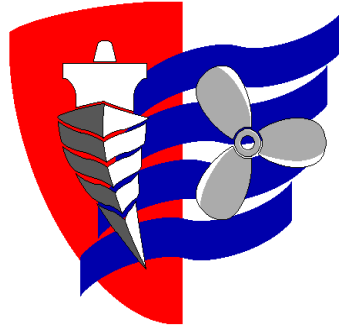


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

SISTEMA DE GAS INERTE

THE INERT GAS SYSTEM

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Autor: Adrián Fernández García

Director: Andrés Ortega Piris

Julio - 2025

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

SISTEMA DE GAS INERTE

INERT GAS SYSTEM

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NAUTICA Y TRANSPORTE
MARITIMO**

Julio - 2025

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado 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 Grado, así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

RESUMEN

El trabajo está compuesto por una introducción a los conceptos de inflamabilidad, explosividad y volatilidad porque es primordial para después abordar otros puntos como el funcionamiento del sistema. También se podrá observar un pequeño análisis de todos los tipos de sistemas de gas inerte, dependiendo del tipo de buque y carga. Se hace hincapié en el sistema de gas inerte por combustión que se encuentra instalado en el buque “Virgen del Quinche”, donde he tenido un embarque continuo durante 6 meses. Entonces, se explica de forma sencilla y clara cada componente del sistema para que de ese modo el alumno recién embarcado se familiarice con el equipo.

Por último, se argumenta los peligros que puede generar el gas inerte en consecuencia de los diferentes gases tóxicos que lo componen y también se forman por la carga almacenada. Debemos tener en cuenta las dificultades que se pueden generar dependiendo de la operación que se lleve a cabo y ser conscientes de que la seguridad es lo más importante a bordo. Para ello, se analiza los riesgos laborales relacionados con entradas a espacios confinados, normalmente los tanques de carga. El papel fundamental que tiene el gas inerte en una operación de lavado de tanques para posteriormente proceder a su inspección. A parte, se ha realizado un estudio de la prevención de accidentes en estas situaciones o en caso de emergencia como actuar y el equipo que se debe emplear.

Por lo tanto, este trabajo busca familiarizar al alumno en prácticas o incluso oficiales de la marina mercante que no hayan tenido contacto previo con dicho sistema.

ABSTRACT

The work is composed of an introduction to the concepts of flammability, explosivity and volatility because it is essential to later address other points such as the operation of the system. A short analysis of all types of inert gas systems, depending on the type of ship and cargo, will also be shown. Emphasis is placed on the combustion inert gas system that is installed on the vessel "Virgen del Quinche", where I have had a continuous shipment for 6 months. Then, each component of the system is explained in a simple and clear way so that the newly embarked student becomes familiar with the equipment.

Finally, it argues the dangers that inert gas can generate as a consequence of the different toxic gases that compose it and are also formed by the stored cargo. We must consider the difficulties that can arise depending on the operation being carried out and be aware that safety is the most important thing on board. To this end, the occupational hazards related to confined space entries, typically cargo tanks, are analysed. The fundamental role of inert gas in a tank washing operation in order to subsequently proceed to its inspection. In addition, a study has been carried out on accident prevention in these situations or in the event of an emergency, how to act and the equipment to be used.

Therefore, this work aims to familiarise trainees or even merchant navy officers who have had no previous contact with such a system.

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN	9
2- OBJETIVOS	11
3- METODOLOGÍA.....	12
4- GENERALIDADES	13
4.1 CONCEPTO DE GAS INERTE.	13
4.2 CONTEXTO HISTÓRICO DE GAS INERTE EN BUQUES PETROLEROS.	13
4.3 INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD.	15
4.3.1 Límites de inflamabilidad.	16
4.3.2 Punto de explosividad.	17
4.3.3 Volatilidad de un líquido.	18
4.3.4 Efecto del gas inerte en la inflamabilidad.....	18
4.4 SUSTITUCIÓN DE INFLAMABILIDAD POR GAS INERTE.....	21
4.4.1 Método de dilución.	21
4.4.2 Método de desplazamiento.	22
4.5 TIPOS DE SISTEMAS DE GAS INERTE.....	22
4.5.1 Sistema de gases de combustión.....	23
4.5.2 Sistema de nitrógeno.....	24
5- SISTEMA DE GAS INERTE EN EL BT “VIRGEN DEL QUINCHE”	27
5.1 CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE.....	27
5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS INERTE EN UN PETROLERO....	32
5.2.1 Generador de gas inerte.	33
5.2.1.1 Unidad quemadora “Burner Unit”.....	33
5.2.1.2 Compresor de aire.....	34
5.2.1.3 Torre de lavado.	34
5.2.1.4 Separador de humedad “Demister”	34
5.2.1.5 Sopladores “Blowers”	35
5.2.1.6 Válvula de ventilación atmosférica.....	36
5.2.2 Sello de cubierta.....	36

5.2.2.1 Sello de cubierta húmedo.	37
5.2.2.2 Sello de cubierta semiseco	37
5.2.2.3 Sello de cubierta seco.	38
5.2.3 Válvula de no retorno.	39
5.2.4 Analizador de oxígeno.	39
5.2.5 Sistema de distribución de gas inerte.....	40
5.2.6 Equipos para prevenir la presurización y despresurización de los tanques	41
5.2.6.1 Mástil de venteo “Mast Riser”	41
5.2.6.2 Válvulas P/V.....	42
5.2.6.3 Ruptor “P/V Breaker”.	43
5.3 VÁLVULAS INCORPORADAS EN EL SISTEMA DE GAS INERTE.	44
5.3.1 Válvula de mariposa.	45
5.3.2 Válvula de compuerta.	45
5.3.3 Válvula de globo.....	46
5.3.4 Válvula de retención.	46
5.4 ALARMAS, FALLOS E INSTRUMENTACIÓN.....	47
5.5 ESQUEMA DEL GENERADOR DE GAS INERTE.....	49
5.6 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS INERTE.	50
5.6.1 Válvulas.	50
5.6.2 Torre de lavado.	50
5.6.3 Separador de humedad.....	51
5.6.4 Sopladores.....	51
5.6.5 Sello de agua de cubierta.	51
5.6.6 Válvula de no retorno.	51
5.6.7 Válvulas P/V.	51
5.6.8 Ruptor.	52
6- OPERATIVA PARA LA INERTIZACIÓN DE TANQUES.	53
6.1 CONTROL DE LA ATMÓSFERA EN UN TANQUE DE CARGA.	53
6.1.1 Inertizado de tanques vacíos.	53
6.1.2 Uso del gas inerte en operación de barco a barco.....	54
6.1.3 Peligros de la electricidad estática.	55

6.1.4 Purgado de tanques.	56
6.1.5 Atmósfera libre de gases en el interior de los tanques.....	56
6.1.6 Entrada al tanque posterior a una limpieza.	56
7- SEGURIDAD Y SALUD DE LA VIDA HUMANA	58
7.1 EFECTOS DEL GAS INERTE EN EL CUERPO HUMANO.....	58
7.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN AL ENTRAR EN UN TANQUE.	60
7.3.1 Evaluación de riesgos.	60
7.3.2 Permisos para entrar en espacios confinados.....	60
7.3.3 Análisis de atmósfera a la previa entrada.	61
7.3.4 Equipo de protección respiratoria.	62
7.3.4.1 <i>Equipo de Respiración Autónoma (ERA)</i>	62
7.3.4.2 <i>Respiradores de máscara con filtro</i>	63
7.3.4.3 <i>Aparatos respiratorios de corta duración</i>	64
7.4 PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA.....	64
7.4.1 Organización de rescate y recuperación.	65
7.4.2 Resucitación.....	65
8- CONCLUSIONES.....	67
9- BIBLIOGRAFÍA.	68

1- INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es uno de los pilares fundamentales del comercio internacional, siendo responsable de la mayor parte del movimiento de mercancías entre continentes. Es un sector que abarca una amplia variedad de buques en el que operan en condiciones extremadamente exigentes, pero donde la seguridad a bordo se convierte en una prioridad para preservar tanto a la tripulación como a la carga y prevenir cualquier perjuicio al medio ambiente. Uno de los mayores riesgos que se enfrentan los buques destinados al transporte de productos químicos, petróleo y gas, es el potencial incendio dentro de los tanques de carga y por consecuencia la posterior explosión.

Es aquí donde entra en juego el concepto de gas inerte, un sistema esencial para garantizar la seguridad y estabilidad de los productos y así como proteger la integridad de la nave. El gas inerte se introduce en los tanques de carga para desplazar el oxígeno para evitar que la atmósfera de estos espacios alcance una concentración capaz de propiciar una combustión. No es un sistema novedoso, pero sí ha sufrido una serie de evoluciones y hoy en día todos los buques anteriormente mencionados están equipados con este sistema gracias a la mejora de normativas internacionales, la tecnología y el creciente enfoque en la seguridad marítima. Organismos como la Organización Marítima Internacional y otras entidades reguladoras han impuesto normativas estrictas para la implementación de este sistema, dando especial importancia al control de la atmósfera en los tanques de carga y reducir lo máximo posible los riesgos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas.

Este trabajo fin de grado tiene como objetivo realizar un análisis detallado sobre el uso del gas inerte en los buques, con el fin de evaluar su importancia dentro del marco de la seguridad marítima. A lo largo de este trabajo, se explorarán los principios técnicos que rigen el funcionamiento del sistema de gas inerte, se estudiarán las normativas internacionales que regulan su uso y se evaluarán los beneficios y los desafíos asociados a su implementación en distintos tipos de buques. Además, expondré el sistema de gas inerte más avanzado en la actualidad tecnológicamente hablando, con el fin de garantizar un nivel aún más alto de seguridad.

La importancia de este sistema no solo radica en la prevención de riesgos y la protección de vidas humanas, sino que también en la preservación de la naturaleza y medio ambiente. Es decir, los accidentes marítimos relacionados con incendios y explosiones a bordo pueden tener consecuencias trágicas, no sólo para tripulación, carga y estructura de la nave, sino que también para los ecosistemas marinos.

El presente trabajo tiene una doble finalidad: por un lado, proporcionar una comprensión exhaustiva del funcionamiento y la legislación asociada al gas inerte en el ámbito marítimo, y por otro, informar sobre posibles innovaciones que se puedan llevar a cabo en el futuro y en consecuencia obtener una mayor eficiencia y seguridad en el sistema.

Con el propósito de alcanzar estos fines, este trabajo se estructura en una serie de apartados que abordan desde los fundamentos teóricos hasta el análisis de casos prácticos en el buque que estuve embarcado durante 6 meses. A través de una combinación de investigación teórica y análisis aplicado, se pretende ofrecer una visión clara y precisa sobre el uso crucial del sistema de gas inerte en los buques.

2- OBJETIVOS

El objetivo principal con este trabajo es concienciar de la importancia que supone en un buque tanque mediante la descripción del proceso desde la generación del gas hasta su distribución en los tanques de carga. Dar énfasis en la función que cumple en la prevención de explosiones, manteniendo una atmósfera por debajo del límite de la inflamabilidad en el interior de los tanques. También se busca guiar al alumno recién llegado al buque para que entienda la función que cumple a bordo y para que se vaya familiarizando con el sistema. De ese modo podrá entender cada componente y su operatividad. Finalmente, con los últimos puntos del trabajo se intenta concienciar de los peligros que surgen cuando hay que llevar a cabo una inspección en el interior de los tanques.

3- METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se ha accedido a artículos web escritos por Capitanes o por ingenieros expertos en el ámbito. A parte se ha accedido a Google académico para buscar información científica, además en los 6 meses de embarque he podido acceder a libros oficiales, los cuales me han servido de gran ayuda.

4- GENERALIDADES

4.1 CONCEPTO DE GAS INERTE.

Es un gas o mezcla de gases, que contiene una cantidad de oxígeno insuficiente para que se produzca una combustión poniendo en peligro la integridad del buque. Por lo tanto, la principal función del sistema de gas inerte es reducir el contenido de oxígeno en los tanques de carga llenándolos con gas inerte, así la atmosfera de los tanques se convierte en no explosiva o no inflamable. Es esencial cuando se manipulan materiales volátiles y peligrosos. Ayuda a garantizar la seguridad del buque, de las personas y previene posibles accidentes catastróficos. [18]

4.2 CONTEXTO HISTÓRICO DE GAS INERTE EN BUQUES PETROLEROS.

La noche del 4 de febrero de 1932, el petrolero Bidwell que pertenecía a la compañía Sun Oil, de 10,950 toneladas, limpiaba los tanques durante su estancia en la refinería de Marcus Hook, en el río Delaware. Había transportado crudo desde Texas hasta la refinería y se disponía a llevar gasolina de vuelta. Al medio día el buque explotó. A la primera explosión siguieron otras tres en 25 minutos. Hubo 18 tripulantes fallecidos, entre los que se encontraba el capitán. Tras el suceso la compañía tenía plena conciencia que podía hacer que los petroleros fueran mucho más seguros inertizando los tanques de carga. La tecnología ya se utilizaba en las refinerías y podía adaptarse fácilmente a los petroleros. [11]

El uso del gas inerte se fue implementando a mayor medida, debido al considerable aumento del transporte de líquidos inflamables y potencialmente peligrosos. En el siglo XIX, principalmente antes de efectuarse la carga el aire situado en el interior de los tanques vacíos era desplazado para disminuir el riesgo de explosión. El gas que se usaba con este propósito era obtenido de la chimenea del buque, que posteriormente se purificaba, pero el gas del combustible sobrepasaba habitualmente el máximo contenido permisible en los vapores de petróleo, es decir, el 11%, lo cual había un porcentaje

considerable de inflamación y explosión. Muchos de ellos también dependían de la ventilación natural.

En la primera mitad del siglo XX, el número de accidentes y desastres relacionados con el transporte de petróleo aumentó considerablemente. Sufrían acumulación de vapores de petróleo que es un compuesto volátil, mezclado con oxígeno del aire y provocaban explosiones catastróficas. Uno de los incidentes más significativos que impulso la adopción de medidas de seguridad más estrictas fue el accidente del “SS Grandcamp”. Aunque no fue un buque petrolero, la tragedia fue un evento importante que conciencio sobre los peligros de los materiales inflamables. La explosión y el incendio resultantes de una carga de nitrato de amonio mataron 468 personas en Texas City, Estados Unidos. [25]

Durante las crisis del Suez, en el año 1956, la demanda de petroleros con dimensiones más grandes para transportar crudo desde Medio Oriente a las refinerías de todo el mundo aumentó de forma exponencial. Se vieron reflejadas carencias a la hora de realizar limpieza de tanques como ocurrió en el buque “Stanvac Japan” en 1958. Esta nave con 26,492 toneladas de peso muerto explotó a 160’ al SW de Karachi en Pakistán. El accidente se saldó con 19 víctimas y toda la cubierta quedó abierta por completa. Tras este suceso quedó claro que las medidas de control de atmósferas en los buques de carga eran imprescindibles para la prevención de accidentes, por lo que se tomaron medidas sistemáticas para abordar el problema de manera global. [9]



Imagen 1: Buque Stanvac Japan después de la explosión a 160’ al SW de Karachi. En: Stanvac Japan - (1953-1960)

Según avanzaba el tiempo, el uso de gas inerte, como el nitrógeno (N_2) o el dióxido de carbono (CO_2), se consideró una forma de mantener una atmósfera no inflamable en los tanques de carga.

Durante la década de 1970, la Organización Marítima Internacional (OMI) comenzó a trabajar más activamente en la creación de regulaciones internacionales sobre la seguridad en el transporte de productos peligrosos. En 1973, la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar (SOLAS) comenzó a incluir requisitos específicos sobre la protección contra incendios en los buques petroleros, y una de las soluciones resultó ser el uso de gas inerte en los tanques de carga. Más adelante la OMI introdujo regulaciones más estrictas para el diseño de este tipo de buques, exigiendo que todos aquellos que transportaban hidrocarburos inflamables debían ser proporcionados con el sistema de gas inerte. Uno de los hitos más importantes fue la adopción del Código Internacional para la Construcción y Equipamiento de Buques (IBC Code) en 1975 y su posterior revisión, que formalizó los requisitos para la protección contra explosiones mediante el uso de gas inerte. Según las regulaciones de la OMI, los buques petroleros de nueva construcción debían estar equipados con sistemas de gas inerte para evitar el riesgo de explosiones durante el transporte de productos inflamables. [29]

En el siglo XXI, los sistemas de gas inerte han evolucionado significativamente. Los avances tecnológicos han permitido la mejora en la eficiencia de los generadores de gas inerte, haciéndolos más fáciles de usar, más económicos y seguros. Estos sistemas son estándar en todos los buques petroleros, quimiqueros y gaseros. Deben ser monitoreados de manera continua para garantizar que los tanques de carga mantienen una atmósfera segura en todo momento.

4.3 INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD.

La inflamabilidad es el riesgo principal y siempre presente en la manipulación de líquidos volátiles que producen vapores suficientes como para formar una fuente de ignición en la atmósfera que lo rodea. En cuanto al petróleo, cuando los gases de hidrocarburos arden, reaccionan con el oxígeno del aire para producir dióxido de carbono. La reacción produce

suficiente calor como para formar una llama que se propaga a través de la mezcla de gas hidrocarburo y aire. Cuando el gas sobre un hidrocarburo líquido se enciende, se produce el calor suficiente como para que se siga evaporando y, en consecuencia, se mantenga la llama. Realmente el líquido no está en llamas, sino que en realidad es el gas el que arde continuamente porque el líquido sigue suministrando gas a la atmósfera. Es muy importante conocer el triángulo de fuego que lo conforman tres elementos: combustible, comburente y calor. Para que exista una combustión debe juntarse los tres elementos anteriormente indicados entonces, para poder prevenir esta mezcla se emplea el gas inerte que desplaza el comburente, es decir, el oxígeno. [15] [18]

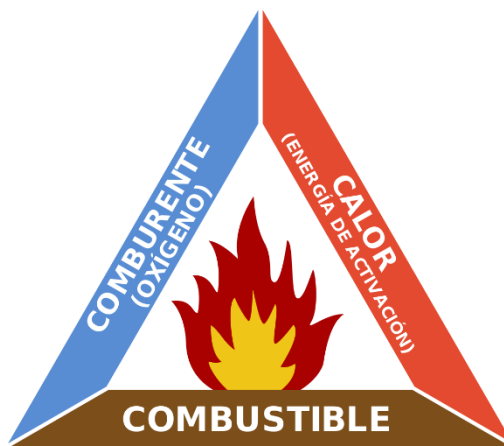


Imagen 2: Triángulo de fuego. En: Triángulo_del_fuego.svg_.png (1175×1024)

4.3.1 Límites de inflamabilidad.

Los límites inflamables o explosivos de cualquier líquido inflamable se definen como el rango de concentración de vapor expresado en porcentaje por volumen en aire, en el cual puede ocurrir una explosión cuando se genera una fuente de ignición. [32]

El rango está compuesto por dos rangos, que son LEL y UEL:

- LEL “Lower Explosive Limit” → Por debajo del rango no hay suficiente vapor inflamable como para favorecer la combustión, es decir la mezcla de gases es demasiado pobre. [15] [32]

- UEL “Upper Explosive Limit” → Por encima de este nivel, la mezcla es demasiado rica. Es la concentración por encima de la cual no hay aire suficiente para mantener la combustión. El rango formado por los dos límites, recibe el nombre de rango inflamable para ese gas o vapor. Depende del producto transportado puede tener mayor o menor rango, como puede ocurrir con ciertos químicos. [15] [32]

4.3.2 Punto de explosividad.

El punto de explosividad de un líquido inflamable es la temperatura más baja a la que los vapores de ese líquido se inflaman cuando están cerca de una fuente de ignición. Cuando la temperatura aumenta y el líquido transportado cada vez produce más gases, llega a unos niveles que hay vapor suficiente en el ambiente para inflamarse. En ese mismo instante se ha alcanzado el punto de explosividad o de inflamación. Es esencial saber la diferencia entre punto de explosividad y punto de autoignición. Este último es la temperatura más baja a la que un líquido se enciende de forma espontánea sin la fuente de ignición externa. Lo que significa que si el líquido alcanza esta temperatura arderá automáticamente y de forma continua hasta que este desaparezca o no haya el suficiente oxígeno en la atmósfera.

En el caso de los combustibles, excepto en algunos residuales, la mezcla gas/aire corresponde concretamente con el LEL “Lower Explosive Limit” de la mezcla. Para saber el punto de inflamación tenemos dos tipos de prueba. En uno, la superficie está permanentemente abierta mientras el líquido se va calentando y la prueba recibe el nombre de punto de inflamación en vaso abierto. Por otro lado, cuando el líquido se mantiene en un espacio cerrado salvo en el instante que se introduce una llama a través de una pequeña abertura, se llama punto de inflamación en vaso cerrado. La conclusión es que el punto de inflamación del líquido en el vaso abierto es a una temperatura mayor, sobre unos 6 grados centígrados más que en el vaso cerrado. Estos resultados son obtenidos debido a la pérdida de gases en el vaso abierto. Por lo tanto, el método de vaso o envase cerrado nos proporciona resultados más concretos y útiles. [18] [15] [31]

4.3.3 Volatilidad de un líquido.

La volatilidad de un líquido es la capacidad que tiene de evaporación a una temperatura y presión normal. En el caso del petróleo podemos distinguir entre volátil y no volátil. Un combustible se clasifica como volátil cuando tiene un punto de inflamación por debajo de 60°C, después de haber realizado la prueba de punto de inflamación en vaso cerrado. Lo que significa que algunos combustibles pueden entrar en la zona de rango inflamable en determinadas temperaturas ambiente. Normalmente a la hora de transportar este tipo de cargas se almacenan a una temperatura entre 20°C y 25°C menos que su punto de inflamación y 18videnteemente en ningún caso deberíamos calentar el producto hasta su punto de inflamación.

Un combustible no es volátil cuando el punto de inflamación se encuentra por encima de los 60°C después de la prueba de punto de inflamabilidad en vaso cerrado. En cualquier temperatura ambiente, el líquido producirá una concentración de gases en equilibrio que estará por debajo del LEL “Lower Explosive Limit”. [18] [20]

A pesar de tener como guía la línea divisoria de 60°C entre líquidos volátiles y no volátiles, todo líquido capaz de formar una mezcla de gas inflamable no se debe categorizar como líquido no volátil. El valor de punto de inflamación en vaso cerrado de 60°C permite un margen amplio para estos factores y también es compatible con las definiciones adoptadas internacionalmente por la Organización Marítima Internacional (OMI) y por varios organismos reguladores en todo el mundo.

4.3.4 Efecto del gas inerte en la inflamabilidad.

A continuación, se puede observar el diagrama de inflamabilidad, el cual deberemos tener siempre en mente cuando se usa el sistema de gas inerte. Gracias al diagrama se entiende las situaciones que se deben de evitar a toda costa.

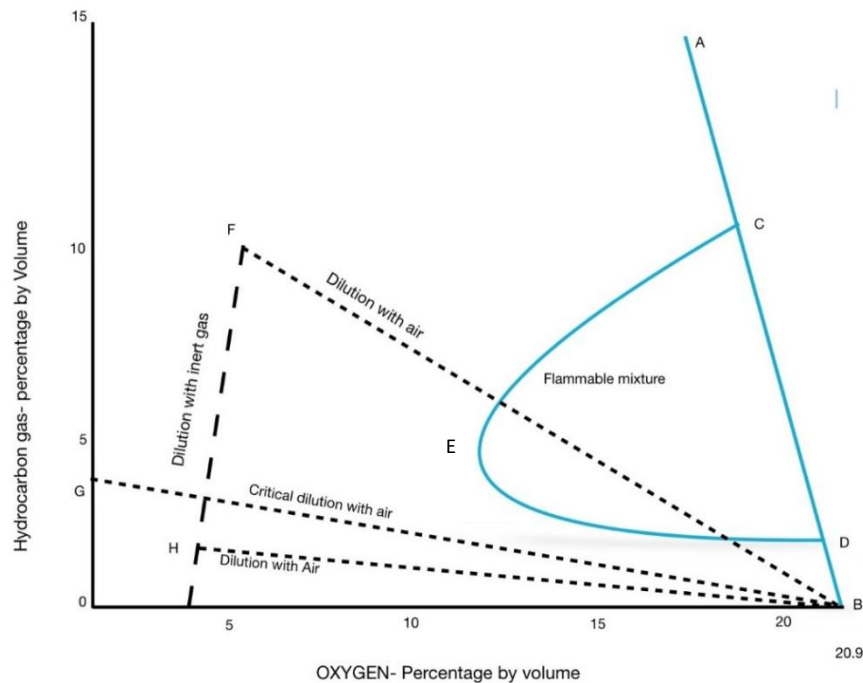


Imagen 3: Diagrama de inflamabilidad. En: The Flammability diagram- How it works
- BloggingSailor

Como bien se especificó al principio, el gas inerte una vez se introduce en los tanques de carga, hará que la atmósfera sea inerte y segura para el transporte de la carga o también para permanecer vacíos. Para comprender perfectamente el concepto de inflamabilidad hemos de comprender todas las facetas de la atmósfera, sabiendo que todos los puntos del diagrama representan una mezcla entre gas hidrocarburo, aire y gas inerte. [18]

- Una atmósfera sin gas inerte es reflejada mediante la línea AB.
- D → LEL “Lower Explosive Limit” sirve para describir el gas más pobre. Mezclas de hidrocarburos gaseosos/ aire en tanques de carga de petróleo generalmente se toma como 1%.
- C → UEL “Upper Explosive Limit” se utiliza para describir la mezcla más rica de gas/aire, en términos de la proporción de gas combustible en la mezcla, que aún es inflamable. Para mezclas de gas/aire de hidrocarburos en los tanques de carga de petróleo, generalmente se considera 10%.

- Cuando se añade gas inerte a los tanques de carga, tiene un efecto que reduce el UEL y aumenta el LEL. También reduce el porcentaje de hidrocarburo y oxígeno en la atmósfera.
- C-D-E → El área encerrada es la zona explosiva, en cualquier punto dentro de esta zona la mezcla es inflamable. En el área por encima del rango, la mezcla es excesivamente rica y por debajo del rango es demasiado pobre. A la izquierda del rango de la mezcla, hay insuficiente oxígeno como para producir combustión.
- F → Condición de inerte: podemos observar está fuera del rango inflamable y, por lo tanto, la atmósfera del tanque se considera segura con respecto al riesgo de explosión. El hecho de que los tanques sigan estando libres de riesgo de explosión. Para poder lograrlo, el *Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios (SSCI) Capítulo 15* estipula que todos los sistemas de gas inerte deben suministrar un gas inerte con no más del 5% de oxígeno por volumen y no puede superar el 8% por volumen en la atmósfera del tanque de carga, excepto en la condición de “gas free”. [17]
- Si consideramos el punto F y queremos conseguir una atmósfera libre de gases después de haber completado una descarga. Significa volver a una atmósfera con el 21% oxígeno y que no contenga hidrocarburo o gas inerte. Podemos pensar la posibilidad de lograr esto mediante la dilución de la atmósfera con aire fresco, por lo que va a cambiar como indica la línea F-B.
- F-B → La operación nos llevará a través del rango explosivo y esto obviamente no es deseable ya que alcanzamos un riesgo de explosión. Sólo es seguro diluir la atmósfera de los tanques directamente con aire si el recorrido de toda la operación pasa por debajo del rango explosivo. La liberación de gases debe realizarse siempre de forma que la atmósfera del tanque no sea inflamable durante toda la operación.
- Primer paso es purgar el tanque con gas inerte hasta la atmósfera está en un punto por debajo de la línea crítica de dilución como podemos comprobar mediante la línea F-H.

- H-B → Una vez obtenida esta condición, se puede llevar a cabo la dilución mediante aire fresco, por lo consiguiente obtendremos una atmósfera libre de hidrocarburos y de gas inerte. [21] [22]

4.4 SUSTITUCIÓN DE INFLAMABILIDAD POR GAS INERTE.

La atmosfera de un tanque puede ser remplazada bien inertizando o purgando. Son dos procesos que se pueden llevar a cabo mediante dilución o desplazamiento de la atmósfera. Son dos métodos empleados siempre que el tanque de carga este vacío.

Antes de saber en qué consisten estos dos métodos de sustitución de una atmósfera inflamable, debemos saber que todos los tanques de carga tienen una línea de carga, otra de absorción para descargar junto con una de “stripeo”, una línea de vapor donde fluye el gas inerte hasta los tanques de carga y por último una válvula de vacío de presión. [7] [22]

Dos métodos para sustituir una atmósfera inflamable:

4.4.1 Método de dilución.

Es el método que reduce el contenido de oxígeno en el tanque por la dilución del aire a través del gas inerte con menos del 5% de oxígeno en volumen. El gas inerte debe penetrar a una velocidad alta hasta el fondo del tanque. Cuando el gas inerte se mezcla con la atmósfera original del taque, el gas original disminuye lentamente y se libera a través de un tubo de purga. En este método solo se puede purgar un solo tanque en ese momento. [7]

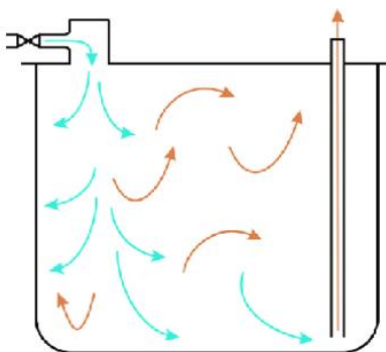


Imagen 4: Eliminación de residuos de gases de carga por el método de dilución. En:

Removal of cargo vapor residues by the method of: a -dilution; b... | Download

4.4.2 Método de desplazamiento.

Este método se basa en sustituir la atmósfera del tanque utilizando la diferencia de densidades entre el gas inerte con el gas hidrocarburo y aire. Entonces, el gas inerte se introduce a baja velocidad por la parte superior del tanque y el gas hidrocarburo que permanece en el tanque será liberado por el tubo correspondiente porque es más denso que el gas inerte. Es importante que el flujo del gas inerte sea lento porque para tener un interfaz estable y de ese modo evitar la mezcla entre los dos gases. [7]

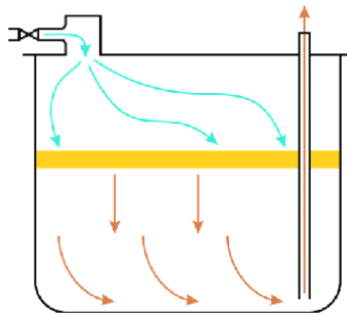


Imagen 5: Eliminación de residuos de gases de carga por el método de desplazamiento. En: Removal of cargo vapor residues by the method of: a -dilution; b... | Download Scientific Diagram

Cuando realizamos este tipo de procesos, debemos tener control total de la cantidad de oxígeno que hay en la atmósfera, para ello mediremos el contenido de hidrocarburo, oxígeno, dióxido de sulfuro y monóxido de carbono a diferentes alturas.

4.5 TIPOS DE SISTEMAS DE GAS INERTE.

Existen diversos tipos de gases inerte que pueden ser a bordo y su elección será en base al tipo de buque, por lo tanto, al tipo de carga y características operativas de carga. Los dos principales en la actualidad son el nitrógeno y el dióxido de carbono o gas de combustible. Cada uno de ellos presenta ventajas, limitaciones y requisitos técnicos distintos.

La elección entre los dos diferentes gases de purga depende principalmente de factores como, el coste, la calidad del producto que va a ser transportado, factores de tiempo, es decir, la facilidad de conseguirlo bajo las especificaciones requeridas del producto a transportar.

4.5.1 Sistema de gases de combustión

Es producido por los gases de escape que provienen de los motores principales del buque. Contiene principalmente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno, óxido de azufre, oxígeno y monóxido de carbono. Es el sistema usado en buques petroleros, que les permiten no depender de fuentes externas de gas, lo que proporciona mayor autonomía durante las operaciones. Además, es barato y efectivo. Sin embargo, el gas producido contiene muchas impurezas, el gas debe ser enfriado y lavado con agua para eliminar el hollín y los ácidos de azufre antes de ser suministrado a los tanques de carga.

El principio básico de este sistema es que el contenido de oxígeno del aire se convierte en dióxido de carbono mediante la combustión del petróleo, mientras que el contenido de nitrógeno permanece sin cambio alguno. Este combustible se quema y los gases formados son transferidos a una depuradora para enfriarlo y eliminar partículas de dióxido de azufre. El agua empleada en este proceso proviene del mar. Posteriormente el gas se seca a través del sello de cubierta, evitando que el agua pase a los tanques de carga. El gas inerte producido por las calderas depende de la calidad del fuel y la eficacia de los procesos de combustión y depuración. Afecta directamente a la cantidad de sulfuros que produce el gas inerte.

Algunos tipos de cargas reaccionan con el dióxido de carbono provenientes de los gases de escape y otras son altamente sensibles a la humedad. Entonces, dado que el sistema de gases de combustión en el proceso de lavado no elimina de manera efectiva todos los contaminantes ni previene la transferencia de humedad, rara vez se usa en un buque que transportes químicos. El requisito común que comparten los dos tipos de gases de purga es el bajo contenido de oxígeno para prevenir la formación de mezclas inflamables.

Tabla 1: Composición de gases de combustión. Elaboración propia. [18]

Composición gases de combustión		
Componente	Fórmula química	% en volumen
Nitrógeno	N ₂	74-84
Dióxido de carbono	CO ₂	10-15
Oxígeno	O ₂	<5
Monóxido de carbono	CO	0.2
Dióxido de azufre	SO ₂	Trazas
Vapor de agua	H ₂ O	Variable
Hollín	N/A	Trazas

4.5.2 Sistema de nitrógeno

Es un sistema de gas inerte que es instalado a bordo en buques quimiqueros y gaseros (LPG / LNG), para prevenir un posible fuego y explosión manteniendo la atmósfera del tanque de carga por debajo del nivel LEL “Lower Explosive Level”. Para prevenir una reacción química el Código IBC especifica que ciertos productos deben ser transportados en una atmósfera purgada manteniendo la calidad del producto que se transporta. Los gases inflamables que se encuentran normalmente en los buques quimiqueros no pueden producir una fuente de ignición en una atmósfera deficiente en oxígeno, por lo tanto, decimos que es una atmósfera inerte. Para poder crear dicha atmósfera usamos el gas inerte para desplazar el aire del tanque, debido a que es más denso. [27]

El nitrógeno es el gas inerte usado en quimiqueros porque es limpio y relativamente barato de producir a bordo o suministrado desde una terminal en tierra. Hay distintos tipos de fuentes de gas inerte en los quimiqueros:

Tabla 2: Composición de gases del nitrógeno. Elaboración propia. [20]

Gas nitrógeno		
Componente	Fórmula química	% en volumen
Nitrógeno	N ₂	>95
Dióxido de carbono	CO ₂	1 ppm
Oxígeno	O ₂	<5
Monóxido de carbono	CO	1 ppm
Dióxido de azufre	SO ₂	X
Vapor de agua	H ₂ O	5 ppm
Hollín	N/A	X

Hay distintas fuentes para obtener el nitrógeno:

- Nitrógeno comprimido almacenado a bordo → El nitrógeno gaseoso a alta presión puede almacenarse en cilindros de acero, los cuales normalmente tienen una capacidad de 50 litros, almacenados a una presión de 200 bares que proporciona 10 m³ de nitrógeno gaseoso. Compensa las pérdidas normales de gas inerte durante el transporte y para mantener la sobrepresión requerida. El nitrógeno comprimido se puede obtener en diferentes grados de pureza. [20]
- Nitrógeno líquido almacenado a bordo → El nitrógeno también se puede almacenar en su estado líquido a una temperatura de 196° C negativos. Se le llama temperatura criogénica ya que se encuentra por debajo de los -180° C y que incluye licuefacción de gases. Se almacena en tanques aislados compuestos por materiales resistentes a temperaturas extremas, generalmente de acero inoxidable. Los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido instalados en los buques quimiqueros se rellenan en los puertos con recursos terrestres. Cuando se requiere nitrógeno gaseoso para su uso en los tanques de carga, el líquido se convierte

nuevamente en gas mediante un evaporador que obtiene el calor necesario para la vaporización del aire ambiente. [20]

- PSA “Pressure swing adsorption nitrogen generators” → Se utiliza para separar el nitrógeno del aire comprimido, empleando tamiz molecular de carbón como que absorbe las moléculas de oxígeno y de vapor de agua bajo cierta presión, mientras que permite el paso del nitrógeno a través de las torres (donde se encuentran los tamices). Gracias a este proceso la pureza del nitrógeno aumenta considerablemente hasta un 97%. El gas producido por este sistema debe tener un contenido de oxígeno entre el 0% y el 5% por volumen dependiendo en la velocidad de flujo. [20]
- Generador de nitrógeno por separador de membranas → Los gases de nitrógeno por separación de membrana se basan en que los diferentes gases penetran a distintas velocidades a través de las paredes de una membrana delgada y hueca. Estos gases se clasifican según su velocidad en lentos, medios y rápidos. Dentro del grupo de los gases lentos se encuentran el metano, nitrógeno y monóxido de carbono. A continuación, los medios son argón y oxígeno. Por último, los rápidos son el vapor de agua, hidrogeno y dióxido de carbono. La conclusión de todo es que los dos componentes principales del aire que son el nitrógeno y el oxígeno tienen un flujo diferente, por lo tanto, pueden ser separados.

La unidad de membrana está compuesta por paquetes de fibras huecas delgadas que proporcionan una gran área superficial para la separación. Las membranas están cerradas en tubos de recipientes a presión. El aire comprimido limpio entra en estos recipientes, dónde se eliminan las moléculas de oxígeno y agua. Es necesario enfriar el aire porque las membranas son sensibles al calor. La eficiencia del sistema de separación depende del flujo a través de las membranas. Por este motivo tendremos una válvula que regulara este flujo y se ajustara el nitrógeno al nivel de pureza requerido. [20] [27]

5- SISTEMA DE GAS INERTE EN EL BT “VIRGEN DEL QUINCHE”

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE.

El buque petrolero “Virgen del Quinche” fue diseñado y construido en Japón por Imabari Shipbuilding Co. Ltd. Lo adquirió la compañía naviera “Norden” en el año 2010 con el apodo “Nord Integrity”. Posteriormente, el 24 de noviembre de 2020, fue transferido a Marflet Marine S.A y obtuvo el nombre “Virgen del Quinche”. Es un petrolero de doble casco que pertenece al tipo handymax con 48,026 TPM. [24]

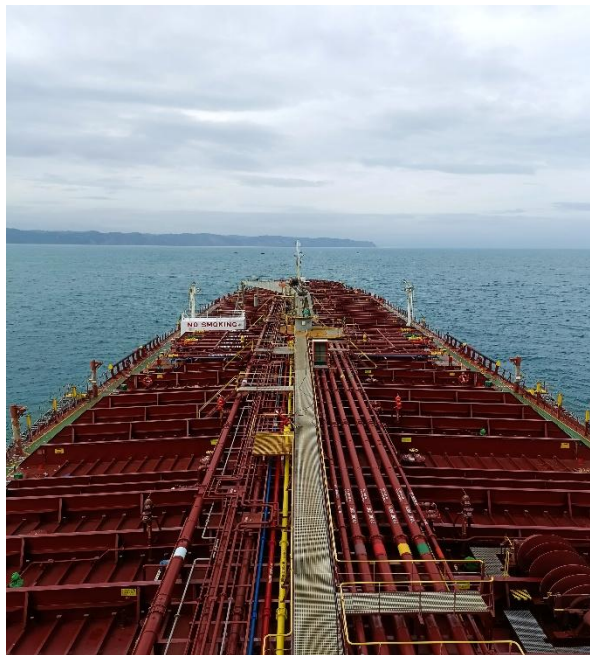


Imagen 6: Cubierta del BT “Virgen del Quinche”. Elaboración propia.

Es un buque de cubierta corrida como se puede observar, con bulbo de proa y popa de espejo. Propulsado por una hélice de paso fijo, accionada por un motor de 9,480 KW y con un timón semicompensado accionado por dos motores que permiten una amplitud de 35° a cada banda. Tiene una única hélice, dextrógira, es decir, gira en el sentido de las agujas del reloj. [24]

Datos del buque [24]

NOMBRE	VIRGEN DEL QUINCHE
ARMADOR	DIRALCO SHIPPING COMPANY LIMITED
MANAGER	MARFLET MARINE S.A
CONSTRUCTOR	IMABARI SHIPBUILDING CO.LTD
AÑO CONSTRUCCIÓN	2010
CLASIFICACIÓN	BUREAU VERITAS
PUERTO DE REGISTRO	LIMASSOL (CHIPRE)
FLETADOR	F.L.O.P.E.C
SEÑAL DE LLAMADA	5BQJ5
NÚMERO IMO	9568031

Parámetros del buque [24]

ESLORA TOTAL	179.99 m
ESLORA ENTRE P.P	172 m
MANGA	32.20 m
PUNTAL	19.05 m
QUILLA – MÁSTIL	44.99 m
CALADO EN ROSCA	2.70 m
CALADO DE VERANO	12.031 m
CALADO EN A.D	12.297 m
ARQUEO BRUTO	28,777
ARQUEO NETO	12,680

El buque tiene 4 segregaciones, los tanques 1/5 forman parte de la primera, 2/6 de la segunda, 3/7 de la tercera y en la cuarta acoge a los tanques 4/8. Los dos SLOPS se dividen el de estribor en la segregación 1 y el de babor en la 3. Suman un total de 18 tanques de carga con una capacidad total máxima de 54,911 m³, o 345,000 barriles.

Volumen de los tanques de carga:

Tabla 3: Capacidad de los tanques de carga. Elaboración propia.

CAPACIDAD TANQUES DE CARGA (m³)		
Nº TANQUE	100% CAP	98% CAP
1B	2345.965	2299.046
1E	2360.973	2313.754
2B	3346.437	3279.508
2E	3372.663	3305.21
3B	3606.622	3534.49
3E	3632.87	3560.213
4B	3604.657	3532.564
4E	3630.891	3558.273
5B	3604.899	3536.082
5E	3634.508	3561.818
6B	3604.899	3532.801
6E	3631.155	3558.532
7B	3603.583	3531.511
7E	3629.856	3557.259
8B	3072.593	3011.141
8E	3095.678	3033.764
SLP B	465.624	456.312
SLP E	664.006	650.726

Este buque está equipado con cámara de bombas, una bomba por cada línea de carga. Cada bomba tiene un caudal de 1100 m³ y como máximo se pueden operar 3 bombas en el mismo instante durante la descarga produciendo un flujo de 3300 m³. A parte de las cuatro bombas mencionadas, también hay una bomba de reachique, que se mencionará posteriormente. Cada tanque tiene dos alarmas, una de alto nivel de carga (95%) y una de exceso (98%), como también de presión a +15 KPA alta y +1KPA baja.

Por otro lado, el buque tiene 14 tanques de lastre con una capacidad total de 20831.20 m³. Además, en caso de mal tiempo, los tanques de carga número 4 son los destinados a lastrar. Los tanques de lastre se llenarán de agua salada durante una descarga para obtener el asiento deseado. Tiene una bomba centrífuga de eje vertical para el lastre, con un caudal de 1500 m³/h y un eductor basado en el principio de Venturi con un caudal de 150 m³.

Volumen de los tanques de lastre:

Tabla 4: Capacidad de los tanques de lastre. Elaboración propia

CAPACIDAD DE LOS TANQUES DE LASTRE (m³)	
Nº TANQUE	100% CAP.
PEAK PROA	933,09
1B	1226,5
1E	1234,33
2B	1169,08
2E	1169,08
3B	2206,81
3E	2206,81
4B	2209,34
4E	2209,34
5B	1096,25
5E	1096,25
6B	1598,7
6E	1598,5
PEAK POPA	877,11

Velocidad máxima de carga:

Tabla 5: Flujo de carga según el patrón de carga. Elaboración propia

VELOCIDAD MÁXIMA SEGÚN EL PATRÓN DE CARGA		
PATRÓN DE CARGA	ÍNDICE DE CARGA MÁXIMO (m³/h)	
	TOTAL	CADA TANQUE
1 PAR DE TANQUES	1,450	1,450
2 PAR DE TANQUES	2,900	1,450
3 PAR DE TANQUES	4,350	1,450
4 PAR DE TANQUES	5,800	1,450
5 PAR DE TANQUES	5,800	1,160
6 PAR DE TANQUES	5,800	967
7 PAR DE TANQUES	5,800	829
8 PAR DE TANQUES	5,800	725

La tripulación del buque la conforman 23 personas, repartidas en los departamentos de máquinas, puente y cubierta. El equipo de máquinas está formado por un jefe de máquinas, dos ingenieros, dos mecánicos y dos soldadores. Por otro lado, el equipo de cubierta lo conforma los oficiales de puente, el cadete, contramaestre más el bombero y para terminar 5 marineros.

Como a bordo hay dos 2º oficiales, el 1º oficial no realiza guardias. El horario de trabajo es de 08:00 a 12:00 y de 13:00 a 17:00 de lunes a viernes, luego los sábados solo durante la mañana y los domingos descanso. Sin embargo, los oficiales trabajan todos los días de la semana, 8 horas al día.

El número máximo horas de trabajo no debe exceder de 14 horas por cada período de 24 horas ni de 72 horas por cada periodo de una semana. Entonces, el tiempo de descanso mínimo no debe ser inferior a 10 horas cada 24 horas y 77 horas por semana.

Este tipo de buque se caracteriza por disponer la cubierta corrida, lo que quiere decir que no tiene castillo de proa. Justo ahí es donde podemos encontrar las cajas de cadenas de las

anclas, estacas de recambio, chalecos salvavidas, trajes de inmersión, incluso motores de las maquinillas.

El buque dispone de 8 maquinillas eléctricas en total, 4 en proa y 4 en popa. En cubierta se observa 4 líneas de carga que están directamente conectadas entre los “manifolds” y los tanques para cargar, y para descargar, las mismas dos válvulas hidráulicas para cargar están conectadas a las bombas que también se conecta a los “manifolds”. El buque tiene un total de 8 “manifolds”, dos destinados para gas, uno para agua, otro para el “bunker” y 4 de carga/descarga.

Además de lo anterior mencionado, también se ubican una línea de agua contra incendios de color rojo y otra de espuma, color amarillo para el empleo de los 4 monitores de espuma de baja expansión. Para alimentar estas líneas de contra incendios hay una bomba eléctrica que absorbe agua salada con una capacidad de 300 m³/h y también hay una bomba contraincendios de emergencia con un caudal de 83 m³/h. A parte de disponer líneas que cubren todo el cableado eléctrico que se distribuye por toda la cubierta, hay una línea destinada a la limpieza de tanques y otra para la descarga de combustible posterior a una limpieza de tanques que será controlado por el Equipo de Monitoreo de Descarga de Petróleo.

Por último, la nave tiene una línea de reachique conectada a los cuatro “manifolds” de cada banda. Es de gran importancia porque conecta con la bomba de reachique que permite succionar la carga restante, después de una descarga. Seca las líneas de cubierta, las bombas de descarga, los separadores y también las líneas situadas en el “Lower Stool”, las cuales suministran la carga a las bombas de descarga. Esta bomba de reachique, situada en el cuarto de bombas es capaz de desplazar un caudal de 150 m³/h.

5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS INERTE EN UN PETROLERO.

En el sistema de gas inerte hay muchos componentes y todos son imprescindibles. Está compuesto por sistemas de generación de gas inerte, de distribución y de control. Todos son esenciales para componer todo el sistema de gas inerte, pero en este apartado se

explicará los componentes más relevantes. Debemos tener claro que todo el sistema para generar el gas inerte se encuentra en la sala de máquinas, el sistema de control en la sala de control de carga y el de distribución en cubierta.

5.2.1 Generador de gas inerte.

Normalmente consiste en un quemador de combustible autónomo y una cámara de combustión refrigerada por agua. Para proporcionar la refrigeración, el quemador o el horno donde se produce la combustión está rodeado por una columna de agua. Dentro del generador también se encuentra la torre de lavado, el cual limpia el gas y también produce una bajada de temperatura en este. Por último, se sitúa el “demister” que actúa como filtro antes de que el gas se transporte por la línea de cubierta. [21]



Imagen 7: Generador de gas inerte. Elaboración propia.

5.2.1.1 Unidad quemadora “Burner Unit”.

Consiste en un quemador piloto con encendido electrónico y un quemador principal. Para empezar, desempeña un papel crucial en la iniciación y mantenimiento de la combustión del diésel o gasolina para producir gas inerte. Es un quemador más pequeño que

normalmente utiliza una pequeña cantidad de combustible y una chispa para encender el suministro de combustible del quemador principal, el cual genera gases de escape con bajo contenido de oxígeno. El quemador piloto incorpora una boquilla automatizada y electrodos de encendido para inflamar la mezcla de aire y combustible. Entonces, el quemador principal una vez encendido por el quemador piloto producirá un gas con un contenido de oxígeno de entre el 1% y el 5%. Cualquier fallo que aparezca en el quemador principal automáticamente se apagará. [21]

5.2.1.2 Compresor de aire.

Realmente es un soplador que aspira un volumen constante para enviar al quemador principal. Así se obtiene una presión de pulverización correcta y mantener el porcentaje de oxígeno en el gas inerte generado, siempre en los límites deseados. El soplador se encuentra protegido contra la alta contrapresión por medio de un presostato que, al ser activado, provocará una parada de emergencia en el sistema. [21]

5.2.1.3 Torre de lavado.

Los gases de combustión ingresan desde la parte inferior y pasan a través de unos espráis que rocían agua y placas deflectoras para enfriar. El mayor propósito de la torre de lavado es limpiar el gas y para ello emplea agua de mar que la provee una bomba dedicada a proporcionar el caudal requerido. Entonces gracias a este proceso se elimina el dióxido de azufre y, por lo tanto, el gas queda libre de hollín. El agua empleada en este proceso se descarga por la borda. La torre de lavado está constituida por materiales muy resistentes a la corrosión, ya que está en contacto continuo con agua de mar. [3] [21]

5.2.1.4 Separador de humedad “Demister”

Puede encontrarse interno en la torre de lavado o fuera, depende de la composición del generador de gas inerte. Elimina el exceso de agua o humedad, mediante materiales como polipropileno o secadores por ciclón, después de haber estado en la torre de lavado. Por fin, el gas estará listo para ser enviado por los ventiladores a la línea de cubierta que se dirige al sello de cubierta. [3] [21]



Imagen 8: Dispositivo separador de humedad. Elaboración propia.

5.2.1.5 Sopladores “Blowers”

Según el *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 1974) Regulación 62.3.1* el sistema de gas inerte deberá ser proporcionado por dos ventiladores, los cuales suministrarán gas inerte a los tanques de carga a una velocidad de flujo de al menos el 125% de la capacidad máxima de descarga del buque expresada en volumen. Los sopladores del buque proporcionan un caudal de 4125 m³/h. [16] Al igual que la torre de lavado, los materiales de los ventiladores deben ser anticorrosión. Para variar el flujo de gas se sitúa una válvula de control de capacidad, que tendrá una posición mínima de apertura preestablecida antes del arranque del sistema de gas inerte. Una vez el sistema se inicie, la válvula se abrirá automáticamente coincidiendo con el ajuste de control de capacidad. En algunos casos los dos sopladores no son iguales y uno es más grande que otro, en tal caso deberán operar de forma eficiente, sin interferencias entre ellos y trabajar en paralelo. [21]



Imagen 9: Sopladores de gas inerte. [9]

5.2.1.6 Válvula de ventilación atmosférica.

Una válvula controlada automáticamente que permite purgar a la atmósfera desde la salida del generador de gas inerte. Normalmente se abre antes de iniciar la planta de gas inerte y también se utiliza en el control automático de la presión principal de cubierta y como parte del sistema de seguridad de la planta.

5.2.2 Sello de cubierta

Se instala un sello de agua que permite que el gas inerte se envíe a la línea principal de cubierta, pero impide cualquier retorno de la mezcla de gas inerte y vapor de petróleo de la carga, incluso cuando la planta de gas inerte está apagada. Es vital que se mantenga un suministro de agua al sello en todo momento, particularmente cuando la planta de gas inerte está apagada. Además, los desagües deben ser dirigidos directamente al mar y no deben pasar a través de los espacios de la sala de máquinas. El *SOLAS 1974 Resolución A.148 (XI)* especifica que en el sistema de gas inerte de todos los petroleros deben tener instalados dos dispositivos de no retorno en cubierta para prevenir el reflujo del gas proveniente de los tanques de carga, de los cuales uno debe ser un sello de agua. [21] [23]

Existen tres tipos de sellos de cubierta:

5.2.2.1 Sello de cubierta húmedo.

Cuando la planta de gas inerte está en funcionamiento, el gas burbujea a través del agua desde la tubería de entrada sumergida del gas inerte, pero si la presión del tanque excede la presión en la línea de entrada del gas inerte, el agua es empujada hacia arriba dentro de esta tubería de entrada y previene el reflujos. El inconveniente en este tipo de sello es una vez el gas ha pasado la superficie de agua, el gas puede llevar gotas de agua, lo que puede aumentar la corrosión dentro de las tuberías. Por lo tanto, el sello de cubierta tipo húmedo tiene instalado un separador de humedad. [13] [21] [23]

Es el instalado en el buque.

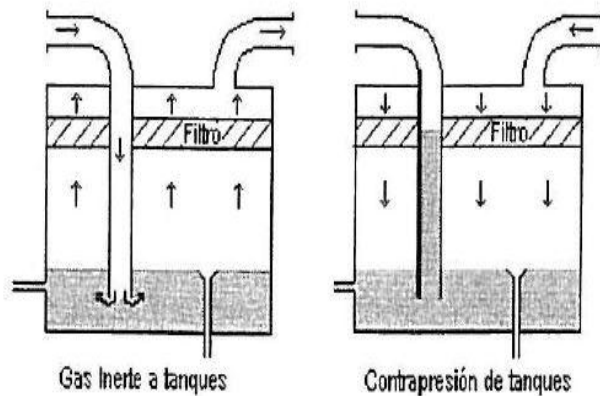


Imagen 10: Dibujo del sello de agua de cubierta húmedo. En: Sistema de Gas Inerte a Bordo



Imagen 11: Sello de agua de cubierta húmedo. Elaboración propia.

5.2.2.2 Sello de cubierta semiseco

El gas en vez de burbujear a través del agua, el flujo de gas inerte atrae el agua del sello hacia un espacio de retención separada mediante la acción de “Venturi” evitando así o, al menos, deduciendo la humedad del gas inerte.

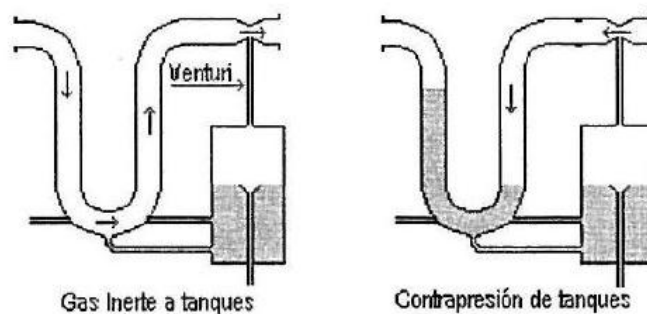


Imagen 12: Dibujo del sello de agua de cubierta semiseco. En: Sistema de Gas Inerte a Bordo

Al pararse el sistema, cesa el flujo de gas y, por tanto, cesa el efecto “Venturi” que mantenía el agua dentro del tanque separado, y este, se introduce en el tubo en forma de U impidiendo el retroceso de los gases. [13] [21]

5.2.2.3 Sello de cubierta seco.

Está compuesto por dos tanques, tanque superior denominado tanque de descarga y el tanque de sellado que se sitúa en la parte inferior. En el tanque superior hay agua en todo momento, lista para ser suministrada al tanque inferior. Cuando la planta de gas inerte se encuentra en funcionamiento, el agua permanece en el tanque superior, por lo tanto, el inferior permanece seco y permite el paso del gas inerte prácticamente sin humedad. Cuando la planta de gas inerte se detiene o la presión de los tanques de carga es mayor que la de la línea, se activan los sensores de la válvula de dicho tanque superior y descarga el agua. De este modo sella la tubería y restringe el reflujo del gas. [13] [21] [23]

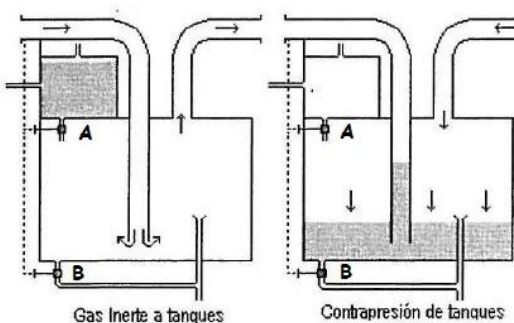


Imagen 13: Funcionamiento del sello de agua de cubierta seco. En: Sistema de Gas Inerte a Bordo

5.2.3 Válvula de no retorno.

EL *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 1974)* Regulación 62.10.8 indica que el sistema de gas inerte requiere una válvula mecánica no retorno, o equivalente, que debe estar instalada a proa respecto al sello de cubierta y debe funcionar automáticamente en todo momento. [16] Por lo que podemos encontrarla en la línea principal de gas inerte en cubierta, justo después del sello de agua de cubierta. Solo permite que el flujo del gas vaya en una sola dirección, en este caso hacia la línea principal antes de ser distribuido a los tanques de carga. [21]

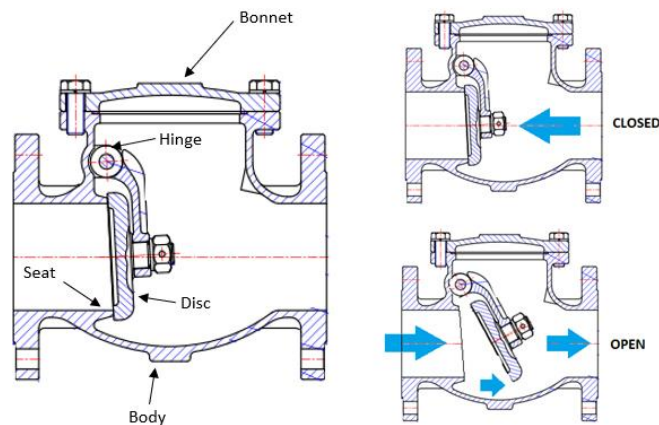


Imagen 14: Válvula no retorno, composición y funcionalidad. En: What Is A Non-Return Valve ? Non-Return Valve P&ID Symbols - Piping Technology System

5.2.4 Analizador de oxígeno.

Es el elemento más crítico, básicamente marca la calidad de gas inerte que está produciendo el generador. La muestra que toma como referencia, tiene que estar limpia y enfriada antes de entrar al medidor, y esto se puede llegar a lograr mediante una unidad de burbujeo. Tener a bordo un analizador de oxígeno es crucial para mantener la seguridad del buque. La cantidad de la muestra debe ser suficiente para el analizador pueda realizar una medida lo más exacta posible y debe estar libre de gases corrosivos, como también de gases inflamables. Más adelante se explicará cómo operar el analizador de oxígeno. [22]

5.2.5 Sistema de distribución de gas inerte.

El sistema consta de tuberías y válvulas que distribuyen el gas inerte desde el generador hasta los tanques de carga. Garantiza que el gas inerte sea distribuido de forma eficaz dentro de los espacios de carga del buque cuando se está llevando a cabo una operación de descarga, limpieza de tanques o para aumentar la presión del tanque.

- Válvula de regulación → El *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 1974) Regulación 62.9.1* especifica que La válvula reguladora debe estar provista de medios que indiquen si la válvula está abierta o cerrada. Cuando la válvula se utilice para regular el flujo de gas inerte, deberá ser controlada por la presión de gas inerte detectada entre la válvula de aislamiento de cubierta y los tanques de carga. Previene cualquier flujo de retorno en caso de fallo en el soplador o en la torre de lavado. [16]
- Línea principal de cubierta → El diámetro de la línea principal de gas inerte, válvulas y distribuidoras a los tanques deben cumplir con los requisitos del sistema. Para evitar una caída excesiva de la presión, la velocidad del gas inerte no podrá exceder de los 40 m/s en cualquiera de las secciones del sistema de distribución cuando la planta de gas inerte esté operando a su máxima capacidad.
- Líneas ramales a los tanques → Las tuberías que distribuyen el gas inerte a los tanques de carga son de acero y deben de tener la capacidad de drenarse por sí solas. La línea principal de gas inerte tiene tres alarmas para tres diferentes presiones: +12 KPA alta/+2 KPA baja/+1KPA muy baja. Es esencial que estén fijadas correctamente entre sí y a la cubierta, ya que están sometidas a fuertes movimientos en caso de mal tiempo, expansiones térmicas y flexiones del buque. El acceso del gas inerte a los tanques de carga será regulado por las válvulas que se deben abrir de forma manual. Es accionada mediante una palanca, de tal forma que si se encuentra en perpendicular a la tubería significa que está cerrada. Hay otros métodos de aislar dichas líneas mediante bridas ciegas.

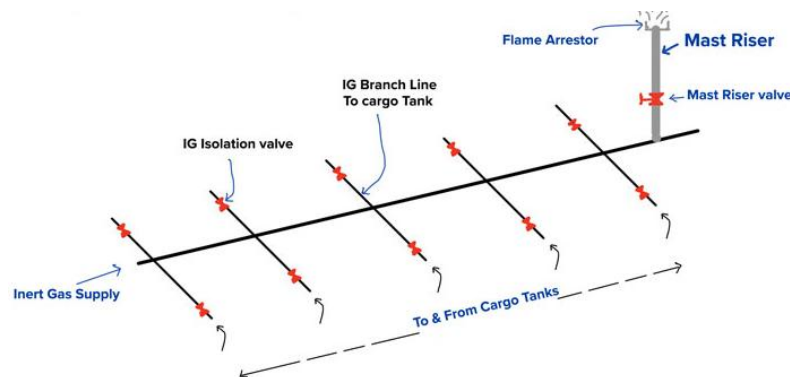


Imagen 15: Diagrama del sistema de distribución del gas inerte. En: Venting-
arrangement-crude-oil-tanker-mast-riser.jpg (700×391)

5.2.6 Equipos para prevenir la presurización y despresurización de los tanques

La regla 11.6.1 del capítulo II-2 del Convenio SOLAS se refiere a las disposiciones de ventilación de los tanques de carga de los petroleros para evitar sobrepresiones o despresurizaciones durante las operaciones de carga, descarga, lastrado y deslastrado. Esta disposición de ventilación primaria garantiza que las presiones de los tanques de carga no superen los parámetros de diseño. Además, la *regla II-2/11.6.3 de SOLAS* exige un medio secundario de ventilación como respaldo en caso de fallo del sistema de ventilación primario. [17]

La mayoría de los líquidos transportados en los buques tanque, al almacenarlos en espacios confinados como los tanques de carga, emiten vapor que rellenan el volumen restante hasta el punto de llenarlos. A medida que pasa el tiempo, se acumulan sin que se les permita escapar y la presión aumenta progresivamente. Por lo tanto, a medida que la presión aumenta dentro de los espacios cerrados del tanque, los riesgos asociados a la inflamabilidad se multiplican. Entonces, son totalmente imprescindibles los medios para evitar que cantidades indeseadas de presión puedan ser liberadas. [18]

5.2.6.1 Mástil de venteo “Mast Riser”

Es un mástil de unos 6 metros de altura conectado directamente a la línea principal de gas inerte. Se suele abrir de forma manual bajo la orden de un oficial de guardia mientras se realiza una operación de carga para mantener la presión de los tanques bajo control. Este lleva instalada una válvula en lo alto, la cual se puede abrir o cerrar parcialmente para que la presión de los tanques sea liberada durante la carga. Durante la descarga es primordial que la presión de los tanques no sea negativa, por ello el mástil de venteo no será empleado en este caso. [8]

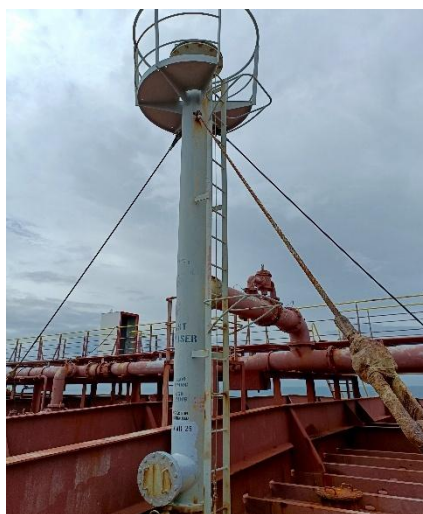


Imagen 16: Mástil de venteo con presión máxima/mínima de +14KPa/-3.5KPa.

Elaboración propia.

5.2.6.2 Válvulas P/V.

Son las llamadas válvulas de presión / vacío que tienen como función aliviar la presión cuando hay variaciones de temperatura en el interior de los tanques y normalmente están fijados a una presión positiva / negativa expresada en la unidad milímetro de columna de agua (mmCA ó mmWG).

En la mayoría de los buques producteros llevan instaladas válvulas de presión / vacío de alta velocidad. Consisten en una válvula de venteo de alta velocidad con una válvula de alivio de presión interna, una válvula de vacío y, además, la correspondiente rejilla anti-ignición. Expulsa la presión sobrante a la atmósfera evitando explosión. [8] [12]



Imagen 17: Válvulas de presión/vacío de +14KPa y -3.5 KPa. Elaboración propia.

5.2.6.3 Ruptor “P/V Breaker”.

Todos los sistemas de gas inerte requieren la instalación de un ruptor o más según la *Regulación 62.14 del SOLAS*. Están diseñados para proteger los tanques de carga contra la presión o vacío excesivos y, por lo tanto, deben mantenerse en buen estado de funcionamiento mediante un mantenimiento regular de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Es rellenado con un líquido, una mezcla entre agua y glicol (CH_2OH) para evitar que este se congele. Por lo tanto, consiste en dos tubos concéntricos, uno introducido en otro donde se encuentra el líquido. Cuando existe una sobrepresión, el empuje del gas, eleva y expulsa el líquido, de tal forma que el gas escape por arriba del ruptor. El ruptor del buque tiene unos límites de 1800/-700 mmWG. [2] [12] [21]

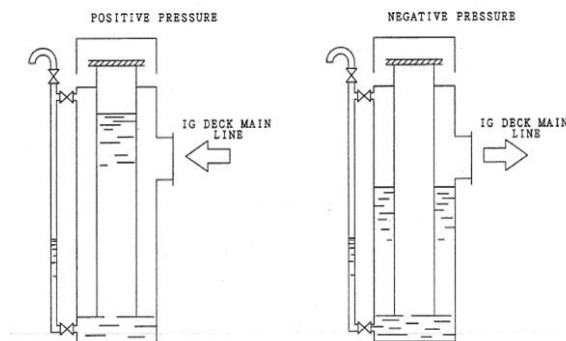


Imagen 18: Dibujo de la operativa del Ruptor. En: What is PV breaker - Pressure vacuum Breaker - Working principle and purpose ? Indian Merchant Navy

Si el nivel o la gravedad específica son incorrectos, el dispositivo no funcionará a la presión requerida, lo que podría desencadenar un riesgo para el sistema de carga o provocar una pérdida de presión del gas inerte. La mezcla de agua y glicol se debe cambiar cada cierto tiempo, siguiendo las instrucciones del fabricante.

5.3 VÁLVULAS INCORPORADAS EN EL SISTEMA DE GAS INERTE.

Todos los buques son instalados el número de tuberías necesario para el suministro o transporte de combustible, agua o gas. Dichas tuberías incorporan válvulas en los puntos requeridos con un sistema mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos y gases. Gracias a el uso de las válvulas en cada instalación de tuberías, podemos controlar la cantidad, dirección y sentido de flujo de fluido que circula por ellas. Las válvulas se dividen en tres grupos diferentes según su función: interceptoras, de retención y reguladoras de presión. Las más frecuentes son las interceptoras y las de retención. La función principal de la interceptora es cortar total o parcial el flujo del líquido o gas mediante un vástago. Sin embargo, las válvulas de retención solo permiten el flujo de fluido en un sentido, por lo tanto, lo impiden en el contrario. [6]

Elementos principales de una válvula:

- 1) Reten disco
- 2) Vástago
- 3) Tuerca del disco
- 4) Empaque
- 5) Disco
- 6) Asiento
- 7) Cuerpo
- 8) Tuerca unión
- 9) Volante

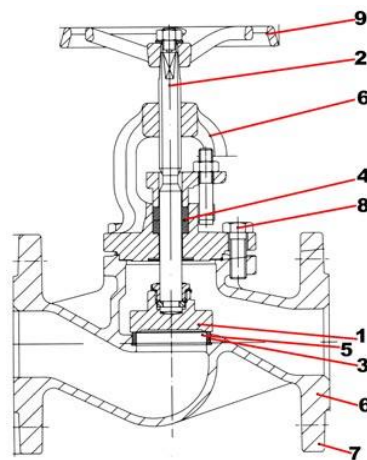


Imagen 19: Válvula de globo. En:
Válvulas – Mecánica industrial js

En un sistema de gas inerte el tipo de válvulas usadas son las siguientes:

5.3.1 Válvula de mariposa.

Es uno de los tipos de válvula más útiles en una línea que transporte gas. Podemos situar las válvulas de bola en el sistema de distribución del gas inerte en cubierta, como, por ejemplo, en la conexión del ramal con el tanque de carga. Todas estas son formadas por un disco y una manija con la que poder abrir en el caso de estar en paralelo o cerrar en caso de estar perpendicular a la tubería (1/4 de vuelta). Son sencillas de operar y, sobre todo, rápidas. [6]



Imagen 20: Válvula de mariposa. En: Válvula de mariposa Item 375-376-377

5.3.2 Válvula de compuerta.

Estas válvulas se usan muy a menudo en las líneas de contra incendios, tanto en la de agua, como en la de espuma. También, pueden encontrarse en las líneas de carga o en la línea de secado. Permite la apertura total y el flujo en la línea suele ser recto. Mediante el husillo, la compuerta con forma de disco cerrará la válvula, que normalmente siempre se encuentran abiertas para su uso. Empleando esta válvula existe muy poca resistencia al paso del flujo, entonces poca caída de presión. No están pensadas para la regulación del caudal, ya que el fluido choca contra el disco y puede producir fuertes vibraciones. Una clara desventaja es que se requiere grandes esfuerzos de accionamiento. [6]

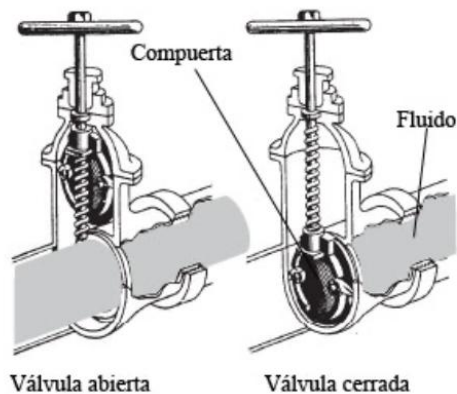


Imagen 21: Válvula de compuerta. En: Válvulas de compuerta – Blog Provaltec

5.3.3 Válvula de globo.

Son bastante habituales a bordo, utilizada en las tuberías de tratamiento de aguas residuales y también en sistemas de achique, como regular el agua de mar en los sistemas de sentinas. Consiste en un tapón perpendicular a la circulación y se acciona mediante múltiples vueltas. Son muy efectivas para funciones como el aislamiento y la estrangulación.

5.3.4 Válvula de retención.

Tienen una gran funcionalidad, debido a que solo permite el flujo del gas o líquido en un solo sentido, sin embargo, si el sentido se invierte la válvula se cierra para proteger la tubería o bomba... En el sistema de gas inerte esta válvula se instala en la línea principal, después del sello de agua.

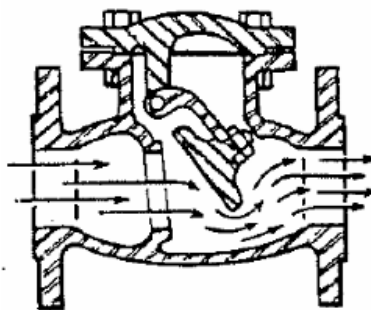


Imagen 22: Válvula de retención. En: APUNTES SISTEMAS AUXILIARES.pdf

5.4 ALARMAS, FALLOS E INSTRUMENTACIÓN.

Se requieren ciertos instrumentos fijos y portátiles para el funcionamiento seguro y eficaz del sistema de gasa inerte. Es muy importante que todos estos dispositivos tengan establecido un sistema de unidades, ya sea para medir la presión, humedad... Se deberá disponer de las instrucciones o manuales pertinentes para la correcta operación, calibración y comprobación, incluyendo alarmas de cada uno de los dispositivos.

Todos los equipos anteriormente descritos deben estar adecuadamente diseñados para soportar condiciones extremas, como: variaciones en el voltaje de suministro, cambios de temperatura, vibraciones, humedad, impactos o golpes y lo más importante la corrosión.

En cuanto a la torre de lavado, el flujo que de agua suministrado a la torre de lavado debe ser monitorizado constantemente ya sea mediante un medidor de flujo o un manómetro. En el instante que dicho flujo de agua caiga por debajo del nivel requerido según el fabricante, sonará una alarma y en caso de continuar así, los sopladores de gas inerte deberán parar automáticamente. Por otro lado, el nivel de agua almacenado en la torre de lavado estará controlado por la alarma de alto nivel. En caso de superar los límites establecidos según su diseño la bomba suministradora de agua se detendrá.

Según la *Organización Marítima Internacional en la publicación de 2010 (Edición Electrónica) sobre el sistema de gas inerte*, la temperatura de descarga de gas inerte mediante los sopladores debe estar controlada siempre, pero si se alcanza una temperatura de 65 grados centígrados sonará una alarma y llegados a los 75 grados centígrados se producirá la parada de emergencia en el sistema.

Todos los sensores de nivel, flotadores y demás sensores necesarios que estén en contacto con el agua o el gas inerte deberán estar fabricados con materiales resistentes a la corrosión y al ácido.

Otro equipo necesitado de suministro de agua es el sello de cubierta, que deberá ser abastecido de agua constantemente y aunque no esté en funcionamiento debe mantenerse con agua en su interior. Si nos encontramos en una zona muy fría, el agua almacenada en

el interior del sello puede llegar a congelarse, en tal situación abriremos dos válvulas conectadas por el mismo tubo que transporta vapor caliente.

El sello de cubierta debe tener el nivel correcto de agua, en caso de que sea bajo sonará una alarma antes de que no sea eficaz y no cumpla su función.

La presión del gas inerte en la línea principal tiene que ser controlada. Se activará una alarma cuando la presión alcance el límite establecido de acuerdo con el diseño de los tanques de carga, válvulas mecánicas de no retorno y sello de agua.

Con respecto al analizador de oxígeno, se hallará un punto de muestreo y una unidad de registro en la tubería que une los sopladores con la válvula reguladora de presión de gas inerte. La unidad de registro no se puede encontrar en una zona donde la temperatura sea alta y haya vibraciones. Debe tener un error alrededor del 1% respecto al valor máximo de la cantidad medida para la cual se calibra el analizador de oxígeno. El instrumento de muestreo debe incorporar un filtro siguiendo las instrucciones del fabricante y podrá extraer con facilidad para ser limpiado o incluso sustituido si fuese necesario.

El analizador de oxígeno se situará en una posición protegido de las condiciones ambientes adversas y sobre todo del calor. Debe existir un punto de muestreo localizado entre la válvula automática de regulación de la presión de gas inerte y el sello de agua de cubierta para ser usado con los analizadores de oxígeno portátiles. [21] [22] [18]

El sensor de presión del gas inerte y el registrador obtendrán la señal de un punto de la línea principal de gas inerte situada entre la válvula de no retorno y los tanques de carga, como bien especifica el *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 1974)*. [17]

Los medidores de gases usados para ver la concentración de gases en el interior de los tanques no se verán afectados por la deficiencia de oxígeno y deberán ser capaces de medir concentraciones de gases hidrocarburos entro y por encima de los límites de inflamabilidad.

5.5 ESQUEMA DEL GENERADOR DE GAS INERTE.

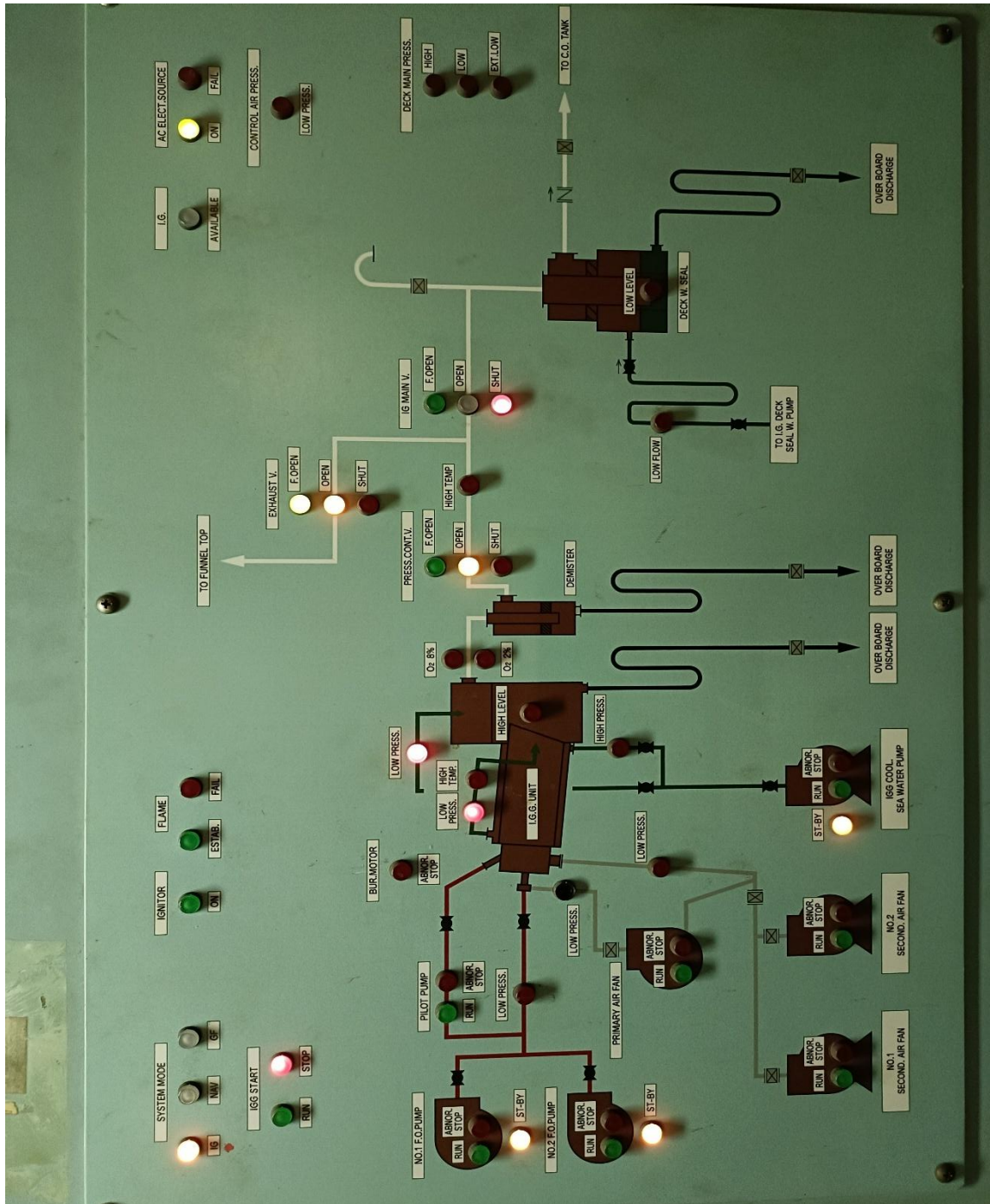


Imagen 23: Panel de control del generador de gas inerte. Elaboración propia.

5.6 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS INERTE.

Se debe completar las inspecciones cada cierto periodo de tiempo para comprobar el estado de operatividad de todos los componentes ya que en ellos depende la seguridad de la tripulación y la integridad del buque. Estos, integrados en el sistema de gas inerte, deben estar ubicados en espacios de modo que la inspección y el trabajo de mantenimiento se lleve a cabo con facilidad. Se prestará especial atención a cualquier señal de degradación de los materiales debido a la exposición que sufren a altas temperaturas y a la corrosión. Estarán incluidas las inspecciones y mantenimientos en todos los sistemas de control incorporados en el sistema para la regulación del flujo de agua, aire...

5.6.1 Válvulas.

Las válvulas que permiten la entrada de combustible desde las bombas al generador de gas inerte, válvulas atmosféricas, válvulas de entrada y salida de los sopladores, válvula antirretorno, válvulas de aislamiento de los tanques de carga...todas ellas deben inspeccionarse interna y externamente. Se debe realizar inspecciones visuales periódicas para identificar cualquier desgaste, fugas o corrosión. Muy importante que siempre que se operen las válvulas estén bien lubricadas. También se debe limpiar cada cierto tiempo para evitar la acumulación de sedimentos. [1]

5.6.2 Torre de lavado.

La inspección y mantenimiento se lleva a cabo entrando por una escotilla de acceso. Antes de entrar siempre hay que rellenar un permiso de trabajo para espacios confinados, aprobado por el sistema de gestión de seguridad y se tomarán las precauciones pertinentes. Se comprobará el nivel de corrosión en el interior de la torre de lavado, es decir, se comprobarán los tubos de refrigeración, sensores de temperatura, los sprays de agua. El mantenimiento más exhaustivo se completará durante el dique seco, ósea aproximadamente cada 5 años, pero se debe revisar el estado de la torre de lavado cada 6 meses. [1] [4]

5.6.3 Separador de humedad.

Al igual que en la torre de lavado, se accederá por una pequeña escotilla, por lo tanto, el procedimiento es igual. Cada tres meses hay que limpiar el separador de humedad. Para que cumpla con su función el filtro no puede contener trazas de hollín porque evitaría el flujo correcto del gas. [22]

5.6.4 Sopladores.

La inspección más común es observar visualmente las vibraciones de los sopladores cuando están en funcionamiento. En caso de apreciar partículas de polvo o suciedad que se haya acumulado en la carcasa o en las palas, se hará una limpieza. También se comprobarán los motores eléctricos que accionan los soladores. [1] [22]

5.6.5 Sello de agua de cubierta.

Es de los componentes más importantes del sistema y debe tener un mantenimiento correcto. Se prestará especial atención a la tubería que suministra el gas al sello de agua, cuando su mayor enemigo es la corrosión. También es de gran importancia la tubería de drenado de agua, la cual no debe obstruirse nunca, ya que presenciaremos una subida de presión en la línea. Se inspeccionará internamente de forma completa cada año y la línea torre de lavado-sello cuando el buque se encuentra en dique seco. [1] [4] [22]

5.6.6 Válvula de no retorno.

Para poder inspeccionar la válvula de no retorno, debemos desmontarla o abrirla de tal forma que se podrá llevar a cabo la inspección o mantenimiento deseado. Habrá que fijarse si hay corrosión en el interior de la válvula y la condición en la que se encuentra el asiento. Es recomendable hacerlo unos días antes de empezar la descarga. [22]

5.6.7 Válvulas P/V.

Es muy importante comprobar si las válvulas de presión/vacío liberan presión cuando en el control de carga marca una sobrepresión en los tanques. En caso de encontrarnos en esta situación sonará una alarma en el control de carga. Se recomienda desmontar la válvula para inspeccionar los componentes en contacto con el fluido una vez al año. Limpiar regularmente el diafragma, las guías y las superficies de asiento para asegurar un

sellado correcto y un buen funcionamiento. Debemos asegurarnos de que las válvulas están bien lubricadas. Este trabajo de mantenimiento suele encargarse una persona cualificada, normalmente el bombero del buque. [22]



Imagen 24: Comprobación de válvula presión/vacío. Elaboración propia.

5.6.8 Ruptor.

A parte del mantenimiento habitual como la corrosión, desgaste de pintura... se debe revisar el agua con glicol que se sitúa en el interior del ruptor. El dispositivo opera a la presión requerida si la cantidad de líquido se encuentra al nivel y tiene la densidad correcta. Comprobaremos cualquier corrosión interna, evaporación del agua o condensación, ya que esto puede causar un funcionamiento anormal. [22] [21]

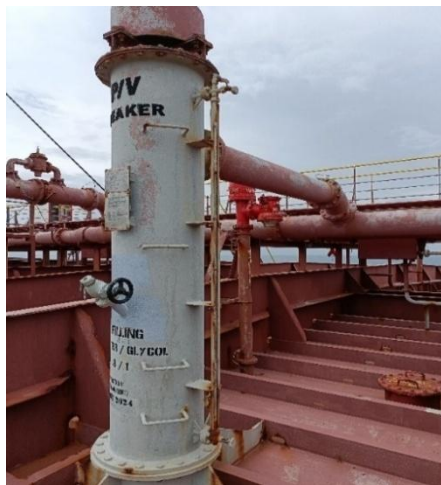


Imagen 25: Ruptor presión/vacío. Elaboración propia.

6- OPERATIVA PARA LA INERTIZACIÓN DE TANQUES.

6.1 CONTROL DE LA ATMÓSFERA EN UN TANQUE DE CARGA.

Todos los buques tanque disponiendo de un sistema de gas inerte deben mantener los tanques de carga en condición no inflamable en todo momento. Los tanques deben estar siempre en una condición inerte, excepto cuando queremos una atmósfera libre de gases para proceder a su inspección o mantenimiento. El contenido de oxígeno por volumen no puede superar el 8% y la presión de los tanques de carga siempre será positiva. La atmósfera dentro del tanque debe hacer la transición desde la condición inerte a la condición libre de gas sin pasar por la condición inflamable. En la práctica, esto significa que, antes de que cualquier tanque sea liberado de gas, debe ser purgado con gas inerte hasta que el contenido de hidrocarburos en la atmósfera del tanque esté por debajo de la línea crítica de dilución, como podemos observar en el punto 3.3.4.

En caso de tener una atmosfera libre de gases al llegar a la terminal dispuestos a cargar, debemos inertizar los tanques previamente.

6.1.1 Inertizado de tanques vacíos.

Antes de poner en marcha el sistema de gas inerte, es importante realizar todas las pruebas indicadas en el manual de operaciones o según las instrucciones del fabricante. Tanto el analizador fijo de oxígeno como el registrador deben ser revisados y asegurados de que están en buen estado. Además, los medidores portátiles de oxígeno y de hidrocarburos también deben ser preparados y comprobados. Cuando se inertizan tanques vacíos que están libres de gas, como después de estar en dique seco o tras ingresar al tanque, el gas inerte debe introducirse a través del sistema de distribución mientras se ventila el aire del tanque hacia el exterior.

Este proceso debe seguir hasta que el nivel de oxígeno en todo el tanque no supere el 8% en volumen. A partir de ese momento, el nivel de oxígeno no subirá más si se mantiene una presión positiva con el sistema de gas inerte, agregando gas inerte adicional cuando sea necesario. Si el tanque aún tiene gas, seguiremos prestando atención a los peligros que

pueda causar la electricidad estática hasta que el contenido de oxígeno alcance el 8%. Cuando todos los tanques hayan sido inertizados, deben estar conectados en conjunto a la línea principal de gas inerte, y el sistema debe mantenerse presurizado con una presión positiva mínima de al menos 100 mm de columna de agua. [13]

6.1.2 Uso del gas inerte en operación de barco a barco.

Durante la carga-descarga entre dos buques se conecta una o dos mangueras flexibles para completar la transferencia de líquidos a granel. Normalmente este tipo de operaciones se lleva a cabo a través de un plan proporcionado por la terminal y aprobado por la bandera de dichos buques. Cada buque cumplirá con su propio sistema de gestión de seguridad y evaluación de riesgos. La maniobra más común es: uno de los barcos se encontrará fondeado mientras que el otro se aproxima y amarra a él. Si la transferencia de carga es petróleo crudo o refinado, el plan de operación se acogerá al Anexo I del MARPOL, pero si la carga es GNL o GLP se acogerá al Anexo II del MARPOL. Todas estas operaciones se realizarán bajo la supervisión de un Capitán de Amarre o “Mooring Master”. [5] [30]

Antes de afrontar una operación de esta magnitud con los riesgos que conlleva, tendremos en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones de los buques.
- Número de defensas que se van a emplear.
- Lado de atraque, que será en el costado donde se sitúan las defensas y se determinará en función de las características de los buques.
- Hora.
- Velocidad del viento y dirección.
- Oleaje.
- Velocidad de aproximación; no se debe superar los 5-6 nudos durante la maniobra.
- Supervisión del amarre, número de cabos a emplear y posición.
- Secuencia de amarre.
- Canal de comunicación y lengua en común acordada.

- Criterio de aborto: se tomará en cuenta las condiciones meteorológicas, fallo en cualquiera de los equipos... [5]

Es importante ser conscientes que el barco que descarga empleará el sistema de gas inerte, sin embargo, el que carga no. Por ello se deberán cumplir las siguientes recomendaciones:

- Los buques tienen que disponer y usar el equipo necesario para el control del oxígeno en el flujo de gas. Dispondrá de alarmas sonoras y visuales cuando en el flujo del gas supere el 8% de oxígeno por volumen. El analizador de oxígeno y las alarmas asociadas deben someterse a pruebas para comprobar su correcto funcionamiento antes de cada operación de transferencia de carga. [18] [5]
- Se debe comprobar y confirmar que el contenido de oxígeno del espacio de vapor de cada tanque conectado a la tubería principal de gas inerte de ambos buques sea inferior al 8 % en volumen. [18] [5]
- Antes de comenzar la operación el buque que descarga tendrá el sistema en funcionamiento y en espera con la válvula de aislamiento en cubierta cerrada.
- Se suspenderá toda actividad si el contenido de oxígeno por volumen supera el 8%. [18] [5]

6.1.3 Peligros de la electricidad estática.

La electricidad estática sucede cuando dos materiales se transfieren electrones, generando un desequilibrio en sus cargas, entonces se pueden producir chispazos. La presencia del gas inerte en el interior de los tanques previene la mezcla de gases inflamables, pero los riesgos a causa de la electricidad estática aumentan considerablemente si durante la operación el sistema de gas inerte no está en funcionamiento.

Si durante una operación de descarga el sistema cae, inmediatamente se suspenderá. En este caso habrá un manual a bordo del buque en el que indicará las pautas a seguir. En general si el sistema de gas inerte no proporciona la calidad y cantidad requerida de gas inerte, o no mantiene una presión positiva en los tanques de carga, debe detenerse toda carga/descarga o lastre y cerrar la válvula de aislamiento de gas inerte en cubierta.

También cerraremos las válvulas de aislamiento de cada tanque usado en ese momento y en caso de tener exceso de presión podremos abrir el mástil de venteo según convenga. Después se debe solucionar el problema en el menor tiempo posible.

Se recuerda a los capitanes que las normativas nacionales y locales pueden requerir que la falla de un sistema de gas inerte sea reportada a la autoridad portuaria, al operador de la terminal y a las administraciones del puerto y del estado de bandera. [18]

6.1.4 Purgado de tanques.

Cuando es necesario que los tanques estén libres de gases después del lavado, antes los tanques deben ser purgados con el objetivo de obtener un contenido de hidrocarburo menor de 2%. Nos debemos asegurar que, a la hora de ventilar los tanques, la atmósfera no puede entrar en el rango de inflamabilidad. El método más recomendado para el purgado de tanque es el de dilución. Se debe llevar a cabo con el sistema de gas inerte a su máxima capacidad de flujo para generar la máxima turbulencia dentro del tanque de carga. El gas inerte se introduce y se ventila por la parte superior de los tanques. [13]

6.1.5 Atmósfera libre de gases en el interior de los tanques.

Antes de empezar a ventilar nos aseguramos de que todos los tanques estén aislados. Se colocarán los ventiladores en las escotillas correspondientes, accionados por agua directamente conectados a la línea de contraincendios a través de una manguera. La eliminación de gases debe continuar hasta que todo el tanque tenga un contenido de oxígeno del 21 % en volumen y se obtenga una lectura inferior al 1 % del límite inferior de explosividad (LEL) en un medidor de atmósferas. [7]

Es el primer oficial quien está a cargo de este proceso de limpieza de tanques.

6.1.6 Entrada al tanque posterior a una limpieza.

Debemos prevenir cualquier accidente siguiendo estos pasos:

1. Asegurar los ramales de la línea de gas inerte poniendo cegadores si fuera necesario.

2. Asegurar las válvulas o controles de la línea de carga pertinentes en la posición cerrada.
3. Mantener una mínima presión positiva en los tanques de carga. (200 mm ac)
4. Medir la atmósfera de los tanques desde diferentes puntos y a diferentes alturas confirmando que el contenido de oxígeno es del 21% y el hidrocarburo menos del 1%.
5. Deberán estar preparados los Equipos de Respiración Autónoma para cualquier emergencia en el interior de los tanques de carga.
6. Los tanques deberán ser constantemente ventilados y la atmósfera debe estar controlada en todo momento.

Además del gas hidrocarburo, también puede haber otra presencia de gases tóxicos como el benceno o el ácido sulfhídrico. En tal caso la ventilación de los tanques continuará hasta obtener una concentración por debajo del Valor Límite Umbral. Este término representa el valor máximo de una sustancia presente en el aire a la que un trabajador puede estar expuesto de forma segura sin correr el riesgo de sufrir daños o lesiones. [10]

Siempre habrá una persona atenta a los profesionales que entren a los tanques de carga, que se situará cerca de la escotilla principal de dicho tanque. Habrá un contacto por radio entre los profesionales que se encuentran en el interior del tanque con el supervisor en cubierta y el oficial de guardia en el puente. Se debe completar los permisos de trabajo necesarios con la hora de entrada/salida, asegurando que la atmósfera es apta para las personas humanas y los permisos deben ser firmados por todos los implicados en el trabajo.

7- SEGURIDAD Y SALUD DE LA VIDA HUMANA

7.1 EFECTOS DEL GAS INERTE EN EL CUERPO HUMANO.

El aire contiene aproximadamente un 21 % en volumen de oxígeno, mientras que el gas inerte contiene entre un 3 y un 4 % en volumen. Está prohibido entrar en un tanque inertizado porque, como se puede ver en la siguiente tabla, es muy peligroso. Además, a la hora de entrar en el tanque después de que se haya eliminado el gas, es necesario garantizar la seguridad de la persona utilizando un detector de gas portátil. [20]

Tabla 6: Efecto de la baja concentración de oxígeno en el cuerpo. Elaboración propia

EFECTO DE LA BAJA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO EN EL CUERPO	
CONTENIDO DE OXÍGENO	EFECTO
21%	Condición perfecta para la salud de la persona
19%	Contenido de oxígeno mínimo exigido por la Ley de Seguridad
15%	Respiración honda y pulso elevado
11%	Dificultad para respirar y los movimientos
10%	El cuerpo coge color pálido, incapaz de moverse, dificultad para respirar
7%	Empieza a jadear, el pulso se acelera mucho, trastorno mental
6%	Ninguna reacción muscular, pérdida de conciencia
<4%	Desplome a los 40 segundos sin señal.

Tabla 7: Efecto de gases hidrocarburo en el cuerpo humano. Elaboración propia.

EFFECTO DEL GAS HIDROCARBURO EN EL CUERPO HUMANO	
CONTENIDO DE HIDROCARBURO	EFFECTO
0.1%	Irritación de los ojos en una hora
0.2%	Irritación de los ojos, la nariz y la garganta, mareos e inestabilidad en menos de media hora
0.7%	Síntomas de embriaguez a los 15 minutos
1%	Síntomas de embriaguez instantáneo, pérdida de conciencia
2%	Parálisis y muerte en un periodo corto de tiempo

Tabla 8: Substancias tóxicas y sus efectos en el cuerpo humano. Elaboración propia.

SUBSTANCIAS TÓXICAS Y SU EFFECTO EN EL CUERPO	
ELEMENTO TÓXICO	EFFECTO
Dióxido de Sulfuro (SO ₂)	La concentración máxima permitida es de 5 ppm, al inhalarse causa intoxicación
Monóxido de Carbono (CO)	Concentración máxima permitida es de 50 ppm, intoxicación e impide la entrada de oxígeno a nuestro cuerpo cuando el gas se combina con la hemoglobina
Dióxido de Carbono (CO ₂)	La máxima concentración permitida es de 5000 ppm, el gas no es tóxico, pero, en concentraciones muy elevadas podemos sufrir una sensación similar a la de una anestesia y falta de oxígeno que puede provocar la muerte
Nitrógeno (N ₂)	El gas no es tóxico, pero al igual que el anterior, en altas concentraciones significará que hay poco oxígeno en el entorno

7.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN AL ENTRAR EN UN TANQUE.

7.3.1 Evaluación de riesgos.

Todos los buques tanque, tal como se definen en los Convenios SOLAS y MARPOL, de 500 GT o más, deben cumplir el Código Internacional de Gestión de la Seguridad (Código IGS). Los buques que cumplen este código deben desarrollar un sistema de gestión que proporcione un nivel de seguridad mínimo. Según el código IGS, los procesos de gestión de la seguridad se basan en evaluaciones de riesgo y en técnicas de gestión de riesgos. Se exige que la compañía debe desarrollar un Sistema de Gestión de Seguridad, que incluirá instrucciones y procedimientos para garantizar que los trabajos a bordo se llevan a cabo de forma segura tanto para la tripulación, buque y medio ambiente. [19] [20]

La evaluación de riesgos consiste en un análisis cuidadoso de lo que podría causar daño durante unas operaciones o trabajos. De modo que nos preguntaremos si hemos tomado las debidas precauciones o que se debería hacer para prevenir daños con el objetivo de minimizar los accidentes y problemas de salud a bordo del buque. [18]

7.3.2 Permisos para entrar en espacios confinados.

Muchas de las compañías navieras introducen lo permisos de trabajo en su Sistema de Gestión de Seguridad para el control de las tareas peligrosas que se han de realizar. El sistema de permisos de trabajo debe garantizar que se adopten las medidas de protección y precaución que reduzcan los riesgos asociados a una tarea.

Un espacio confinado se define por tener entradas y salidas limitadas al lugar, no tener ventilación natural y por no ser un espacio diseñado de trabajo de forma continua. Dentro de este abanico de espacios confinados se encuentran los tanques de carga y de lastre, además de muchos otros espacios. Es responsabilidad del operador establecer procedimientos para entrar en estos espacios siempre cumpliendo con el Sistema de Gestión de Seguridad del barco. El capitán se asegurará que se implementan todos los procedimientos para entrar a los espacios confinados, además junto con el oficial responsable en materia verificarán lo siguiente:

- ✓ El espacio ha sido ventilado.
- ✓ Los gases de la atmósfera han sido medidos.
- ✓ El equipo de protección está listo para su uso.
- ✓ Se han establecido los medios adecuados para controlar el acceso.

Es de vital importancia cumplimentar con los permisos y asegurarse que las medidas de seguridad se cumplen porque muchos de los accidentes a bordo se producen en espacios confinados. [18]

7.3.3 Análisis de atmósfera a la previa entrada.

La decisión de entrar en un espacio confinado debe tomarse únicamente después de haber analizado la atmósfera desde el exterior de dicho lugar. Para ello emplearemos los equipos de prueba que hayan sido calibrados recientemente y verificados para su correcto funcionamiento. [27]

Se comprobará que:

- ✓ el contenido de oxígeno es del 21% por volumen.
- ✓ el contenido de gas hidrocarburo es menos del 1% del LEL.
- ✓ no hay cualquier otro gas tóxico en el ambiente.

Como se indicó en uno de los anteriores puntos, debemos medir la atmósfera a distintas alturas y desde distintos puntos. Debemos tener en cuenta que antes de comenzar dichas pruebas se parará cualquier tipo de sistema de ventilación que haya en ese momento.

Toda persona que entre en uno de los espacios confinados del buque debe llevar consigo un detector de gases personal. En este dispositivo veremos reflejado el porcentaje de LEL, el porcentaje de oxígeno por volumen, ppm de monóxido de carbono y ácido sulfhídrico. En caso de no estar en una atmósfera perjudicial para nuestra salud el dispositivo emitirá una alarma, indicando así la huida inmediata del lugar en el que nos encontramos. [19]
[18]



Imagen 26: Detector de gases individual. Elaboración propia.

7.3.4 Equipo de protección respiratoria.

Se requiere llevar cierto equipo de protección respiratoria para cumplir con las disposiciones de seguridad contra incendios del SOLAS, por lo tanto, ese equipo puede ser usado en estas ocasiones si fuera necesario. Sin embargo, según lo establecido en el Código ISM, el armador es responsable de proporcionar el nivel de equipamiento necesario para gestionar de manera segura todos los aspectos operativos y de seguridad a bordo del buque.

Hay diferentes tipos de equipos de protección respiratoria disponible para su uso a bordo de un buque:

7.3.4.1 Equipo de Respiración Autónoma (ERA).

Es un equipo de suministro portátil de aire comprimido almacenado en un cilindro. El aire se suministra a través de una máscara facial que permite ser ajustada para lograr un sellado hermético. Además, lleva instalado un manómetro que indica la presión en el cilindro (200 bar aproximadamente) y cuando el suministro está para agotarse se activa una alarma sonora, un pitido agudo. Normalmente los equipos son de presión positiva, es decir, la presión en el interior del cilindro es mayor que la presión atmosférica. Es un dispositivo

esencial para la protección de nuestra integridad física ante cualquier gas tóxico o venenoso. [14]

Se debe tener en cuenta lo siguiente

- ✓ El manómetro de presión debe ser comprobado antes del uso del equipo.
- ✓ Nos aseguraremos de que la alarma sonora funciona correctamente.
- ✓ Comprobaremos que la máscara quede bien ajustada sin posibilidad de fuga.
- ✓ Mientras usamos el equipo debemos estar atentos al manómetro y controlar la presión, también es importante que nos anticiparemos y saldremos del lugar con un margen de tiempo.

Este equipo tiene un tiempo estimado de uso de unos 30 minutos y puede llegar a pesar 13 kg que la persona responsable podrá llevar a su espalda.

El oficial responsable, deberá cerciorarse mensualmente de que las botellas se encuentran en perfectas condiciones y con la presión correspondiente. [18]

7.3.4.2 Respiradores de máscara con filtro.

Consiste en una máscara con un cartucho reemplazable incorporado que actúa de filtro, a través del cual evita el paso de aire contaminado. Son muy útiles para entrar en espacios cerrados con la atmósfera contaminada en concentraciones bajas. Son simples de usar a la vez que rápidas de poner, pero debemos tener en cuenta que no se pueden usar en espacios donde no hay oxígeno.

Cada fabricante especificará las cantidades de sustancias a las que se puede someter el filtro, también es recomendable no reutilizar los cartuchos y prestar atención si tienen fecha de caducidad.

El uso más común en un barco es cuando hay que completar trabajos donde se genera mucho polvo.



Imagen 27: Máscara de gas con doble filtro. En: Mascarilla Respirador Doble Filtro Carbón Activado M4178

7.3.4.3 Aparatos respiratorios de corta duración.

El acrónimo en inglés es EEBD (Emergency Escape Breathing Device).

Comúnmente situados en la sala de máquinas, sala de bombas y en el puente para ser empleados en caso de incendio. Son fáciles de transportar y ligeros, por lo tanto, también son útiles para acceder a espacios como los tanques de carga o de lastre, para ello siempre habrá a bordo aparatos extra.

Estos equipos constan de una botella de aire comprimido, una válvula reductora, una manguera y una mascarilla facial. Son equipos de flujo constante que suministran 40 litros de aire por minuto al usuario y tienen una duración de unos 15 minutos. Además, son fáciles de revisar y al igual que las botellas de los equipos de respiración autónomos pueden recargarse a bordo. [20] [18]

7.4 PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA.

Es esencial que se realicen simulacros y ejercicios periódicos para practicar el rescate en espacios cerrados, y que todos los miembros del equipo de rescate sepan lo que se espera de ellos.

Cuando una persona necesita ser rescatada, la persona asignada como asistente desde fuera debe avisar por radio y luego el oficial de guardia hará sonar la alarma general. Nunca se

accederá al lugar sin previa planificación del rescate porque podría significar más víctimas. Entonces, actuar rápido es importante, pero es primordial preparar el equipo de rescate como es debido.

En un rescate de emergencia, siempre se debe considerar que la atmósfera de un espacio cerrado es insegura, a menos que se confirme lo contrario.

7.4.1 Organización de rescate y recuperación.

El equipo de rescate será formado por el líder del equipo, las personas que entran y el equipo de apoyo. El rescate será realizado por personal cualificado, es decir, serán los mismos que realizan los simulacros, excepto si uno de ellos hubiera tenido el accidente en el espacio confinado. [18]

Roles del equipo de rescate:

- ✓ Líder → Debe ser el primero oficial o el capitán y planificará el rescate, por lo tanto, no formará parte del equipo que entra y se quedará fuera supervisando. [18]
- ✓ Equipo de entrada → Lo formarán al menos dos personas que hayan sido entrenadas para actuar en estos casos. [18]
- ✓ Personal de apoyo → Se encargarán de proporcionar el equipamiento necesario para acceder al espacio, para montar el equipo de rescate y monitorear la atmósfera. [18]

7.4.2 Resucitación.

El personal del buque debe estar familiarizado con el equipo de reanimación para poder emplearlo de forma efectiva a personas que hayan sido afectadas por gases tóxicos, o cuya respiración se haya detenido por otras causas. Todo el mundo a bordo debe saber dónde se encuentra el resucitador y estará localizado en una zona de fácil acceso, normalmente en el hospital del buque.

Está compuesto por una pequeña bombona de oxígeno y una máscara que cubre desde el mentón hasta la nariz. Otra de las partes más importantes es la bolsa autoinflable, en la

que se ejerce la presión para generar la ventilación al paciente. Es portátil, lo que quiere decir que podremos acceder al espacio cerrado con el equipo si fuera necesario aplicar tratamiento instantáneo. [18]



Imagen 28: Resucitador con bombona de oxígeno. Elaboración propia.

8- CONCLUSIONES.

Con este trabajo se ha querido explicar conceptos básicos del sistema de gas inerte en los buques. Como ejemplo he explicado el sistema en el petrolero “Virgen del Quinche”, con el fin de explicar la importancia que tiene a bordo. Aunque la operatividad del sistema de gas inerte corresponde más a máquinas, los oficiales de puente deben tener unos conocimientos mínimos sobre los componentes, funciones...

Las conclusiones imprescindibles obtenidas son:

- 1) Cada vez que vamos a realizar una descarga, el oficial de guardia pondrá en marcha el sistema que genera el gas inerte mediante la combustión de diésel. El gas generado desplaza el oxígeno del interior de los tanques y mantiene la presión siempre positiva. Por lo tanto, el sistema cumple una función fundamental en la prevención de incendios y explosiones en los tanques de carga.
- 2) Es esencial que los mantenimientos llevados a cabo se hagan periódicamente para comprobar el estado de cualquier sistema y sobre todo si influye en la integridad del barco y la vida humana. A parte de seguir las instrucciones de los fabricantes para cada componente, también nos debemos asegurar que cumplimos con el SOLAS y con las directrices de la IMO.
Aunque parezca que el sistema de gas inerte no tiene como objetivo la protección ambiental, sí que la tiene al reducir por completo las posibilidades de producirse una explosión en los tanques de carga y desencadenar una catástrofe medio ambiental.
- 3) Gracias a este trabajo, también podemos conocer el papel fundamental que juega el gas inerte en la limpieza de tanques para posteriormente entrar en ellos, además de los procedimientos que se deben de llevar a cabo y el equipo a emplear. La formación específica en procedimientos de entrada a espacios cerrados, control de atmósferas y la respuesta de emergencias debe mantenerse como una prioridad en la industria marítima.

9- BIBLIOGRAFÍA.

- [1] American Bureau of Shipping, 1980. *Guide for the Inspection and Survey of Inert Gas Systems*. Houston: American Bureau of Shipping, 1980. Disponible en: Guidance Manual For Material Selection and Inspection of Inert Gas Systems
- [2] Admin, 2023. *What is PV Breaker-Working and principal purpose?*. Indian Merchant Navy, 8th May of 2023. [Consulta: 8 Mayo 2025]. Disponible en: What is PV breaker - Pressure vacuum Breaker - Working principle and purpose ? Indian Merchant Navy
- [3] Bright Hub Engineering, 2023. *Inert Gas Scrubber and Demister tower Role on Board*. Bright Hub Engineering. [Consulta: 2 Mayo 2025]. Disponible en: Inert Gas Scrubber and Demister Tower Role on Board Ships
- [4] Bright Hub Engineering, 2023. *How often do I need to overhaul and inspect Inert Gas Systems on board?*. Bright Hub Engineering. [Consulta: 24 Mayo 2025]. Disponible en: How often do i need to overhaul and inspect Inert Gas (IG) systems on board ships?
- [5] Britannia, 2024. *Torrey Canyon: Safe STS transfer operations guidance*. [En línea]. Britannia P&I Club, 15th May 2024. [Consulta: 2 Junio 2025]. Disponible en: Ship to ship (sts) transfer operations guidance | Britannia P&I
- [6] Calonge, Belén Río. *Sistemas auxiliares*.
- [7] Capt Jsaal, Raajev, 2022. *Inerting of cargo tanks: How exactly do it?*[Sitio web]. MySeaTime. [Consulta: 1 Mayo 2025]. Disponible en: Inerting of Cargo Tanks: How Exactly to do it? - MySeaTime
- [8] Capt Jsaal, Raajev, 2022. *What are the Primary and Secondary means of Venting on tankers?*[Sitio web]. MySeaTime, 8th February of 2022. [Consulta: 8

Mayo 2025]. Disponible en: What are the Primary and Secondary means of Venting on tankers ? - MySeaTime

- [9] Cogels, R.M. 26 Abril 2016. *The evolution of mobile inert gas systems in the tanker trade* [En línea]. Riviera Maritime Media [Consulta: 23 Abril 2025]. Disponible en: Riviera - Opinion - The evolution of mobile inert gas systems in the tanker trade
- [10] CORROSIONPEDIA, 2024. *Thershold Limit Value (TLV)* [En línea]. Corrosionpedia, 19th July 2024. [Consulta: 6 Junio 2025]. Disponible en: Threshold Limit Value
- [11] Devanney, Jack, 2017. *The strange history of tank inerting* [En línea]. Centre for Tankership Excellence, USA [Consulta: 23 Abril 2025]. Disponible en:
- [12] Dmitry, 2024. *What is PV valve and PV Breaker On Ships?* [En línea]. Maritime page. [Consulta: 14 Mayo 2025]. Disponible en: Sistema de Gas Inerte a Bordo
- [13] García Soutullo, Roberto. *Sistema de Gas Inerte a bordo* [En línea]. Ingeniero marino. [Consulta: 2 Mayo 2025]. Disponible en: Sistema de Gas Inerte a Bordo
- [14] Grove, George Wallace, 1941. *Self-Contained Oxygen Breathing Apparatus [libro en línea]*. Washington D.C: U.S Government Printing Office. Disponible en: Self-contained Oxygen Breathing Apparatus - United States. Bureau of Mines, George Wallace Grove - Google Libros
- [15] Hampton, Melissa, 11 Febrero 2025. *Examples of Flammable Liquids and Their Flash Points [en línea]*. [Consulta: 28 Abril 2025]. Disponible en: Examples of Flammable Liquids and Their Flash Points
- [16] IMCO, 1980. *Revised Regulation 62 of Chapter II-2 of the International Convention for the SOLAS [en línea]*. Resolution A.418. London: OMI.

- [17] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2020. *Safety Of Life At Sea(SOLAS): Consolidated edition 2020*. London :International Maritime Organization. ISBN 978-92-801-3210-6.

- [18] INTERNATIONAL CHAMBER OF SHIPPING, OIL COMPANIES INTERNAL MARINE FORUM and INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBOURS, 2006. *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)*. London : 5, 2006. ISBN-10 1856092917.

- [19] INTERNATIONAL CHAMBER OF SHIPPING, 2020. *Gidance on enclosed space entry and rescue*. Basado en la ICS Tanker Safety Guide (Chemicals) London : ICS, 2020. Disponible en: [document-b-guidance-on-enclosed-space-entry-and-rescue-based-on-ics-tanker-safety-guide-chemicals28F7B3075079.pdf](#)

- [20] INTERNATIONAL CHAMBER OF SHIPPING, 2021. *Tanker Safety Guide (Chemicals)*. 5th ed London :Marisec Publications. ISBN 978-1-9162322-3-5.

- [21] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. 1990. *INERT GAS SYSTEMS*. London : IMO PUBLICATIONS, 2010 electronic ed. 978-92-801-1262-7.

- [22] Kashiwa Co. 19th August 2009. *INERT GAS GENERATOR SYSTEM INSTRUCTION MANUAL*. Ibaraki, Japan : s.n., 19th August 2009.

- [23] M, 2020. *Deck Seal: types, purpose and construction* [Blog]. Blogging Sailor, 30th September of 2020. Disponible en: [Deck seal- Types, purpose and construction](#)

- [24] Marflet Marine. (s.f.). *Our fleet: Virgen del Quinche*. VIRGEN DEL QUINCHE | Marflet Marine

- [25] Mercor Tecresa, 14 Octubre 2014. *Incendios históricos: El desastre de Texas City* [En línea]. [Consulta: 20 Abril 2025]. Disponible en: <https://mercortecresa.com/blog/incendios-historicos-el-desastre-de-texas-city>

- [26] National Fire Protection Association (NFPA). *Incendios y explosiones más mortales en la historia de EE.UU.* [En línea]. [Consulta: 20 Abril 2025].
Disponible en: Estadísticas NFPA - Incendios y explosiones más mortales en la historia de EE. UU.

- [27] Praneet Mehta, 2024. *Inert Gas System*[En línea]. Merchant Navy Decoded, 27th April of 2024. [Consulta: 5 Mayo 2025]. Disponible en: What is an Inert gas | Function of IG System on ship.

- [28] Quevedo, Orlando. *Sistema de Gas Inerte a bordo* [En línea]. 18páginas.
[Consulta: 29 Abril 2025]. Disponible en: Sistema de Gas Inerte A Bordo | PDF | Oxígeno | Tanques

- [29] SAFETY4SEA editor, 3 Octubre 2019. *Torrey Canyon: The world's first mayor oil tanker disaster* [En línea]. [Consulta: 22 Abril 2025]. Disponible en: Torrey Canyon: The world's first major oil tanker disaster - SAFETY4SEA

- [30] Skuld, 2020. *Ship to ship transfer safety* [En línea]. Skuld, 13th November 2020[Consulta: 2 Junio 2025]. Disponible en: Ship to ship transfer safety - Skuld

- [31] TRANSFORMER TESTER, 25 Septiembre 2023. *The importance of determining the flash point of oil products* [En línea]. [Consulta: 28 Abril 2025].
Disponible en: The importance of determining the flash point of oil products - Knowledge

- [32] WERMAC. *What is %LEL / %UEL and PID and PPM?* [En línea]. [Consulta: 28 Abril 2025]. Disponible en: Safety - What is %LEL / %UEL and PID and PPM?

