



Universidad de Oviedo

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

*Trabajo Fin de Máster*

Estudio comparativo de tanques en  
buques LNG

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autor: Esteban Fernández Vega

Tutor: Roberto Álvarez Bucetas

Junio- 2020



<b><u>Índice.</u></b>	<b>Pag.</b>
1. Introducción.....	5
2. Principios Generales.....	6
3. Tanques de Membrana.....	13
3.1. Descarga de Emergencia.....	15
3.2. GT NO96.....	19
3.2.1. Procedimientos de emergencia.....	23
3.3. TG MARK III.....	26
3.3.1. Procedimientos de emergencia.....	31
3.3.1.1. Fugas de vapor en los espacios interbarreras.....	31
3.3.1.2. Fugas de líquido en los espacios interbarreras.....	33
4. Tanques Independientes.....	40
4.1. Tanques Moss.....	40
4.1.1. Descarga de Emergencia.....	44
4.2. Tanques Prismáticos.....	46
5. Tabla Comparativa.....	51
6. Conclusiones.....	54
7. Bibliografía.....	55
8. Abreviaturas.....	56

<b><u>Índice de tablas y figuras.</u></b>	<b>Pag.</b>
Ilustración 1 Costes del Transporte de GNL.....	6
Ilustración 2, Composición del GNL.....	6
Ilustración 3 Composición media del GNL en función de la planta productora.....	7
Ilustración 4, Diagrama de explosividad del GNL.....	7
Ilustración 5, Proceso de cascada para la producción de GNL.....	9
Ilustración 6, Methane Pioneer.....	10
Ilustración 7, Sistema de control de gases del buque “Al Gattara”.....	14
Ilustración 8, Estudio de visibilidad de un buque de membrana.....	15
Ilustración 9, Puntalillo para la colocación de una bomba de emergencia...	16
Ilustración 10, procedimiento para la colocación de una bomba de emergencia.....	18
Ilustración 11, Sección de una membrana primaria GT NO96.....	20
Ilustración 12, Procedimientos de emergencia en membranas NO96.....	25
Ilustración 13, Tanque de Membrana Mark III.....	26

Ilustración 14, Corte longitudinal de una membrana Mark III.....	27
Ilustración 15, Triplex.....	28
Ilustración 16, Construcción de la membrana Mark III.....	30
Ilustración 17, Operaciones de emergencia en una membrana Mark III.....	33
Ilustración 18, Operaciones de emergencia en membrana Mark III.....	36
Ilustración 19, Barrido de emergencia en membrana Mark III.....	39
Ilustración 20, Estructura de un tanque esférico.....	40
Ilustración 21, Diferencias entre los distintos tipos de tanques MOSS.....	42
Ilustración 22, Estudio de visibilidad desde un buque con tanques MOSS.....	43
Ilustración 23, Descarga de emergencia en un tanque MOSS.....	44
Ilustración 24, Estructura de un tanque poligonal.....	47
Ilustración 25, FPSO.....	48
Ilustración 26, Estructura tanque poligonal.....	49
Ilustración 26, Estructura tanque poligonal.....	51

## **1 Introducción.**

El auge del comercio y consiguiente transporte de Gas Natural Licuado (GNL), ha llevado al desarrollo de diversos tipos de tanques para llevar a cabo esta tarea.

En este estudio trato de evaluar las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de tanques empleados para el transporte de gas natural a granel, y a pesar de que existen, y se están desarrollando nuevos tipos de tanques, para abastecer la creciente demanda de GNL para el consumo de buques, me he centrado en los desarrollados para el transporte, y no para el abastecimiento, y por ello he descartado los tanques totalmente presurizados, ya que el ratio de peso por capacidad los hace inválidos para su uso en el transporte.

He diferenciado en el estudio entre tanques de membranas e independientes, ya que entre estos tipos de tanques representan la totalidad de los buques dedicados al transporte comercial de GNL, siendo la operatividad en cada grupo lo suficientemente similar para que un estudio general muestre sus ventajas e inconvenientes.

Comparando sus capacidades por eslora del buque, su operatividad en condiciones normales y en emergencias, además de los costes de construcción, las facilidades de inspección y las posibilidades de reparación, espero poder estudiar la idoneidad de los sistemas para su utilización.

Para la realización de este estudio me he basados en diversas publicaciones, entre las que se encuentran manuales de carga específicos de buques y publicaciones de carácter empresarial. Además de mis doce años de experiencia a bordo de esta clase de buques donde he realizado mi carrera profesional, casi en su totalidad.

## 2 Principios generales.

Un tanque de carga es el recipiente hermético proyectado de modo que sea el elemento principal de contención de la carga, que incluye todos los sistemas de contención, independientemente de que estén relacionados o no con el aislamiento o con las barreras secundarias, el sistema de contención de la carga es la disposición para la contención de la carga, que incluye, si están instaladas, las barreras primaria y secundaria, el aislamiento correspondiente, todo espacio intermedio y la estructura adyacente, de ser necesario, para sustentar estos elementos.<sup>1</sup>

La ratio de coste por milla del GNL hace que la forma de más rentable del transporte de grandes cantidades, a partir de las mil millas, sea su transporte licuado por criogenización a bordo de un buque.

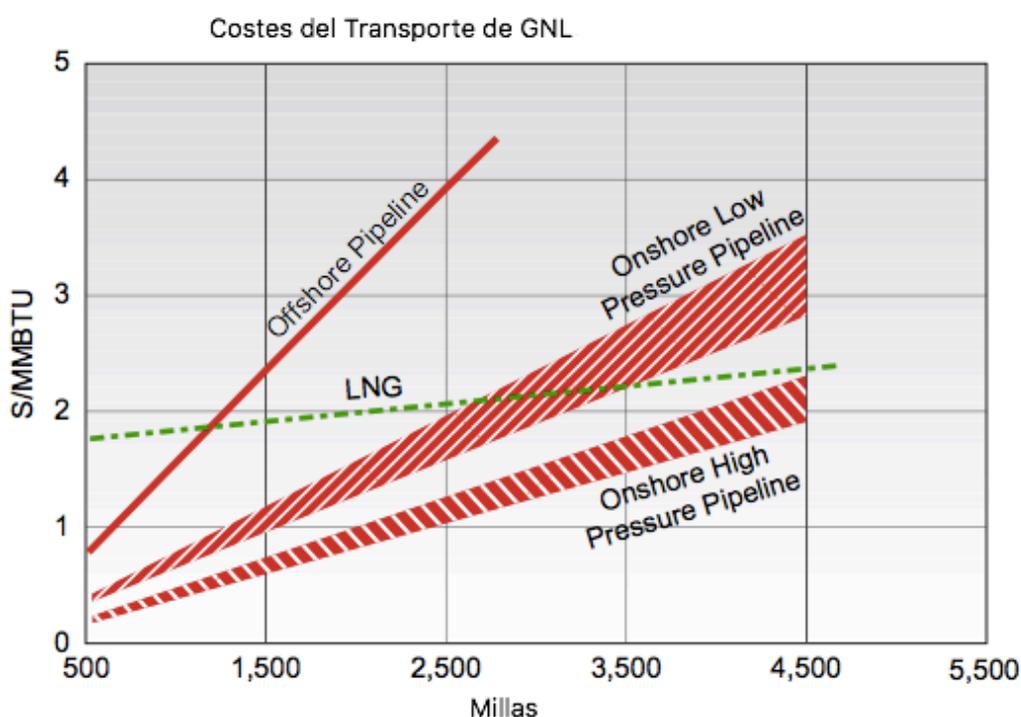


Ilustración 1 Costes del Transporte de GNL<sup>2</sup>

Elemento	Formulación	%
Metano	CH <sub>4</sub>	70-90%
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0-20%
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0-8%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0-0,2%
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0-5%
Sulfato de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0-5%
Otros gases	A, He, Ne, Xe	trazas

Ilustración 2, Composición del GNL

El Gas Natural Licuado (GNL) es gas natural que ha sido enfriado hasta el punto de condensación a líquido, con una densidad de entre 430 y 470 kg/m<sup>3</sup>,<sup>2</sup> lo que ocurre a una temperatura en torno a los -162°C a presión atmosférica. La licuefacción reduce el volumen aproximadamente 600 veces<sup>3</sup> lo que

hace económico su transporte por medio de buques.

El GNL es una mezcla de varios gases, Metano por encima del 70%, Etano, Propano, Butano, Nitrógeno y trazas de otros gases,<sup>4</sup> no se trata de una composición fija, y depende en gran medida del puerto de carga e incluso del tren de producción utilizado.

Composición media del GNL en función de la planta productora.						
Porcentaje por componente	Nigeria LNG	Arun LNG	Brunei LNG	Oman LNG	Atlantic LNG	Kenai LNG
Metano	87.9	88.5	89.4	90.0	95.0	99.8
Etano	5.5	8.4	6.3	6.4	4.6	0.1
Propano	4.0	1.5	2.8	0.1	0.4	0.0
Butano	2.5	1.5	1.3	2.5	0	0.0
Nitrógeno	0.1	0.1	0.2	1.0	0	0.1

Ilustración 3 Composición media del GNL en función de la planta productora.<sup>5</sup>

En primer lugar, tenemos que tener en cuenta que se trata de un material peligroso, ya que es combustible y altamente contaminante. El GNL es combustible por debajo de los  $-58^{\circ}\text{C}$  en concentraciones entre el 5% y el 15%<sup>6</sup>, por norma general. Por otra parte, el GNL es una de las sustancias más dañinas para la capa de ozono.

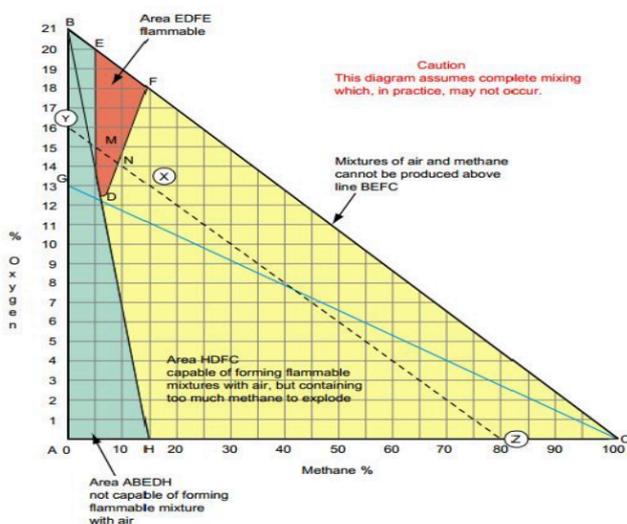


Ilustración 4, Diagrama de explosividad del GNL.

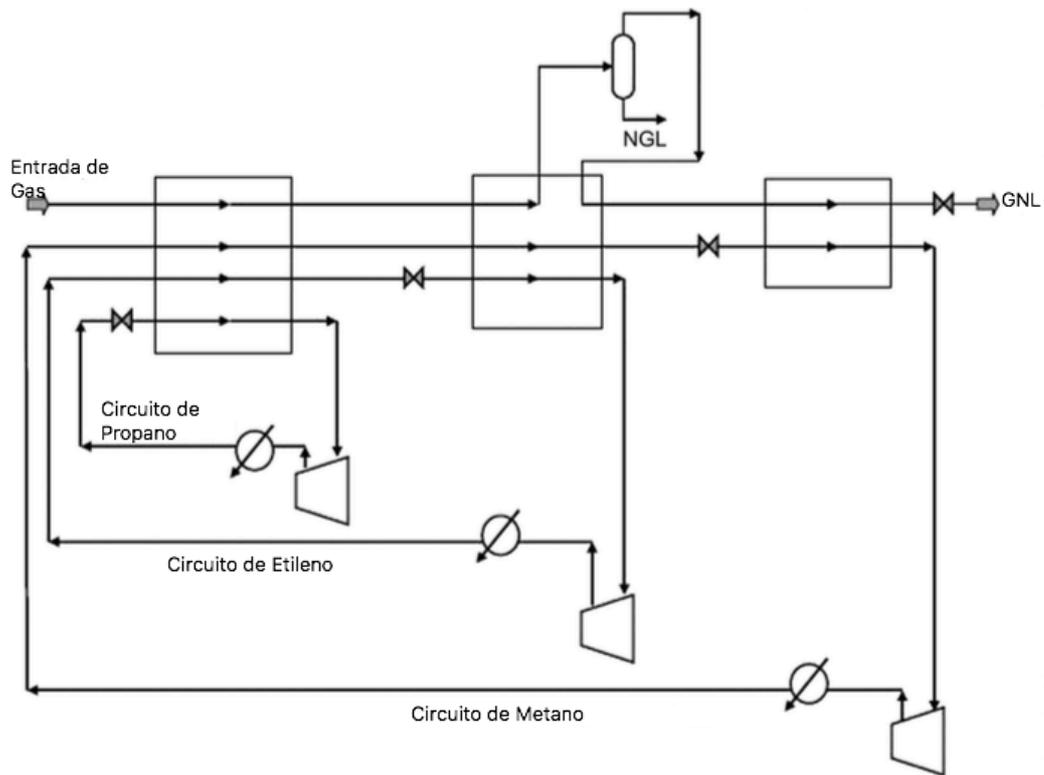
Los riesgos que presenta para el medio ambiente la operatividad con el LNG, ya que en toda operación puede haber derrames. El metano, principal componente del LNG es uno de los gases de efecto invernadero más importantes, “con potencial de calentamiento 25 veces superior al del CO<sub>2</sub> en un periodo de 100 años, aunque estos datos podrían ser una subestimación”<sup>7</sup>. Esto significa que una emisión de metano tendrá un efecto en la temperatura 25 veces superior al efecto de la misma masa de CO<sub>2</sub> en los próximos 100 años. El metano tiene un gran efecto en un corto periodo (tiene una vida media de 8.4 años en la atmosfera), frente al dióxido de carbono, que “tiene un pequeño efecto durante un larga periodo” (100 años)<sup>7</sup>.

Los riesgos que presenta para el medio ambiente la operatividad con el LNG, ya que en toda operación puede haber derrames. El metano, principal componente del LNG es uno de los gases de efecto invernadero más importantes, “con potencial de calentamiento 25 veces superior al del CO<sub>2</sub> en un periodo de 100 años, aunque estos datos podrían ser una subestimación”<sup>7</sup>. Esto significa que una emisión de metano tendrá un efecto en la

El GNL no es tóxico, sin embargo, como cualquier material gaseoso puede generar una atmosfera asfixiante desplazando el oxígeno.

Todos estos condicionantes lo convierten en una mercancía con un gran potencial de riesgo.

El proceso en cascada clásico, es el más utilizado para la licuefacción del LNG, ya que reduce las pérdidas irreversibles de intercambio de calor al utilizar varios ciclos de refrigeración cuyos refrigerantes se vaporizan a temperaturas diferentes pero constantes. El ciclo en cascada es flexible en operación, ya que cada circuito refrigerante puede controlarse por separado. El ciclo en cascada tiene un requisito de área de superficie del intercambiador de calor comparativamente bajo por unidad de capacidad<sup>8</sup>. La economía de escala muestra que el ciclo en cascada es el más adecuado para grandes capacidades de trenes, ya que el área de bajo intercambiador de calor y el bajo requerimiento de potencia compensan el costo de tener múltiples máquinas. Las otras ventajas son los bajos riesgos técnicos y la utilización de equipos estándar que resultan en la reducción del período de construcción. Sin embargo, las desventajas de la tecnología en cascada son las inversiones de capital relativamente altas, la flexibilidad / adaptación insuficiente a las variaciones en la composición del gas natural y las limitaciones de capacidad del tren de producción. Hay dos modificaciones del proceso clásico en cascada utilizado en las plantas de licuefacción de gas en funcionamiento: la cascada optimizada (desarrollada por Conoco-Phillips) y la cascada de fluido mixto (elaborada por Linde y Statoil)<sup>2</sup>.



*Ilustración 5. Proceso de cascada para la producción de GNL.*<sup>2</sup>

El transporte mundial de GNL ha estado aumentando desde su comienzo en 1959 desde “The Methane Pioneer” el primer metanero de la historia<sup>3</sup>, en estos momentos dada la alta demanda de combustibles cada vez más limpios, esta demanda ha aumentado de una manera drástica. “Los gaseros han sido el segmento más dinámico de la flota mundial. Una de las razones ha sido la tendencia en el sector aumentando significativamente en los últimos años, un hecho que se espera que continúe durante los próximos años dada la importancia en asuntos medioambientales y la presión que está sufriendo la propia industria naval para la adopción de combustibles más limpios”.<sup>9</sup>



*Ilustración 6, Methane Pioneer.*

Durante el año 2019 la República de Corea ha sido, una vez más, líder en la construcción de buques de transporte de GNL, en su gran mayoría buques de membrana, y Japón lidera la construcción de buques tipo MOSS<sup>9</sup>, lo que la convierte en el líder en construcción de buques con tanques independientes. Estas dos categorías de estructuras que dominan la construcción de buques en estos momentos, con sus diferentes variantes.

A la hora de la construcción de los tanques se deben cumplir las regulaciones internacionales y nacionales para los buques que transporten gas, es decir y ya que España se ha adscrito a la legislación internacional, al Código CIG, según el cual los buques deben de cumplir una serie de prescripciones funcionales:

En primer lugar, la vida útil de proyecto del sistema de contención de la carga no será inferior a la vida útil de proyecto del buque.

Los tanques deberán proyectarse para adecuarse a las condiciones ambientales imperantes en el Atlántico Norte, salvo aquellos buques proyectados para navegaciones restringidas.

En su diseño deben preverse los márgenes de seguridad adecuados para resistir, sin sufrir averías, las condiciones ambientales previstas durante la vida útil y las condiciones de carga adecuadas para ello, que incluirán condiciones de carga completas homogéneas y parciales, llenados parciales con límites preestablecidos y cargas en viaje en lastre, así como adecuarse a todas las circunstancias que impliquen cierto grado de incertidumbre como las operaciones de carga y descarga, la fatiga, la corrosión, los efectos térmicos, la variabilidad de los materiales, el envejecimiento y las tolerancias de construcción.

Además, deberán satisfacer criterios de resistencia al abordaje, incendio y la posibilidad de un compartimento inundado que ocasione flotabilidad del tanque, los dispositivos para evitar la flotación resistirán el empuje ascendente, y no se correrá peligro de deformación plástica del casco.

El transporte de GNL tiene que hacer frente a las particularidades de esta mercancía, de esta manera, los tanques que los transporten deberán hacer frente a temperaturas inferiores a  $-162^{\circ}\text{C}$ . Esto se debe a que debido a las particularidades físicas de este producto es mucho más económico la licuefacción del GNL por criogenización que por presurización. Por lo que, estos tanques deberán soportar una presión moderada, que no nula, pero una temperatura muy baja.

Esto nos lleva también a otra de las características de dichos tanques, que son las dilataciones y contracciones de los materiales de construcción debidas a las variaciones térmicas. Tenemos que tener en cuenta que no se mantienen los tanques refrigerados durante los viajes en lastre. Por lo que, los materiales de construcción y su ensamblado debe de ser tal que sus dilataciones y contracciones no pongan en riesgo la resistencia estructural y térmica de los mismos.

Además, ya que en estos sistemas el interés general es que se produzca la menor cantidad de evaporación del producto, ya que, aunque existen sistemas de relicuefacción a bordo estos sistemas suponen un gasto de energía y de horas de trabajo que se intentan minimizar, además de minimizar el tamaño y las capacidades de dicho sistema. Se puede considerar que existen cuatro tipos de diseño de tanques para el transporte de GNL, dos sistemas independientes y dos no independientes o de membrana<sup>10</sup>.

A finales de 2018, la flota internacional de Metaneros se componía de 392 buques de membrana, 128 Moss Rosenberg, y 43 de otras clases.<sup>11</sup>

Los buques de GNL varían en tamaño desde menos de 30,000 m<sup>3</sup> hasta una capacidad de carga de 265,000 m<sup>3</sup>, pero la mayoría de los buques modernos tienen una capacidad de entre 125,000 m<sup>3</sup> y 140,000 m<sup>3</sup> (58,000 a 65,000 toneladas). El estándar de la industria hace algunas décadas se convirtió en el buque de GNL de 125,000 m<sup>3</sup>, que generalmente tenía cinco tanques de carga, cada uno con una capacidad de aproximadamente 25,000 m<sup>3</sup>.<sup>2</sup>

Aproximadamente hace 10 años se construyeron nuevos buques de GNL más grandes llamados Q-Flex (con una capacidad de aproximadamente 216,000 m<sup>3</sup> de GNL) y Q-Max (con una capacidad de hasta aproximadamente 265,000 m<sup>3</sup> de GNL) para dar servicio a las cadenas de suministro de larga distancia de los grandes trenes de licuefacción de Qatar Gas entre 2009 y 2011. Estos transportadores de GNL son propulsados por motores diésel de baja velocidad, que son más eficientes, más fáciles de mantener y operar, y más amigables con el medio ambiente que los motores de

turbina de vapor tradicionales. Estos barcos también están equipados con un sistema de relicuefacción a bordo que evita las pérdidas de gas de ebullición (BOG). Si bien los buques de GNL Q-Flex y Q-Max están más allá de la capacidad de algunos puertos, casi la mitad de las terminales de GNL existentes en el mundo pueden, o con modificaciones, acomodar estos buques.

Las dimensiones típicas de los buques de GNL son:

- Volumen de carga 138,000 a 173,000 metros cúbicos: eslora total de 277 a 290 metros; calado 26.0 a 26.5 metros, manga total 43.3 a 45.8 metros, número de tanques 4; sistemas de hélice simple o doble
- Volumen de carga 210,000 metros cúbicos (Q-flex): eslora total 315 metros; calado 27 metros, manga 50 metros, número de tanques 5; sistemas de hélice doble
- Volumen de carga 263,000 metros cúbicos (Q-max): eslora total de 345 metros; calado 27 metros, manga 55 metros, número de tanques 4; sistemas de hélice doble

### **3 Tanques de membrana.**

Los tanques de membrana son tanques de carga no autosuficientes rodeados por una estructura completa de casco de doble casco. Los tanques de contención de membrana consisten en una capa delgada de metal (barrera primaria), aislamiento, barrera de membrana secundaria y más aislamiento en una construcción tipo sándwich. La membrana está diseñada de tal manera que la expansión o contracción térmica y de otro tipo se compensa sin un esfuerzo excesivo de la membrana. Los materiales utilizados para la estructura del casco están diseñados para soportar diversos grados de baja temperatura. A temperaturas inferiores a los límites especificados, estos aceros se cristalizarán y fragilizarán. Los materiales utilizados para el sistema de contención son necesarios para reducir la transferencia de calor desde la estructura del casco para minimizar el BOG de la carga, así como para proteger la estructura del casco de los efectos de la temperatura criogénica.<sup>12</sup>

Con el diseño de la membrana, el casco del barco, en efecto, se convierte en el tanque exterior. El aislamiento se instala allí, y se coloca una membrana en el interior para retener el líquido. La superficie interna de este "doble casco" es acero con alto contenido de níquel (36%) (Invar), ofrecido por Gaz Transport, o acero inoxidable con 18% de cromo / 8% de níquel, ofrecido por Technigaz<sup>2</sup>. Estos sistemas de contención se componen de una membrana primaria que y otra secundaria de tal manera que cualquier pérdida en la barrera primaria quede contenida en la barrera secundaria que tiene las mismas características. Además, para controlar las posibles pérdidas tanto la temperatura como la composición de gases es controlada constantemente.

Como ejemplo el sistema de control de gases de la cubierta del Buque "AL GATTARA" que se puede ver en el siguiente diagrama.

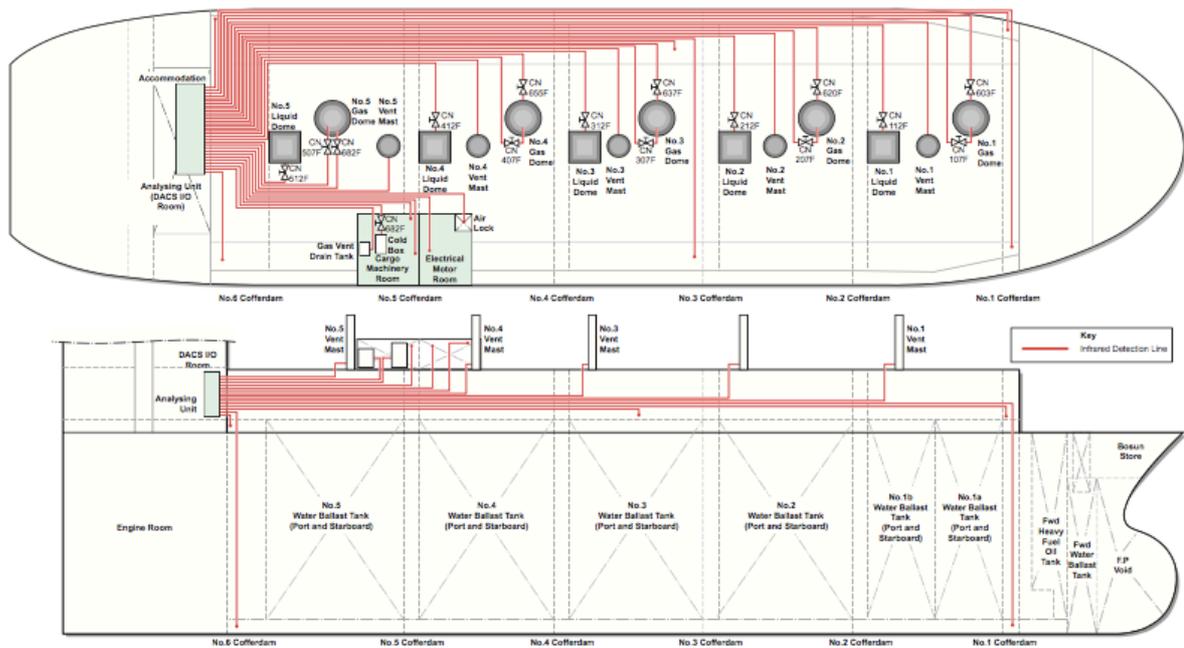


Ilustración 7, Sistema de control de gases del buque Al Gattara.

El sistema de contención de membrana Gaz Transport (GT NO96) consiste en una estructura de rejilla hecha de madera contrachapada y llena de perlita para mantener la estanqueidad y el aislamiento. Por otro lado, el sistema de membrana Technigaz (TG MARK III) consta de dos capas de espuma de poliuretano reforzado separadas por un material llamado triplex para configurar un sistema de aislamiento. Gaz Transport y Technigaz son ahora una compañía, cuyo último sistema de contención (Sistema combinado número uno, CS1) incorpora características de los sistemas GT No 96 y TG Mark III existentes. CS1 utiliza aislamiento de espuma de poliuretano reforzado y dos membranas, la primaria de 0,7 mm de espesor hecha de Invar, una aleación de 36% de níquel-acero, cada una de las láminas de 500mm de ancho, que se extiende continuamente a lo largo de las paredes del tanque y esta sostenido y fijado uniformemente al aislamiento la segunda de una fibra compuesta de aluminio y vidrio llamada triplex, y el aislamiento consiste en un sistema de paneles prefabricados en espuma de poliuretano reforzado con fibra de vidrio de un tamaño estándar de 3m por 1m<sup>13</sup>. El sistema se ha racionalizado para facilitar el ensamblaje y está prefabricado, lo que permite un ensamblaje rápido a bordo. Sin embargo, este diseño ha sufrido problemas de fuga de membrana secundaria en los dos buques en los que se instaló, por lo que los astilleros establecidos han decidido mantener la producción de GT NO96 y TG Mark III. De toda maneras GTT se lleva el 80% de las construcciones de nuevos buques lo que les supone unos ingresos de 2.100 millones de dólares en la última década solo de los constructores koreanos<sup>14</sup>.

Estas fuertes cargas económicas han llevado a los astilleros coreanos a investigar sus propios sistemas de construcción. De esta manera Hyundai Heavy Industries desarrollo su propio sistema en 2013, Samsung Heavy Industries el sistema KCS, con un BOR estimado de 0,07% y Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering el sistema “Solidus”, con un BOR estimado de 0,049%, ambos en 2017, aunque en la actualidad no se han usado todavía en ninguna construcción. El que sí ha sido utilizado en la construcción de dos buques, de la naviera coreana SK Shipping, ha sido el sistema KC-1, desarrollado por KOGAS (Korea Gas Corporation) en colaboración con estos tres constructores, aunque fallos de diseño descubiertos después de su construcción ha llevado a su retirada de servicio.<sup>14</sup>

Como se puede ver en este estudio de la visibilidad de un buque de membrana de 204.000 m<sup>3</sup> la visibilidad en proa presenta un sector ciego de 1,77 veces la eslora<sup>1</sup>

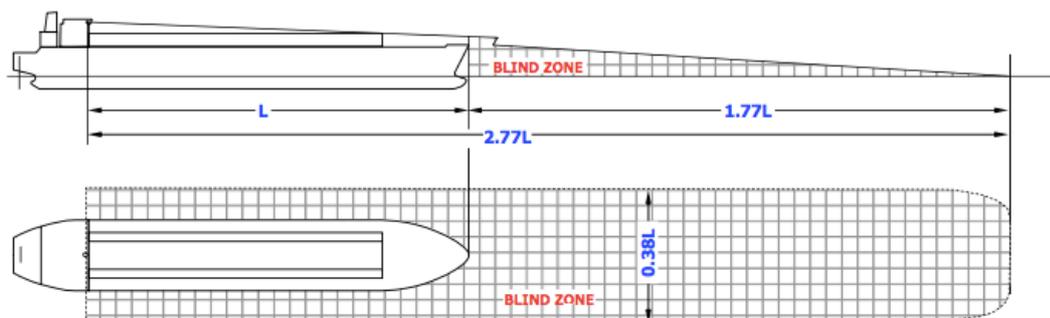


Ilustración 8, Estudio de visibilidad de un buque de membrana.

### 3.1. Descarga de Emergencia.

En el caso de ser necesaria una descarga de emergencia, por el fallo de las dos bombas sumergidas de un mismo taque, los buques de membranas poseen una bomba de emergencia.

Cuando no está en uso, la bomba se encuentra en la tienda de cubierta de carga y debe transportarse a cualquier tanque que requiera sus servicios.

La bomba está instalada en un pozo de bomba de emergencia dedicado de 600 mm de diámetro que está equipado con una válvula de pie con resorte que se mantiene en la posición cerrada mediante resortes altamente cargados. Si una falla de una o ambas bombas de carga principales requiere el uso de la bomba de emergencia, se baja a la bomba de emergencia mucho después de que el pozo se haya purgado por primera vez con nitrógeno. El peso de la bomba de emergencia (aproximadamente 291 kg) supera la compresión de los resortes para abrir la válvula de pie. Durante esta operación, se debe mantener un pequeño flujo de nitrógeno mientras se instala la bomba.

El operador tiene que asignar la bomba de emergencia al tanque que se ha instalado a través del Sistema de control de carga en el CCR para que sea posible arrancar y detener la bomba a través del Sistema de control de carga. Las conexiones eléctricas se realizan a las cajas de conexiones fijas que se encuentran adyacentes a cada pozo de bomba de emergencia. Todos los dispositivos de seguridad se transfieren a la bomba de emergencia cuando se activa el interruptor de circuito, ya que son los mismos para las bombas de carga principales.

Después de la instalación exitosa de la bomba en un tanque de carga, es muy importante que la bomba se enfríe completamente en vapor durante al menos 10 horas antes de abrir la válvula de pie y sumergirla en GNL líquido. La bomba debe permanecer en esa condición durante un mínimo de una hora antes de intentar arrancarla. Esto es para asegurar que se haya producido la estabilización térmica y solo después de este tiempo se debe arrancar la bomba. El incumplimiento de este plazo puede provocar daños graves en la bomba.

Cuando todos los equipos, incluida la bomba, los cables, la caja de conexión eléctrica y los accesorios estén en posición cerca del tanque correspondiente, prepare el puntal de acuerdo con la ilustración para preparar el conjunto de la bomba y comenzar la instalación.

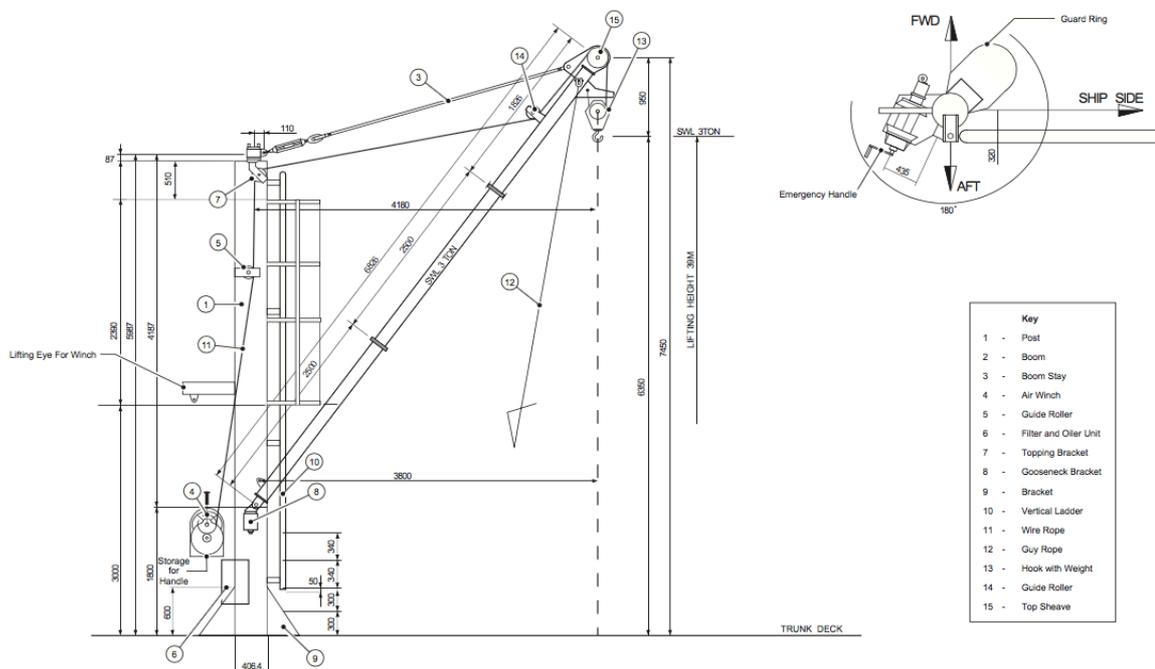


Ilustración 9, Puntalillo para la colocación de una bomba de emergencia.

El tanque de carga inevitablemente contendrá GNL, por lo tanto, la columna en la que se baja la bomba de emergencia primero debe ser evacuada. Esto se logra inyectando nitrógeno en la columna. En el caso de un tanque de carga lleno, se requiere una presión

de entre 2 bar y 3 bar. El nitrógeno actúa en la parte superior del GNL en la columna y lo expulsa a través de la válvula de pie ubicada en la parte inferior.

Al finalizar la expulsión del líquido, se debe realizar una verificación en el grifo de purga para asegurar que se haya producido la inertización completa. La presión del tanque debe reducirse justo por encima de la atmosférica antes de quitar la brida superior en blanco de la columna. Instale una nueva junta de brida de columna, luego hay que comenzar a instalar la bomba con la torre de perforación.

Posteriormente, hay que conectar los cables de alimentación a la bomba de emergencia. Asegúrese de que los cables se colocan cuidadosamente en la plataforma y se protegen adecuadamente para evitar daños accidentales. Los extremos del cable de alimentación están marcados con "U", "V" y "W" y con un código de color que debe coincidir con las mismas marcas en la bomba para garantizar la rotación de fase correcta. Fijar el cabrestante de aire portátil al montaje en el pescante fijo.

Conectar el cable de soporte de elevación a la argolla de elevación de la bomba y levante la bomba de la plataforma. Suspenda sobre la columna y bajar la bomba lentamente hacia la columna. A medida que la bomba baja a la columna, hay que arriar cuidadosamente los cables de alimentación y las guías de cables.

Cuando la bomba esté cerca del fondo de la columna, hay que hacer firme con el conjunto de la placa de soporte. Coloque el ojo de la barra de elevación de la placa de la cabeza en la placa de enlace y coloque el gancho de la torre de perforación en el ojo superior. Levante la bomba unos centímetros para quitar el pasador de soporte. Tenga cuidado de no bajar la bomba sobre la válvula de pie.

Baje la placa de la cabeza sobre la columna e instale la placa de la cabeza con el conjunto de elevación en la posición cerrada, teniendo mucho cuidado con la junta.

Instale el conjunto eléctrico y los soportes de soporte. Instale el conjunto del cable de alimentación de la plataforma asegurándose de que las marcas "A", "B" y "C" coincidan en todos los puntos de conexión.

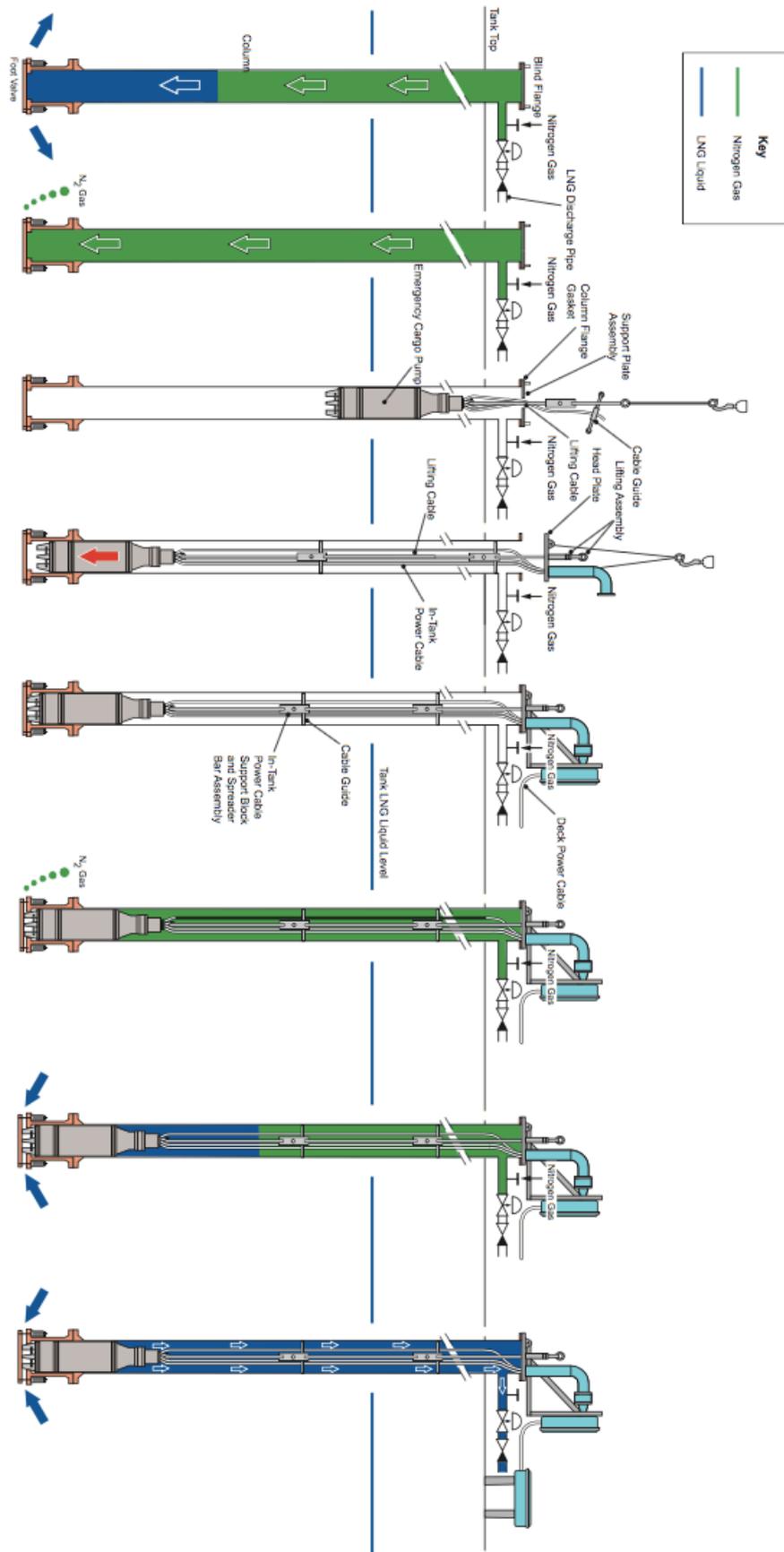


Ilustración 10, procedimiento para la colocación de una bomba de emergencia.

### **3.2. GT NO96.**

El sistema de contención de carga consta habitualmente de cuatro tanques de carga con doble aislamiento encerrados dentro del casco interior y situados en línea de proa hacia popa.

BOR de los tanques NO96, es de aproximadamente el 0,1% diario.

Los espacios entre el casco interior y el casco exterior se utilizan para el lastre y también protegerán los tanques en caso de una situación de emergencia, como colisión o varada.

Los tanques de carga están separados de otros compartimentos, y entre sí, por cinco Cofferdam transversales que son todos compartimentos secos.

Los espacios de lastre alrededor de los tanques de carga se dividen en dos tanques de doble fondo, babor y estribor para cada tanque de carga. Los tanques de doble fondo se extienden a los lados de los tanques de carga hasta los trunkways.

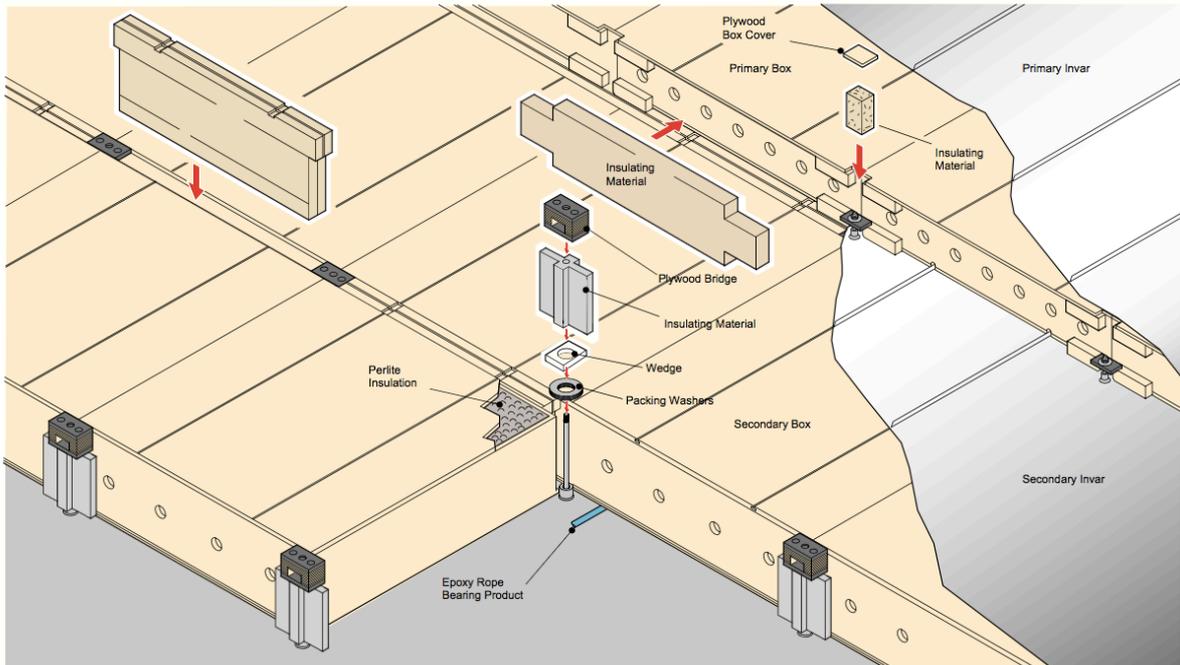
El GNL a transportar se almacena en los cuatro tanques de carga numerados del 1 al 4, de proa a popa. Todos los tanques de carga tienen una sección transversal octogonal que coincide con el casco interior de soporte.

Entre los dos mamparos transversales, cada tanque está compuesto por un prisma colocado en una dirección paralela a la placa de la quilla.

Los límites de los tanques son los siguientes:

- Un fondo plano, paralelo a la placa de quilla elevada a lo largo del revestimiento del barco por dos placas inclinadas, una a cada lado.
- Dos paredes verticales, cada una extendida en sus partes superiores por una placa inclinada, para limitar el efecto de superficie libre de líquido cuando los tanques están llenos.
- Una parte superior plana paralela a la parte inferior del tronco.

El tanque de carga n.º 1 tiene una forma ligeramente diferente debido a su posición en el barco. Tiene una sección poligonal y las paredes longitudinales son casi paralelas al enchapado del barco.



*Ilustración 11, Sección de una membrana primaria GT NO96.*

El casco interno, es decir, la carcasa externa de cada uno de los tanques de carga, está revestido internamente con el sistema integrado de contención y aislamiento de tanques Gaz Transport. Consiste en una membrana delgada y flexible llamada membrana primaria, que está en contacto con la carga, una capa de cajas de madera contrachapada llena de perlita llamada aislamiento primario, una segunda membrana flexible similar a la primera llamada membrana secundaria y una segunda capa de cajas también llena con Perlita en contacto con el casco interior llamado aislamiento secundario. El sistema de doble membrana cumple con los requisitos de las regulaciones relevantes sobre el sistema de contención de carga para proporcionar dos "barreras" diferentes para evitar fugas de carga.

Por lo tanto, el revestimiento del tanque consta de dos capas idénticas de membranas y aislamiento, de modo que, en caso de una fuga en la barrera primaria, la carga estará contenida indefinidamente por la barrera secundaria. Este sistema garantiza que la totalidad de las cargas hidrostáticas de carga se transmitan a través de las membranas y el aislamiento al revestimiento interior del casco del barco.

La función de las membranas es evitar fugas, mientras que el aislamiento soporta y transmite las cargas y, además, minimiza el intercambio de calor entre la carga y el casco interior. La membrana secundaria, intercalada entre las dos capas de aislamiento, no solo proporciona una barrera de seguridad entre las dos capas de aislamiento, sino que también reduce las corrientes de convección dentro del aislamiento.

Los espacios de aislamiento primario y secundario están bajo una atmósfera de nitrógeno de presión controlada. La presión del espacio primario nunca debe exceder la

presión del tanque de carga para evitar que la membrana primaria se colapse hacia adentro. Para evitar la contaminación del espacio de aislamiento secundario, en caso de fuga del tanque al espacio de aislamiento primario, se recomienda mantener la presión en el espacio de aislamiento primario a 0.2kPa por encima de la presión del espacio de aislamiento secundario.

Las barreras primarias y secundarias son idénticas y están fabricadas de Invar criogénico, un acero de 36% níquel, con un coeficiente de expansión térmica muy bajo, 0,7 mm de espesor.

La composición del INVAR es:

- Ni: 35-36,5 %
- C: <0,04%
- Si: <0,25%
- Mn: 0,2-0,4 %
- S: <0,003%
- P: <0,008%
- Fe: El resto.

Además, su coeficiente de expansión será de  $2,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  en temperaturas entre los 0 y los 180°C, unas diez veces menos que el acero inoxidable AISI 304.

Por otra parte, la prueba Charpy, el ensayo de resiliencia sirve para determinar la fragilidad o resistencia que opone un material a la rotura (Esta resistencia se conoce por el nombre de resiliencia y se expresa en Julios. Para realizar el ensayo se emplea el péndulo de caída que mide la energía residual existente después de la rotura de la muestra de material.<sup>16</sup>) para este material debe ser superior a los 12 bar a -196°C.<sup>17</sup>

Las cajas de madera contrachapada que forman el aislamiento secundario se colocan en el casco interior del barco a través de la transición de un producto duro de resina epoxi que se deposita en la caja en forma de cuerdas por medio de una máquina de depósito automático. Estas cuerdas son de espesor ajustable y compensan los defectos del casco interior. Las cajas se mantienen en posición mediante varillas de acoplamiento de acero inoxidable ancladas al casco interior a través de sus receptáculos soldados. Para absorber la deformación del casco del barco, cada acoplador está equipado con un acoplamiento elástico formado por varias arandelas de resorte apretadas en las placas de ajuste para cajas secundarias asegurando las tuercas. El número de arandelas elásticas utilizadas depende de la ubicación de la caja. Las cajas en los límites de los tanques de lastre tienen un mayor número de arandelas elásticas porque la deformación del casco tiene el mayor efecto en esta área.

Se mantiene una capa Invar continua en ranuras que se extienden a lo largo de toda la tapa de cada caja secundaria. Las hebras de membrana secundarias son soldaduras de resistencia soldadas con las lengüetas continuas en el medio.

Las cajas primarias están aseguradas en su posición por pernos de collar. Los pernos del collar se atornillan en las placas de fijación (abrazadera) para los pernos del collar unidos a la placa de fijación para cajas secundarias mediante dos tornillos de fijación. Se instala un puente de madera contrachapada entre las dos placas de fijación para limitar cualquier conducción térmica a través de las fijaciones de la caja.

Para permitir cierta flexibilidad, cada perno de collar está equipado con un acoplamiento elástico, similar a los de las cajas secundarias.

Cada perno de collarín está equipado con una arandela de resorte simple y se aprieta en la placa de ajuste para las cajas primarias asegurando las tuercas.

Las cajas de aislamiento primarias tienen lengüetas invar labiales engrapadas a lo largo de las ranuras que corren longitudinalmente. Las lenguas Invar continuas se colocan en el labio de las lenguas fijas en las cajas. Las hebras de membrana primaria son soldaduras de resistencia soldadas con estas lengüetas en el medio.

Cada capa de membrana primaria y secundaria termina en una estructura de ángulo Invar, de 1,5 mm de espesor, ajustada alrededor del perímetro de cada mamparo transversal y soldada a ella. Debido a su superposición, las membranas secundaria y primaria se cruzan entre sí en ambos sentidos, formando un tubo cuadrado. Esto está prefabricado para permitir un proceso de montaje más fácil y está unido al doble casco por cuatro barras de anclaje.<sup>17</sup>

Con este sistema, las membranas se conectan directamente al casco interno para que la tensión de la membrana sea tomada directa y uniformemente por la estructura del barco.

En los espacios de aislamiento primario y secundario, respectivamente, los espacios entre las cajas secundarias y las cajas primarias están aislados con una combinación de materiales aislantes rígidos y lana de vidrio.

Con temperaturas del mar y del aire de 0 ° C y un fallo de la barrera primaria, la temperatura mínima del casco interior de acero será de aproximadamente -8 ° C.

Para estas condiciones, las Sociedades de Clasificación requieren una distribución de grado de acero donde la parte superior del tanque y el chaflán longitudinal superior están en acero de grado "E", y el grado de acero longitudinal restante "DH", ambos grados tienen una temperatura mínima de funcionamiento de -10 ° C.

### **3.2.1. Procedimientos de emergencia.**

Todos los test demuestran que una fractura por fatiga en una membrana NO96 no será demasiado grande. Una fractura por fatiga en la membrana primaria será en la mayoría de los casos pequeña y solo permitirá el paso de vapor, o una cantidad de líquido lo suficientemente pequeña para vaporizarse en el paso por la fractura.

Sin embargo, es posible que pueda ocurrir una fractura de mayores dimensiones en la membrana, que permita el paso de líquido que eventualmente llegue al fondo del espacio IBS.

#### Fuga de vapor del tanque a la barrera.

En operaciones normales, los espacios de barrera primarios y secundarios se barren continuamente con nitrógeno. La indicación de una fuga de vapor será indicada por el sistema de control de gases.

Un aumento en la presión debido a la fuga de vapor será menos obvio que un aumento debido a la fuga de líquido. Esto se debe a que el volumen de vapor que pasa a través de una fractura es pequeño en comparación con el volumen de líquido, que posteriormente se vaporiza, pasando a través de la misma fractura. En ambos casos, es probable que los volúmenes sean pequeños en comparación con el volumen del espacio entre barreras.

Cuando se haya producido una fuga de vapor de GNL en el aislamiento primario, la válvula reguladora del suministro de nitrógeno del espacio se ajustará a 0,4 kPa.

Existen varios métodos para eliminar el gas de los aislantes, de esta forma se puede realizar por purgado, para lo cual, se ajustarán tanto la válvula de suministro del nitrógeno, como su válvula de alivio a 0,6 kPa, y se abrirá la descarga directa al palo asignado, normalmente el del tanque 4, para su venteo, lo que originará una corriente que eliminara el gas y que se mantendrá hasta que los análisis muestren un contenido de gas aceptable. Después de lo cual, se cerrará dicha comunicación y se volverá a ajustar la válvula de suministro de nitrógeno a 0,4 kPa.

Otra alternativa es utilizando las bombas de vacío, con lo que se retirará el gas para volver a ser rellenado con nitrógeno. Para ello se vaciarán tanto el aislante primario como el secundario utilizando las dos bombas de vacío, con las que cuentan estos buques, hasta una presión inferior a los 200 mbar absolutos, lo que llevará unas 9 horas. Para ello, habrá que utilizar las conexiones flexibles de las que cuenta el buque para esta operación y conectar la línea principal de vacío con las líneas de alivio de los dos aislantes, el primario y el secundario, se abrirán las válvulas tanto de la línea de vacío como de la de alivio del tanque dañado y se aislara este del resto de los tanques

cerrando las válvulas de suministro de nitrógeno de los demás tanques. Una vez que se hay hecho esto se arrancaran las bombas de vacío y se reducirá la presión hasta la deseada, momento en que se los considerará limpios y listos para ser rellenados de nuevo con nitrógeno. Después de lo cual se volverá a colocar las válvulas en su posición original y se apagarán las bombas de vacío.

Y por último, se puede realizar por dilución del gas dentro de la membrana para luego ventearlo, para ello se cerrara las válvulas de alivio de la barrera afectada y su comunicación con el colector, se abrirá la válvula de suministro de nitrógeno del espacio y se alineará de tal manera que el generador de nitrógeno pueda suministrar constantemente al espacio, se ajustara la presión del espacio secundario de dicho tanque a 0,2 kPa y se arrancará el generador en manual, cuando el espacio llegue a los 95 kPa absolutos se considerará completada la operación y se restablecerá el sistema de forma que la sobrepresión del espacio se ventee y el espacio quede libre de gas.

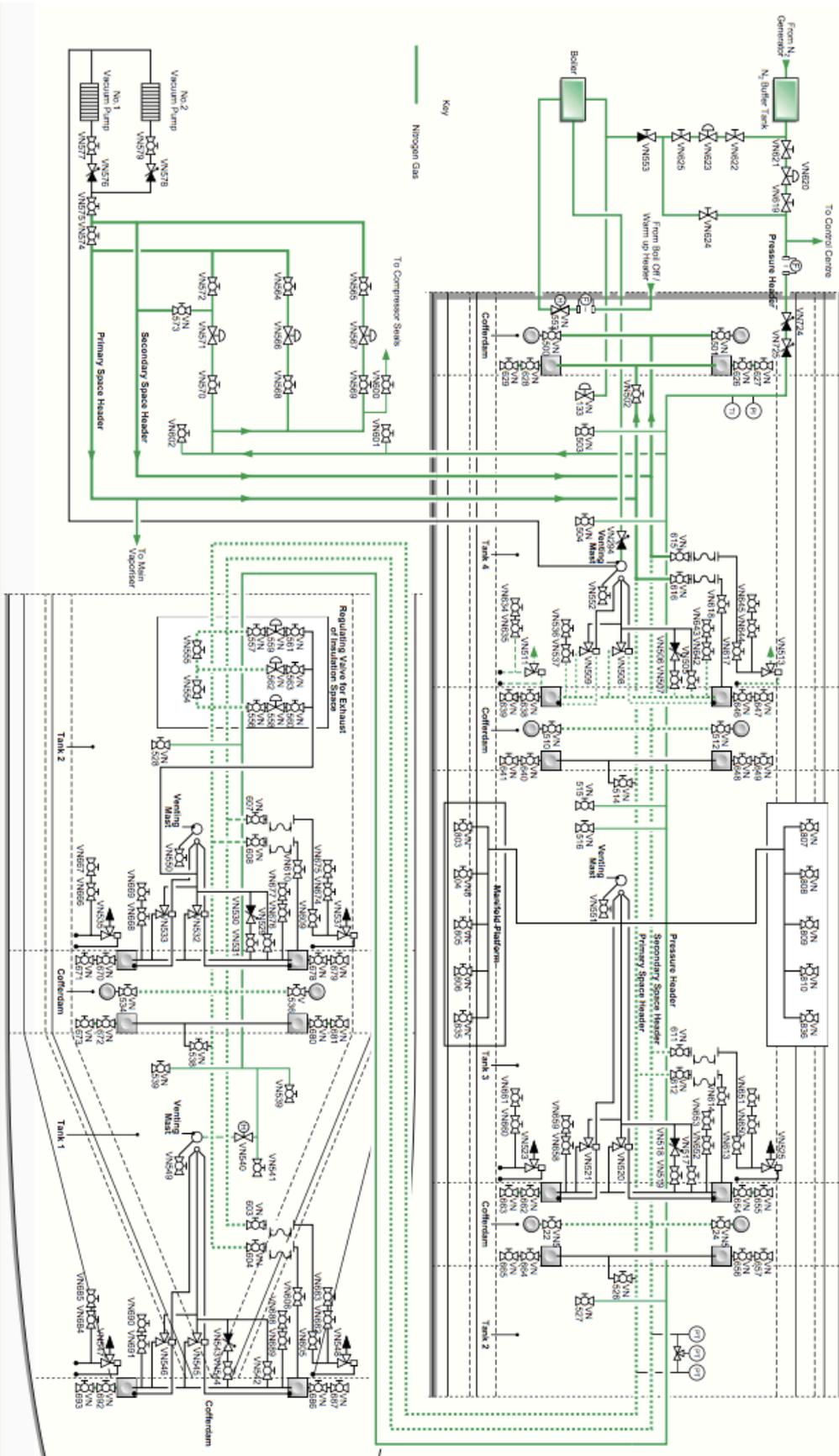


Ilustración 12, Procedimientos de emergencia en membranas NO96.

### 3.3. TG MARK III.

El casco interno está revestido con el sistema de tanque integrado GTT Mark 3L, que consiste en una membrana delgada y flexible, llamada barrera primaria, que se apoya contra una estructura de aislamiento de soporte que incorpora una barrera secundaria y un aislamiento secundario adicional atornillado y pegado al casco interno. Esta construcción asegura que toda la carga hidrostática de la carga se transmite a través de la membrana y el aislamiento al revestimiento de acero de la estructura interna del casco y, por lo tanto, al revestimiento del casco del buque.

Las membranas MARK III reducen significativamente el espesor del INVAR y del aislamiento significativamente.<sup>15</sup>

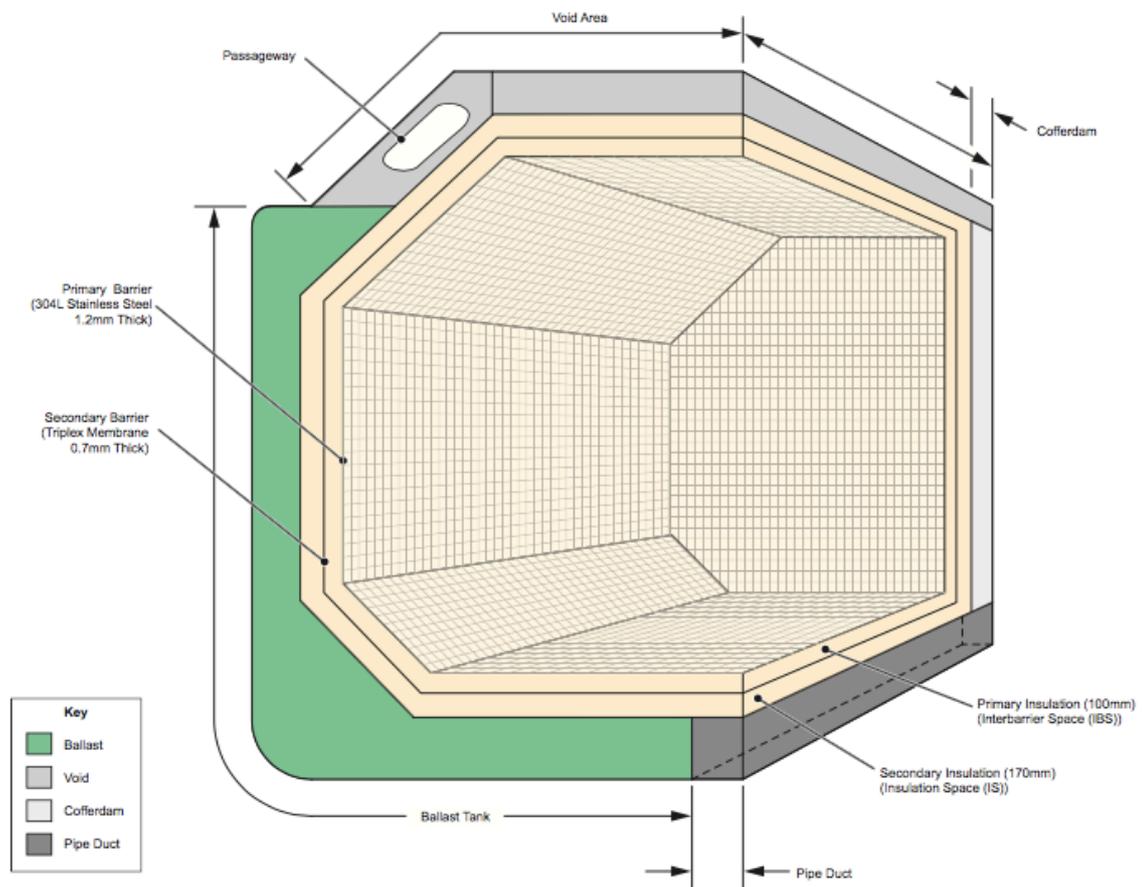
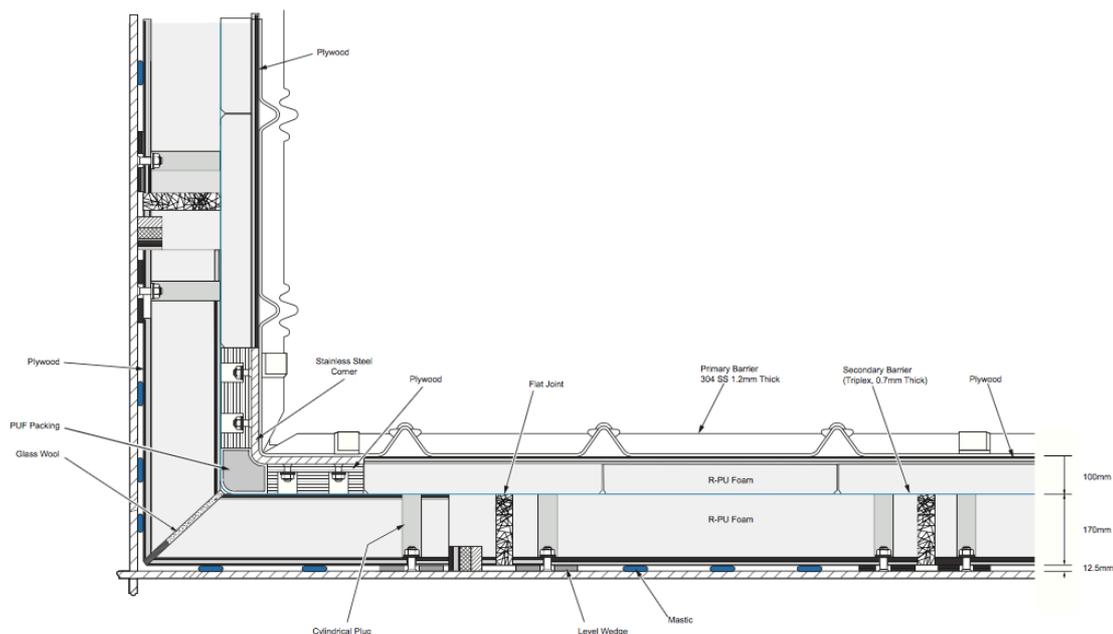


Ilustración 13, Tanque de Membrana Mark III.



*Ilustración 14, Corte longitudinal de una membrana Mark III.*

La membrana primaria es un conjunto de láminas corrugadas de 1,2 mm de espesor, hechas de acero inoxidable AISI 304L. Las láminas, soldadas entre sí, tienen dos conjuntos de corrugaciones ortogonales de forma ojival, donde el paso nominal es igual a 340 mm por 340 mm. Las corrugaciones se cruzan entre sí mediante superficies geométricas que se denominan nudos.

Para que el alargamiento de las hojas en las dos direcciones de las corrugaciones sea el mismo para la misma carga aplicada, es necesario dar diferentes dimensiones a las corrugaciones de los dos conjuntos. En consecuencia, hay un conjunto de corrugaciones grandes, paralelas entre sí, y un conjunto de corrugaciones pequeñas, también paralelas entre sí, pero en ángulo recto con respecto al primer conjunto. Cada hoja se forma en una máquina plegadora automática con herramientas especiales.

En cada una de las paredes del tanque, las corrugaciones presentan un patrón de cuadrados, con cada conjunto de corrugaciones paralelas a uno de los ejes de la embarcación.

A lo largo de los bordes del tanque, la unión de las corrugaciones en dos paredes adyacentes se lleva a cabo por medio de piezas angulares, cada una formada por plegamiento corrugado en un nudo especialmente diseñado.

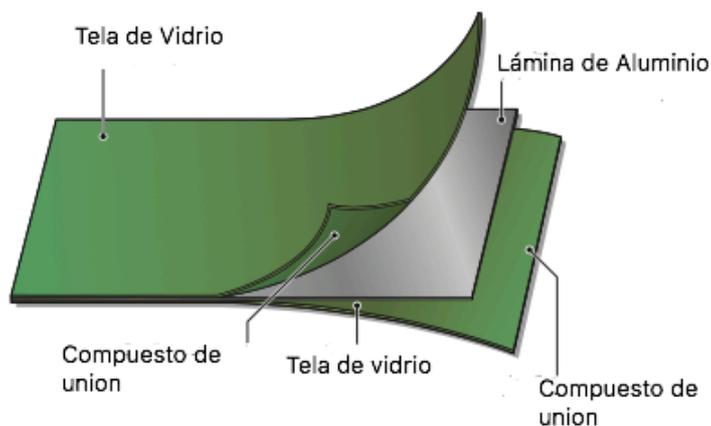
Las láminas se fijan al aislamiento de soporte a lo largo de la mitad de su perímetro al soldarlas en pequeñas tiras de acero inoxidable firmemente fijadas en la estructura de aislamiento. Este anclaje tiene tres propósitos; absorbe las fuerzas desequilibradas establecidas por condiciones de temperatura no uniformes o transitorias, soporta el peso de las láminas en las paredes verticales y el techo del tanque y permite un pequeño

vacío en el tanque. El medio perímetro se superpone y se suelda por solape a la lámina adyacente, siendo la superposición de 30 mm. A lo largo de los bordes y las esquinas del tanque, las láminas están ancladas a piezas de esquina rígidas de acero inoxidable, y las esquinas a su vez están aseguradas al aislamiento con llaves de madera.

El proceso de soldadura es gas inerte de tungsteno (TIG) sin metal de relleno.<sup>12</sup>

El material aislante se compone de poliuretano reforzado con fibra de vidrio, que compone aproximadamente un 10% del peso del aislante y que le da una densidad aproximada de 120Kg/m<sup>3</sup>. Este se sitúa con unos espesores de 170mm por debajo de la barrera secundaria y 100mm por encima de la misma.

Los paneles aislantes, compuestos por una cara exterior de madera contrachapada, sobre la cual se unen las láminas de membrana y dos capas de espuma aislante, forman la barrera de aislamiento y la barrera interior real. Entre las capas de espuma situadas en el espacio interbarreras y el espacio aislante hay una membrana triple unida a la espuma del espacio aislante y forma la barrera impermeable a la circulación de nitrógeno, conocida como la barrera secundaria. La barrera secundaria está compuesta por una lámina de aluminio de 80 micras unida a dos capas de tela de vidrio con un espesor total de 0.7mm.<sup>12</sup>



*Ilustración 15, Triplex.*

Las cuñas niveladas, fijadas al casco interior y formando un patrón rectangular, sirven como soporte para los paneles de aislamiento unidos a ellas. Los paneles de madera contrachapada de la barrera de aislamiento están asegurados al casco interior por pernos. El espesor de la cuña nivelada se calcula individualmente para tener en cuenta cualquier ligera irregularidad en la superficie interior del casco.

Los paneles de soporte aislantes se ensamblan mediante unión con poliuretano o pegamento epoxi. La continuidad del aislamiento entre los paneles está asegurada por lana de vidrio (junta plana) que se intercala entre películas de PVC. La estanqueidad y la continuidad de la barrera secundaria se logran mediante un empalme de los

compuestos de unión hecho de espuma de poliuretano estriada prefabricada con fibras de vidrio de refuerzo.

Para las esquinas del tanque, los paneles soporte se cortan y se ensamblan para formar esquinas diédricas y triédricas, formando las juntas entre los paneles de estas esquinas de PVC expandido precomprimido.

Las dimensiones del aislamiento se han determinado para garantizar que:

- El flujo de calor hacia el tanque está limitado de tal forma que el BOR, es menor al 0.07% por día.
- El acero del casco interno no alcanza una temperatura por debajo de su valor mínimo de diseño, incluso en el caso de fallo de la barrera primaria.
- Cualquier desviación resultante de las tensiones y tensiones aplicadas son aceptables por la barrera primaria.

Además de estos requisitos, el aislamiento actúa como una barrera para evitar cualquier contacto entre el agua de lastre y la barrera primaria, en caso de fuga a través del casco interior.

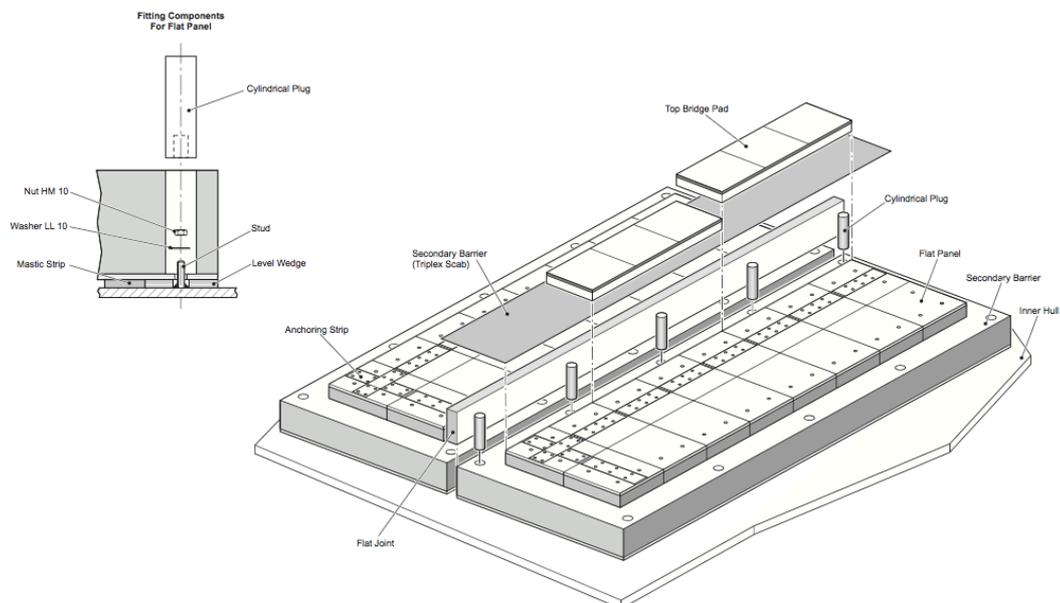
El sistema de aislamiento está diseñado para mantener las pérdidas por ebullición de la carga a un nivel aceptable y para proteger el acero interior del casco del efecto de temperaturas excesivamente bajas. Si la eficiencia del aislamiento se deteriora por algún motivo, el efecto puede ser una disminución de la temperatura interna del acero del casco, es decir, un punto frío y un aumento de la ebullición del tanque afectado. El aumento de la ebullición no tiene consecuencias directas para la seguridad de la embarcación, ya que cualquier exceso de gas puede quemarse como BOG y como último recurso venteado a la atmósfera a través del palo de venteo del tanque No. 1. Sin embargo, la temperatura interna del acero del casco debe mantenerse dentro de límites aceptables para evitar posibles fracturas.

Los termopares se distribuyen sobre la superficie del casco interior, pero a menos que se produzca un punto frío inmediatamente adyacente a un sensor, estos solo pueden servir como una indicación general de la temperatura del acero. Hasta la fecha, la única forma segura de detectar puntos fríos es mediante la inspección visual frecuente de los espacios de lastre en el viaje cargado.

El grado de acero requerido para el casco interno del recipiente se rige por la temperatura mínima que este acero alcanzará a la temperatura ambiente mínima, suponiendo que la barrera primaria, la membrana de acero inoxidable, haya fallado, de modo que el GNL esté en contacto con la barrera secundaria.

Además de por un fallo de la membrana, se pueden producir puntos fríos locales debido a un fallo del aislamiento.

Si bien la calidad del acero del casco interno se ha elegido para resistir la temperatura mínima que probablemente se produzca en servicio, el funcionamiento prolongado a temperaturas de acero inferiores a 0°C provocará la acumulación de hielo en el revestimiento, lo que a su vez provocará una disminución adicional de la temperatura del acero debido al efecto aislante del hielo. Para evitar esto, se colocan bobinas de calentamiento de glicol en cada espacio cofferdam, de capacidad suficiente para mantener la temperatura interna del acero del casco a 5 ° C en las peores condiciones. Si el sistema de medición de temperatura interior del casco detecta un punto frío o se detecta mediante inspección visual, se debe registrar el alcance y la ubicación de la formación de hielo. Los pequeños puntos fríos locales no son críticos, y siempre que se mantengan una vigilancia cercana y un registro como un control contra un mayor deterioro y propagación de la formación de hielo, no se requiere ninguna acción inmediata. Si el punto frío es extenso o tiende a extenderse rápidamente, se debe inundar el espacio de lastre. La capacidad térmica del agua, más la transferencia de calor mejorada desde el exterior, debe mantener la temperatura del acero en o cerca de la temperatura ambiente del agua del mar. En el improbable caso de que este remedio sea insuficiente y se considere inseguro retrasar la descarga hasta la llegada al puerto de destino, el último recurso será deshacerse de la carga a través de una boquilla portátil instalada en uno de los colectores de líquido del centro del barco, utilizando una de las bombas de carga principales del tanque afectado.



*Ilustración 16, Construcción de la membrana Mark III.*

### **3.3.1. Procedimientos de emergencia.**

Las concentraciones de gas en los espacios entre barreras (IBS) y los espacios de aislamiento (IS) en un sistema de contención de carga de membrana indican un defecto. Los espacios IBS e IS que rodean los tanques de carga se muestrearon para detectar gas mediante un sistema fijo de detección de gas.

Las pruebas realizadas por GTT muestran que una fractura por fatiga en la membrana primaria de acero inoxidable no continuará después de que se haya aliviado. Cualquier fractura por fatiga en la barrera secundaria triplex generalmente será pequeña y pasará solo vapor o una cantidad suficientemente pequeña de GNL que se vaporizará cuando pase de la presión relativamente alta dentro del tanque de carga a la presión más baja en el IBS.

Sin embargo, es posible que se produzca una falla mayor de la membrana debido a la conexión a tierra, colisión, etc., lo que podría permitir que el líquido de GNL pase a través de la membrana de acero inoxidable y se asiente en el espacio del IBS.

Las concentraciones de gas en el IBS e IS en la configuración de alarma LEL al 30% y superiores deben informarse completamente de acuerdo con el Sistema de Gestión de Seguridad de la Compañía lo antes posible y por los medios más rápidos disponibles.

#### **3.3.1.1. Fugas de vapor en los espacios interbarreras.**

El sistema de detección de gas fijo detectará una fuga de vapor de GNL en el IBS e IS y se mostrará en la consola de control de carga, el sistema de detección de gas y el panel de detección de gas local.

Las concentraciones de gas estables hasta el punto de ajuste de la alarma no requieren una acción correctiva por parte de los organismos reguladores, aparte del monitoreo. El punto de ajuste de la alarma es 30% LEL (1.5% por volumen) para el IBS e IS. Sonará una segunda alarma si la concentración de gas aumenta a 60% LEL.

Si bien GTT o los organismos reguladores no lo requieren, si la concentración de gas en un espacio IBS aumenta a 20% LEL. Sujeto a los procedimientos contenidos en el Sistema de Gestión de Seguridad de la Compañía, los procedimientos generales enumerados a continuación pueden seguirse y registrarse en el Registro de carga:

a) Abra parcialmente la válvula de derivación alrededor de la válvula de control de escape IBS del tanque afectado para permitir que el nitrógeno fluya continuamente a través del IBS. El flujo de nitrógeno puede leerse en el medidor de flujo local y debe establecerse en  $10 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Ajuste la velocidad de flujo según sea necesario para que la concentración de gas permanezca por debajo del 10% de LEL (deseada) o por debajo del valor máximo de 30% de LEL en los viajes cargados y en lastre.

b) Verifique y mantenga la presión en el espacio de aislamiento (IS) a un mínimo de 2 mbar por encima de la presión en el IBS del tanque afectado para evitar que el vapor de GNL pase al IS.

c) Si el diferencial de presión de 2 mbar no impide que parte del vapor de GNL pase al IS, entonces abra ligeramente (comience con 1/8 de vuelta) la válvula de derivación manual alrededor de la válvula de escape IS del tanque afectado. Ajuste la válvula según sea necesario (permita un mínimo de 4 horas entre ajustes) para reducir la concentración de gas en el IS a menos del 2% de LEL.

d) Una vez que se conoce y registra el caudal de nitrógeno y una concentración estable de gas LEL en el IS, cierre la derivación alrededor de la válvula de suministro IS y abra parcialmente (comience con 1/8 de vuelta) la válvula de derivación alrededor de la válvula de escape IBS hasta que se obtiene el mismo % de LEL constante. Registre la posición de la válvula, los caudales de nitrógeno y el % de LEL en el registro de carga. Si la concentración de gas en el IBS no puede controlarse por debajo del punto de ajuste de alarma del 30% LEL mediante un flujo de nitrógeno razonable, notifique a la compañía y aumente las concentraciones de gas al 40% LEL, 50%, etc., hasta que se obtiene un % estable de LEL y flujo de nitrógeno. Las sociedades de clasificación permitirán concentraciones de gas más altas en el espacio de barrera primario (IBS) que el punto de ajuste de la alarma, siempre que el contenido de gas y la velocidad de flujo sean estables (no aumenten) y se monitorearán y registrarán continuamente y el gas el contenido en el IS está por debajo del 30% de la configuración de la alarma LEL. El punto de ajuste de alarma del 30% LEL en el IS es el máximo permitido para ese espacio.

Las concentraciones sostenidas de gas por encima del punto de ajuste de alarma de 30% LEL (LFL) se informarán a la Clase y USCG (si se comercializa en puertos de EE. UU.) Y se les facilitarán todas las copias de los registros de carga. Además de las entradas normales de concentraciones de gas realizadas en el Registro de carga del barco, se mantendrá un Registro de alta concentración para monitorear todas las concentraciones de gas por encima del 30% del LEL. Este registro incluirá lecturas por hora tomadas hasta que se obtenga una concentración estable de gas. A partir de entonces, la frecuencia de las entradas de registro puede reducirse si la Clase y la USCG lo permiten, siempre que el caudal de nitrógeno y las concentraciones de gas permanezcan constantes.

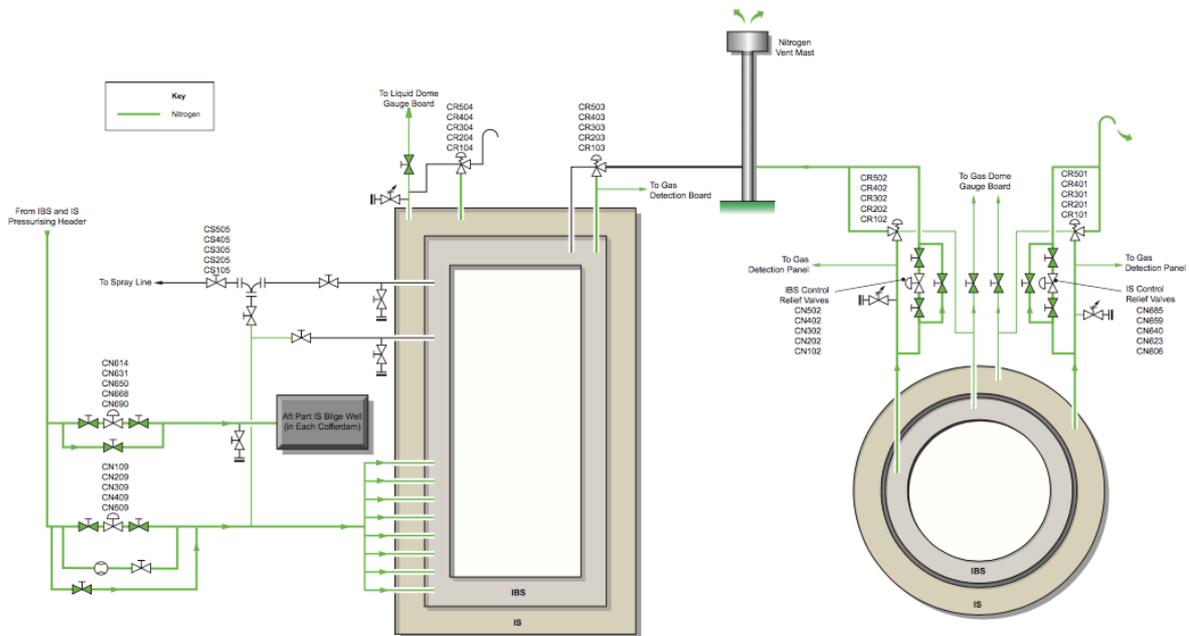


Ilustración 17, Operaciones de emergencia en una membrana Mark III.

Al reducir las concentraciones de vapor de GNL en el SII, se debe mantener siempre la presión del SII no menos de 30 mbar por debajo de la presión del tanque. Mantenga siempre el espacio de aislamiento (IS) dentro de los 30 mbar de la presión del SII. Es probable que se produzcan daños graves en la barrera primaria y en la barrera secundaria si no se observan estas precauciones.

#### 8.1.1.1. Fugas de líquido en los espacios interbarreras.

Un fallo en la membrana primaria, lo suficientemente grande como para permitir que el líquido de GNL ingrese al IBS, se indicará mediante uno o más de los siguientes, dependiendo de la gravedad de la falla:

- Un aumento rápido en el contenido de metano del espacio del IBS afectado y la alarma.
- Alarmas de gas en IBS al 30% y 60% LEL
- Alarma de alta presión en el IBS.
- Escarcha en el tubo de escape del IBS en el domo de vapor.
- Levantamiento de las válvulas de alivio del IBS como lo demuestra la escarcha en las tuberías y el mástil de ventilación del IBS.
- Alarmas de baja temperatura en todos los sensores de temperatura en el espacio de aislamiento debajo del nivel de líquido del tanque de carga dañado.
- Una disminución general de las temperaturas internas del acero del casco.

La fuga de líquido en un espacio del IBS podría desarrollarse lentamente durante un período de días u horas, o puede desarrollarse repentinamente si ocurre un fallo importante de la membrana.

Se debe conectar inmediatamente el medidor de nivel de líquido portátil al IBS al primer signo de una fuga de líquido para ayudar a determinar la altura y el tamaño de la fuga registrando la tasa de aumento del nivel de IBS, la presión del IBS y el nivel y la presión del tanque de carga.

El medidor debe dejarse conectado y tomarse lecturas de nivel manuales cada hora para que se pueda trazar y registrar la tasa de ingreso de GNL.

Si el nivel del líquido aumenta hasta el nivel del tanque de carga antes de que el tanque pueda ser bombeado, entonces se debe tener mucho cuidado para proteger contra la sobrepresurización de la membrana durante la descarga del tanque dañado.

El líquido de GNL en el IBS puede eliminarse ya sea por drenaje por gravedad nuevamente dentro del tanque de carga a medida que se bombea el tanque, o si eso no funciona, utilizando el sistema de drenaje del SII.

El Procedimiento de drenaje por gravedad es el método más recomendable y debe intentarse en primer lugar. Si la rotura de la membrana está en el fondo del tanque o cerca de él y es lo suficientemente grande, entonces el líquido de GNL puede drenarse por gravedad nuevamente dentro del tanque de carga a medida que se descarga el contenido del tanque. Una bomba de carga que funciona a su capacidad nominal o una capacidad reducida puede permitir que el nivel en el IBS disminuya aproximadamente a la misma velocidad que el nivel en el tanque de carga.

a) Conecte el medidor de nivel de líquido portátil al IBS y cámbielo a la escala de medición de GNL. Abra el suministro de nitrógeno y las válvulas de entrada del SII y juzgue si el nivel indicado en la escala de GNL es razonable.

b) Arranque una bomba de carga en el tanque dañado. Una bomba en un tanque de carga puede reducir el nivel en un tanque lleno a una velocidad de aproximadamente 1.6m / h a su capacidad nominal de 1,400m<sup>3</sup> / h. La reducción real en el nivel por hora debe calcularse para el tanque en cuestión y la variación variable, ya que oscila entre 1,4 y 2,0 m/h.

c) Controle cuidadosamente los niveles de líquido en el IBS y el tanque de carga. Un nivel de GNL de 1 metro más en el IBS que en el tanque de carga representa una sobrepresión de aproximadamente 50 mbar si ambos espacios están a la misma presión. Dado que la presión en el tanque de carga será un mínimo de 70 mbar y la presión en el IBS 10-20 mbar, el nivel en el IBS puede ser aproximadamente 1 metro más alto que el tanque de carga debido a la mayor presión del tanque. Por lo tanto, la diferencia de nivel debe mantenerse por debajo de 1,8 metros cuando la presión del tanque es 50 mbar más alta que la presión del IBS.

d) Si la bomba está bajando el nivel del tanque demasiado rápido, acelere la válvula de descarga de la bomba de carga para reducir la diferencia en los dos niveles.

e) Si la reducción del caudal de la bomba de carga no funciona, después de bombear durante aproximadamente 1 hora en un tanque grande, detenga la bomba y mida el tiempo que tardan los niveles en reducirse a menos de 1 metro entre sí. Luego reinicie la bomba a una velocidad de flujo de aproximadamente  $1,000\text{m}^3 / \text{h}$ .

f) Si después de varios intentos se hace evidente que el daño es demasiado grande como para permitir que el líquido en el IBS regrese al tanque de carga a una velocidad razonable, o si el daño está en la parte alta en el tanque, entonces será necesario usar el sistema de drenaje del IBS.

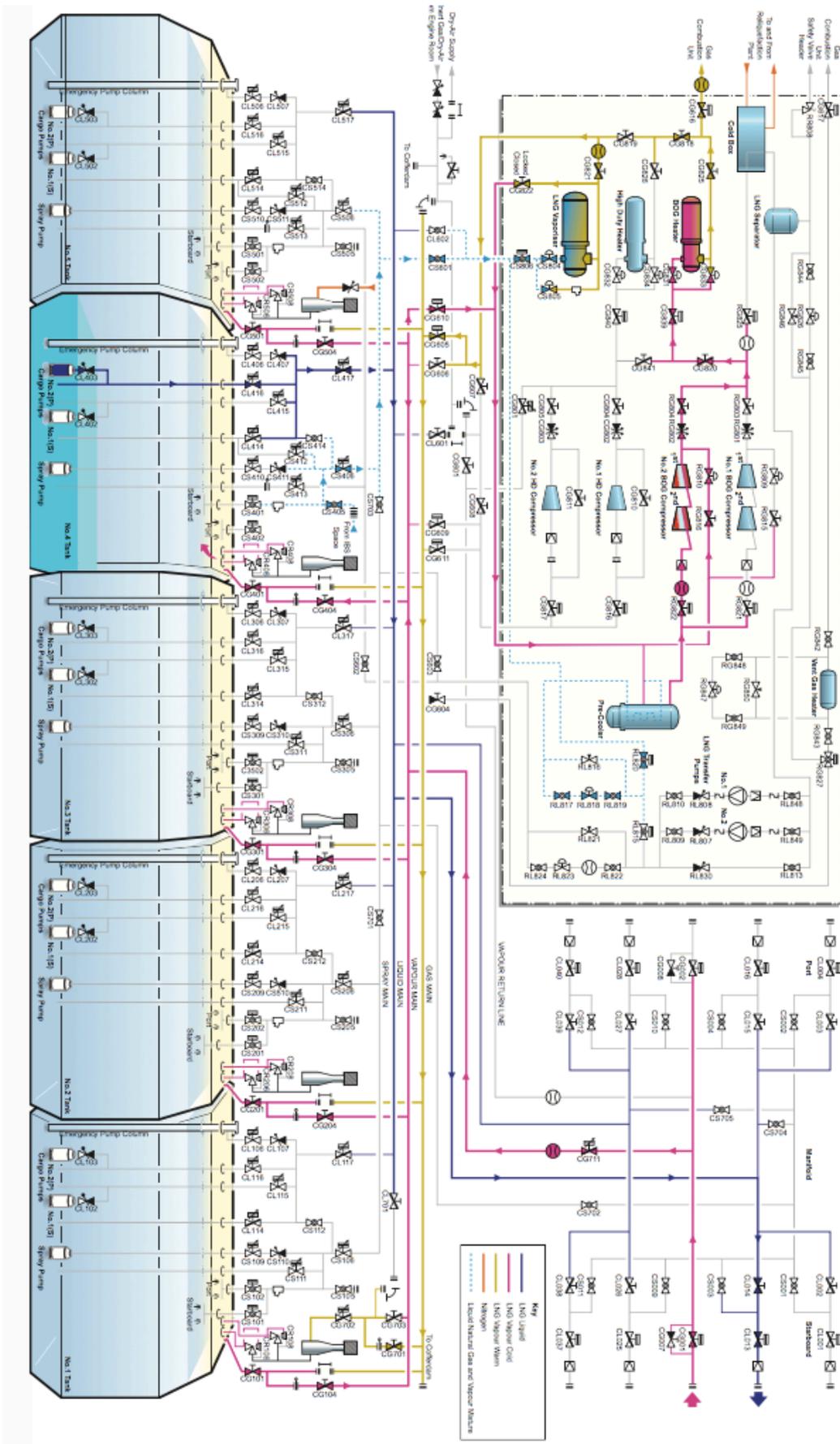


Ilustración 18, Operaciones de emergencia en membrana Mark III

Si el líquido de GNL acumulado en un IBS no se drenará por gravedad lo suficientemente rápido como para permitir que se bombee el tanque de carga, mientras se mantiene un nivel igual entre el tanque y el IBS, entonces es necesario bombear el líquido fuera del IBS. Uno de los compresores BOG, el vaporizador y la tubería de pulverización tendrán que usarse para eliminar el líquido aspirando el vacío en el IBS lo suficiente como para levantar el líquido de GNL del IBS para que pueda fluir a través del cabezal de pulverización. Desde la tubería de pulverización, el líquido de GNL se dirigirá al vaporizador, donde se vaporizará a una temperatura máxima de + 10 ° C. A partir de ahí, se dirigirá al preenfriador antes de que el vapor de GNL ingrese al compresor BOG. Desde el compresor BOG, el vapor se envía al calentador BOG para calentarse a + 25 ° C antes de ir a la GCU donde se quema.

GTT ha calculado que para lograr la misma tasa de cambio en el nivel del tanque de carga y el SII, una tasa de descarga de la bomba de carga de  $560\text{m}^3 / \text{h}$  corresponde a una tasa de descarga del SII de  $0.929\text{m}^3 / \text{h}$ . Esto tomaría aproximadamente 85 horas para descargar uno de los tanques más grandes.

La línea de ventilación de emergencia se usa para dirigir cualquier exceso de vapor al mástil de ventilación No.1 si la GCU no puede manejar la cantidad de gas producido.

Una carga de líquido en el IBS superior al nivel del líquido en el tanque crea una presión detrás de la membrana primaria de acero inoxidable, lo que provoca una tendencia a separarse del aislamiento. El procedimiento general para eliminar el líquido es el siguiente:

- a) Conecte el medidor de nivel de líquido portátil al IBS y cámbielo a la escala de medición de GNL. Abra el suministro de nitrógeno y las válvulas de entrada del IBS y juzgue si el nivel indicado en la escala de GNL es razonable.
- b) Conecte una manguera de purga de nitrógeno y purgue la tubería en forma del codo de 90 ° con brida. Después de la purga, gire el codo 90 ° para que conecte la tubería IBS a la tubería de rociado en el domo de líquido.
- c) Purgue la tubería del SII al vaporizador y luego compruebe la presión de la tubería después de conectar el codo para asegurarse de que no haya fugas de vacío o presión. Todas las conexiones que normalmente se usan para el enfriamiento por aspersión deben cerrarse y aislarse.
- d) Asegúrese de que el vaporizador y el calentador BOG se hayan precalentado correctamente y estén listos para funcionar.
- e) Alinee la tubería de descarga del compresor para que los vapores puedan quemarse mediante el sistema de control de gas de la GCU.
- f) Gire la comunicación del sistema a la posición abierta para conectar la línea de ventilación de emergencia al venteo del mástil n. ° 1.

g) Registre los niveles en el tanque de carga y el IBS. El medidor de nivel de líquido portátil está diseñado para funcionar con vacío o presión positiva, por lo que no es necesario detener el compresor para medir el nivel de líquido.

h) Arranque un compresor BOG y una bomba de carga.

i) Registre los niveles en el tanque de carga e IBS cada 10 minutos inicialmente, luego a intervalos más largos según sea necesario.

j) Establezca el sistema de control de gases en "Tendencia" para monitorear el nivel del tanque, la presión del tanque, IBS e IS % LEL, la tasa de flujo del vaporizador y la posición variable de la paleta del difusor.

k) Ajuste la velocidad de descarga de la bomba de carga de modo que el nivel en el tanque disminuya aproximadamente a la misma velocidad que el nivel en el IBS.

l) La válvula anti-sobretensión en el compresor BOG se ajustará automáticamente según sea necesario.

m) Asegúrese de que la presión en el IS no caiga por debajo de la presión del IBS en más de 30 mbar. Si esto ocurre, se puede dañar severamente el sello de barrera secundario.

n) Bajo ninguna circunstancia, permita que la diferencia entre el nivel del tanque y el IBS sea superior a 1,8 metros, ya que el exceso de presión sobre la barrera primaria puede causar daños graves.

Después de completar el bombeo del tanque de carga y el IBS, libere esos espacios y el IS si es necesario. El tanque de carga debe llenarse con gas inerte y cerrarse a una ligera sobrepresión (10-12 mbar). El IBS y el IS deben llenarse con nitrógeno y los controladores de suministro de IBS deben establecerse en 5 mbar y el controlador de escape del IBS en 10 mbar.

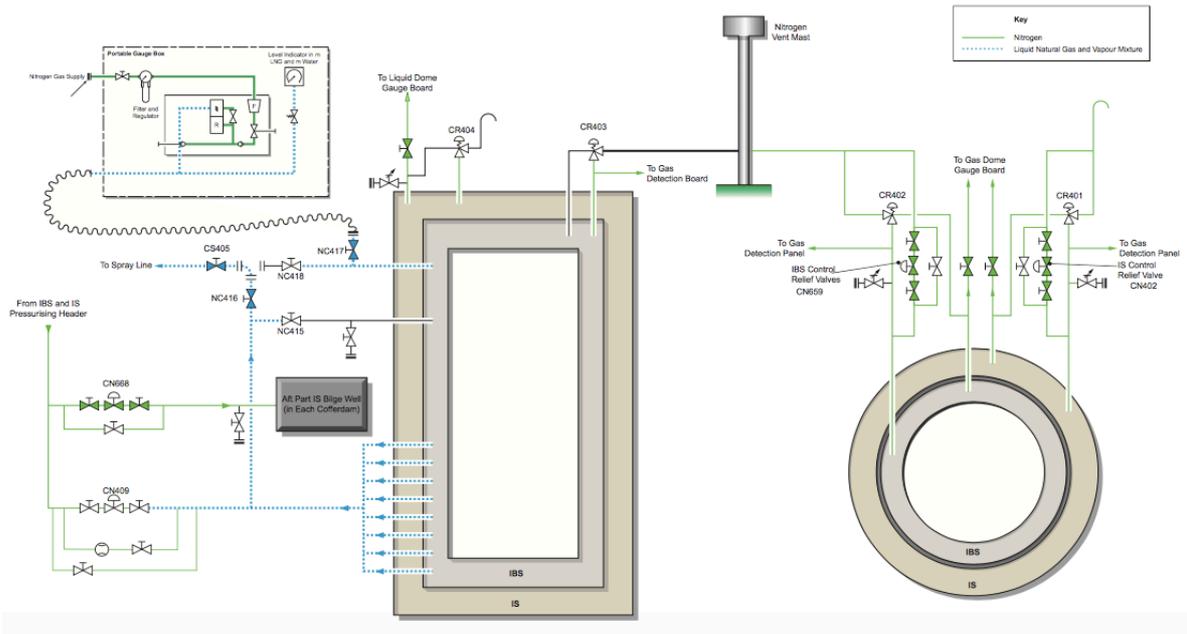


Ilustración 19, Barrido de emergencia en membrana Mrk III

#### 4. Tanques Independientes.

Los tanques independientes son completamente auto soportados, generalmente esféricos (desarrollados por Moss Maritime de Noruega) o de forma prismática (diseñado por Conch International Methane Ltd), y están hechos de aleación de aluminio o acero al 9% de níquel con capas de aislamiento en el exterior. Los tanques independientes son completamente autosuficientes y no forman parte de la estructura del casco del barco. Además, no contribuyen a la resistencia del casco de un barco<sup>10</sup>. Los tanques están soldados a faldones cilíndricos o unidos a soportes que están soldados a la estructura del barco.

Como define el Código CIG (Código para buques que transporten gases licuados a granel) y dependiendo principalmente de la presión de diseño, existen tres tipos diferentes de tanques independientes para portadores de gas. Estos están construidos de acuerdo con el diseño estándar del tanque de crudo (Tipo A), otros que tienen un diseño de recipiente a presión (Tipo C) y, finalmente, tanques que no son ninguno de los dos primeros tipos (Tipo B). Todos los tanques de GNL son de Tipo B, porque los tanques de Tipo B deben diseñarse sin ninguna suposición general que implique el diseño de los otros tipos de tanques.

Los tanques de tipo B se pueden subdividir en esféricos o prismáticos.

##### 4.1. Tanques Moss.

Es el más común de los tanques independientes, a finales del 2018 había 128 buques con este sistema de tanques.

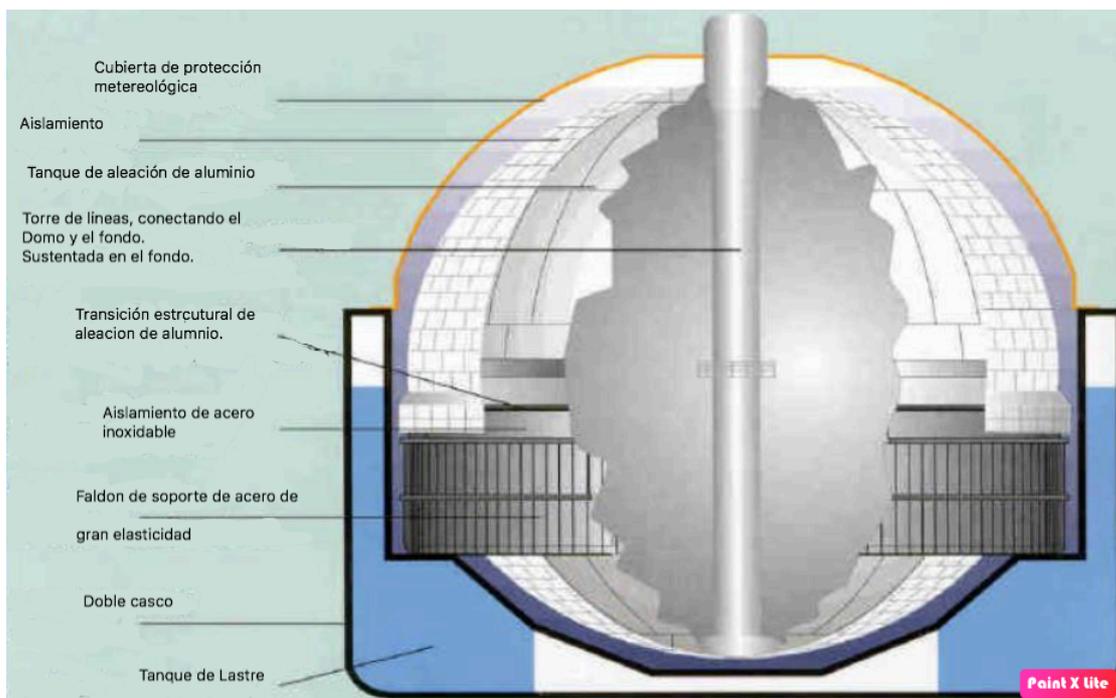


Ilustración 20, Estructura de un tanque esférico.

Los tanques esféricos independientes consisten en una pared sencilla esférica aislada, soportado por un faldón vertical. Este faldón está conectado con el tanque a lo largo del ecuador de la esfera. El material de construcción del tanque es una aleación de aluminio. Cada tanque de carga está asentado en espacios separados con el faldón montado directamente sobre cubierta. El sistema de protección contra derrames para proteger el casco de la carga criogenizada cumple los requisitos de las Sociedades de Clasificación. En el tanque esférico MOSS existente, la superficie curva hace que el líquido se desplace a lo largo de las paredes del tanque. Por lo tanto, en comparación con los tanques prismáticos, como los tanques de membrana, la presión de impacto debido al sloshing es insignificante.<sup>18</sup>

El tanque tipo MOSS ha sido una opción popular porque su forma de esfera proporciona la resistencia más estable que reduce el espesor de la placa del material de la superficie del tanque. Posteriormente, la adopción de un tanque estirable o Sayaendo, por la primera serie de buques dotados de este sistema, se ha generalizado con el fin de aumentar la capacidad de carga. Por otro lado, el tanque en forma de manzana de nuevo desarrollo adopta una forma de tanque asimétrica y hereda el mismo concepto convencional de soportar la presión interna a través de la tensión del aro. Está categorizado como un tanque tipo MOSS, con su considerable experiencia en construcción y gran confiabilidad, y está clasificado como un tanque independiente IMO Tipo B. La estructura del tanque consiste de una combinación de tres elementos, es decir, una carcasa esférica, una porción de toro y una porción de cilindro, que logra una alta flexibilidad en términos de forma y capacidad.

El Sloshing se refiere al movimiento del líquido que tiene una superficie libre, causando una gran presión de impacto cuando el líquido dentro del tanque está experimentando un fuerte movimiento y golpea las paredes del tanque debido a una situación particular de la condición de carga, el nivel de líquido de GNL y el estado de la mar. En el tanque esférico MOSS existente, la superficie curva hace que el líquido se desplace a lo largo de las paredes del tanque. Por lo tanto, en comparación con los tanques prismáticos, como los tanques de membrana, la presión de impacto debido al sloshing es insignificante. El tanque en forma de manzana también tiene una forma suave que no concentra la presión en un área en particular. Sin embargo, dado que ha habido un cambio gradual de forma desde el tanque esférico, se ha verificado que tiene el mismo nivel de excelentes propiedades de sloshing que el modelo existente, solo para estar seguros.

Al analizar las propiedades de sloshing aquí, se ha realizado un examen en términos de excitación de onda regular y excitación de onda irregular. La excitación de onda regular es un método de evaluación que utiliza una amplitud / ciclo de excitación constante. En

los últimos años, la tecnología de simulación numérica se ha desarrollado rápidamente, lo que permite una evaluación de chapoteo basada en la excitación de ondas irregulares teniendo en cuenta el movimiento del barco, que está más cerca de lo que sucede en la realidad.<sup>18</sup>

En primer lugar, MHI realizó una evaluación interna basada en un experimento modelo utilizando excitación de onda regular con un ciclo y amplitud de excitación constante, así como dinámica de fluidos computacional (análisis CFD), para comparar la carga de sloshing entre dos modelos: el tanque con forma de manzana en desarrollo y el tanque esférico existente. La precisión del análisis se verificó en el experimento modelo y se confirmó que el alcance de la carga de chapoteo en el tanque con forma de manzana para el proyecto real era el mismo que el tanque esférico, y que el aumento de la carga estaba dentro del 10%.

El nuevo tanque con forma de manzana fue desarrollado con el propósito de cumplir con dos demandas contradictorias, es decir, para lidiar con la restricción de la anchura del barco para pasar el Canal de Panamá y aumentar la eficiencia del transporte a través de una mayor capacidad. Por ejemplo, en la figura se muestra comparaciones entre un tanque en forma de manzana de 180 km<sup>3</sup> con un tanque estirable de 155 km<sup>3</sup>, así como con un tanque esférico de 180 km<sup>3</sup>. La adopción del tanque en forma de manzana ha llevado a un aumento exitoso en la capacidad de carga en más del 15% sin que las dimensiones del casco sean mayores que las de los transportadores de GNL equipados con tanques extensibles.<sup>18</sup>

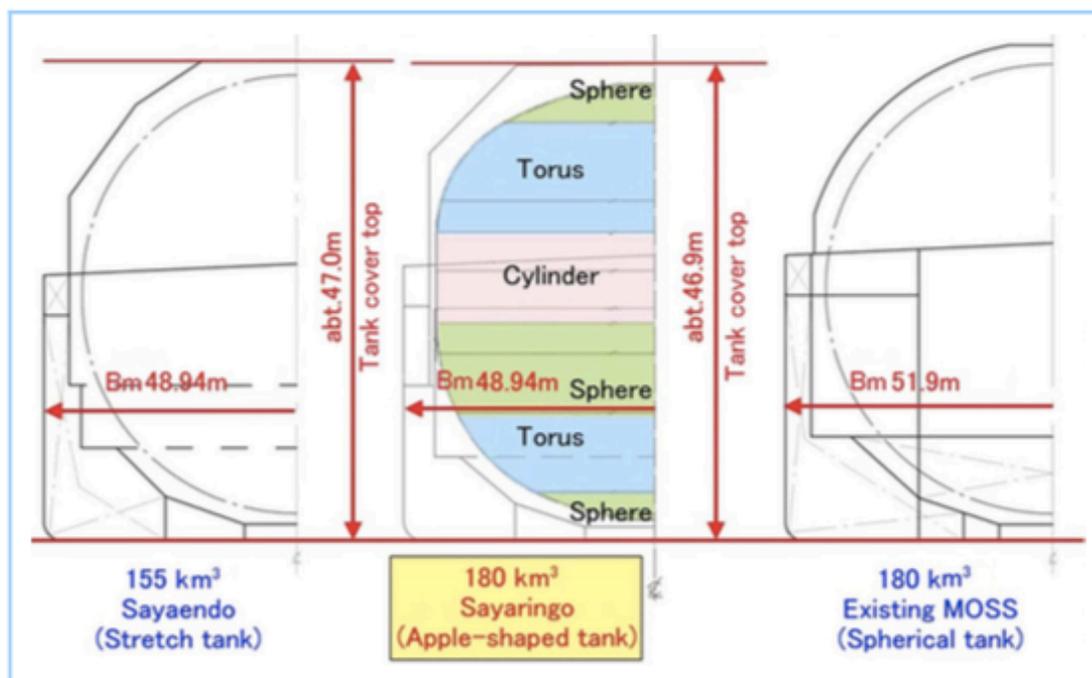


Ilustración 21, Diferencias entre los distintos tipos de tanques MOSS.

En segundo lugar, la carga de sloshing fue evaluada por DNV-GL que tiene una técnica de evaluación de sloshing bajo condiciones de excitación irregulares. El método de evaluación basado en la excitación de onda irregular. En esta evaluación, es importante identificar la condición en la que aumenta la carga de sloshing. Por lo tanto, se realizó un análisis numérico a través de la excitación de onda irregular durante una duración de aproximadamente 30 minutos. Luego, se realizó un examen de las condiciones en las que se produce la carga máxima (situaciones de condición de carga, nivel de líquido de GNL y estado del mar).

Especialmente al identificar el estado del mar, la evaluación debe realizarse tanto para el estado del mar cercano al período de resonancia del tanque como para aquellos en los que la fuerza de inercia debido al movimiento del barco es grande. La carga de chapoteo se comparó entre dos modelos de análisis del tanque con forma de manzana y el tanque esférico, realizando un análisis detallado en términos de excitación de onda irregular durante dos horas, utilizando la condición en la que se produjo la carga de sloshing máxima identificada en el análisis de detección. Los resultados fueron suficientemente consistentes con los resultados de nuestro estudio. La evaluación del experimento / análisis bajo excitación de onda regular y excitación de onda irregular concluyó que las cargas de sloshing que ocurrieron en ambos casos fueron del mismo nivel (un aumento de entorno al 10%). Con base en estos resultados de evaluación, en el diseño del tanque con forma de manzana, se realizó una evaluación de resistencia que permitió un aumento del 10% en la carga de sloshing, y es incluso más seguro que el tanque esférico.<sup>19</sup>

Los tanques esféricos presentan unas claras limitaciones de visibilidad, debido a la disposición de dichos tanques y a las limitaciones de altura con las que se diseñan estas clases de buques, debido a las limitaciones que se encuentran en varios de los puertos más comunes de estos tráficos. De esta manera los buques de esferas presentan por lo general un sector ciego a proa de 2,12 veces la eslora, para un buque de 185.000 m<sup>3</sup>.<sup>15</sup>

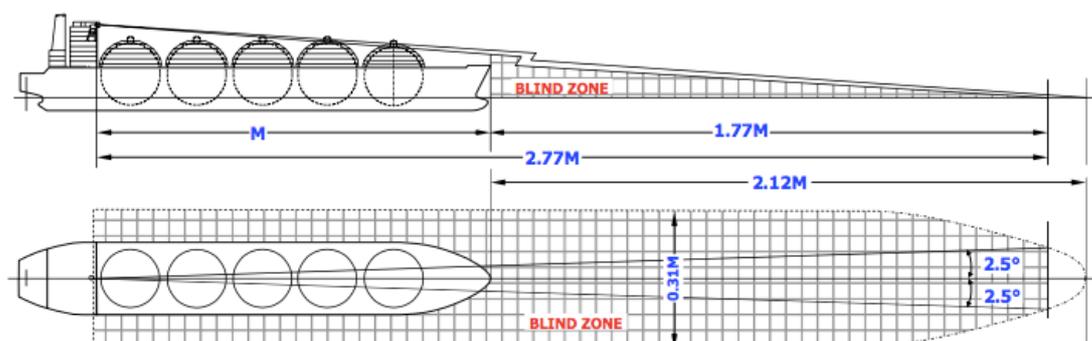
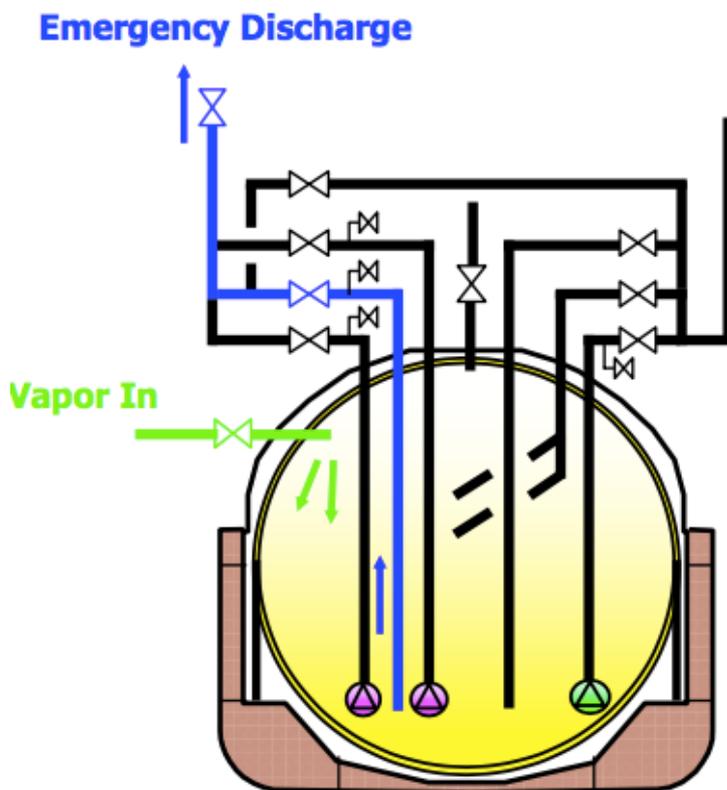


Ilustración 22, Estudio de visibilidad desde un buque con tanques MOSS.

#### 4.1.1. Descarga de emergencia.

Un buque con tanques esféricos es capaz de descargar por presión de carga en emergencias cuando fallan todas las bombas de carga en un tanque de carga. La descarga por presión transfiere GNL en el tanque que contiene las bombas de carga inoperativas a otros tanques en condiciones normales. El procedimiento también puede realizarse en condiciones de atraque si lo permite la terminal y los organismos reguladores interesados. En caso de descarga de presión en el mar, la operación debe realizarse en condiciones de calma.<sup>15</sup>

El procedimiento de descarga por presión consiste en aumentar la presión hasta aproximadamente 1.9 barg. Por lo tanto, las presiones de disparo de las válvulas de alivio deben de ajustarse a valores superiores lo cual debe realizarse bajo la supervisión



*Ilustración 23, Descarga de emergencia en un tanque MOSS.*

del capitán y de ser registrados en los diarios de a bordo, de acuerdo a lo establecido en las normas.

Durante la descarga de emergencia por presión, el vapor retorna al tanque en cuestión a través del vaporizador de GNL y un calentador de alta capacidad. La capacidad del vaporizador es suficiente para mantener la presión del tanque durante la descarga. Para controlar la presión de tanque durante la operación dentro de los

límites, es muy recomendable un estrecho control de la presión del mismo. De la misma manera, un ajuste constante del lastre es necesario para el control de esfuerzos, torsiones y la estabilidad del buque. El ajuste de las válvulas de alivio deben de ser ajustadas a los valores anteriores una vez que la operación de descarga de emergencia una vez completada esta.

El enfriamiento del tanque antes de comenzar las operaciones de carga, necesario en todas las operaciones de este tipo se considera completado cuando se alcanza la temperatura de  $-115^{\circ}\text{C}$  en el ecuador del tanque.<sup>6</sup> Y desde una temperatura ambiente el proceso durara unas 48 horas.

De acuerdo a la información proporcionada por Skogar Tor VP LNG- Moss Maritime AS, el BOR medio de este tipo de tanques se encuentra entre 0,06 y 0,07 % diario.

#### 4.2. Tanques Prismáticos.

El tanque prismático tipo B (SPB) autosuficiente es independiente de la estructura del barco y tiene la ventaja sobre su versión esférica de aprovechar al máximo el espacio de carga disponible. Sin embargo, contribuyen significativamente al peso y al costo debido al hecho de que los prismáticos independientes necesitan de una gran cantidad de refuerzos para soportar las cargas hidrodinámicas.

Son construidos únicamente por IHI<sup>2</sup> (Ishikawajima Heavy Industry), y solo existían dos buques de estas características en funcionamiento a finales de 2018.

Los tanques IHI SPB disponibles en estos momentos son construidos utilizando la aleación de aluminio A5083-O<sup>20</sup> cuyo precio rondaba los 4,72€/kg. a inicios de 2017<sup>21</sup>. Estos tanques especializados por la estimación precisa y la garantía de la resistencia a la fatiga de los tanques de aluminio, por lo tanto, la concentración de tensión alrededor del cordón de soldadura debe ser controlada, así como también se requiere el control del proceso de soldadura junto con inspecciones estrictas para lograr una mayor fiabilidad para los tanques de GNL. En otro orden de cosas, los tanques SPB se componen de un gran número de refuerzos y planchas de aluminio, lo que provoca que los gastos de fabricación de estos tanques sean más caros que el resto de los sistemas de tanques.

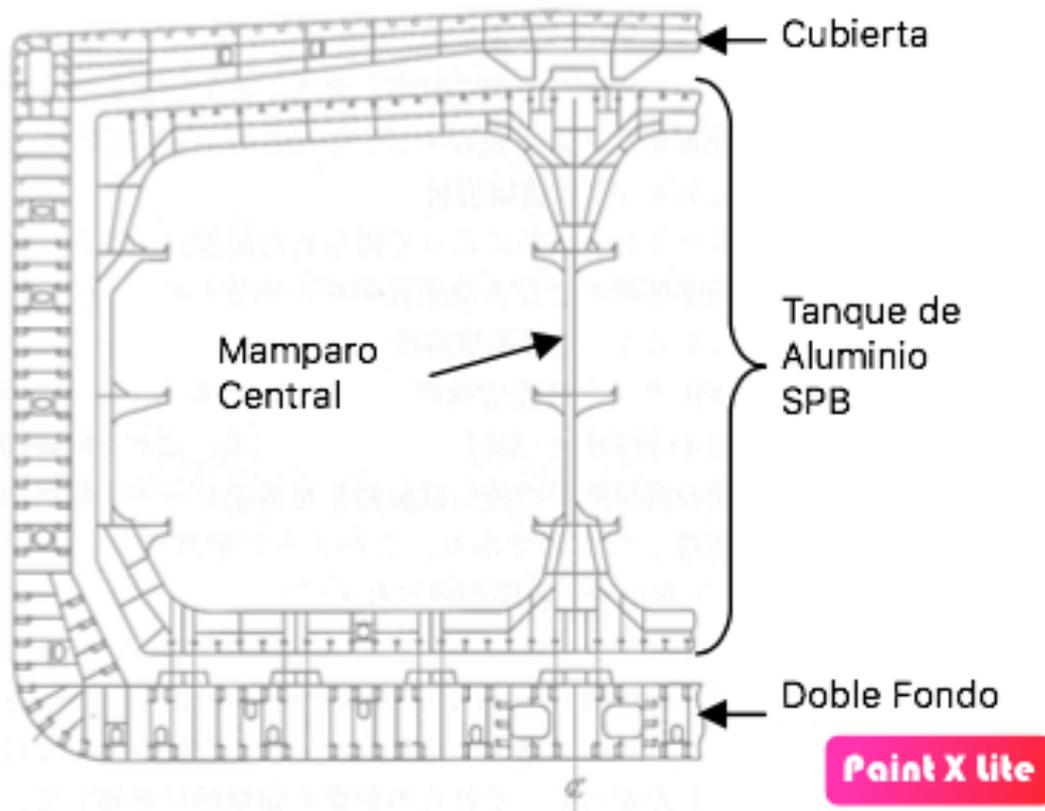


Ilustración 24, Estructura de un tanque poligonal.

La estructura de estos tanques tiene un mamparo central que permite el control de las superficies libres, así como del sloshing.

Estos tipos de buques de acuerdo con su fabricante<sup>20</sup> pueden ser la mejor opción para buques que se dediquen a la producción en alta mar, ya que la cubierta despejada los hace óptimos para la colocación de los equipos necesarios.

Los criterios de diseño para un FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) se puede definir como Unidad flotante de producción, almacenamiento y transferencia, son más estrictos que en tierra debido al espacio limitado, la necesidad de una buena distribución del peso y la necesidad de refugios para el personal y rutas de escape . La seguridad es la principal consideración para el diseño de GNL FPSO. La principal preocupación de seguridad es el control de gases peligrosos e inflamables, y la consecuencia de cualquier pérdida de contención.

Una condición importante para un diseño seguro es garantizar que la disposición inicial y el diseño cumplan con los requisitos operativos y que también cumpla con las regulaciones. Por lo general, se deben tener en cuenta los siguientes principios<sup>22</sup>:

- Segregación del alojamiento y las principales áreas de trabajo de las áreas de procesamiento de hidrocarburos.
- Provisión de acceso adecuado y redundante y vías de escape de áreas normalmente tripuladas.

- Garantizar un flujo racional dentro del sistema de procesamiento de gas y GNL
- Mantenimiento de la disponibilidad de botes salvavidas.
- Provisión de acceso suficiente para mantenimiento, reparación y reemplazo en alta mar (por ejemplo, bombas de GNL).
- Permitir la instalación e interconexión de unidades por módulos.
- Limitar la cantidad y la extensión de área de hidrocarburos y derrames criogénicos.
- Instalación eficiente de cableado de alta tensión.
- Limitar la congestión y permitir la ventilación para reducir el potencial y el efecto de una explosión.
- Ubicación del equipo sensible al movimiento en áreas de menor movimiento (por ejemplo, en la línea central)
- Orientación del equipo para minimizar el daño después de un fallo o minimizar los efectos de deflexión del casco
- Minimizar o proteger contra la radiación de la llamarada.
- Optimización del dimensionamiento de los equipos de extinción de incendios mediante el diseño de la zona de incendios.
- Optimización de la capacidad de ventilación y purga mediante segregación.
- Limitación de la propagación después de un incendio o explosión por distancia de separación o barreras físicas.
- Garantizar la supervivencia de los sistemas de seguridad después de un evento accidental (por ejemplo, redundancia y ubicación de los sistemas de energía, medios de evacuación)
- Ubicación de una torreta con respecto a la seguridad y las necesidades de los propulsores.
- Satisfacer las demandas de manejo de materiales.

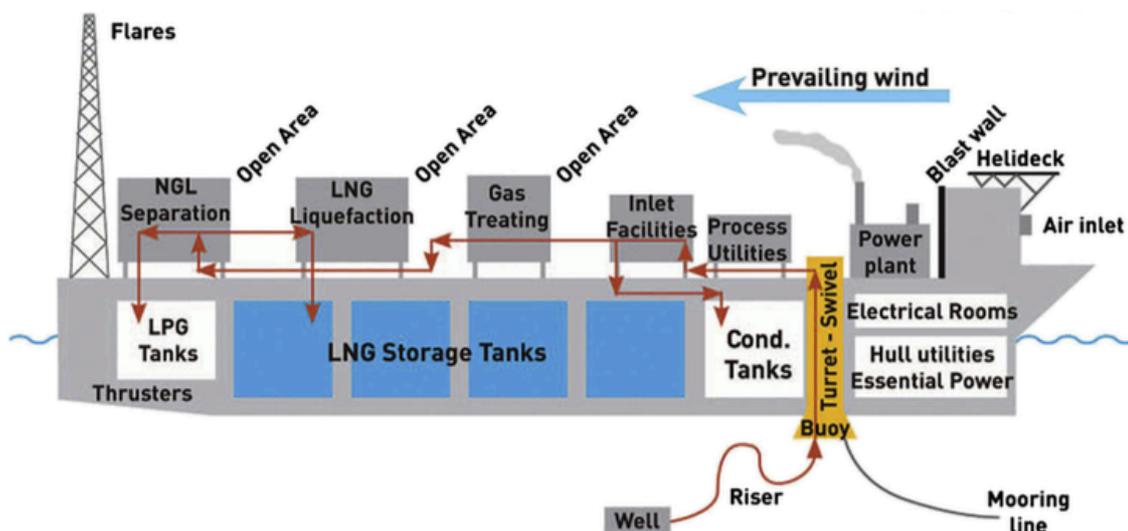
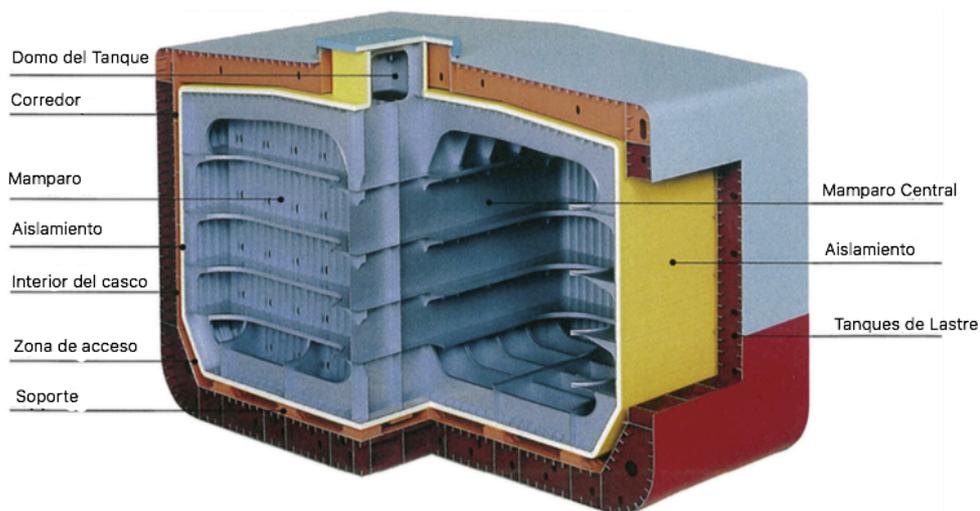


Ilustración 25, FPSO.

Una instalación flotante de GNL necesita producir GNL de acuerdo a un plan basado en predicciones de la demanda. Desgraciadamente, las instalaciones productoras de GNL necesitan asumir las operaciones durante todos los niveles de llenado de los tanques desde el vacío completo hasta su llenado completo. En el fenómeno del sloshing, los movimientos de las cargas líquidas causan resonancia con el movimiento del buque causado por la mar y puede producir una gran amplitud de los movimientos. Este fenómeno puede producir grandes esfuerzos en los tanques y en sus equipos internos, de la misma manera que puede poner en riesgo la estabilidad del propio buque. El mamparo central del que están dotados estos buques evita la continuidad de los movimientos de la carga en el interior del tanque lo que minimiza los efectos del sloshing y de las superficies libres.



*Ilustración 26, Estructura tanque poligonal.*



## 5. Tabla Comparativa

Características	Independientes		Tanques de Membrana
	Prismáticos	Esféricos	
Seguridad en emergencias	En comparación con el sistema de membrana, la probabilidad de daños en el casco se transmite a los tanques de carga.	Sistema más seguro en caso de varada o colisión: la estructura del tanque es independiente del casco y del espacio vacío entre el casco del barco y los tanques de carga es el mayor.	El daño al casco del buque puede transmitirse más fácilmente a la estructura del tanque que con los tanques independientes.
Condiciones operativas	Uso más eficiente del espacio cúbico. Son fácilmente inspeccionables desde el exterior	Los tanques esféricos pueden presurizarse para descargas de emergencia en caso de falla de la bomba de carga. Son fácilmente inspeccionables desde el exterior	Los sistemas de membrana también son más propensos a daños o pinchazos debido a causas como el aumento de la carga en el tanque y la entrada del tanque para inspección o reparación.

<p>Fiabilidad de los sistemas de contención</p>	<p>La mayoría de los años de experiencia operativa de los buques y la mayoría de las experiencias sin fallos de barrera primaria. Se puede analizar la estructura y minimizar el riesgo de fallas por fatiga. Los tanques se pueden construir e inspeccionar al 100% antes de la instalación en el buque.</p>	<p>Son los tanques más fáciles de analizar estructuralmente, lo que lo hace él más fiable.</p>	<p>La estructura no puede ser analizada de una forma efectiva, y esto dificulta saber si existen daños por fatigas. Esto puede producir incrementos de costes, pérdidas de fletes y reparaciones imprevistas durante la vida de proyecto del tanque.</p>
<p>Resistencia al sloshing producido por las cargas parciales</p>	<p>Muy robustos. El mamparo central previene el sloshing.</p>	<p>Muy robustos, ya que las propias formas del tanque previenen sus efectos</p>	<p>Tienen una limitada resistencia, que limita sus capacidades útiles.</p>
<p>Espacio de cubierta.</p>	<p>El espacio en cubierta está muy limitado.</p>	<p>Buenas condiciones de espacio en cubierta.</p>	<p>Buenas condiciones de espacio en cubierta.</p>
<p>Mantenimiento a bordo</p>	<p>Excelente acceso a la estructura del tanque.</p>	<p>Es posible el acceso a la estructura del tanque.</p>	<p>Sin acceso a la estructura del tanque, a no ser que se realice una puesta en aire del tanque.</p>

Otros	2 buques en servicio. Producidos únicamente por IHI	>100 buques en servicio. Producidos principalmente en astilleros japoneses.	Constituyen la mayoría de los buques.
BOGR/diario.		0,06-0,07 %	0,10-0,07 % efectivo, hasta el 0,049 % teórico en sistemas no probados.

*Ilustración 27, Estructura tanque poligonal.*

## **6. Conclusiones**

Es innegable que el auge del transporte de GNL va a producir un incremento en el estudio de las tecnologías para mejorar su eficacia en el transporte, de esta forma ya se viene trabajando en diversos aspectos, para mejorar el transporte del gas.

En primer lugar, nuevas formas de propulsión que abaraten el gasto, de esta forma, el diseño de nuevos motores dual fuel eléctricos ya ha supuesto un ahorro de hasta el 40% en los gastos de combustible diario de los buques de última generación frente a los antiguos barcos de turbinas.

Por otra parte el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenaje y transporte que reduzcan el BOR, lo que conlleva una reducción de los gastos derivados de la relicuefacción o del sobre consumo, además de los intereses económicos de los astilleros para el desarrollo de tecnologías de contención propias, para exonerarse de los gravámenes por los derechos de las empresas desarrolladoras de los modelos actuales y de la intención de las empresas que poseen estas tecnologías de desarrollar nuevos productos que desbanquen a los de los astilleros.

A pesar de los últimos fracasos, tanto de los astilleros como de los desarrolladores para crear un nuevo sistema que suponga una mejora fiable, es de suponer que dados los altos intereses económicos se siga investigando en este sentido.

A pesar de las múltiples ventajas operativas de los tanques independientes sus elevadísimos precios de construcción junto con la evolución constante de los medios de propulsión me hacen suponer que en un futuro próximo los tanques de membrana seguirán copando prácticamente la totalidad del mercado, ya que el largo periodo de amortización de los buques de tanques independientes puede llevarlos a caer en la obsolescencia antes de su periodo de amortización, ya que tengan que competir en un mercado de fletes con buques con un consumo mucho menor.

## 7. Bibliografía.

- (1) BOE-A-2017-2923.Pdf.
- (2) Mak, J. Y.; Valappil, J. V.; Wood, D. A. *Handbook of Liquefied Natural Gas*, First edition.; Mokhatab, S., Ed.; Gulf Professional Publishing GPP, Elsevier: Amsterdam Boston Heidelberg, 2014.
- (3) Foss, M. M.; Parkway, A. An Overview on Liquefied Natural Gas (LNG), Its Properties, the LNG Industry, and Safety Considerations. 36.
- (4) Sociedad, E. y. 3.1. La cadena de valor del gas natural | Energía y Sociedad.
- (5) ILEX Energy Consultig. 2003.
- (6) Μηχανιώνα, Ν. «Cargo Handling in LNG Carriers: Safety and Operational Matters». 86.
- (7) Madhavan, D. B.; Kamalakannan, D. S. LNG AS FUEL FOR SHIPPING - CHALLENGES AND IMPORTANCE. **2014**, 7.
- (8) Finn, A. J.; Johnson, G. L.; Tomlinson, T. R. Developments in Natural Gas Liquefaction. 1999.
- (9) UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. *REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2019.*; UNITED NATIONS: S.I., 2020.
- (10) McGuire, G.; White, B. *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, 3rd ed.; Witherby & Co: London, 2000.
- (11) Giignl\_annual\_report\_2019-Compressed.Pdf.
- (12) P484d Al Gattara Cargo Manual April 2008.Pdf.
- (13) GTT <https://www.gtt.fr/en> (accessed May 25, 2020).
- (14) South Korean Shipbuilders Regret Their Own LNG Storage Tanks Have Failed to Gain Acceptance – Lng Unlimited Data.
- (15) Moon, K.; Chang, D.; Lee, D.; Kim, M.-B.; Ahn, H.-J.; Ha, J.-P. Comparison of Spherical and Membrane Large LNG Carriers in Terms of Cargo Handling. **2005**, 11.
- (16) Pendulo de Charpy ...:Tecnimetal:...  
<http://www.tecnimetsa.es/pendulo%20de%20charpy.htm> (accessed May 25, 2020).
- (17) Catalunya Cargo Manual.Pdf.
- (18) Watanabe, M.; Takada, R.; Okafuji, T.; Tsujii, H.; Kashiwagi, M.; Kamitani, Y. Structural Design and Construction Method for “Apple-Shaped Liquefied Natural Gas Cargo Tank” for LNG Carriers. **2016**, 53 (2), 8.
- (19) Liquefied Gas Carriers with Spherical Tanks of Type B.
- (20) Oiwa, N.; Iijima, T.; Kida, A.; Ohga, S. Structure and Welding Technologies for SPB LNG Aluminum Tank. September 2010.
- (21) GrupoMonpex-AleacionAluminio5083.Pdf.
- (22) DNV, Det Norske Veritas. Managing Risk Floating Liquefied Gas Terminal. Offshore Technical Guidance. 2011.

## 8. Abreviaturas.

Barg	Presión en bares sobre la presión atmosférica.
BOG	Gas de ebullición Boil Off Gas en inglés.
CCR	Cargo Control Room, Control de Carga.
CIG	Código para buques que transporten gases licuados a granel.
DNV GL	Det Norske Veritas Germanischer Lloyd. Sociedad clasificadora situada en Noruega.
FPSO	(Floating Production, Storage and Offloading) se puede definir como Unidad flotante de producción, almacenamiento y transferencia
GNL	Gas Natural Licuado.
GT	Gaztransport.
GTT	Gaztransport & Technigaz.
IHI	Ishikawajima Heavy Industry.
MHI	Mitsubishi Heavy Industry.
MMBTU	Millón de unidades termales británicas (BTU)
NLG	Gas Natural Líquido.
PVC	Policloruro de vinilo.
RPUF	Reinforced Polyurethane Fibreglass, Poliuretano reforzado con fibra de vidrio
SPB	Self-supporting Prismatic Type B, Tanque independiente tipo B.
TG	Technigaz.
TIG	Tugsten Inert Gas, gas inerte de tungsteno. Método de soldadura.
USCG	United States CoastGuard, agencia federal de los EEUU.