamente más bombas (la rapidez dependerá de la contrapresión que nos encontremos)

Primero arrancaremos una bomba de cada tanque, y después la segunda excepto en el tanque 1.

Cuando estén todas alineadas y con un Amperaje correcto, subiremos su amperaje. Paralelamente se habrá ido bajando carga a la GCU.

Además la terminal alineara vapor, si tienen mas presión que nosotros nos subirá la presión. Iremos cerrando la recirculación a los tanques.

24. EL RAMP UP EN LA DESCARGA

El Ramp Up es la primera hora en la que el rate de las bombas va subiendo hasta llegar al máximo rate de descarga.

- Se suele empezar por uno de los dos tanques centrales (2 o 3).
- Se arrancan recirculando las los bombas con la descarga al 20% y la filling al 100%.
- Cuando están estabilizadas se ponen en línea abriendo la branch poco a poco para poner el tanque en línea.
- Con la branch abierta se pasa a cerrar la filling, para parar la recirculación. Aquí hay que controlar la presión en el manifold y se va cerrando poco a poco para que no hallan subidas bruscas de presión

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

(esto suele ocurrir si el enfriamiento de los brazos y las líneas de tierra no se ha hecho correctamente). Si hubiera una subida brusca en la presión se puede volver a abrir la filling del tanque recién puesto en línea y esperar un poco a que la burbuja de vapor se desplace hacia tierra y la presión en el manifold se estabilice.

- Con el resto de tanques se hace lo mismo, siempre jugando con la presión en el manifold. Hay que tener cuidado cuando hay más de un tanque en línea ya que mientras esta la filling abierta puede estar entrando líquido y este y podemos tener un ESD o, lo que es peor, un rebose. En estos ramp up se anotan las sondas para controlar si aumentan en algún tanque.
- Cuando todos los tanques están en línea y la filling cerradas se suben los caudales de las bombas hasta el máximo abriendo las válvulas de descarga progresivamente, teniendo siempre controlada la presión en el manifold. El orden para el aumento del rate será el mismo que se uso para el arranque de bombas.

El amperaje de trabajo de las bombas para LNG (0,45 t/m³) es de unos 55 A aproximadamente, las bombas caen a 70 A por alta carga y a 40 A por baja.

En un ramp up normal, se haría el procedimiendo de cerrado de la filling poco a poco solo en el primer tanque, una vez estabilizada la presión, el resto de tanque se pueden poner en línea abriendo la branch y cerrando directamente la filling de una vez.

La presión en los tanques durante el ramp up no suele ser un problema, ya que al estar sacando líquido esta baja, puede darse el caso de que tierra solicite que abramos vapor para enviarnos retorno porque tienen mucha presión en sus tanques, o que la presión abordo baje excesivamente.

25. EL RAMP DOWN

Cuando se llega al final de la operación de descarga, se empieza a bajar el Rate de las bombas, es el llamado Ramp Down.

- El tanque en el que queda el heel se distancia de los demás unos 30 minutos en las últimas horas, ya que en el momento del ramp down tendrá más rate que los demás debido a que tiene más columna de líquido.
- La primera bomba de cada tanque se para a una sonda de 0,6 m, para evitar que las bombas se estorben entre ellas debido a la turbulencia si se va a recharicar los tanques, además en este momento se arrancarían la stripping/spray y se tendría funcionando junto a la bomba principal que queda trabajando en el tanque.
- Si se va a dejar heel, la primera bomba se para unos 30 cm antes de la sonda que va a quedar en el tanque, después se va reduciendo el rate de la bomba restante hasta que queda al mínimo amperaje y se para al llegar a la sonda calculada que tiene que quedar.
- Conforme va reduciéndose la columna de líquido el amperaje las bombas va bajando también, esto se compensa cerrando la válvula de descarga y manteniendo una presión de descarga en esta de entre 5 y 6 bares.
- La bomba que queda de cada tanque se va parando por sonda según la calculada previamente para cada tanque. En el caso de un heel out, como la stripping ya está en marcha se dejaría que cayesen solas por sonda mínima y quedaría ya la stripping para acabar la operación.

II.3.2.4.- Después al concluir la descarga

26. PURGADO

La terminal purga sus líneas. Para purgar las líneas del buque, se presurizaran con Nitrógeno. La terminal drena hacia la terminal mientras que el buque abre las bridas ciegas de las purgas y las válvulas de la línea de Spray. Cuando cada uno de los brazos este presurizado a 4 bares se abrirán válvulas de Spray. Se hará hasta que la presión baje a 2 bares la primera vez; y hasta 1.5 bares la segunda vez. Entonces miramos a ver si hay líquido.

Con dos veces suele ser suficiente. Además de ver si nos sale líquido por la purga el sonido ronco durante el purgado nos indicara la presencia de líquido.

27. DESCONEXIÓN BRAZOS DE LÍQUIDO

La desconexión de los brazos de líquido se hará una vez haya finalizado el purgado, sin que estén presurizados.

28. CTS Y DOCUMENTACIÓN

Al final de la operación de descarga se imprime un CTS after discharging, un Unloading Certificate y otro pantallazo de los contadores.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

Al término de la operación de descarga cuando ya se ha terminado el cálculo, se pasa a firmar y sellar toda la documentación de la carga. Los documentos que tenemos que quedarnos en el barco y que se archivan en los archivadores del CCR dentro de una carpeta individual para cada operación son los siguientes:

- Condición de salida; se obtiene con el programa de carga y en él aparecen todos los datos de estabilidad, calados, sondas de tanques, graficas de estabilidad, esfuerzos cortantes y momentos flectores. Además de los resultados de la evaluación de todas las condiciones realizadas por la computadora de carga.
- Ship-Shore Safety Checklist; en él se hace una comprobación por parte del loading master y el chief officer de que todos los procedimientos y chequeos han sido seguidos y realizados correctamente.
- Checklist de emergencia en caso de terremoto y tsunami; es el plan de contingencia a seguir en caso de terremoto o tsunami.
- Carta de compromiso; en ella el capitán del buque y el firmante (si es otro) se responsabilizan de todas las medidas de seguridad durante la estadía del buque.
- Marine Department Checklist; es una lista con los pasos a seguir desde 48 horas antes de la llegada del buque hasta el desatraque en orden cronológico, la lleva a cabo la terminal y a partir del atraque también el buque, en las materias que le conciernen.
- Carta de compromiso en los procedimientos; en ella se afirma que todos los procedimientos se han contemplado.
- Parte Meteorológico; es facilitado por la terminal, en él se da la previsión, como mínimo, durante todo el periodo atracado.
- Itinerario de la operación completa; en él se da un desglose de toda la operación desde el embarque de práctico hasta la salida del canal con el tiempo estimado que durará cada una de ellas.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

- Condición de llegada; se saca del programa de cargay tiene los mismos parámetros que la de salida pero con los datos correspondientes a la condición de llegada.
- Unloading Plan; es realizado por el primer oficial y en él se explica detalladamente todo el proceso de la operación desde la maniobra de atraque hasta el final de la operación. Pasando por los plan de carga, plan de lastre, válvulas que se abrirán y las que permanecerán cerradas, banda de atraque y brazos a conectar.
- Records programados; en el Saab se programa para que imprima cada hora un CTS con los datos del estado actual de la carga. Estos se utilizan para calcular el rate cada hora.
- Custody Transfer Data del buque; estos deben ser firmados por el buque y por la terminal, y consta de un CTS before loading/discharging, un CTS after loading/discharging y un Certificate of Loading/discharging en el que viene las diferencias entre los dos anteriores, es decir, las cantidades descargadas.
- Página de Contadores Impresa; se sacan dos veces dos copias cada vez, uno junto al before loading y otro junto al after loading/. También se firman por ambas partes.
- Papeles del Cálculo de Liquidación; es un doble check que realiza el surveyor con los datos de la terminal más el cálculo realizado con los del buque para confirmar que los datos de cantidades facilitados por el buque son correctos. Estos documentos se dan al buque por duplicado (Original y copia) y constan de:
 - Report de cantidad enviada según los contadores de la terminal.
 - Report de análisis, en el que se facilita la composición del LNG descargado.
 - Opening Custody Tranfer, son las sondas, temperaturas y presiones de los tanques de carga del buque antes de

comenzar la descarga. Utilizando como sistema de medida el primario, el Saab.

- Closing Custody Transfer, son las sondas, temperaturas y presiones de los tanques de carga del buque al terminar la carga. Utilizando como sistema de medida el primario, el Saab.
- Secondary Custody Transfer, son los mismos datos (solo sondas y volúmenes) de los dos anteriores pero en un solo documento y utilizando el sistema de medida secundario, la Wessoe.
- Time log; es la hoja de tiempos, en la que se ponen las horas en las que se han dado los acontecimientos importantes para la operación.

29. VOLVER A QUEMAR GAS EN LA MÁQUINA

Cuando se acaba de descargar se pone en marcha el L.D. y es cuando se empieza a quemar en la GCU a una presión “baja”. En ese momento podemos llamar a la terminal para que cierren sus válvulas ESD de vapor.

Se arrancará la bomba Fuel Gas Pump también.

30. CERRAR VÁLVULA ESD DE VAPOR

Se dejarán las tapas puestas pero sin apretar todas las tuercas, dejaremos las suficientes en cruz para que quede bien sujeto pero no cerrado del todo. El resto de tornillos se cerrarán al día siguiente cuando ya todo este frío y de esta forma evitar de esa forma posibles sobrepresiones al calentarse tramos de línea cerrados.

31. Desconexión brazo de vapor

Este proceso lo protagoniza el Ingeniero de carga con los trabajadores de la terminal.

32. CERRAR LA CORTINA DE AGUA

Una vez finalizada la operación de descarga, se cierran las válvulas de la cortina de agua.

33. PONER TAPAS A LOS BRAZOS

Se dejarán las tapas puestas pero sin apretar todas las tuercas, dejaremos las suficientes en cruz para que quede bien sujeto pero no cerrado del todo. El resto de tornillos se cerrarán al día siguiente cuando ya todo este frío y de esta forma evitar de esa forma posibles sobrepresiones al calentarse tramos de línea cerrados.

34. DESCONEXIÓN ESD

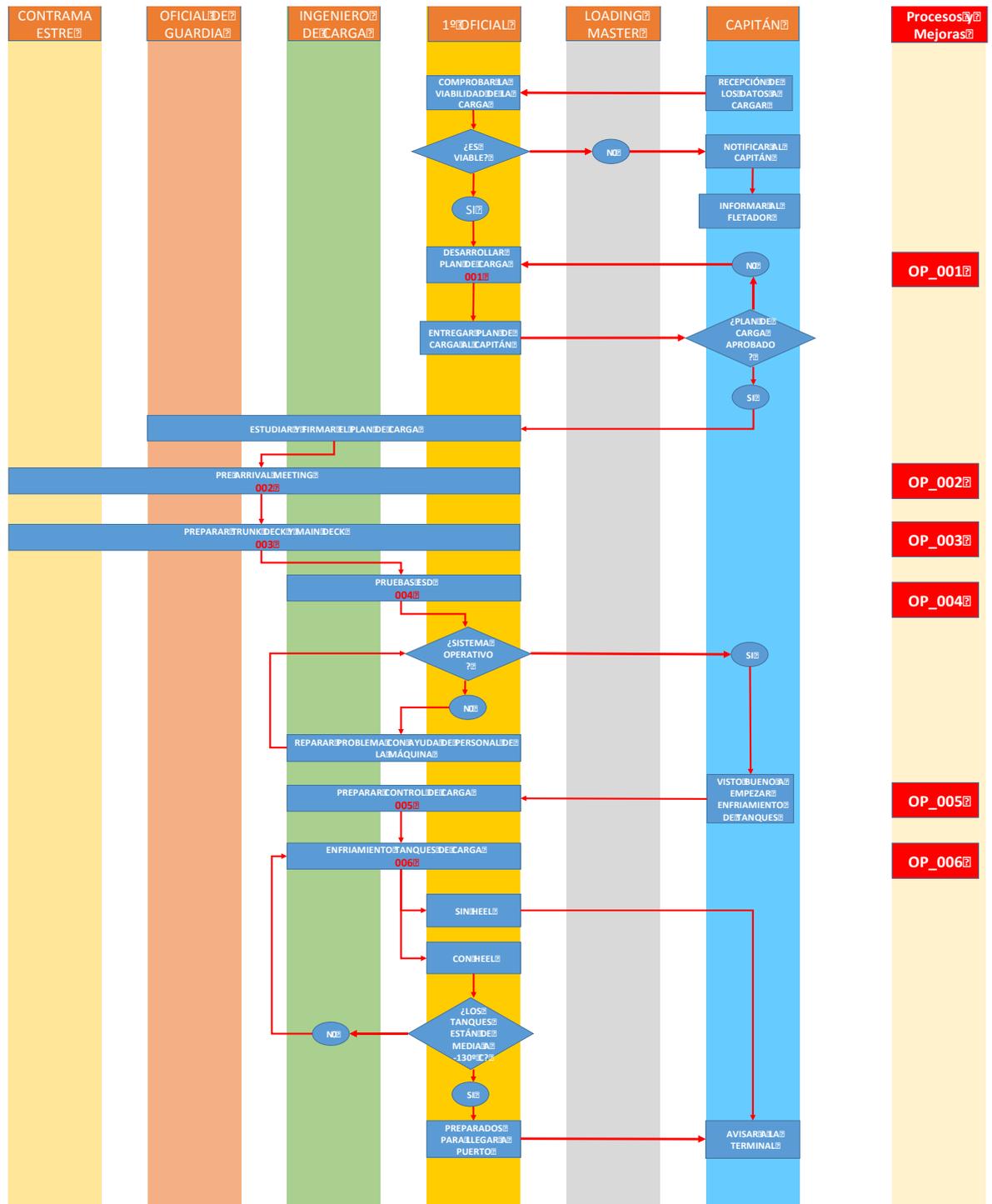
Se desconectarán las conexiones ESD entre la terminal y el buque.

35. SUBIR WESSHOE

Se subirán los flotadores de las Wesshoe para que no estén trabajando innecesariamente durante la navegación. Se volverán a bajar en el puerto de descarga.

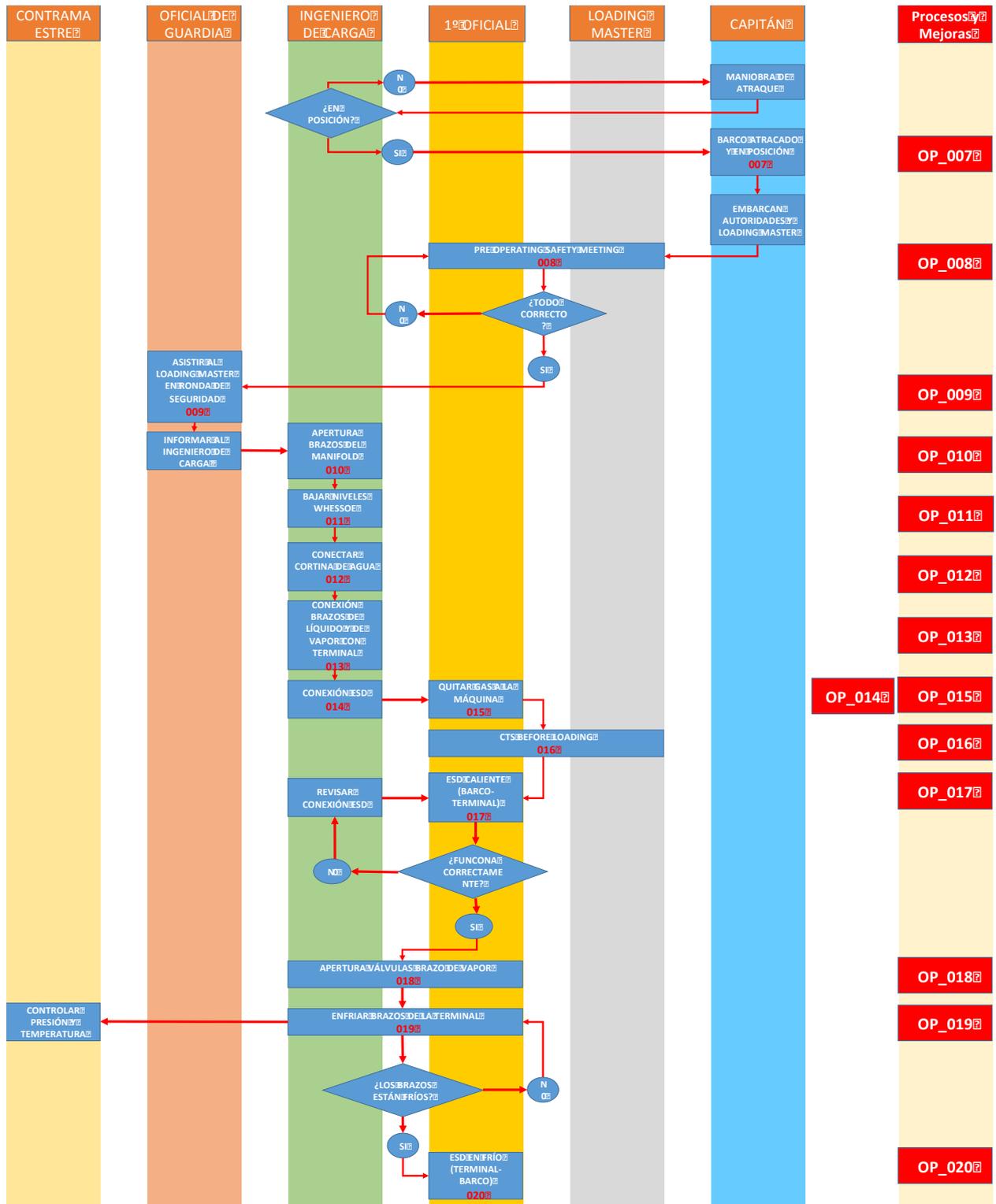
III.- DESARROLLO PRÁCTICO

III.1.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO ANTES DE CARGAR



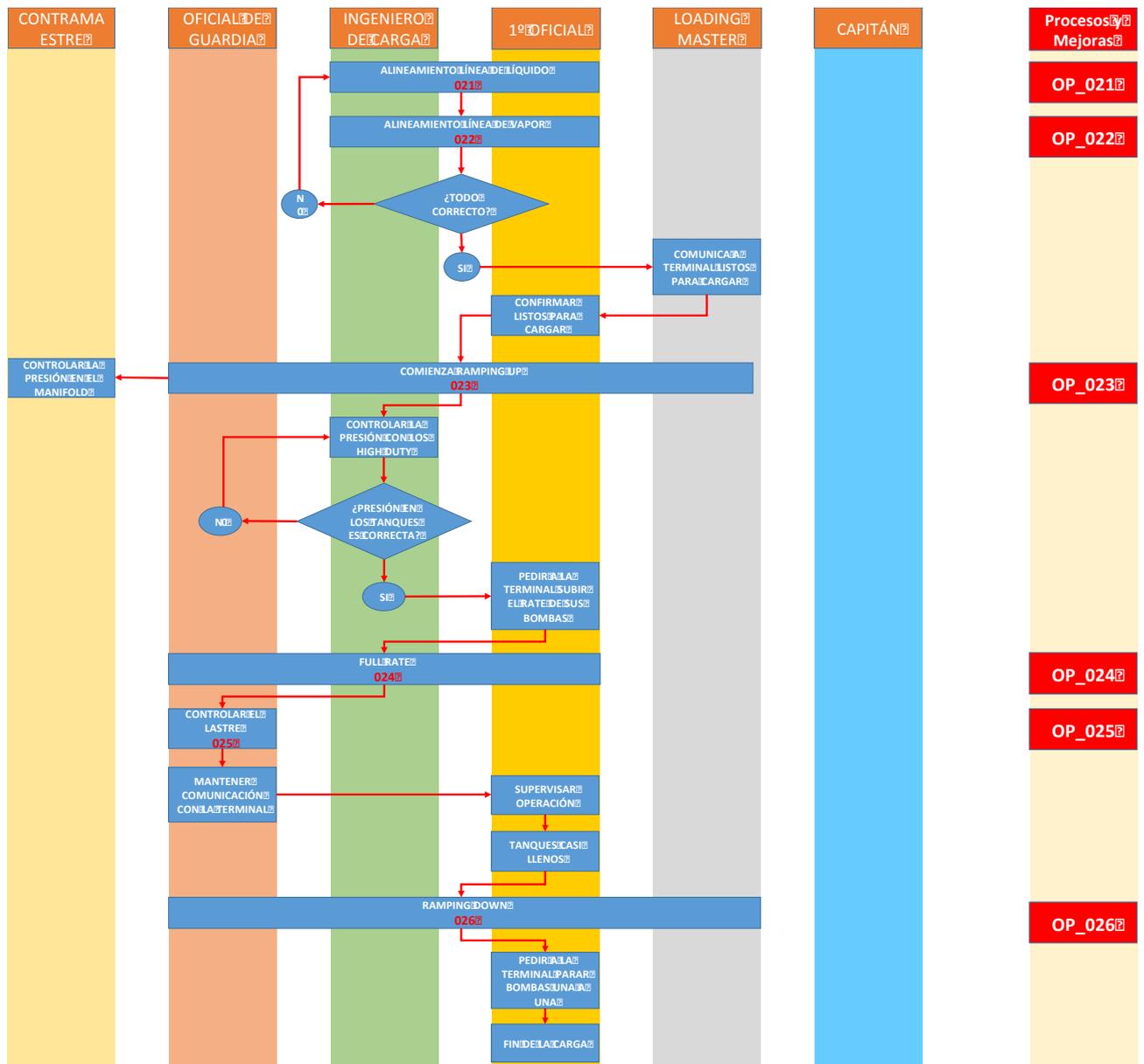
PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

III.2.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DURANTE EL ATRAQUE



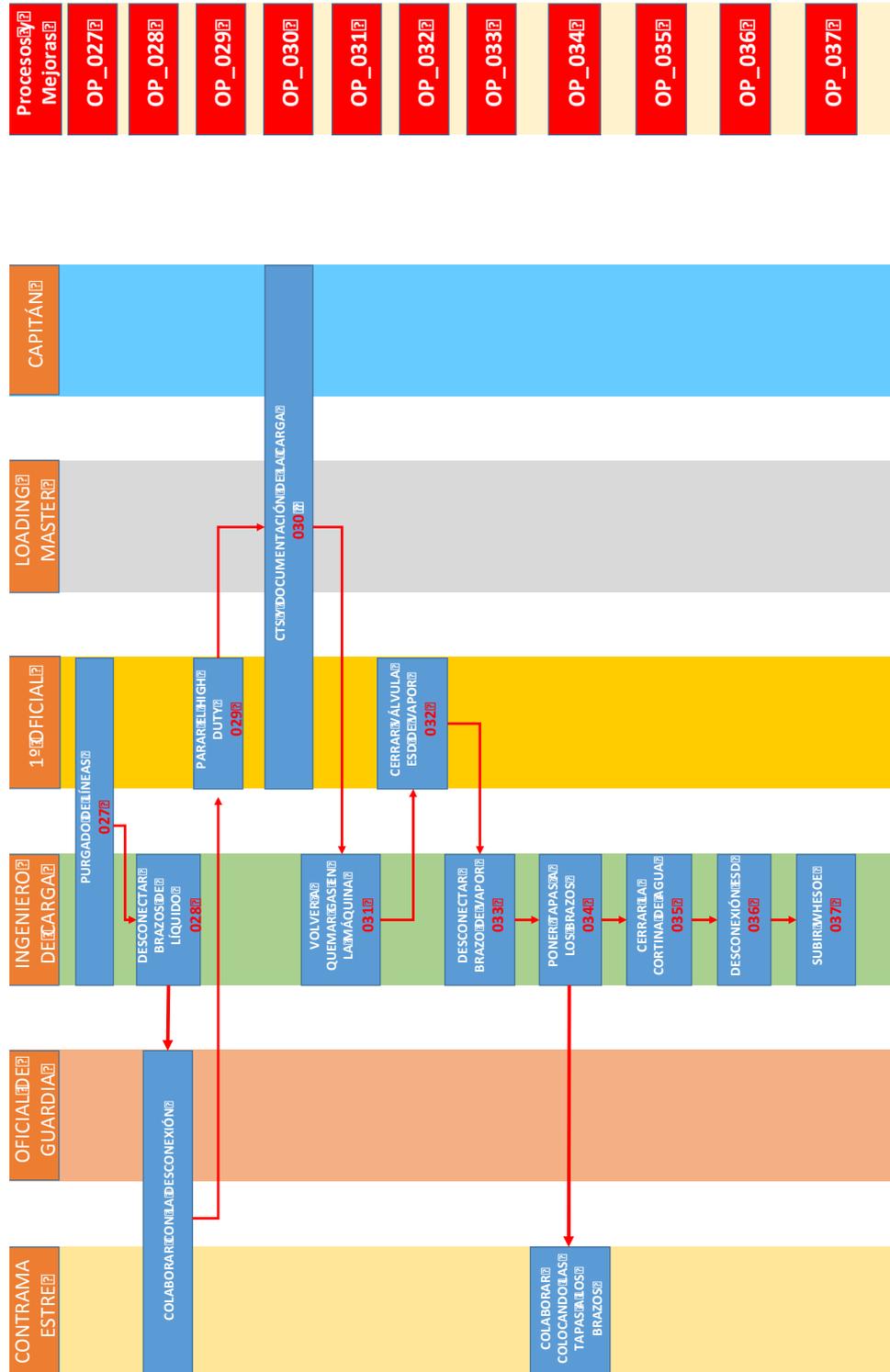
PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

III.3.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DURANTE LA CARGA



PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA DE LNG

III.4.- FLUJOGRAMA OPERACIÓN CARGA GASERO DESPUÉS DE LA CARGA



IV.- CONCLUSIONES

Este trabajo ha sido concebido como una elaboración de una guía teórico-práctica, aglutinando información dispersa por manuales y publicaciones juntos con información y conocimientos personales adquiridos por la experiencia y la práctica en un buque metanero de gas natural licuado, a cerca de los procesos de carga y descarga de un buque de estas características. El resultado práctico final es la elaboración de los flujogramas de los citados procesos.

Gracias a este trabajo se aprende sobre todas las cuestiones teóricas acerca del gas licuado, cómo comenzó su transporte y los problemas y peligros de este tipo de gases en los tanques, lo cual tiene como consecuencia práctica todas las maniobras que deben tener lugar durante los procesos de carga y descarga, las cuales han sido desarrolladas a lo largo de este documento, de forma práctica a través de los citados flujogramas.

Respecto a éstos últimos, se debe señalar que, aunque solo aparezcan representados los flujogramas correspondientes a las operaciones de carga, realmente se aplican los mismos en los procesos de descargas. La diferencia son:

- En la carga lo que se enfrían son los propios tanques de carga antes de cargar, en cambio, en la descarga, se enfrían las líneas.
- Durante la carga enviamos el LNG en estado de vapor a la terminal, mientras que en la descarga, es la terminal la que nos envía el LNG en estado de vapor a los tanques de carga.
- Para cargar los tanques, se utilizan las bombas de la terminal, mientras que en la descarga, las bombas que utilizamos son las propias bombas del barco.

Como punto final señalar que, gracias a este trabajo, he llegado a la conclusión de que el funcionamiento de este tipo de buques está totalmente optimizado y se lleva a cabo de una manera precisa y eficiente. Por lo que los únicos errores que podrían surgir serían los derivados de un fallo humano, o por causa mayor, como serían las causas naturales.

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Composición del GNL en Pampa Melchorita en Perú. Fuente: Terminal Melchorita	7
Ilustración 2 Relación de densidades en función de la temperatura del vapor. Fuente: elaboración propia	9
Ilustración 3 Inflamabilidad de la mezcla de Metano, Oxígeno y Nitrógeno. Fuente: elaboración propia	10
Ilustración 4 Buque LNG Moss. Fuente: elaboración propia	16
Ilustración 5 Interior tanque esférico. Fuente: www.liquefiedgascARRIER.com	17
Ilustración 6 Sección transversal de un tanque tipo Moss. Fuente: elaboración propia	18
Ilustración 7 Tanque de Carga. Fuente: Veristarnews	19
Ilustración 8 Construcción de una esfera. Fuente: Shell	20
Ilustración 9 Camisas centrales de los tanques esféricos. Fuente: SIGTTO	21
Ilustración 10 Tubería central Tanque Moss. Fuente: Shell	21
Ilustración 11 Manifold de un buque tipo Moss en Singapore. Fuente: elaboración propia	22
Ilustración 12 Buque LNG Methane Shirley Elisabeth. Fuente: www.americanhistory.si.edu	23
Ilustración 13 Ejemplo del interior de un tanque de membrana. Fuente: SIGGTO ..	24
Ilustración 14 Diferencia de las dos barreras. Fuente: Marchani	25
Ilustración 15 Interior de un tanque No 96. Fuente: elaboración propia	26
Ilustración 16 Cajas de madera donde van las bolsas de perlita. Fuente: elaboración propia	27
Ilustración 17 Cajas de la barrera primaria unidas a las planchas de la barrera secundaria.	28
Ilustración 18 Unión de las cajas de la barrera primaria (rosa) con la barrera secundaria (verde).	29
Ilustración 19 Uniones de las cajas de madera al casco en la barrera secundaria. Fuente: elaboración propia	30

Ilustración 20 Estructura de un tanque mostrando toda su disposición. Fuente: elaboración propia	31
Ilustración 21 Detalle de la lengüeta de unión de las membranas. Fuente: elaboración propia	32
Ilustración 22 Unión de las cajas de madera a las planchas de Invar. Fuente: elaboración propia	33
Ilustración 23 Interior de un tanque de Membrana con sistema N0.96 a la vista el Domo de Vapor.	34
Ilustración 24 Interior de un tanque Mark III sistema Technigaz. Fuente: Technigaz	35
Ilustración 25 Detalle de las formas corrugadas de la barrera primaria característico de este sistema. Fuente: elaboración propia.....	36
Ilustración 26 Detalle constructivo del principio de ensamblaje. Fuente: elaboración propia	37
Ilustración 27 Detalle de los listones donde se apoya la chapa de acero, el espacio aislante y la barrera secundaria de un sistema Mark III. Fuente: elaboración propia	38
Ilustración 28 Detalle de las diferentes capas y barreras del sistema Technigaz. ...	39
Ilustración 29 Detalle de la barrera primaria a la capa aislante. Fuente: GTT	40
Ilustración 30 Detalle de las diferentes capas y barreras del sistema Technigaz Mark III. Obsérvese el aislamiento de Poliuretano. Fuente: elaboración propia.	41
Ilustración 31 Buque Rasheeda. Fuente: Vessel finder.....	42
Ilustración 32 Interior de un tanque de carga con el sistema Mark III. Fuente: GTT	42
Ilustración 33 Detalle del interior de un tanque CS1 SIGTTO. Fuente: elaboración propia	43
Ilustración 34 Detalle de la composición de la membrana secundaria triple. Fuente: elaboración propia	44
Ilustración 35 Interior de un tanque SPB. Fuente: SIGTTO.....	45
Ilustración 36 Ejemplo de Manifold con 4 conexiones de líquido y una (la central) de vapor. fuente: elaboración propia.....	47
Ilustración 37 Manifold de estribor de un buque. Fuente: elaboración propia	47
Ilustración 38 Representación de manifolds en un plano. La línea amarilla es la conexión de vapor.Fuente: IAS.....	48

Ilustración 39 Vista superior de un buque GNL donde se aprecian las líneas que recorren la Trunk Deck y los Manifolds Fuente: Manual metanero.....	49
Ilustración 40 Detalle de líneas en una Trunk Deck. También se ven los palos de venteo, los Manifolds y el cuarto de compresores. Fuente: elaboración propia.....	49
Ilustración 41 Detalle de fijación de una línea a la cubierta. Donde apoya se encuentra el teflón. Fuente: elaboración propia	50
Ilustración 42 Detalle de los anillos de expansión de línea de nitrógeno. Fuente: elaboración propia	51
Ilustración 43 Anillos de expansión justo antes de llegar al palo de venteo. Fuente: elaboración propia.	51
Ilustración 44 A la izquierda, detalle de un plano donde aparece la forma “U” de la Línea de líquido en un punto medio.a la derecha, detalle de la misma “U”. Fuente: elaboración propia	52
Ilustración 45 Línea de líquido a la altura del Manifold. Fuente: elaboración propia	52
Ilustración 46 Línea de Spray introduciéndose en un tanque por el domo de Líquido. Fuente: elaboración propia.	53
Ilustración 47 Líneas de Vapor (en amarillo) líneas de líquido (Azul) Son prácticamente iguales. Fuente: elaboración propia	54
Ilustración 48 Línea de Vapor conectada a un Domo de Vapor. Fuente: elaboración propia	55
Ilustración 49 Válvula de seguridad que conecta el domo de Vapor con el palo de venteo. Fuente: elaboración propia.....	55
Ilustración 50Palo de venteo venteando LNG por exceso de presión dentro de un tanque. Fuente: elaboración propia	56
Ilustración 51 Línea de Nitrógeno con piano de válvulas de salida. Fuente: elaboración propia.	56
Ilustración 52 Línea de gas inerte. Fuente: elaboración propia	57
Ilustración 53 Línea de gas inerte que se introduce en los tanques de lastre y en el Duct Keel.Fuente: elaboración propia.	57
Ilustración 54 Válvula de una línea de líquido. Fuente: elaboración propia.	58
Ilustración 55 Válvula en una línea de líquido en la Trunk Deck. Fuente: elaboración propia.	59
Ilustración 56 Válvulas criogénicas. Fuente: elaboración propia.	59
Ilustración 57 Palo de Venteo.Fuente: elaboración propia.	60

Ilustración 58 Por donde se expulsa el LNG ya quemado en la GCU. Fuente: elaboración propia	61
Ilustración 59 Domo de líquido con las líneas entrando en él. Fuente: elaboración propia	62
Ilustración 60 Tapón de un domo de Líquido. Fuente: elaboración propia.	63
Ilustración 61 Domo de Vapor Fuente: elaboración propia.....	63
Ilustración 62 Detalle de las bombas del tanque de carga número 1 a la izquierda y del número 3 a la derecha. Fuente: elaboración propia	65
Ilustración 63 Bomba de descarga DSME modelo SM 350. Fuente: Shinko Ind. Ltd.	66
Ilustración 64 Bomba descarga dentro de un tanque. Fuente: elaboración propia ..	67
Ilustración 65 Detalle del plano de las bombas de descarga en un tanque de carga. Fuente Manual de carga Metanero	68
Ilustración 66 Pantalla desde donde se monitorizan las bobas para su arranque. Fuente: IAS.....	68
Ilustración 67 Válvulas de descarga. Fuente: elaboración propia.....	70
Ilustración 68 Bomba de stripping tipo SM 65 Fuente: Shinko Ind. Ltd.....	71
Ilustración 69 Bomba de Stripping en el interior de un tanque. Fuente: elaboración propia	72
Ilustración 70 Domo de vapor dentro de un tanque de carga. Fuente: elaboración propia.	73
Ilustración 71 Detalle del plano de una bomba stripping en un tanque de carga Fuente: Manual de carga buque metanero	74
Ilustración 72 Válvula descarga línea de stripping Fuente: elaboración propia	74
Ilustración 73 Fuel Gas Pump SM50. Fuente: Shinko Ind. Ltd.	75
Ilustración 74 Detalle del plano de la bomba Fuel/Gas. Fuente Manual de carga Metanero	76
Ilustración 75 Detalle de una bomba de emergencia colocada en la tubería con su mismo nombre. Fuente: Manual de carga Metanero.....	77
Ilustración 76 Detalle de donde se coloca la Bomba de Emergencia. Fuente: elaboración propia	78
Ilustración 77 Cuarto de compresores y de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia	80

Ilustración 78 Motores eléctricos que accionan a los compresores. Fuente: elaboración propia	81
Ilustración 79 Mamparo y sello de nitrógeno en cuarto de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia.	82
Ilustración 80 Detalle de los Ventiladores del cuarto de motores eléctricos. Fuente: elaboración propia.	82
Ilustración 81 High Duty Fuente: pantalla del IAS	83
Ilustración 82 Compresor High Duty. Fuente: elaboración propia	84
Ilustración 83 Compresor High Duty. Fuente: elaboración propia	85
Ilustración 84 Low Duty Fuente: pantalla del IAS	86
Ilustración 85 Compresore Low Duty. Fuente: elaboración propia	86
Ilustración 86 Gas Heater en el Cuarto de Compresores. Fuente: elaboración propia	87
Ilustración 87 Gas Heater en el IAS. Se ve que parte de los compresores y sale hacia diferentes finales (Gas Main, GCU...) Fuente: IAS.....	88
Ilustración 88 After Cooler/Heater. Fuente: elaboración propia	89
Ilustración 89 After cooler/heater con el sistema de agua dulce para calentar/enfriar el LNG que va a la máquina desde los Compresores Low Dutys. Fuente: IAS	90
Ilustración 90 LNG Vaporiser. Fuente: elaboración propia.	91
Ilustración 91 LNG Vaporiser Fuente: pantalla IAS	92
Ilustración 92 Forcing Vaporiser. Fuente: elaboración propia	93
Ilustración 93 Forcing Vaporiser Fuente: pantalla IAS	94
Ilustración 94 Bobas de Vacío. Fuente: elaboración propia	95
Ilustración 95 Motores Eléctricos de las Bombas de Vacío. Fuente: elaboración propia	96
Ilustración 96 Entrada de equipos de medición por el domo de líquido. Fuente: DSME	97
Ilustración 97 Caja electrónica que procesa la señal del radar. Fuente: elaboración propia	99
Ilustración 98 Atenuador de la señal del radar. Fuente: elaboración propia	99
Ilustración 99 Float Level Gauge. Fuente: elaboración propia.....	100
Ilustración 100 Detalle del flotador. Fuente: elaboración propia	100

Ilustración 101 Tubería por donde baja el flotador. Fuente: elaboración propia	101
Ilustración 102 Detalle de por dónde bajan hasta el final del tanque de carga los sensores de temperatura. Fuente: elaboración propia	102
Ilustración 103 Sistema de alto nivel. Flotadores. Fuente: elaboración propia	103
Ilustración 104 Tanque donde se guarda el N2 generado. Fuente: elaboración propia	104
Ilustración 105 Planta de Gas inerte y de aire seco Fuente: pantalla del IAS.....	105
Ilustración 106 Botón de ESD en Cubierta. Fuente: elaboración propia	108
Ilustración 107 Melting Plug en un Manifold. Fuente: elaboración propia.....	109
Ilustración 108 Caja con los diferentes tipos de conexiones Fuente: elaboración propia	111
Ilustración 109 Conexión de fibra óptica Fuente: elaboración propia	112
Ilustración 110 Conexión Pyle National 37-way Fuente: elaboración propia	113
Ilustración 111 Conexión Miyaki. Fuente: elaboración propia.....	114
Ilustración 112 Fuente: elaboración propia Fuente: elaboración propia.	115
Ilustración 113 Seguridad de la Barrera secundaria. Fuente: elaboración propia..	116
Ilustración 114 Válvula de seguridad de la barrera primaria y entrada de N2 en la misma barrera. Fuente: elaboración propia.....	116
Ilustración 115 Válvula de seguridad en un brazo de líquido del Manifold. Fuente: elaboración propia	117
Ilustración 116 Detale de colocación de mangueras en la Tunk Deck. Fuente: elaboración propia	120
Ilustración 117 Detalle Hose Cabinet de polvo seco. Fuente: elaboración propia .	121
Ilustración 118 Detalle estación polvo seco. Fuente: elaboración propia	121
Ilustración 119 Detalle bandeja manifold. Fuente: elaboración propia.....	122
Ilustración 120 Plant Glicol. Fuente: elaboración propia.....	123
Ilustración 121 Dummy conectdo a la caja de conexiones. Fuente: elaboración propia	124
Ilustración 122 Detalle de botellas llenas de aceite hidráulico en los Passageways. Fuente: elaboración propia	125
Ilustración 123 Melting Plug. Fuente: elaboración propia	126

Ilustración 124 Detalle válvulas de descarga y la Branch. Fuente: elaboración propia	126
Ilustración 125 Detalle Hidraulic power pack. Fuente: IAS	127
Ilustración 126 Localización Botones ESD. Fuente: IAS	128
Ilustración 127 Detalle de unión de la línea de Spray con el domo de vapor. Fuente: elaboración propia	131
Ilustración 128 Detalle línea de posición en el manifold. Fuente: elaboración propia	133
Ilustración 129 Líneas de nitrógeno conectadas al brazo de Vapor en astillero. Fuente: elaboración propia	135
Ilustración 130 Detalle Whesshoe. Fuente: elaboración propia	136
Ilustración 131 Cortina de agua de un metanero. Fuente: elaboración propia.....	137
Ilustración 132 Detalle de conexión de los brazos del manifold del buque con los de l terminal. Fuente: elaboración propia	138
Ilustración 133 Caja de conexión debajo del Manifold. Fuente: elaboración propia	139
Ilustración 134 Detalle Purgado de líneas. Fuente: elaboración propia.....	145

AVISO DE RESPONSABILIDAD

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.