

Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

SISTEMA DE GAS INERTE
BUQUE "TOLEDO SPIRIT"

Para acceder al Título de Máster Universitario en

NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Autor/a: Arturo Solares Sampedro

Tutor/a: Marlene Bartolomé Sáez

Julio -2018

ÍNDICE

<i>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</i>	<i>6</i>
<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>11</i>
<i>OBJETIVOS.....</i>	<i>12</i>
CAPÍTULO I.	
<i>1.1 .- REVISIÓN HISTÓRICA DEL GAS INERTE EN BUQUES PETROLEROS.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2 .- INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3 .- SUPRESION DE INFLAMABILIDAD POR GAS INERTE.....</i>	<i>17</i>
CAPÍTULO II.	
DIFERENTES GASES DE PURGA.	
<i>2.1 .- GAS INERTE.....</i>	<i>24</i>
<i>2.1.1 .- TÉCNICA QUÍMICA.....</i>	<i>24</i>
<i>2.1.2 .- DESVENTAJAS DEL GENERADOR DE GAS INERTE.....</i>	<i>25</i>
<i>2.1.3 .- VENTAJAS DE UNA PLANTA DE GAS INERTE.....</i>	<i>26</i>
CAPÍTULO III.	
<i>3.1 - DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BUQUE.....</i>	<i>27</i>
<i>3.2- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SALA DE MAQUINAS.....</i>	<i>32</i>
<i>3.3- SISTEMA DE GAS INERTE EN EL TOLEDO SPIRIT.....</i>	<i>34</i>
CAPÍTULO IV.	
EL GENERADOR DE GAS INERTE ESTEQUIOMÉTRICO	
<i>4.1 .- UNIDAD DE PRODUCCIÓN DE GAS INERTE.....</i>	<i>45</i>
<i>4.1.1 .- CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....</i>	<i>46</i>
<i>4.1.2 .- SUMINISTRO DE AIRE DE COMBUSTIÓN.....</i>	<i>48</i>

4.1.3 .-	ALIMENTADOR DE COMBUSTIBLE.....	48
4.1.4 .-	QUEMADOR DE ENCENDIDO.....	49
4.1.5 .-	QUEMADOR PRINCIPAL.....	49
4.2 .-	ENFRIADO Y SECADO DEL GAS INERTE.....	50
4.2.1 .-	TORRE DE LAVADO Y ENFRIAMIENTO.....	50
4.2.2 .-	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LA TORRE DE LAVADO.....	52
4.2.3 .-	PRECAUCIONES QUE DEBEN SER TOMADAS AL USAR LA TORRE DE LAVADO.....	53
4.2.4 .-	FUNCIÓN DE LAS SOPLANTES DE GAS INERTE.....	54
4.2.5 .-	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LAS SOPLANTES.....	54
4.2.6.-	VALVULA REGULADORA DE LA PRESION DEL GAS INERTE Y DISPOSITIVOS DE RECIRCULACIÓN.....	56
4.3 .-	FUNCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE NO RETORNO.....	57
4.3.1 .-	SELLO DE AGUA TIPO HÚMEDO.....	58
4.3.2 .-	VALVULAS MECANICAS DE NO RETORNO Y VÁLVULA DE AISLAMIENTO.....	60
4.3.3 .-	VÁLVULAS DE GAS INERTE.....	60
4.3.4 .-	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE NO RETORNO.....	61
4.4 .-	ANALIZADOR DE OXÍGENO.....	62
4.4.1 .-	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR DE OXÍGENO.....	63
4.5 .-	INSTRUMENTACIÓN Y ALARMAS.....	66

4.5.1 .-	INSTRUMENTACIÓN DE LA TORRE DE LAVADO.....	66
4.5.2 .-	INSTRUMENTACIÓN DEL SELLO DE AGUA.....	67
4.5.3 .-	INSTRUMENTACIÓN DEL ANALIZADOR.....	67
4.5.4 .-	INSTRUMENTACIÓN DEL CONTROLADOR DE PRESIÓN.....	69
4.5.5 .-	ALARMAS.....	69
4.5.6 .-	INSTRUMENTOS PORTATILES.....	70
4.6 .-	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL GAS INERTE.....	70
4.6.1 .-	CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA VÁLVULAS Y TUBERIAS EN EL SISTEMA DE GAS INERTE.....	72
4.7 .-	OPERACIÓN DE LA PLANTA DE GAS INERTE.....	73
4.7.1 .-	PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE.....	74
4.7.2 .-	PROCEDIMIENTOS DE PARADA.....	75
4.7.3 .-	COMPROBACIONES DE SEGURIDAD CON LA PLANTA PARADA.....	76
4.7.4 .-	POSIBLES FALLOS EN LA PLANTA DE GAS INERTE Y MEDIDAS A SER TOMADAS.....	76
4.8 .-	MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES.....	78
4.8.1 .-	GENERAL.....	78
4.8.2 .-	TORRE DE LAVADO.....	78
4.8.3 .-	SOPLANTES.....	78
4.8.4 .-	SELLO DE AGUA.....	79
4.8.5 .-	VÁLVULA DE NO RETORNO.....	80
4.8.6 .-	LINEA EFLUENTE DE LA TORRE DE LAVADO.....	80
4.8.7 .-	PRUEBA DE OTRAS UNIDADES Y ALARMAS.....	80

4.8.8 .- PROGRAMA DE MANTENIMIENTO SUGERIDO.....	83
--	----

CAPÍTULO V.

SEGURIDAD PERSONAL Y SALUD.

5.1 .- PRÁCTICAS DE SEGURIDAD.....	84
5.2 .- EXPOSICION A PELIGROS.....	84
5.2.1 .- ASFIXIA.....	85
5.2.2 .- TOXICIDAD.....	86
5.2.3 .- TRATAMIENTOS MÉDICOS.....	88
5.3 .- EVALUACIÓN DE LA ATMÓSFERA.....	88
5.3.1 .- GENERAL.....	88
5.3.2 .- ANALIZADORES / INDICADORES DE OXÍGENO.....	89
5.3.3 .- MONITORES DE GAS INFLAMABLE MULTIPUNTO.....	91
5.3.4 .- DETECTORES DE TOXICIDAD.....	91
5.4 .- ENTRADA EN ESPACIOS CERRADOS.....	92
5.5 .- PROTECCIÓN DEL PERSONAL.....	94
5.5.1 .- APARATOS DE RESPIRACIÓN.....	94
 CONCLUSIONES.....	 97
 BIBLIOGRAFÍA.....	 98

ÍNDICE DE IMÁGENES

1.- CUBIERTA B/T TOLEDO SPIRIT.....	27
2.- PALO DE VENTEO (RAISER).....	40
3.- VÁLVULA PRESIÓN / VACIO.....	40
4.- CALDERA DE GAS INERTE.....	45
5.- VÁLVULA NO RETORNO.....	57
6 .- SELLO DE AGUA DE CUBIERTA.....	58
7.- SELLO, VÁLVULA NO RETORNO Y MIL VUELTAS.....	61

8.- RUPTOR O BREAKER.....	80
9.- BAJANTES GAS INERTE A TANQUES.....	81
10.- CHIMENEA DESGASIFICACIÓN.....	81
11.- CUADRO CONTROL GAS INERTE EN CONTROL DE CARGA.....	82
12.- ANALIZADOR DE OXÍGENO PORTÁTIL EAGLE.....	82

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

1.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD.....	19
2.- COMPOSICIÓN TÍPICA DE GASES DE PURGA.....	22
3.- OPERACIONES DE PURGA PARA DIFERENTES TIPOS DE BUQUES.....	23
4.- DIAGRAMA GENERAL GENERADOR GAS INERTE.....	41
5.- DIAGRAMA PRODUCCION GAS INERTE.....	47
6.- DIAGRAMA TORRE DE LAVADO TIPO	51
7.- SISTEMA CONTROL AUTOMÁTICO DE LA PRESIÓN.....	56
8.- SELLO DE AGUA TIPO HÚMEDO.....	59
9.- SELLO DE AGUA TIPO HÚMEDO CONTRAPRESIÓN EN TANQUES.....	59
10.- ESQUEMA BÁSICO ANALIZADOR DE OXÍGENO.....	62
11.- VISTA FRONTAL ANALIZADOR DE OXÍGENO.....	65
12.- AISLAMIENTO TANQUES DE TANQUES DE CARGA GAS INERTE.....	71
13.- PROGRAMA MANTENIMIENTO.....	83
14.- ETIQUETA PACIENTE.....	88
15.- INDICADOR DE OXÍGENO.....	90
16.- INDICADOR GAS TÓXICO.....	91

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANESTESIA

Pérdida de sentido y la conciencia

ANTICONGELANTE

Agente que rebaja el punto de congelación del agua. Por ejemplo: alcohol, etanol, metanol

ASFIXIANTE

Gas o vapor, que puede o no tener propiedades tóxicas, y que cuando está presente en concentración suficiente, excluye el oxígeno y provoca la asfixia.

CARCINÓGENO

Sustancia capaz de causar cáncer

CERTIFICADO DE DESGASIFICACIÓN

Un tanque, compartimento o contenedor es susceptible de ser certificado libre de gas cuando ha sido comprobado usando instrumentos de comprobación aprobados, y probado estar, en el momento de la comprobación, suficientemente limpio de vapores tóxicos, inflamables o gas inerte para un propósito específico y se ha expedido un certificado a este efecto.

CRIOGÉNICO

El estudio del comportamiento de la materia a muy bajas temperaturas.

DENSIDAD RELATIVA DE LÍQUIDO

Masa de un líquido a una temperatura dada en comparación a la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura o a otra temperatura diferente dada.

DENSIDAD RELATIVA DE VAPOR

Masa de un volumen de vapor en comparación a la masa de un volumen igual de aire, ambos a las mismas condiciones estándar de presión y temperatura.

DESGASIFICACIÓN

Extracción de gases tóxicos, inflamables, gas inerte o vapores de un tanque seguido de la introducción de aire puro.

DETECTOR DE GAS COMBUSTIBLE

Instrumento usado para detectar gases de hidrocarburos combustibles, usando generalmente un filamento calentado de un metal especial para quemar el gas catalíticamente y medir la concentración de gas como un porcentaje de su LEL. No existe un instrumento apropiado para todos los vapores combustibles.

ESPACIO VACÍO (VOID SPACE)

Espacio cerrado en el área de carga, externo al sistema de contención de la carga y que no es un espacio de contención, de lastre, fuel o petróleo, ni la sala de compresores o cualquier espacio normalmente usado por el personal.

GAS INERTE

Un gas o mezcla de gases, que contiene una cantidad de oxígeno insuficiente para que se produzca una combustión.

GRAVEDAD ESPECÍFICA

La relación existente entre el peso de un volumen de una sustancia a una temperatura dada y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura o a otra temperatura diferente.

La temperatura afectará al volumen y las de comparación deben estar establecidas: Gravedad específica 60/60°F (sustancia y agua a 60 °F), Gravedad específica 15/4 °C (sustancia a 15 °C y agua a 4 °C).

HIDRATO

Sustancia blanca, como nieve, cristalina formada a ciertas presiones y temperaturas por hidrocarburos que contienen agua.

INERTIZACIÓN

Introducción de gas inerte en un espacio para reducir y mantener el nivel de oxígeno a un nivel al que no se puede producir la combustión

INFLAMABLE

Capaz de ignicionar y quemarse

LEL (o LFL)

Límite inferior de explosividad o inflamabilidad (Lower Explosive Limit o Lower Flammable Limit). Concentración de un hidrocarburo en el aire bajo la cual no hay suficiente gas como para producirse la combustión.

LÍMITE TÓXICO

La concentración de una materia venenosa en el aire inhalado a la cual, respirado durante 30 minutos, se puede producir una enfermedad fatal o un daño permanente para la salud.

MAC

(Maximum allowable concentration). Es lo mismo que TLV.

MOC (Maximum allowable oxygen content). Máximo contenido de oxígeno permitido en los tanques de carga después de efectuarse una operación de purga, y previamente a cargar un nuevo producto.

PRESIÓN CRÍTICA

Presión de un vapor saturado a la temperatura crítica

PUNTO DE EBULLICIÓN

Temperatura a la que la presión de vapor de un líquido es igual a la presión a la que el líquido está sujeto; esta presión varía con la presión.

PUNTO DE INFLAMACIÓN (FLASH POINT)

La mínima temperatura a la que un combustible líquido produce suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con el aire cerca de la superficie del líquido. En la práctica, esto significa que la presión de vapor del líquido a esta temperatura es suficiente para crear con el aire, una mezcla correspondiente al LEL.

PUNTO DE ROCÍO

Temperatura a la que el vapor de agua presente en los gases satura el gas y comienza a condensarse.

PURGA

Introducción de nitrógeno o gas inerte o vapor de gas para desplazar la atmósfera existente en un compartimento de carga.

RANGO DE INFLAMABILIDAD

El rango de concentración de gas combustible en aire entre el que una mezcla es inflamable. Este es el rango de concentraciones entre el LEL y el UEL.

SOLAS

Convención Internacional para la Seguridad de la Vida en la Mar

SPAN GAS

Una muestra de vapor de composición conocida y cuya concentración se usa para calibrar los equipos de detección de gas.

TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN

La mínima temperatura a la cual un sólido, líquido o gas necesita ser elevado para que se produzca una combustión automática sin necesidad de una fuente de ignición externa.

TEMPERATURA CRÍTICA

Temperatura sobre la cual un gas no puede licuarse solamente por efecto de la presión

TLV

Valor límite Umbral (Threshold Limit Value). Concentración de un gas en el aire al que se cree que el personal puede ser expuesto 8 horas al día o 40 horas a la semana a lo largo de su vida laboral sin que se produzcan efectos adversos.

UEL (o UFL)

Límite superior de explosividad o inflamabilidad (Upper Explosive Limit o Upper Flammable Limit). Concentración de un hidrocarburo por encima de la cual no hay suficiente aire como para soportar y propagarse la combustión.

UMBRAL OLOROSO (ODOUR TRESHOLD)

La concentración mínima de gas o vapor, expresada en partes por millón en aire, a la que la mayoría de la gente puede reconocer el olor específico del producto.

INTRODUCCIÓN

El gas inerte se usa para controlar la atmósfera de los tanques a fin de evitar la formación de mezclas inflamables que pueden poner en peligro la integridad del buque.

Existen diferentes formas de obtención del gas inerte. Este trabajo se centra en la descripción detallada de cada uno de los elementos en un buque Suezmax con una planta independiente de combustión estequiométrica de un hidrocarburo en un generador diseñado para este fin.

Es necesario tener la atmósfera de los tanques controlada para evitar los posibles peligros que los vapores de la carga a bordo puedan ocasionar y la inertización será una de las formas que hay para controlar el ambiente de los tanques de carga.

En general, el contenido de Oxígeno en volumen necesario no excederá en ningún caso el 8% permitido, siendo necesario para ello un buen control de la combustión, no excediendo en este caso del 5% en ninguna de las operaciones.

Esta instalación de gas inerte se usa tanto para operaciones de descarga, durante la navegación para mantener una presión positiva de seguridad y durante operaciones de limpieza de tanques e inspecciones.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

La realización de este trabajo tiene como objetivo principal la realización de un estudio sobre el sistema específico para determinados buques que englobe en idioma español la descripción de los equipos, mantenimiento y seguridad tanto para tripulantes nuevos que desconozcan este sistema como para tripulantes familiarizados para su consulta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Para el logro del objetivo general de este trabajo se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una descripción detallada de los sistemas y equipos.
2. Analizar el funcionamiento de los equipos y las propuestas de mantenimiento.
3. Realizar una versión en español que reúna toda la documentación y los procedimientos, incluidos los ejercicios, que se pudiera integrar en el Manual de Gestión de la Seguridad del Buque.

CAPÍTULO I

1.1 - REVISIÓN HISTÓRICA DEL GAS INERTE EN BUQUES PETROLEROS

El uso del gas inerte de producción propia aumentó considerablemente, debido al desarrollo técnico producido en el transporte de líquidos inflamables y peligrosos. Siguiendo la evolución desde el primitivo gas de purga producido en las calderas del buque, la operación de purga de los tanques de carga ya empezó a ser practicada en 1920 por la "Standard Oil Company de California" a bordo de sus buques petroleros.

Desplazando el aire existente en los tanques de carga vacíos antes de efectuarse la primera carga, o de los espacios vacíos que no tenían líquido dentro de los tanques de carga después de terminar la operación de carga, y reemplazándolo por gas inerte, se disminuía el riesgo de explosiones.

El gas inerte que se usaba para este propósito se tomaba de la chimenea del buque y se purificaba. Este gas combustible, ciertamente, no siempre cumplía con todos los requisitos de seguridad. A menudo, el contenido de oxígeno del gas combustible excedía del 11 % del volumen, o lo que es lo mismo, el máximo contenido de oxígeno permisible en los vapores de petróleo, sobrepasado el cual, los vapores de petróleo pueden inflamarse o provocar una explosión.

La presencia de hollín, óxidos sulfúricos y partículas de agua en este tipo de gas inerte reducía grandemente su calidad, debido a que todas estas impurezas podían producir peligrosas reacciones catalíticas y corrosivas. Principalmente, el alto contenido de oxígeno de este gas inerte fue lo que impulsó el desarrollo de mejores métodos y técnicas de producción de gas inerte.

En cualquier caso, continuó la búsqueda de mejores métodos, especialmente el de la producción propia y directa del gas inerte a bordo de los barcos, con la suficiente pureza como para ser recomendable y accesible en todo buque, finalmente, el gas inerte fue producido en el

propriadamente llamado "Generador de Gas Inerte", donde se producía por medio de una combustión estequiométrica, un gas inerte relativamente puro apto para desarrollar las operaciones de desgasificación y purga.

Los primeros generadores de gas inerte propriadamente dichos fueron instalados solamente a bordo de los buques petroleros. En muy raras ocasiones fue utilizado a bordo de los buques dedicados al transporte de productos químicos o gases licuados, donde se usaba casi exclusivamente el nitrógeno puro como gas de purga para evitar cualquier riesgo de contaminación de la carga.

Como los niveles de pureza se han convertido en mucho más restrictivos, lo mismo muy pequeñas cantidades de oxígeno, como cualquier otro componente indeseable, pueden hacer que se devalúe en gran medida el valor de un producto, o incluso contaminarlo seriamente hasta el punto de que pueda ser rechazada la carga.

1.2 INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIÓN.

La combustión es una reacción química que se inicia debido a la acción de una fuente de ignición, en la que un vapor inflamable se combina con el oxígeno existente en el aire en unas proporciones adecuadas para producir bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y calor.

Bajo determinadas circunstancias, como, por ejemplo, cuando se restringe el suministro de oxígeno a la fuente de combustible, se puede formar monóxido de carbono o liberarse carbono sólo.

Para que la combustión se lleve a cabo, deben estar presentes tres requisitos fundamentales:

- combustible,
- oxígeno,
- un elemento desencadenante de la ignición.

Las proporciones del gas licuado (combustible) y del aire (oxígeno), deben hallarse dentro de los límites de inflamabilidad del producto.

Los gases producidos al inflamarse el combustible son calentados por el calor desprendido al producirse la combustión.

Al producirse esto en un espacio abierto (no confinado), la expansión que se produce en estos vapores al calentarse no se ve restringida y la reacción de la combustión puede desarrollarse suavemente, sin que se produzca un aumento indeseable en la presión del gas. Pero, si la libre expansión del gas caliente se ve restringida de alguna forma (al encontrarse en un espacio confinado), la presión de los gases aumentará y la velocidad de expansión de la combustión aumentará también, dependiendo del grado de confinamiento y de la sobrepresión que adquiera el espacio continente del gas caliente. La velocidad aumentada de la llama origina a su vez también, un incremento aun mayor de la presión, pudiendo dar como resultado que dicha sobrepresión pueda llegar a ser tremendamente inestable y peligrosa; incluso al aire libre, si el confinamiento resultante en las tuberías, en la planta o estructuras circundantes es suficiente, la combustión puede tomar el carácter de una explosión. En condiciones estrictas de confinamiento, como, por ejemplo, en el interior de un tanque de carga, donde los gases en expansión no se pueden liberar adecuadamente, la presión interna del tanque y su grado de aumento puede llegar a ser tal, que llegue a romper el recipiente. En este caso, la explosión no se deberá directamente, tanto a los altos grados de combustión y velocidad de la llama, como a la violenta expulsión de la alta presión que hay dentro del recipiente al romperse éste.

El término **rango de inflamabilidad**, nos da una medida de las proporciones de vapor inflamable y de aire necesarias para que sea posible la combustión. El grado inflamable es el rango entre la mínima y máxima concentración de vapor (en tanto por ciento de volumen) en aire para que se forme una mezcla inflamable o explosiva. Estos términos, generalmente, son conocidos como:

- **LEL “Lower Explosive Limit”** (Límite inferior de explosividad) y
- **UEL “Upper Explosive Limit”** (Límite superior de explosividad).

El límite inferior sería la concentración de vapor de hidrocarburo por debajo de la cual no hay suficiente combustible como para soportar una combustión; siendo el límite superior de este grado cualquier concentración de vapores de hidrocarburo por encima de la cual no hay suficiente aire para soportar la combustión.

Los valores del rango de inflamabilidad (LEL y UEL) son variables y dependen del producto del que se trate.

La escala de inflamabilidad del vapor de un producto en particular, aumenta considerablemente ante la presencia en exceso de oxígeno (más del 21 % del que hay en condiciones normales en el aire). El LEL (Límite inferior de explosividad) no varía prácticamente, pero el UEL (Límite superior de explosividad) se eleva considerablemente.

Las botellas de oxígeno asociados con quemadores de oxiacetileno y resucitadores de oxígeno, sólo deben introducirse en las áreas peligrosas bajo condiciones estrictamente controladas.

El **punto de inflamación** (Flash Point) de un líquido es la temperatura más baja a la que el líquido puede desarrollar vapor suficiente para formar una mezcla inflamable con el aire. Los líquidos a alta presión de vapor, tienen puntos de inflamación extremadamente bajos.

La **temperatura de autoignición** de una sustancia es la temperatura a la que debe calentarse el vapor en el aire para que se produzca una ignición espontánea. La temperatura de auto-ignición no está relacionada con la presión del vapor ni con el punto de inflamación de la sustancia y, dado que las fuentes de ignición en la práctica consisten en llamas o chispas externas, es el punto de inflamación y no las características de auto-ignición de una sustancia, lo que se utiliza generalmente para la clasificación de las mercancías peligrosas por su inflamabilidad.

Como ya se ha mencionado, las fuentes de ignición inesperadas más comunes son las llamas producidas por un fuego ajeno, las chispas debidas al impacto de metal contra metal, y las chispas eléctricas.

La mínima energía de ignición necesaria para iniciar la combustión de los vapores de los hidrocarburos es muy baja, especialmente cuando la concentración de vapor se encuentra sobre la mitad del rango en la escala de inflamabilidad.

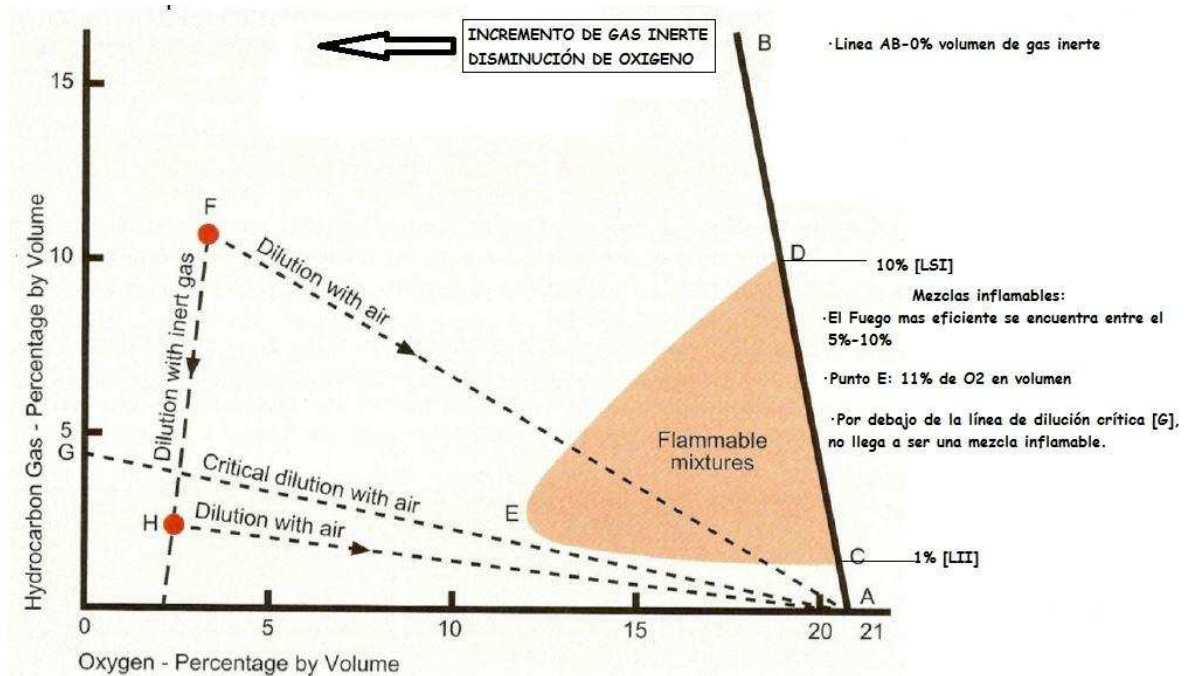
1.3 SUPRESIÓN DE INFLAMABILIDAD POR GAS INERTE

Si el aumento de la concentración de oxígeno en una mezcla inflamable origina un incremento del rango de inflamabilidad y un descenso de la energía necesaria para que se produzca la ignición; de modo inverso, el disminuir la disponibilidad de oxígeno hace que el rango de inflamabilidad se limite y se aumente la cantidad de energía necesaria para que se produzca la ignición. Si se reduce la disponibilidad de oxígeno hasta un grado suficiente, conseguiremos que la mezcla no sea inflamable, independientemente del contenido de vapores de hidrocarburos que se encuentren presentes en ella. Cuando se introduce una cierta cantidad de gas inerte en un tanque que contiene una mezcla de vapores de hidrocarburo con aire, podemos observar que se produce una disminución del grado de inflamabilidad de la atmósfera, de modo que el límite inferior de explosividad (LEL) de la concentración aumenta, y se reduce el límite superior de explosividad (UEL) de la concentración.

En la Figura 1. Queda ilustrado este concepto general para un gas de hidrocarburo típico contenido en una mezcla de aire y de nitrógeno. Las mezclas están representadas sobre el eje horizontal por el porcentaje total resultante del contenido de oxígeno en la mezcla total. El diagrama proporciona una muy útil información.

Está claro también que, un contenido de oxígeno por debajo, más a la izquierda del área inflamable, hace inerte a la mezcla. Aunque este valor, para la mayoría de los vapores de hidrocarburos, se encuentra alrededor de entre el 10 y el 12 % del volumen, el requisito generalmente aceptado, como lo define la IMO, para tener una atmósfera adecuadamente inerte, es uno que contenga por debajo del 8 % de contenido de oxígeno del volumen total del tanque. El diagrama es también útil, ya que ilustra procedimientos de inertización y desgasificación adecuados.

Gráfico 1.- Límites inflamables de un típico gas de hidrocarburo en mezclas de aire y nitrógeno.



Cualquier punto del diagrama representa una mezcla de vapores de gas, aire y gas inerte, especificada en términos de su contenido en tanto por ciento de volumen de gas y de oxígeno. La mezcla de vapores y aire, sin ningún contenido de gas inerte, viene representada por la línea BZ, y su inclinación representa una reducción en el contenido de oxígeno a medida que el contenido del vapor del hidrocarburo aumenta. Los puntos que se encuentran a la izquierda de la línea BZ representan a las mezclas con un contenido de oxígeno que se va reduciendo a medida que se va añadiendo más gas inerte a la mezcla.

Observando la Figura 1 es fácilmente perceptible que a medida que se va añadiendo gas inerte a la mezcla del aire con los vapores de hidrocarburo, el grado de inflamabilidad va decreciendo progresivamente hasta que el contenido de oxígeno alcanza un nivel, generalmente rondando sobre el 11 % del volumen total, al cual ninguna mezcla es inflamable. El valor del 8 % del volumen, especificado anteriormente y tomado como el aconsejable por la IMO, como máximo contenido de oxígeno para una mezcla segura de gas inerte, nos proporciona un margen de seguridad suficiente por debajo de este valor del 11 %.

El límite inferior de explosividad (LEL) y el límite superior de explosividad (UEL), vienen representados en la figura por las letras D y E.

A medida que va aumentando el contenido de gas inerte en la mezcla de aire/vapores de hidrocarburo, los límites de inflamabilidad de la mezcla van también variando. Esto viene representado por las líneas EK y DK, las cuales convergen finalmente en el punto K. Solamente las mezclas representadas por puntos que se encuentren dentro del área sombreada cuyos vértices son los puntos E, D y K, son capaces de inflamarse.

Cualquier cambio en la composición de la mezcla, tanto por adición de aire o de gas inerte, viene representado por líneas rectas, dirigidas todas hacia el punto B (aire puro), o hacia un punto situado en el eje de abscisas correspondiente al contenido de oxígeno en la mezcla, que mostraría el contenido de oxígeno en el gas inerte. Dichas líneas se muestran en la Figura 3 representadas por el punto A.

Si analizando la atmósfera en un tanque de carga se ha determinado, nos da como resultado una concentración de vapores del producto derivado del hidrocarburo del 7 % de volumen y una concentración del 8 % de oxígeno en la mezcla, siendo el resto (aprox. El 85 %) gas inerte (punto A). Si la desgasificación se lleva a cabo metiendo aire directamente a la mezcla, la composición de la atmósfera del tanque se moverá a lo largo de la línea AB hasta alcanzar el punto B, que corresponde a un 21 % de oxígeno con un 0 % de vapores del gas en la mezcla, o lo que es lo mismo, correspondería a una atmósfera de aire puro totalmente libre de gas.

Al hacer esto, la atmósfera habrá pasado a través del área inflamable durante un largo período de tiempo haciendo que la operación de desgasificación sea muy peligrosa.

Esto se puede evitar, si primero purgásemos la atmósfera del tanque con gas inerte a lo largo de la línea AC, hasta un punto por debajo de la línea crítica de dilución. Entonces, ya podremos introducir aire directamente al tanque de carga hasta alcanzar el punto B correspondiente a la atmósfera libre de gas, sin que la composición de la atmósfera del tanque pase a través del área inflamable.

Este resultado sólo puede lograrse con certeza absoluta si se toman medidas regularmente, empleando instrumentos calibrados adecuadamente para evaluar la atmósfera de todo el tanque en diferentes etapas. Durante el transcurso de este proceso es importante usar unos márgenes razonables de seguridad, ya que no se puede conocer la forma exacta del rango inflamable para mezclas y debe calcularse un grado de no homogeneidad en la atmósfera del tanque de carga.

CAPÍTULO II

DIFERENTES GASES DE PURGA

En teoría se pueden usar muchos gases para efectuar la operación de purga, aunque en la práctica, principalmente se usan, el gas inerte producto de una planta o generador de gas inerte, o nitrógeno puro.

La elección entre estos diferentes gases de purga depende principalmente de factores como, el precio de costo, la calidad del producto que va a ser cargado, factores de tiempo, la facilidad de conseguirlo o las especificaciones requeridas del producto que va a ser cargado.

Los gases de purga se usan principalmente para controlar la atmósfera del tanque de carga y de esa forma prevenir la formación de mezclas inflamables. El requisito principal exigido a cualquier tipo de gas usado en una operación de purga es el de tener un bajo contenido de oxígeno.

Sin embargo, su composición puede ser extremadamente variable, como se puede ver en la Tabla 2, en la que se proporciona una indicación (siempre aproximada) de los componentes del gas inerte, según los más importantes y diferentes métodos de obtención, como un porcentaje por volumen.

Tabla 2.- Composición típica de los gases de purga

COMPONENTE	GAS INERTE DE COMBUSTION ESTOICOMETRICA	COMBUSTIBLE DE LAS CALDERAS	NITROGENO POR DESTILACION FRACCIONAL O POR ABSORCION	METANO
NITROGENO (N ₂)	85 %	83 %	99,9 %	< 0,3 %
METANO (CH ₄)	-	-	-	< 90,6 %
DIOXIDO DE CARBONO (CO ₂)	14 %	13 %	1 ppm	-
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	0,2 %	presente	1 ppm	< 5 ppm
OXIGENO (O ₂)	0,3 %	4 %	4 ppm	< 9,1 %
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	< 10 %	300 ppm	-	< 0,1 %
OXIDOS DE NITROGENO (No _x)	3 ppm	presente	-	-
VAPOR DE AGUA (H ₂ O)	presente	presente	5 ppm	-
CENIZAS Y HOLLIN	presente	presente	-	-
PUNTO DE ROCIO	- 50 °C	alto	< - 70 °C	< - 50 °C
DENSIDAD (AIRE = 1,00)	1,035	1,044	0,9672	0,554

Solamente se puede considerar al nitrógeno como verdaderamente inerte en el sentido químico. Sin embargo, para inertizar los espacios de bodega y purgar los tanques de carga en los barcos petroleros, la generación de gas inerte mediante el quemado de combustibles bajo una combustión cuidadosamente controlada puede proporcionar un gas inerte de calidad y en cantidad aceptables.

Tabla 3.- Operaciones de purga para diferentes tipos de barcos

TIPO DE APLICACION	TIPO DE BARCO PETROLERO		REFINADOS			LPG			LNG		
INERTADO DE ESPACIOS Y LINEAS	X		X			X			X		
INERTADO DE ESPACIOS VACIOS				X			X			X	
TOPEO DE INERTE	X		X			X	X		X	X	
PURGA DE INSTRUMENTOS		X			X			X			X
ESPECIFICACIONES DEL GAS INERTE											
O ₂ (% VOL)	4	4		0,4			0,4			0,4	
CO + H ₂ (PPM)	1000	1000		1000 / 100			100			100	
SO ₂ (PPM)	300	300		10			30			10	
NO _x (PPM)	100	100		-50			-50			-50	
PUNTO DE ROCIO (°C)	sea	sea		-50			-50			-50	
CO ₂ (%VOL)	14	14	14	14	400	14	400	14	14	400	14
N ₂ (% VOL)	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto
CENIZAS Y HOLLIN	2-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORIGEN DEL GAS INERTE											
CALDERA	X										
COMBUSTION ESTOICOMETRICA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DESTILACION FRACCIONADA		X		X	X	(X)	X	X	(X)	X	X
NITROGENO		X	X	X	X					X	X

2.1 GAS INERTE.

Gas Inerte es una denominación usada comúnmente para los vapores que se comportan de ésa manera con respecto a los vapores de combustibles, en el sentido de que el “gas inerte” no estimula la combustión y no reacciona con otras sustancias.

Sin embargo, no se puede decir que el gas inerte sea químicamente inerte, desde el momento en que algunos de sus componentes podrían fácilmente reaccionar en sentido químico

Aunque el principal componente del gas inerte es el nitrógeno, debemos hacer una distinción fundamental en la elección de la denominación correcta. Por un lado, podemos disponer del “gas inerte” producido a bordo en una planta específica para ello, y, por otro lado, podemos usar nitrógeno puro que suele estar normalmente almacenado en tanques criogénicos.

2.1.1.- TÉCNICA QUÍMICA.

El gas inerte se produce en un generador de gas inerte, también llamada “planta autónoma de gas inerte”, por medio de la combustión de un combustible, ya sea en una planta construida para el efecto o en raras ocasiones en las calderas principales del barco. Los gases de escape se lavan (depuran) para eliminar los gases ácidos solubles, tales como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, se filtran para remover las partículas sólidas, se enfrían, secan y entregan bajo presión a los tanques de carga.

El sistema más importante, y más comúnmente extendido, es el de la producción de gas inerte en una planta autónoma de gas inerte, a bordo del barco. La producción en una planta de este tipo es factible en todo momento, es decir, al ser una planta totalmente autónoma del resto del equipamiento a bordo de un barco, siempre es posible ponerla en funcionamiento y comenzar la producción del gas inerte. En estas plantas se quema un combustible líquido, normalmente gas oil o fuel oil, de forma estequiométrica. El humo tiene un bajo contenido de

oxígeno y es posteriormente purificado y tratado, para eliminarle los residuos sólidos que puede llevar consigo (ceniza, hollín, agua,)

Debe entenderse que la composición óptima del gas inerte producido por un generador de gas inerte a bordo de un barco, se alcanzará solamente cuando el generador esté operando en óptimas condiciones y con una alta producción.

En la práctica, uno, normalmente, encuentra menos eficientes las plantas de gas inerte de lo especificado, en tales casos, la calidad y composición del gas inerte producido puede diferir ampliamente de los límites especificados y su composición puede indicar:

- a) Mayor contenido de oxígeno.
- b) Mayor contenido de monóxido de carbono.
- c) Mucho mayor contenido de agua.
- d) Punto de rocío por encima de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- e) Graves contaminaciones producidas en las paredes de los tanques, en las líneas y demás equipamientos de la planta de gas con ceniza, hollín y agua.
- f) El agua y el oxígeno generan corrosión.

2.1.2 .- DESVENTAJAS DEL GENERADOR DE GAS INERTE.

Aparte de la que ya han sido mencionadas anteriormente para generadores de gas inerte trabajando en malas condiciones, existen otras desventajas que podrían alterar la calidad de las cargas, como mencionaremos a continuación:

- a) El gas inerte contiene ciertos componentes que podrían resultar perjudiciales para determinadas cargas. Estos componentes podrían formar otros componentes que podrían ser considerados como contaminantes.
- b) La mayoría de las plantas autónomas de gas inerte no están diseñadas para alcanzar las especificaciones de oxígeno corrientemente requeridas para la carga de ciertos gases licuados de origen químico, para los que no son adecuadas este tipo de plantas.

c) A temperaturas criogénicas el vapor del agua cristaliza, por lo que algunos instrumentos mecánicos, como, por ejemplo, las bombas de carga, podrían bloquearse o estropearse.

2.1.3 .- VENTAJAS DE UNA PLANTA DE GAS INERTE.

a) Puede suministrarse continuamente en cualquier momento.

b) Ahorro de tiempo, ya que la operación de purga puede hacerse durante el viaje, y a menudo, al mismo tiempo que se realizan otras operaciones en los tanques de carga (como, por ejemplo, calentamiento de tanques o eliminar los trazos de líquido).

c) Es muy barato, en comparación al nitrógeno puro, el metano u otro producto (como los vapores de la próxima carga), ya que solo requieren ser quemadas unas toneladas de gas oil o fuel oil.

d) La mayoría de los tipos de combustibles derivados del petróleo (fuel oil, diesel oil o gas oil) pueden ser usados como combustible para alimentar el quemador del generador de gas inerte.

e) Es posible producir aire caliente y seco, en vez de gas inerte, para ser usado en las operaciones de secado de tanques o venteo con aire.

Sin embargo, tras los últimos desarrollos realizados en la materia, el resultado es un generador operacional de gas inerte en el que se encuentran todas las desventajas de los modelos más antiguos. Todavía se deben mantener grandes cuidados y precauciones cuando se van a llevar a cabo inspecciones a bordo de los petroleros que usen su propio generador de gas inerte.

CAPÍTULO III

SISTEMA DE GAS INERTE DEL BUQUE TOLEDO SPIRIT

3.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BUQUE

“B/T Toledo Spirit”, construido en Corea por Daewo Heavy Industries Co.Ltd, entregado el 26/7/2005. es un petrolero de doble casco del tipo denominado “Suezmax”, por tener las medidas máximas para navegar a través del canal de Suez. El buque es de cubierta corrida, con bulbo a proa, popa de espejo, timón semicompensado y hélice de paso fijo movida por un motor de dos tiempos lento.



Imagen 1.- Cubierta del B/T Toledo Spirit

Actualmente está en propiedad de “Cepsa Operaciones Marinas-Aviación S.A”, la cual lo utiliza para surtir a sus refinerías y subfletarlo a otras compañías y es operado por “Teekay Shipping Ltd (Glasgow), en España “Teekay Shipping Spain” con sede en Madrid.

Datos del buque:

NOMBRE	TOLEDO SPIRIT
ARMADOR	TEEKAY SHIPPING SPAIN, S.L.
CONSTRUCTOR	DAEWOO HEAVY INDUSTRIES CO. LTD.

AÑO CONSTRUCCIÓN	2005
CLASIFICADORA	DET NORSKE VERITAS
PUERTO DE REGISTRO	S.C. DE TENERIFE (SPAIN)
SEÑAL DE LLAMADA	E.C.J.A.
FLETADOR	C.E.P.S.A.

Dimensiones principales:

ESLORA TOTAL	274 m
ESLORA ENTRE P.P.	264 m
MANGA	48 m
PUNTAL	23,7
CALADO DE DISEÑO	16 m
TONELAJE BRUTO INT.	83.724
TONELAJE NETO INT.	48.933
TONELAJE BRUTO SUEZ	85.708
TONELAJE NETO SUEZ	77.391

El buque dispone de 6 tanques de carga estando cada uno de ellos dividido a su vez en dos compartimentos en la dirección de la línea de crujía.

Situación y capacidad de cada uno de los tanques:

TANQUE	COSTADO	CAPACIDAD (m ³)	
		100% VOLUMEN	98% VOLUMEN
1	BABOR	10.900,2	10.682,2
	ESTRIBOR	10.900,2	10.682,2
2	BABOR	15.153,5	14.850,5
	ESTRIBOR	15.153,5	14.850,5
3	BABOR	15.208,3	14.904,1
	ESTRIBOR	15.208,3	14.904,1
4	BABOR	15.208,3	14.904,1
	ESTRIBOR	15.208,3	14.904,1

5	BABOR	15.208,3	14.904,1
	ESTRIBOR	15.208,3	14.904,1
6	BABOR	13.938,9	13.660,1
	ESTRIBOR	13.938,9	13.660,1
SLOP	BABOR	1.674,9	1.641,4
	ESTRIBOR	1.674,9	1.641,4
TOTAL		174.584,8	171.093,0

Carga y descarga es segregada, es decir, que podríamos cargar y descargar simultáneamente tres tipos diferentes de crudo.

El volumen de los tanques de lastre es el siguiente:

TANQUE	CAPACIDAD (m ³)
1 BABOR Y 1 ESTRIBOR	5022,8+5022,8
2 BABOR Y 2 ESTRIBOR	4117,1+4117,1
3 BABOR Y 3 ESTRIBOR	4183,6+4183,6
4 BABOR Y 4 ESTRIBOR	4183,6+4183,6
5 BABOR Y 5 ESTRIBOR	4104,9+4104,9
6 BABOR Y 6 ESTRIBOR	4885,0+4885,0
PEAK DE PROA SUPERIOR E INFERIOR	2405,7+1210,7
PEAK DE POPA	1703,2
TOTAL	58084,0

Se llenan de agua salada a medida que transcurre la descarga con el fin de dar al buque el trimado correcto. Las bombas de lastre proporcionan un caudal de 2500 m³/h.

Su tripulación la forman 21 personas, repartidas en los departamentos de máquinas, puente y cubierta. El departamento de máquinas se compone de:

Jefe de máquinas.

Primer oficial de máquinas.

Segundo oficial de máquinas.

Tercer oficial de máquinas.

Dos engrasadores, un mecánico y un electricista.

Debido al régimen especial de trabajo y mantenimiento, en los buques dotados con sistema U.M.S., se requiere establecer un procedimiento de disponibilidad a efectos de atender las averías que pudieran surgir fuera de la jornada laboral. El horario de jornada laboral que se sigue es de 08:00 a 12:00 y de 13:00 a 17:00.

Horario de disponibilidad: cuando el buque se encuentre en la mar un oficial estará, un día de cada tres, en situación de disponibilidad, con el siguiente horario: de 0:00 a 08:00, de 12:00 a 13:00 y de 17:00 a 0:00. Los dos engrasadores estarán turnándose, un día de cada dos, en situación de disponibilidad, con el horario especificado anteriormente. En los camarotes del jefe de máquinas y de los oficiales de máquinas hay unos dispositivos digitales, que son repetidores de alarmas. También están situados en el control de máquinas, en el comedor de oficiales, en la oficina, en la cámara de oficiales, en el puente y en el gimnasio.

Descripción de la cubierta

Este tipo de buques se caracteriza por disponer de la cubierta corrida, sin castillo de proa.

Sobre la cubierta nos encontramos con varias líneas que la recorren en dirección proa – popa dirigiéndose a los tanques de carga y lastre. Estas líneas son:

- Líneas de carga y descarga:

Las líneas de carga comunican el manifold con los tanques de carga y las líneas de descarga van desde las bombas al manifold a lo largo de la cubierta.

La carga y la descarga se lleva a cabo de forma repartida en tres segregaciones.

Las bombas de descarga entregan un caudal de 3.500 m³/h.

- Líneas del “bunker” de fuel y de diesel:

Conducen el fuel y el diesel de consumo desde el manifold a los tanques, en la sala de máquinas

- Líneas de espuma y agua contra incendios:

Se distribuyen a lo largo de la cubierta a los cañones y mangueras contra incendios.

- Líneas de cableado eléctrico y de aceite hidráulico.

- Líneas de limpieza de tanques :

Alimentan las máquinas de lavado de tanques con crudo o agua salada. Cada tanque dispone de al menos una máquina de lavado.

- Líneas de vapor :

Conducen el vapor generado en las calderas a los serpentines de los tanques de carga en caso de que la carga necesite calefacción.

- Líneas de gas inerte :

Conducen y distribuyen el gas inerte generado en las calderas, desde la torre de lavado a los tanques de carga, durante la descarga y lavado de tanques. Las líneas de gas inerte se utilizan además para airear los tanques de carga cuando es necesario inspeccionar su interior.

- Líneas de ventilación :

Se encargan de evacuar los gases de los tanques de carga a la atmósfera durante la carga a través del palo de venteo. Los tanques de lastre están provistos de suspiros

- Línea de reachique :

Al final de la descarga se lleva a cabo un reachique de las líneas de carga. El crudo es succionado e impulsado al manifold por la bomba de reachique, que es una bomba alternativa situada en el cuarto de bombas capaz de desplazar un caudal de 250 m³/h.

Además de estas líneas, en la cubierta nos encontramos otros elementos:

- Sello de agua del gas inerte :

Impide el retorno de los gases desde los tanques de carga.

- Válvulas de presión / vacío :

Sirven para aliviar la presión de los tanques de carga y están taradas a unos determinados valores de presión positiva y negativa de 1400 y – 350 mmca.

- Ruptor de presión / vacío :

Actúan como una segunda seguridad de las válvulas de presión / vacío, pues está tarado a un valor de presión mayor a éstas (1700 y – 700). Funciona por presión de columna de agua y va conectado a la línea de gas inerte.

- Otros elementos que nos encontramos en la cubierta son las sondas de los tanques de carga y lastre, las grúas del manifold, grúas de la provisión, las maquinillas para la maniobra o el molinete del ancla.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SALA DE MÁQUINAS

La primera plataforma, o plataforma superior, está situada un nivel por debajo de la cubierta principal. Aquí nos encontramos los siguientes equipos:

Caldereta, dos compresores alternativos de dos etapas de aire de arranque del motor principal, las dos botellas de aire comprimido de arranque, un compresor rotativo de aire comprimido de control y servicios generales, la botella de aire comprimido de control, el deshumidificador de aire, dos compresores para las cámaras frigoríficas, la válvula reguladora del exceso de vapor de baja presión, el incinerador y los dos tanques de evaporación, la planta de tratamiento de aguas residuales, el condensador atmosférico, las calderas, y las válvulas reguladoras de alimentación, la válvula reguladora de vapor de baja presión, el pañol de respetos, el taller, el control de máquinas, donde se encuentran los cuadros eléctricos, el local del servotimón ,donde además se encuentran el pañol de la química y otro pañol de respetos.

Además en esta plataforma se encuentran los tanques de almacén y sedimentación de aceite de motores auxiliares, el tanque de consumo diario de fuel, el tanque de aceite de cilindros del motor principal de sedimentación y el de almacén, el de auxiliares y el tanque de expansión de agua de refrigeración de alta temperatura del motor principal.

En la segunda plataforma, un nivel por debajo, está situada a babor la sala de depuradoras.

En ella están las dos depuradoras de aceite del motor principal, las dos depuradoras de fuel del motor principal y una depuradora de aceite de motores auxiliares, con sus respectivos calentadores, bombas, válvulas reguladoras y paneles de control. Bajo las depuradoras está situado el tanque de lodos.

En la misma sala están situadas las bombas de fuel y diesel de alimentación de calderas, además de los filtros, calentadores y reguladoras.

También están aquí situadas las bombas de circulación y suministro de fuel al motor principal junto con los calentadores, el filtro automático, el viscosímetro, el caudalímetro y las reguladoras.

Adyacentes a la sala de depuradoras tenemos el tanque de sedimentación de fuel y tanques de consumo y sedimentación de diesel.

En esta plataforma, además de la sala de depuradoras, están localizados los tres motores auxiliares, el tanque cisterna del agua de alimentación de calderas con el tanque de observación de purgas, el tanque y los dos depósitos de cenizas de limpieza de la caldereta, las bombas de alimentación de las calderas y las de la caldereta, las bombas y enfriadores del agua de refrigeración del sistema centralizado, el evaporador, las bombas, el enfriador y el calentador del agua de refrigeración de camisas del motor principal, la válvula del exceso de vapor de alta presión, el compresor de emergencia, el separador de sentinas, el tanque hidrófobo y el esterilizador de agua potable, el tanque de aceite de cilindros del motor principal y la parte superior del motor principal, desde donde tenemos acceso a las culatas, válvulas de escape, válvula de aire de arranque, bombas de inyección, turbosoplantes parte superior del colector de barrido.

En la tercera plataforma, un nivel por debajo, tenemos el enfriador de aceite y el filtro automático de aceite del motor principal, las dos bombas de lastre, las tres turbobombas de descarga y el condensador de vacío. En esta plataforma hay un "tecle" que rodea el motor principal dando acceso al distribuidor de aire, cajas de engrase de camisas, consola de gobierno de emergencia, ventiladores auxiliares de aire de barrido, enfriadores de aire de barrido, detector de niebla del cárter, etc.

Adyacentes a esta plataforma se encuentran los tres tanques de almacén de fuel. En la cuarta y última plataforma por encima de las sentinas están localizadas las bombas de agua salada de refrigeración (bomba de puerto, dos bombas principales, bomba refrigeración

condensador de vacío), la bomba de agua salada de alimentación del evaporador, las bombas contra incendios y de servicios generales, las dos bombas de alimentación de agua del sello de cubierta de gas inerte, las bombas de extracción del condensado del condensador de vacío, la bomba de trasiego de fuel, la bomba de trasiego de lodos, la bomba de achique de agua de

sentinas, las bombas de aceite de lubricación del motor principal, el virador, el eje de cola, la bocina, el detector de fugas de fuel del motor principal, las tapas de acceso al cárter del motor principal y los tanques de aceite sucio, agua de sentinas, reboses de fuel, reboses de aceite, aceite de bocina, el tanque de aceite del cárter del motor principal y el tanque primario de decantación de agua de sentinas.

3.3.- SISTEMA DE GAS INERTE B/T TOLEDO SPIRIT

La principal razón para la instalación del sistema de gas inerte a bordo es el conseguir minimizar el riesgo de incendios o explosiones en los tanques de carga. El peligro siempre existe y se necesitan tres elementos para provocar la explosión, los cuales son: el elemento combustible representado por los vapores de los hidrocarburos de la carga y la propia carga, la energía necesaria para que empiece la combustión, representada por la chispa que puede venir de distintas fuentes y el oxígeno, que se consigue del aire (contenido del 21% oxígeno y un 79% nitrógeno).

Límites de explosividad: La mezcla del gas hidrocarburo y el aire tiene dos límites de explosividad, que son el límite de explosividad inferior (2 % de gas y 98 % de aire) y el límite de explosividad superior (10 % de gas y 90 % de aire). Cuando nos encontramos entre estos dos límites, la mezcla se convierte en inflamable. El gas hidrocarburo en una mezcla de gases con contenido en oxígeno únicamente arderá si el contenido de hidrocarburo en la mezcla está entre los límites superior e inferior de inflamabilidad. Esos límites que son respectivamente 10% y 2% y van acordes al contenido de oxígeno de la mezcla. Si el contenido de oxígeno es inferior al 11%, el hidrocarburo contenido en la mezcla no puede quemarse sea cual sea su concentración. Un contenido atmosférico inferior al 11% está considerado teóricamente inerte.

Respecto a los niveles de seguridad del oxígeno podemos decir que, durante las operaciones de la planta de gas inerte, es importante mantener los niveles de oxígeno lo más bajos posibles, para tener un mayor grado de seguridad. Estos niveles de oxígeno son: el 11% de oxígeno, mínimo nivel de oxígeno necesario para que se produzca una explosión (se considera ya fuera de los parámetros de seguridad); el 8% de oxígeno, es el máximo nivel de oxígeno permitido durante las operaciones de la planta de gas inerte (lo más adecuado es intentar disminuir este valor lo más rápidamente posible); el 5% de oxígeno; nivel de oxígeno satisfactorio (considerado el máximo nivel

admitido para conseguir que las operaciones que se lleven a cabo tengan una conclusión satisfactoria); menos del 3%: es el mejor nivel para realizar unas buenas operaciones.

Así pues, nos encontramos en un buque tanque con una serie de conceptos básicos respecto a este tema, que son los siguientes:

Gas Inerte: es un gas o mezcla de gases cuyo contenido en oxígeno es incapaz de producir la inflamabilidad de un combustible. A bordo es el resultado de la combustión de hidrocarburos (fueloil) usados como combustible en las unidades generadoras de vapor o en los generadores independientes de gas inerte. Se busca un gas inerte con contenido en oxígeno inferior al 5 % y con un reducido porcentaje de óxidos sulfurosos y partículas corrosivas que puedan dañar el sistema.

Estado inerte: un tanque posee estado inerte cuando su atmósfera contiene un porcentaje de oxígeno inferior al 8 %, conseguido mediante la introducción de gas inerte.

Planta de gas inerte: es un equipo especialmente instalado para suministrar, enfriar, limpiar, presurizar, vigilar y controlar el suministro de gas inerte a tanques de carga y residuos (slops)

Sistema de distribución de gas inerte: comprende válvulas, tuberías y accesorios empleados para distribuir el gas procedente de la planta a los tanques, así como ventilar o exhalar los gases a la atmósfera y proteger a los tanques de un exceso de vacío o presión.

Sistema de Gas Inerte: es el conjunto formado por la planta de Gas inerte junto con el Sistema de distribución. Ha de cumplir estrictamente con la normativa SOLAS. Las posibles operaciones relacionadas con el Gas Inerte son:

Inertización: introducción de gas inerte para conseguir que la atmósfera del tanque no sea inflamable ni explosiva. Un tanque con un 8 % de volumen de oxígeno máximo se considera inerte.

Desgasificación: introducción de aire fresco para remover gases tóxicos, inflamables o inertes a fin de obtener una atmósfera con un volumen de oxígeno del 21 %.

Purgado: introducción de gas inerte a un tanque ya en estado inerte para reducir aún más el contenido de oxígeno y/o reducir el contenido de gases de hidrocarburo presentes a un volumen tal que no pueda mantenerse la combustión si se admite después aire en el tanque.

Rellenado o topeo: introducción de gas inerte en un tanque ya en estado inerte para aumentar la presión dentro del mismo, con el objeto de impedir la entrada de aire atmosférico.

Este, deberá ser limpiado, filtrado, analizado etc. antes de su envío a tanques. En general se puede representar el flujo de gas inerte en este buque del modo siguiente:

Los gases de post-combustión de las calderas son tomados a su salida hacia la atmósfera y enviados a una torre de lavado, que los limpiará y enfriará, para su posterior distribución a los tanques de carga y residuos impulsados por los ventiladores, a través de un colector general dispuesto a lo largo de toda la cubierta que va dividiéndose en diferentes ramales hacia los tanques. En cubierta además se encuentran dispositivos que impiden el retorno de los gases a la zona segura: la válvula anti-retorno el sello hidráulico y una válvula de mariposa a la salida del sello hacia tanques.

Existen además en cubierta válvulas para cada tanque y la válvula de distribución general. En la zona segura se encuentran con válvulas como la de regulación, la de salida a la atmósfera y la de toma de gases. Se completa el sistema con sensores, indicadores, reguladores etc. Tanto de presión como de contenido en oxígeno. En los Sistemas de Gas Inerte el buque queda dividido en dos zonas:

La Zona Segura, que va desde la popa de la sala de máquinas hasta el mamparo que divide dicha sala con cubierta. En esta zona se encuentran principalmente: Válvulas de toma de gases de las calderas: los colectores de gas inerte llevan válvulas de aislamiento de los gases de combustión instaladas entre los conductos de humo de las calderas y el lavado de los gases. Cuando se accionan los sopladores de las calderas están válvulas se encuentran cerradas. Soportan temperaturas altas y corrosión. Son de mariposa. Además, a la entrada de vapor a los sopladores nos encontramos unas válvulas comandadas neumáticamente que en caso de estar la caldera produciendo gas inerte no nos deja pasar vapor a los sopladores.

Torre de Lavado: También conocida por su nombre en inglés scrubber su misión es enfriar el volumen de gas inerte, así como eliminar sólidos y productos de la combustión del azufre. Enfría hasta la temperatura de utilización, facilitando el manejo del gas y reduciendo el

riesgo de autoignición de los vapores de hidrocarburo en tanques. Tras el lavado se produce una deshumidificación en un deshumidificador.

Ventiladores: Dos. Serán capaces de impeler el 125 % de la máxima capacidad de las bombas de carga y mantendrán en todo momento presurizados los tanques. La presión máxima que el gas inerte ejercerá sobre un tanque no sobrepasará la presión de prueba de dicho tanque.

Válvulas de regulación del suministro de gas inerte y de escape a la atmósfera: Son válvulas de mariposa accionadas mediante actuador de diafragma, con posicionador. De control totalmente neumático están sujetas al arranque y al control preferencial de los pulsadores de descarga y recirculación ubicados en el centro de control del gas inerte (Control de Carga), si el contenido en oxígeno al paso por los ventiladores no es inferior al 5 % en volumen el gas inerte es enviado a la atmósfera. Así pues, regulan el flujo de gas inerte al colector principal y el escape a la atmósfera si es necesario.

Sensores, medidores, indicadores: miden presión, contenido en oxígeno, suministrando una información valiosa para el buen funcionamiento del sistema. Todos ellos conectados al panel que lleva a cabo el control de todos los dispositivos y válvulas de la instalación de gas inerte y que también controla los cuadros del gas inerte. Situados uno en el control de carga, otro en el control de máquinas y otro en la plataforma alta de las calderas junto a los analizadores de oxígeno.

La Zona de Peligro o Peligrosa, que se extiende desde el mamparo de división cubierta-sala de máquinas a la proa, comprende:

Sello hidráulico: Es uno de los dos dispositivos de no retorno de los gases a la zona que deben de existir, el otro será una válvula no retorno para cubierta, así como otra manual,

pero no sólo ha de impedir ese retorno de vapores de hidrocarburo o gas inerte a la planta, sino que además ha de ofrecer la mínima resistencia al paso del gas hacia el colector general de suministro de gas inerte.

El mayor peligro de retorno de gas hacia la zona segura del buque se produce cuando la planta está parada, por lo que es vital mantener en esta circunstancia un nivel hidráulico correcto y al sello con suministro continuo de agua y mantener los paneles indicadores que permitan advertir cualquier alarma en servicio. Evitar que el retorno del gas se produzca se hace mediante el peso de una columna de agua, principio sencillo y eficaz.

Válvula de retención mecánica: Es el segundo de los dispositivos exigidos para impedir el retorno de gases a la planta.

Válvula de distribución general a cubierta: También conocida como válvula de aislamiento o incomunicación a cubierta. Divide al colector principal entre el que va a cubierta y la zona a popa en el sector peligroso del sistema. Es de tipo mariposa y accionamiento manual, llamada a bordo mil vueltas.

Colector general y ramales a tanques: El colector corre por cubierta y va ramificándose en cada tanque.

Válvulas a ramales y tanques: Son de mariposa y manuales, disponen de brida ciega para su incomunicación y sistema de bloqueo por candados.

Ruptor: Es un primer dispositivo reductor de presión y vacío en el colector de suministro de gas inerte para impedir que los tanques de carga se vean sometidos bien a una presión superior a la de prueba del tanque o a una depresión inferior a 700 mm de columna de agua al descargar a máxima capacidad y fallar ventiladores. Consiste en dos tubos concéntricos, uno va

introducido dentro del otro y éste conectado al colector general; contiene una cantidad agua y anticongelante que llega a la mitad con presión atmosférica. Si hay sobrepresión el empuje del gas eleva y expulsa el líquido, escapando el gas por el ruptor.

En el caso de que haya vacío es la presión atmosférica la que empuja al líquido que se introduce en el tubo interior y el aire pasa al colector, el problema es que entra aire con un contenido en oxígeno del 21 %, por eso el ruptor es el último dispositivo de seguridad, pues

antes que él tenemos por ejemplo las válvulas P/V. Debemos asegurarnos siempre de tener agua en el ruptor. Este, en caso de navegación por zonas frías deberá de contener una mezcla de agua y glicol (cualquier alcohol sirve) con el fin de disminuir la temperatura de congelación del fluido.

Válvulas aliviadoras de presión/vacío (P/V o High Jet): estas válvulas se utilizan para la protección de los tanques de carga y consisten en una válvula de venteo de alta velocidad con una válvula de alivio de presión interna y una válvula de vacío, así como de la correspondiente rejilla antillamas. Se encuentran instaladas en el extremo de la tubería de ventilación de cada uno de los tanques de carga en cubierta. Cuando el buque se encuentra cargando o descargando, o bien en viaje, y la presión es superior a la establecida (presión de funcionamiento) o inferior a la mínima marcada, la válvula funciona expulsando la presión sobrante al exterior y evitando la explosión, o bien absorbiendo aire para que no se produzca una implosión.

El modelo utilizado en el buque referencia de este trabajo es el KLPH, siendo sus discos de presión y de vacío del tipo "contrapeso". Las válvulas se encuentran taradas a 0,14 kg/cm² en el lado de la presión positiva y a 0,035 kg/cm² respecto al apartado de vacío. Durante la carga y la descarga resultan obvias las razones por las que la presión en los tanques varía, dado que se está manejando el producto y además operando con el sistema de gas inerte del buque; sin embargo, cabe preguntar por qué durante el viaje son necesarias estas válvulas: pues bien, cubren el efecto de la respiración en los tanques debido a la variación térmica.

Mast Riser o Palo de Venteo: el del buque referencia del trabajo es de tipo KSFV, diseñado para la seguridad de los buques que transporten cargas de petróleo inflamables.

Este tipo de palo de venteo es usado para evitar la explosión debido a una presión excesiva, consecuencia de una presión excesiva debido a los gases generados por la carga en conjunto con el gas inerte en operaciones de carga, y también al aumento excesivo de presión resultado de subidas de la temperatura ambiente.

Está conectado a la línea principal de gas inerte y a diferencia de las válvulas aliviadoras, que son automáticas, el Riser es de funcionamiento manual, debe ser abierto o cerrado por el personal del buque (bien manualmente accionando directamente la válvula situada en la propia instalación del Riser o bien a distancia mediante un dispositivo de apertura/cierre hidráulico remoto; pero en ambos casos no funciona de manera automática si no que debe ser abierto o cerrado por orden del Oficial responsable). Dispone de una

rejilla antillamas en lo alto del dispositivo y un drenaje en su parte inferior para el agua y líquidos que se puedan acumular en su interior.

Conexión a tierra: existe una conexión a tierra de la línea principal de gas inerte, va situada en cada uno de los manifold mediante una conexión cruzada de forma que, de la línea de gas inerte principal salen dos líneas, una hacia cada manifold, cada una de las cuales se bifurca a la llegada al manifold cruzando por encima de las otras líneas y situándose una a proa y otra a popa del manifold. Así pues, se permite mediante este sistema la descarga a tierra de los gases de los tanques, es muy utilizado este sistema en el Norte de Europa, siendo incluso obligatorio en muchas terminales.

Chimenea de desgasificación: van una por tanque, su objetivo es la descarga libre de la mezcla de gases de un tanque a la atmósfera al desgasificar un tanque, proceso previo a la entrada en el mismo para efectuar una reparación o revisión. Consiste en un tubo vertical que sale del tanque y finaliza ensanchándose en una boca cubierta de una rejilla antillamas y una tapa con unos cierres adecuados.

CAPÍTULO IV

GENERADOR DE GAS INERTE DE COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA

Existen muchos tipos de generadores autónomos de gas inerte. El generador de gas inerte consiste en tres estructuras principales:

- a). La unidad de producción de gas inerte.
- b). La unidad de enfriamiento y lavado del gas inerte.
- c). La unidad de tratamiento final del gas inerte.

Además de estas tres unidades también forman parte de todo el conjunto: los componentes eléctricos, las bombas de agua, los compresores de aire y los diferentes sistemas de control y seguridad.

En el gráfico 4, viene un esquema general de funcionamiento del generador de gas inerte.

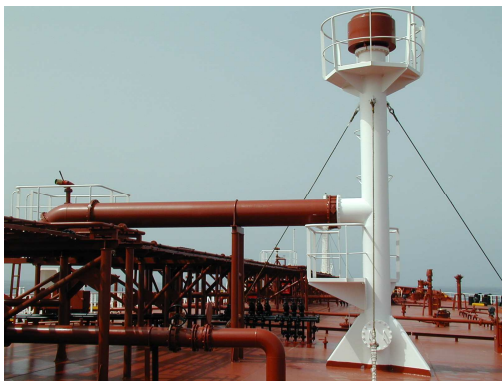


Imagen 2.- Palo de venteo (riser)



Imagen 3.- Válvula P/V presión vacío

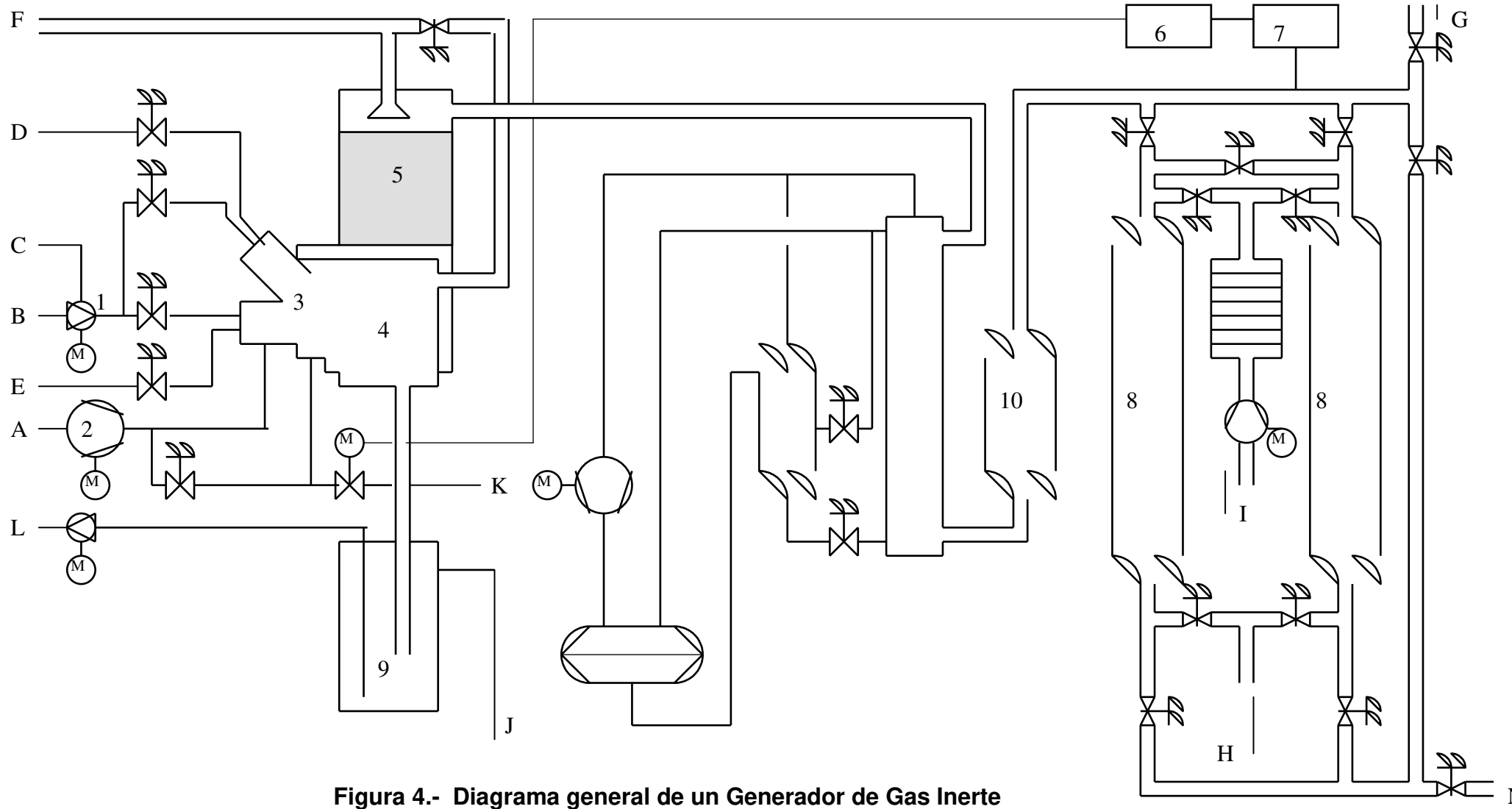


Figura 4.- Diagrama general de un Generador de Gas Inerte

RELACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE LA FIGURA 4.-

- A Entrada de aire
 - B Entrada de combustible
 - C Retorno de combustible
 - D Entrada de aire de instrumentos
 - E Entrada de vapor de agua
 - F Entrada de agua de refrigeración
 - G Salida de purga de Gas Inerte
 - H Salida de purga del aire de regeneración
 - I Entrada del aire de regeneración
 - J Salida de agua de refrigeración
 - K Salida de aire
 - L Salida de agua de refrigeración y condensado
 - N Salida del Gas Inerte a los tanques
-
- 1 Bomba de combustible
 - 2 Soplante
 - 3 Quemador y quemador de encendido con detector de llama
 - 4 Cámara de combustión
 - 5 Torre de lavado y enfriado
 - 6 Controlador de presión
 - 7 Analizador de Oxígeno
 - 8 Secador por absorción
 - 9 Sello de agua
 - 10 Dehumidificador

En rasgos generales, el funcionamiento principal de este generador o planta de gas inerte es como sigue:

- En la unidad de producción de gas inerte tiene lugar una combustión estequiométrica. Se mezclan en ciertas proporciones el aire (A) y el material de combustión (B), y la combustión tiene lugar en el quemador (4) donde se originan unas temperaturas muy altas. Es evidente que, tanto el suministro cuidadoso de la proporción correcta de aire (1) y combustible (2), como el tener una fuente de ignición propia (3), son esenciales para obtener un gas inerte de buena calidad, es decir, con la cantidad de oxígeno correcta y libre de cenizas y hollín.

- El gas inerte obtenido es enfriado y lavado dentro de una unidad de enfriamiento y lavado (5). Las partículas sólidas y las impurezas, como el dióxido de azufre y los óxidos nitrosos son filtrados.

- El gas frío es conducido a un separador (12) y posteriormente secado (10) quedando listo para el consumo (H). El propósito principal de esta unidad de tratamiento final o unidad de acondicionamiento es el de obtener un gas inerte con un punto de rocío lo más bajo posible.

Esta unidad de acondicionamiento se basa en dos etapas:

- Etapa 1. : Comprimir el gas, seguido de un enfriamiento indirecto hasta alcanzar la temperatura ambiente y se obtiene la expansión final. El punto de rocío obtenido depende de la variación de la presión y de la temperatura de enfriamiento obtenida.

- Etapa 2. : Secado en una unidad de absorción con unos productos absorbentes como el silicagel o el aluminagel.

- Además de la unidad de absorción de humedad, se puede también instalar unas unidades especiales de absorción para eliminar el dióxido de carbono, donde el contenido final puede ser reducido hasta 500 ppm ó incluso menos.

4.1 .- UNIDAD DE PRODUCCIÓN DE GAS INERTE.

En la unidad de producción de gas inerte es realmente donde se produce el gas inerte, que una vez depurado, limpiado y secado alcanzará la calidad suficiente para ser conducido hasta los tanques de carga para realizarse la operación de purga.

El elemento principal de esta unidad es, por supuesto, la Cámara de Combustión, que es a donde son conducidos todos los elementos necesarios para que ésta se produzca, tales como, el combustible a ser usado, el aire necesario para que se produzca la combustión, agua de mar para ser usado como refrigeración, y para completar el Triángulo del Fuego, una fuente de ignición que serían los quemadores principal y de encendido.



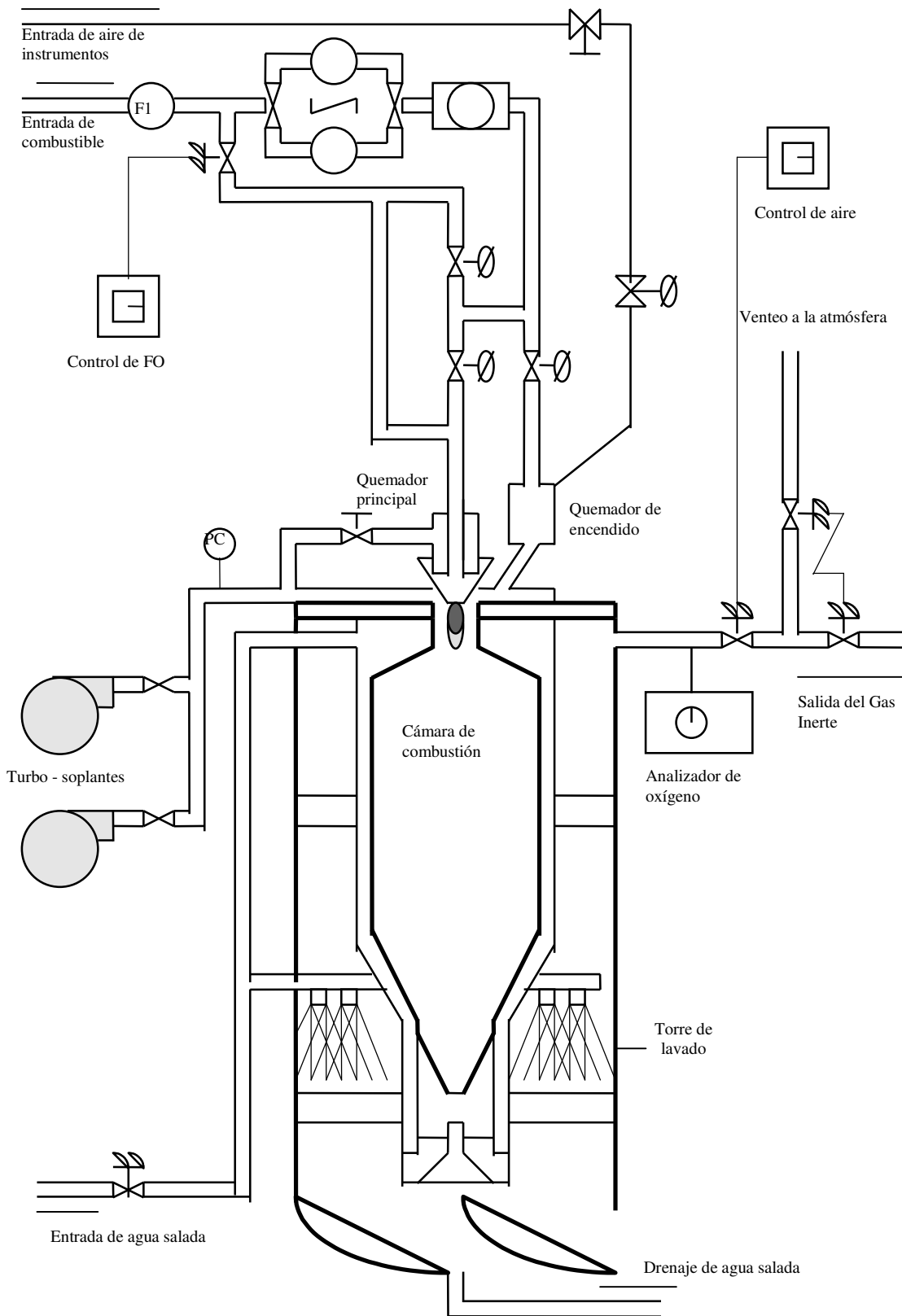
Imagen 4.- Vista general de la caldera de G.I.

4.1.1 .- CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Se denomina así al recinto cerrado en el que tiene lugar la combustión de la mezcla de aire y combustible. En ella, van montados los quemadores principal y auxiliar o de encendido.

Rodeando la cámara de combustión hay una chaqueta de agua dulce de refrigeración, diseñada de forma que el agua circule alrededor de la pared de la cámara de combustión en forma de espiral para optimizar la refrigeración, a fin de disipar el calor producido por la combustión.

Figura 5: Diagrama de la unidad de producción de Gas inerte



4.1.2.- SUMINISTRO DE AIRE DE COMBUSTIÓN.

El suministro de aire para la combustión se realiza por medio de una soplante (Blower) o compresor rotativo, que aspira un volumen constante de aire para enviarlo a presión al quemador principal. A fin de poder obtener una presión de pulverización correcta y, así mismo, para mantener el porcentaje de oxígeno en el gas inerte generado dentro de los límites deseados, se encuentra instalado en el circuito de descarga de la soplante un sistema de regulación por medio de válvulas manuales.

La soplante está protegida contra una alta contrapresión por medio de un presostato de alta presión, el cual, al ser activado, provocará una parada de emergencia del generador de gas inerte.

La soplante se puede utilizar también, para el suministro de aire seco a los tanques de carga o espacios de bodega con la instalación del Gas Inerte.

4.1.3.- ALIMENTADOR DE COMBUSTIBLE.

El combustible, suministrado desde un tanque destinado a este uso, es aspirado por una bomba que lo envía a presión constante al quemador, pasándolo previamente por una estación de filtrado.

La regulación de la presión se realiza por medio de una válvula de retorno, incorporada a la bomba, que sirve al mismo tiempo para derivar todo el flujo de combustible durante el período de purga-barrido en el momento del arranque.

El combustible llega a los inyectores de combustible del quemador principal pasando por dos electroválvulas (solenoid valves) gobernadas por un programador que se haya en el panel de control del generador y por dos válvulas manuales usadas, una para el ajuste basto, y la otra para el ajuste fino de la presión del suministro de combustible. Con estas válvulas manuales también se puede ajustar el contenido de oxígeno del gas inerte producido.

4.1.4 .- QUEMADOR DE ENCENDIDO (PILOT BURNER).

Tiene como objeto iniciar la combustión para lo que utiliza la chispa producida en el extremo de un electrodo. La tobera del quemador de encendido es alimentada por combustible suministrado por la bomba de combustible, mientras que el aire para la atomización y combustión procede del sistema de aire de instrumentación. Una vez establecida la llama, ésta es percibida por un sistema detector, que envía la información al equipo de control.

4.1.5 .- QUEMADOR PRINCIPAL (MAIN BURNER).

Una vez establecida la llama en el quemador de encendido, el equipo de control permite el paso de combustible al quemador principal y se inicia en éste la combustión. La llama se controla con ayuda del circuito de detección (detector de llama U.V.) y monitorización (relee detector de llama) que, en caso de fallo de encendido o de fallo de la llama durante el funcionamiento normal del sistema, comunica la información a la unidad central de control, la cual ordena el cese del aporte de combustible al quemador.

La atomización del combustible se realiza en dos etapas. Primeramente, debida a la propia tobera y luego, el combustible se encuentra sujeto a la acción tangencial del aire de combustión que llega al quemador por las ranuras de un anillo que lo rodea por su parte superior, el cual, sumado al flujo de impulso axial orientado del líquido, resulta en una dispersión ultrafina del combustible. La atomización óptima del combustible se alcanzará si la diferencia de presión sobre las ranuras del anillo es aproximadamente de 0,15 a 0,2 Bares; esto es, la diferencia entre la presión de combustión y la presión dentro de la cámara de combustión.

Cuanto más baja sea la presión de atomización, peor será la calidad de la combustión y se formará mayor cantidad de hollín y cenizas.

4.2 .- ENFRIADO Y SECADO DEL GAS INERTE.

4.2.1 .- TORRE DE LAVADO Y ENFRIAMIENTO (SCRUBBER).

El gas generado en la cámara de combustión, abandona ésta a una temperatura elevada y es enviado a la torre de enfriamiento y lavado (scrubber) en la que, por medio del agua de mar que sale a alta presión por unas toberas dispuestas a tal efecto, es enfriado hasta una temperatura ligeramente superior a la de entrada del agua salada.

En la misma torre tiene lugar el lavado de los gases y la eliminación de los óxidos de azufre e impurezas (ceniza y hollín) contenidas en el gas inerte generado en la cámara de combustión al ser quemado el combustible (fuel oil o gas oil), ya que éste siempre contiene cierta proporción de azufre.

En la torre de lavado el gas inerte se desplaza en sentido ascendente contra el flujo descendente del agua de mar. Para que exista un máximo contacto entre el agua suministrada a través de unos tubos rociadores situados en la parte alta de la torre de lavado, y el flujo de gas inerte que discurre en la dirección contraria, se dispondrá de varias unidades de uno ó más de los siguientes dispositivos:

- toberas de spray (atomizadores).
- bandejas de piedras deshechas (carbón) o virutas de plástico
- planchas de choque perforadas
- toberas venturi y ranuras

En la torre de lavado del generador podemos encontrar:

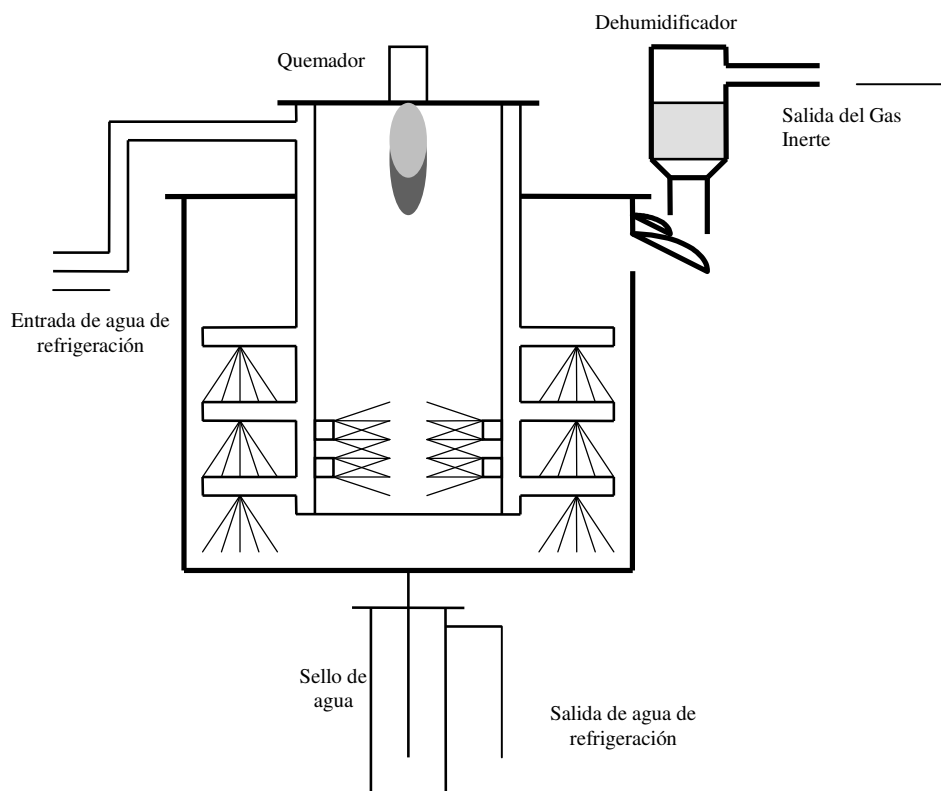
- a). En la parte baja donde entra el gas inerte a altas temperaturas, una capa de anillos de capa de acero inoxidable
- b). En la parte más alta, unos sillares de cerámica

Un deshumidificador situado en la parte más alta de la torre de lavado previene que la humedad del agua se vea transportada conjuntamente con el gas inerte. La humedad es

condensada y resuministrada en forma de gotas de agua, las cuales son llevadas afuera a través del sello de agua. El agua de mar es suministrada a los tubos rociadores de la torre de lavado y a la chaqueta de enfriamiento de la cámara de combustión a través de unos orificios, los cuales distribuyen el agua de enfriamiento en las proporciones correctas. El agua de mar que ha sido usada, tanto en la torre de lavado, como en la chaqueta de enfriamiento fluyen hacia un tanque de descarga.

El suministro de agua de mar está salvaguardado por alarmas de alta y baja presión. El suficiente enfriamiento de las paredes de la cámara de combustión está salvaguardado a su vez por una alarma de alta temperatura a la salida del agua de mar de la chaqueta de la cámara de combustión. Y finalmente, el suficiente enfriamiento del gas inerte está también salvaguardado mediante una alarma de alta temperatura que se encuentra en la línea de gas inerte a la salida de la torre de lavado.

Figura 6.- Diagrama de una Torre de Lavado



4.2.2 .- CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LA TORRE DE LAVADO

Algunas consideraciones de diseño de la torre de lavado y enfriado son las siguientes:

- La torre de lavado debe ser de un diseño en relación al tipo de barco, carga y equipo de control de la combustión de la fuente de suministro de gas inerte, y ser capaz de realizar su función con la cantidad de gas inerte requerida por la regulación 62 a la presión diferencial de diseño del sistema. (Regla 62 de la Convención SOLAS 1970: "El sistema debe ser capaz de suministrar gas inerte a un ritmo de por lo menos el 125 por ciento de la máxima capacidad de descarga de las bombas de carga.")

- El desempeño de la torre de lavado trabajando al máximo flujo de gas inerte debe ser tal, que sea capaz de eliminar al menos el 90 por ciento del dióxido de azufre y de eliminar los residuos sólidos (ceniza y hollín) de forma efectiva.

- Las partes internas de la torre de lavado deben estar construidas de materiales resistentes a la corrosión, debido al elevado efecto corrosivo del gas inerte. Alternativamente, las partes internas podrían estar revestidas con goma, resina de fibra de vidrio u otro material equivalente, en cuyo caso podría ser necesario que los gases de combustión fueran enfriados antes de ser introducidos dentro de la sección revestida de la torre de lavado.

- La carcasa de la torre de lavado debe estar provista de unas adecuadas aberturas con ventanas de vidrio que faciliten la visión, con el objetivo de que sea posible efectuar inspecciones, limpiezas, o, simplemente, para facilitar la observación del correcto estado de la misma. Las ventanillas de vidrio deben estar reforzadas para ser capaces de resistir impactos y ser resistentes al calor. Esto podría conseguirse por medio de un doble acristalamiento.

- El diseño de la torre de lavado debe ser tal que bajo condiciones normales de asiento y escora, su eficacia no caiga por debajo de más del 3 por ciento, ni que el aumento de la temperatura a la salida del gas inerte exceda más de 3 °C la temperatura de salida de diseño.

- La localización de la torre de lavado por encima de la línea del nivel del agua de mar debe ser tal, que el drenaje del agua recogida no se vea impedido cuando el barco se encuentre en la condición de máxima carga.

4.2.3 .- PRECAUCIONES QUE DEBEN SER TOMADAS AL USAR LA TORRE DE LAVADO

Cuando se está usando la torre de lavado se deben observar las siguientes precauciones:

- Se debe suministrar el agua de mar a la torre de lavado antes de empezar el flujo de gas inerte, para prevenir el sobrecalentamiento o el daño de las capas anticorrosivas internas.
- El flujo de agua debe ser controlado dentro de los límites de diseño; un flujo excesivo causaría una inundación y su transporte por la línea podría originar la formación de hidratos.
- Deben ajustarse enfriadores asociados para producir vapores con el punto de rocío requerido; estos enfriadores se sobrecargarán debido a la gran cantidad de agua conducida.
- Las bandejas de desechos de piedras deben ser mantenidas limpias y deben ser chequeadas para desalojar los aros que podrían estar bloqueados.
- Los componentes internos deben ser inspeccionados regularmente para chequear la corrosión y la seguridad de su fijación.
- La suciedad y el atascamiento de los componentes en la trayectoria del flujo causarán una caída alta de la presión a lo largo de la unidad.

4.2.4 .- FUNCIÓN DE LAS SOPLANTES DE GAS INERTE. (BLOWERS)

Las soplantes se usan para mandar a los tanques de carga el gas inerte ya lavado en la torre de lavado.

La Regla 62.3.1 de la Convención SOLAS exige que se tenga al menos dos soplantes que sean, entre las dos, capaces de suministrar a los tanques de carga, gas inerte a un ritmo de al

menos el 125 % de la máxima capacidad de ritmo de descarga del barco expresado en volumen.

El buque, cuenta con dos soplantes que pueden cumplir con este requisito. La ventaja que tienen, es la de que si una de las soplantes se estropea, la otra sólo es capaz de mantener una presión de gas positiva en los tanques de carga sin demorar la descarga del buque.

4.2.5 .- CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LAS SOPLANTES

Algunas consideraciones de diseño para las soplantes son:

- La carcasa de la soplante debe estar construida de un material resistente a la corrosión o, alternativamente, de acero suave; pero, entonces, sus superficies internas deben estar recubiertas de alguna aleación resistente o con goma o resina de fibra de vidrio u otro material equivalente para protegerla del efecto corrosivo del gas inerte.

- Los impellers deben estar contruidos en un material resistente a la corrosión. Los impellers de bronce aluminio deben ser relevados de tensión después de soldados. Todos los impellers serán testeados con una sobre-velocidad del 20% por encima de la velocidad de giro de diseño del motor eléctrico, o del 10% sobre la velocidad a la que la turbina operase, cualquiera que sea la aplicable.

- La carcasa debe estar provista de suficientes drenajes, ajustados con sellos de agua adecuados, para prevenir cualquier daño que podría ocasionar la acumulación de agua. Los drenajes deben estar de acuerdo con lo previsto en la Regla 3.15.4; o sea que, los sellos de agua deben estar colocados dos metros por debajo del equipo a ser drenado para drenar el punto más bajo de la curva.

- Deben proveerse medios, como por ejemplo limpieza de agua dulce, para eliminar la concentración de depósitos que podrían causar vibraciones durante la operación de la soplante.

- La carcasa debe estar adecuadamente reforzada para prevenir las vibraciones y debe estar diseñada y colocada de tal forma, que se facilite la extracción del rotor sin provocar ninguna molestia a las otras partes de las conexiones de entrada y salida del gas inerte.

- Deben proveerse suficiente aberturas en la carcasa para facilitar las inspecciones.

- Donde la soplante conste de dos diferentes ejes para el motor y la soplante en sí, debe estar provista de un acoplamiento flexible entre los dos ejes.

- Las características de presión y volumen de la soplante deben ser equiparables a los máximos requisitos del sistema. Las características deben ser tales, que en el caso de la descarga de cualquier combinación de los tanques de carga al máximo ritmo de descarga, se mantenga una presión mínima de 200 mm de columna de agua en cualquier tanque de carga en previsión de pérdidas de presión debido a:

- . La torre de lavado y deshumidificador
- . Las tuberías que conducen el gas caliente a la torre de lavado
- . Las tuberías de distribución después de la torre de lavado
- . El sello de agua de cubierta
- . La longitud y diámetro del sistema de distribución del gas inerte

- Si el motor principal es un motor eléctrico, entonces, éste será de la suficiente potencia como para que no se pueda producir una sobrecarga bajo cualquier condición de trabajo de la soplante. La potencia de sobrecarga requerida estará basada en las condiciones de entrada de la soplante (-5 °C a -400 mm de columna de agua) y en las de salida (0 °C a presión atmosférica). Se proveerá de las disposiciones que fueran necesarias para mantener todos los recovecos de la soplante en unas condiciones de sequedad absoluta, durante el tiempo en que ésta permaneciese inoperativo.

4.2.6 .- VÁLVULA REGULADORA DE LA PRESIÓN DE GAS INERTE Y DISPOSITIVOS DE RECIRCULACIÓN.

Este dispositivo de control de la presión deberá ser dispuesto para desempeñar dos funciones:

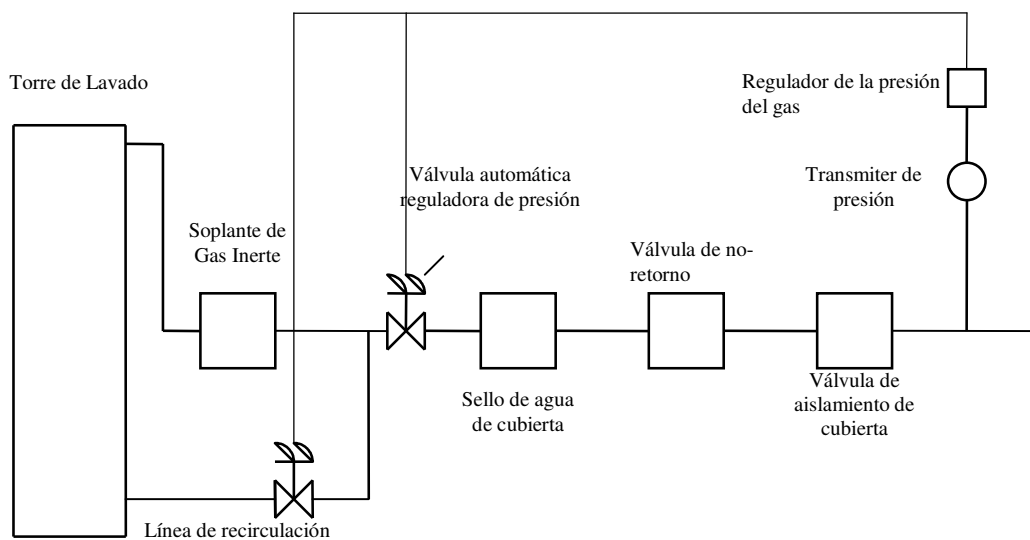
1.- Para prevenir automáticamente cualquier flujo de retorno de gas inerte en el caso de que existiera un fallo de la soplante de gas inerte, de la bomba de la torre de lavado, etc.; o cuando, aun trabajando correctamente la planta de gas inerte, existiera un fallo en el sello de

agua y/o en las válvulas mecánicas de no retorno y la presión del gas en los tanques de carga excediera a la presión de descarga de la soplante.

2.- Para regular el flujo de gas inerte a la línea principal de gas inerte de cubierta.

La disposición consigue cumplir con los dos objetivos anteriormente expuestos, mediante: Sistemas con una válvula automática de control de la presión y una línea de recirculación del gas.

Figura 7.- Diagrama del sistema de control automático de la presión.



Estas instalaciones permiten controlar la presión del gas inerte en cubierta sin tener que ajustar la velocidad de las soplantes de gas inerte. El gas inerte que no sea necesario en los tanques de carga, se recirculará hacia la torre de lavado o se venteará hacia la atmósfera. Las válvulas reguladoras de presión de gas inerte están dispuestas en la línea principal del gas inerte y también en la línea de recirculación; una viene controlada por un transmisor de presión y un regulador, mientras que la otra puede ser controlada, bien de una forma similar, o bien por medio de una válvula operada por peso.

El transmisor de presión está situado a continuación de las válvulas de aislamiento de cubierta; esto facilita que se mantenga una presión positiva en los tanques de carga durante la

descarga. Sin embargo, esto no asegura necesariamente que la torre de lavado no se sobrecargará durante las operaciones de inertado y purga.

4.3.- FUNCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE NO-RETORNO.

El Sello de agua y la Válvula mecánica de no-retorno, ambas conjuntamente, componen los medios para prevenir automáticamente el flujo de retorno de los gases de la carga desde los tanques de carga hacia el espacio de máquinas u otra área de seguridad en el que se encuentre localizada la planta del Gas Inerte.



Imagen 5.- Válvula de no retorno de Gas Inerte

4.3.1 .- SELLO DE AGUA TIPO HÚMEDO.

El sello de agua descarga el agua de enfriamiento y el condensado generado en el generador, sin que el gas tenga posibilidad de escapar.

El sello actúa como la principal barrera para permitir el suministro de gas inerte hacia cubierta, pero previene de cualquier tipo de flujo de retorno del gas de carga hacia el generador de gas inerte, incluso cuando éste se encuentre parado. Por ello, resulta fundamental que el

suministro de agua de mar se mantenga ininterrumpidamente al sello, particularmente siempre que la planta de gas inerte esté parada. Adicionalmente, los drenajes del sello deben ser conducidos directamente afuera del barco y no deberían pasar a través del espacio de máquinas.

Aunque existen diferentes diseños de sellos, el buque adopta el de tipo húmedo.



Imagen 6.- Sello de agua en cubierta

Este es el tipo más sencillo de sello de agua. Cuando la planta de gas inerte está operando, el gas burbujea a través del agua desde la tubería de entrada de gas inerte sumergida dentro del agua, pero si la presión en los tanques de carga es superior a la presión en la tubería de entrada de gas inerte, el agua es empujada hacia la tubería de entrada y esto previene el flujo de retorno.

El inconveniente de este tipo de sello de agua es el de que algunas partículas de agua se ven arrastradas con el gas inerte, el cual, aunque esto no perjudique la calidad del gas inerte, puede aumentar el efecto corrosivo de éste. De esta manera, se debe equipar con un deshumidificador a la salida del sello de agua para reducir la cantidad de agua arrastrada.

Figura 8.- Sello de agua de tipo húmedo.- Flujo de G.I. hacia los tanques.

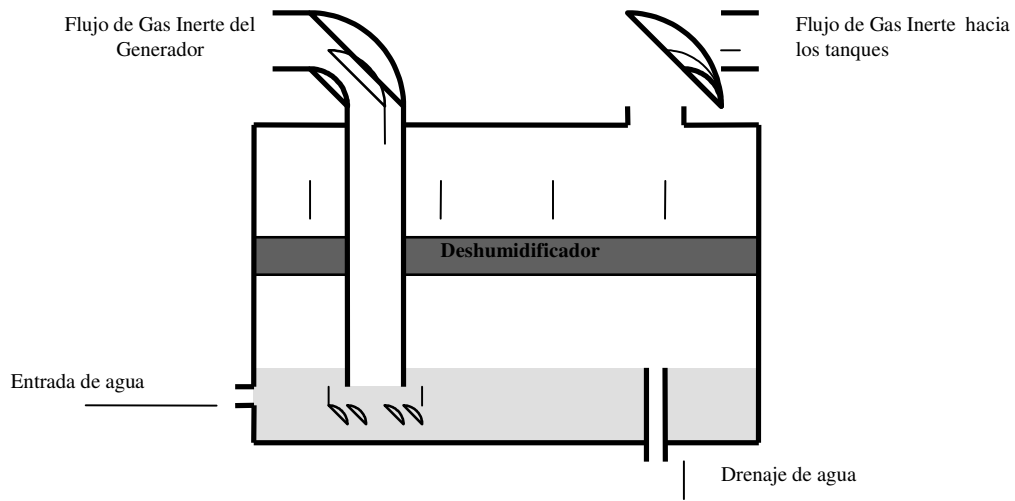
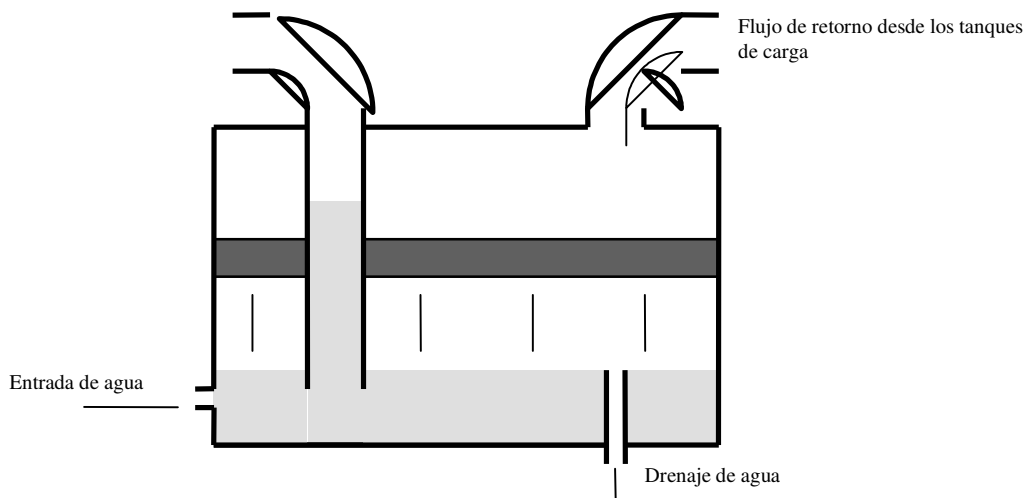


Figura 9.- Sello de agua tipo húmedo.- Contrapresión en los tanques.



4.3.2.- VÁLVULA MECÁNICA DE NO RETORNO Y VÁLVULAS DE AISLAMIENTO.

Como una precaución adicional para evitar cualquier flujo de retorno de los vapores de los gases desde los tanques de carga, y para prevenir cualquier flujo de retorno de líquido, el cual

podría entrar en el sistema principal de gas inerte si los tanques de carga estuvieran sobrecargados, la Regla 62.10.8 de la Convención SOLAS exige que una válvula mecánica de no retorno, o equivalente, sea dispuesta a continuación del sello de agua y se mantenga operativa automáticamente en todo momento.

Esta válvula tendrá que estar provista de unos medios efectivos de cierre o, alternativamente, de una válvula de aislamiento separada en cubierta a continuación de la válvula de no retorno. Este sistema tiene la ventaja de que se pueden ejecutar trabajos de mantenimiento en la válvula de no retorno.

4.3.3 .- VÁLVULA DE GAS INERTE.

Esta válvula debería abrirse cuando la planta de gas inerte tenga una parada de emergencia para prevenir que cualquier fuga pase de las válvulas de no-retorno al aumentar la presión en la línea de gas inerte comprendida entre la válvula reguladora de presión y éstas válvulas de no-retorno.



Imagen 7.- Sello, válvula no retorno y válvula manual (mil vueltas)

4.3.4 .- CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE NO RETORNO.

Algunas consideraciones sobre el diseño de este tipo de dispositivos de no retorno son:

- El material usado en la construcción de los dispositivos de no retorno deben ser resistentes al fuego y al ataque corrosivo de algunos ácidos formados por el gas inerte. Alternativamente puede ser usado acero al carbono protegido por un forro de goma o con una capa de resina de fibra de vidrio o de otro material equivalente. Debe tomarse una atención particular a la tubería de entrada de gas inerte al sello de agua.

- El sello de agua debería presentar una resistencia al flujo de retorno no menor a la presión establecida en el dispositivo de seguridad de presión/vacío que se haya en el sistema de distribución del gas inerte, y debería estar así diseñado para prevenir el flujo de retorno de los gases bajo unas condiciones de operatividad indeseables.

- El agua contenida en el sello de agua debería ser mantenida a un flujo regular de agua limpia a través del depósito del sello de agua.

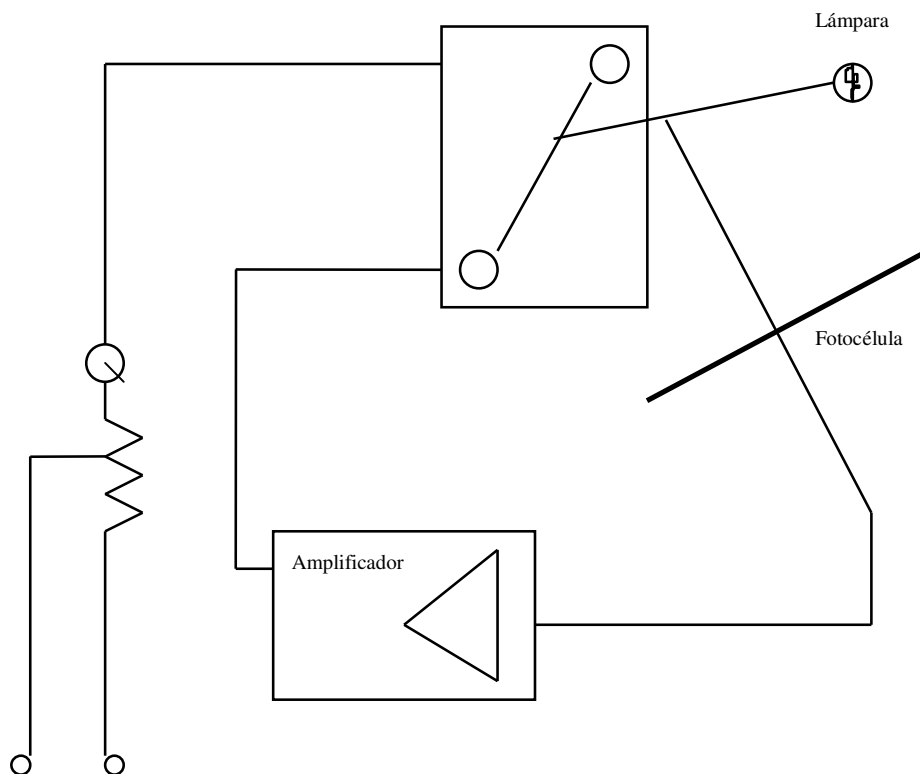
- El sello de agua debería estar provisto de ventanillas para mirar y aperturas de inspección, para permitir una observación satisfactoria del nivel de agua durante su operación y para facilitar una inspección minuciosa. Las ventanillas de inspección deben ser reforzadas y resistentes a impactos.

4.4 .- EL ANALIZADOR DE OXÍGENO.

El corazón de un medidor de oxígeno, de uso generalizado en plantas de generación de gas inerte, se basa en una célula de medida.

La posición cero (0) de la campana es recibida por una fotocélula de hendidura que recibe la luz reflejada por un espejo que se encuentra sobre la suspensión. La salida de la fotocélula es amplificada y retorna a una bobina sobre la campana, de tal forma que la torsión debida al oxígeno contenido en la muestra se equilibra con esa fuerza compensadora de retroalimentación.

Figura 10.- Esquema básico del analizador de oxígeno



Debido a la relación, extremadamente lineal, entre la corriente de retroalimentación y la susceptibilidad de la muestra a analizar, se puede obtener un voltaje de salida observable sobre las diferentes escalas de medida por medio de un interruptor atenuador. La forma lineal de la escala, también permite calibrar el instrumento para todas las escalas, comprobando en dos puntos solamente, con nitrógeno para el punto cero y con aire para el 21 % de oxígeno.

4.4.1 .- PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR DE OXIGENO

1.- Puesta en marcha.

Arranque el aparato, por lo menos, dos horas antes de que el instrumento sea necesitado. Si se van a usar las escalas más sensibles, procure que el aparato esté en marcha doce horas antes.

En una emergencia el analizador puede ser usado al cabo de media hora de su puesta en marcha, pero la calibración deberá ser calibrada al cabo de dos horas.

Es necesario llenar el recipiente de burbujeo con agua dulce, previamente a su puesta en marcha.

2.- Sistema de muestra.

Revise el sistema de muestra de acuerdo con las instrucciones dadas al respecto por el fabricante, y asegúrese de que todas las líneas se encuentren limpias.

3.- Calibración del analizador.

Para realizar la puesta a Cero del analizador conviene seguir los siguientes pasos:

- Desconecte la lámpara y el Feedback.
- Ponga el interruptor de escala de oxígeno en el 25%.
- Ajuste el amplificador de cero hasta que el indicador de una lectura entre 0 y 2,5% de oxígeno en la escala.

- Conecte de nuevo la lámpara y el feedback.

4.- Comprobación del cero del gas.

Para esta revisión se utiliza, normalmente, nitrógeno libre de oxígeno. La comprobación se hará siguiendo los siguientes pasos:

- Compruebe que el flujo de muestra es normal en los dos tubos sumergidos en la cámara de burbujas.

- Espere durante un par de minutos a que el analizador se equilibre.

- Ajuste el control mecánico del cero.

- Cuando la indicación sea aproximadamente correcta, abra el interruptor de Feedback.

Esto aumentará la sensibilidad en un factor igual a 100 por lo menos. Por ejemplo, si la escala

indicadora es, aproximadamente, 0,25% de toda la escala, y permite un ajuste más exacto del cero.

- Cierre el interruptor del Feedback.

5.- Comprobación del máximo de la escala.

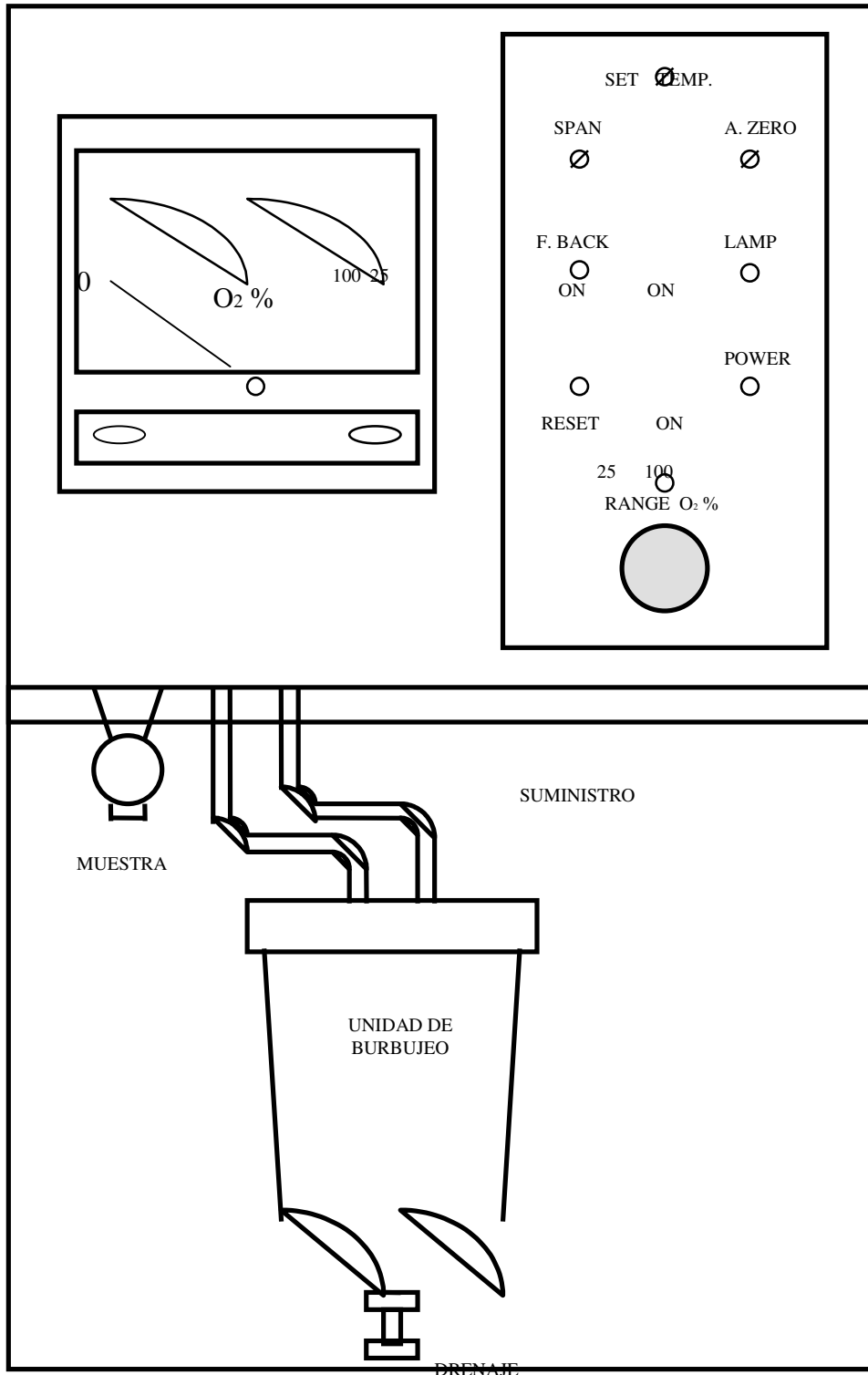
Para esta comprobación se usa, normalmente, aire seco del suministro del buque. Se realizará el siguiente procedimiento de calibración:

- Compruebe que el flujo de gas de muestra sea normal.

- Espere un par de minutos a que el analizador se equilibre.

- Ajuste el control de span para que dé una lectura correcta. Siendo ésta la correspondiente a la cantidad de oxígeno que se contiene en el aire seco. Este valor se encontrará marcado en rojo en la escala de medición del analizador.

Figura 11 .- Vista frontal del Analizador de Oxígeno.



4.5 .- INSTRUMENTACIÓN Y ALARMAS.

Se exige para la realización de una operación con las máximas garantías de eficacia y seguridad, cierto tipo de instrumentos fijos y portátiles, siendo lo deseable que todos ellos estén graduados con un mismo sistema consistente.

Se debe poseer instrucciones claras para la operación, calibración y testeo de todos los instrumentos y alarmas, existiendo facilidades suficientes para una conveniente calibración.

Todos los equipos de alarmas e instrumentación, de acuerdo con la Regla 62 de SOLAS, deben estar diseñados para resistir cualquier variación del suministro eléctrico. Cambios en la temperatura ambiente, vibraciones, humedad, sacudidas, impactos y corrosión, tal y como se va a encontrar normalmente a bordo de los barcos.

4.5.1 .- INSTRUMENTACIÓN DE LA TORRE DE LAVADO.

La disposición de la instrumentación y alarmas de la torre de lavado debe ser la siguiente:

- El flujo de agua a la torre de lavado debe estar monitorizado bien mediante un flujómetro, bien por un manómetro de presión. Deberá sonar una alarma cuando el flujo de agua caiga por debajo de una cantidad predeterminada por los requisitos de flujo de diseño, y deberán parar automáticamente las soplantes del gas inerte en el caso de una adicional reducción en el flujo. El ajuste preciso de las alarmas y las paradas de emergencia deberá hacerse en relación a los diseños de las torres de lavado y los materiales.

- El nivel de agua dentro de la torre de lavado debe estar monitorizado mediante una alarma de alto nivel. Esta alarma deberá activarse cuando se alcance un determinado nivel y la bomba de agua de la torre de lavado se parará cuando el nivel alcance los límites establecidos que dependerán del diseño de la torre y del nivel de rebose de la tubería de entrada que viene de la caldera.

- La temperatura del gas inerte en el lado de la descarga de las soplantes de gas deberá estar monitorizada. La alarma deberá sonar cuando se alcancen los 65 °C de temperatura y se

producirá la parada de emergencia automática de las soplantes cuando la temperatura alcance los 75 °C.

- Si fuera necesaria la instalación a la entrada de la torre de lavado de un enfriador para proteger los materiales de revestimiento de la torre, los dispositivos de alta temperatura estarían posicionados en la salida del enfriador en vez de a la salida de la soplante.

- Para monitorizar la eficacia de la torre de lavado, se recomienda que se indiquen las temperaturas de la entrada y la salida de agua de refrigeración y la presión diferencial de la torre de lavado.

- Todos los sensores de nivel, flotadores y demás sensores necesarios que estén en contacto con el agua o con el gas inerte deberán estar contruidos de materiales resistentes al ataque ácido.

4.5.2 .- INSTRUMENTACIÓN DEL SELLO DE AGUA.

Para el sello de agua de cubierta deberá sonar una alarma cuando el nivel de agua caiga por debajo de una cantidad predeterminada pero antes de que el sello se haga ineficaz.

La presión del gas inerte dentro del sistema debe estar monitorizada y sonará la alarma cuando la presión alcance el valor límite establecido de acuerdo al diseño de los tanques de carga, válvulas mecánicas de no retorno y sello de agua.

4.5.3 .- INSTRUMENTACIÓN DEL ANALIZADOR DE OXÍGENO.

La disposición para el analizador de oxígeno, registrador y equipo de indicación debe ser la siguiente:

- El punto de muestreo para el analizador de oxígeno y la unidad de registro debe estar localizada en una posición de la tubería de suministro después de la soplante y antes de la válvula reguladora de presión de gas inerte. En la posición elegida las condiciones de flujo turbulento prevalecerían en todas las salidas de las soplantes. El punto de muestreo debe ser

fácilmente accesible y debe estar provisto de conexiones apropiadas de limpieza con aire o vapor.

- La sonda de muestreo tiene que incorporar un filtro de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del instrumento. La sonda y el filtro deben ser capaces de ser extraídos y limpiados o renovados si fuese preciso.

- El capilar del sensor que va desde la sonda de muestreo hasta el analizador de oxígeno debe estar de tal forma colocado que cualquier tipo de condensación que se produjera en el tintero del sensor no perjudicara a la muestra de gas alcanzar el analizador de oxígeno. Deben minimizarse el número de uniones entre tubos para evitar cualquier entrada de aire.

- Cualquier enfriador que hiciese falta en los tubos de muestreo deben estar instalados en el punto más frío del sistema; alternativamente, en ciertos casos, sería prudente calentar los tubos de muestreo para evitar condensaciones.

- La posición del analizador, debe ser elegida de forma que esté protegido del calor y de condiciones ambientales adversas, pero debe estar localizado lo más cerca posible del punto de muestreo para reducir el tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis al mínimo.

- La unidad de registro y los indicadores repetidores que son exigidos por la Regla 62.16 de SOLAS no deben estar localizadas en zonas sujetas a excesivo calor o vibraciones indebidas.

- La resistencia de los cables de conexión entre el analizador y el registrador deben estar de acuerdo con las instrucciones del fabricante del instrumental.

- El analizador de oxígeno debe tener una exactitud del 1 % de la escala mayor del indicador.

- Dependiendo de los principios de medición, los dispositivos de calibración del cero y valor de span deben estar provistos en las proximidades del analizador de oxígeno adaptados con conexiones apropiadas para los analizadores portátiles.

Debe existir un punto de muestreo localizado entre la válvula automática de regulación de la presión del gas inerte y el sello de agua para ser usado con los analizadores portátiles.

4.5.4 .- INSTRUMENTACIÓN DEL CONTROLADOR DE PRESIÓN.

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 aislamiento de no retorno y los tanques de carga, como indica la Regla 62.16.1 de SOLAS.

Cuando la presión que exista en la línea principal de gas inerte a proa de la válvula de no retorno caiga por debajo de 50 mm de columna de agua, debe sonar una alarma o producirse una parada de emergencia de las bombas principales de descarga (si estuvieran en marcha) como indica la Regla 62.19.8 de SOLAS.

4.5.5 .- ALARMAS.

Las alarmas exigidas en la Regla 62.19.1.7 de SOLAS deben dar indicación en el puente de navegación y en el espacio de Máquinas. Estas son:

- baja presión o bajo flujo de agua a la torre de lavado.
- alto nivel de agua en la torre de lavado
- alta temperatura del gas inerte a la descarga de la soplante.
- fallo de las soplantes
- contenido de oxígeno superior al 8 %
- fallo del suministro eléctrico a los controles automáticos de válvulas reguladoras
- bajo nivel de agua en el sello
- presión de gas por debajo de 100 mm de columna de agua
- alta presión de gas
- insuficiente suministro de combustible al quemador
- fallo de corriente eléctrica al generador

4.5.6 .- INSTRUMENTOS PORTÁTILES.

De acuerdo con la Regla 62.17 de SOLAS, los instrumentos portátiles deben estar capacitados para medir la cantidad de oxígeno y concentraciones inflamables de gas.

Con respecto a los medidores de gases de hidrocarburos, debe ser tenido en cuenta que los medidores que se basan en el principio de medición de filamentos catalíticos no son apropiados para medir concentraciones de hidrocarburos en atmósferas con deficiencia de oxígeno. Yendo más allá, los medidores que utilicen estos principios no pueden medir concentraciones de gases de hidrocarburos por encima del límite bajo de explosividad. En consecuencia, se exige la utilización de medidores que usen unos fundamentos que no se vean afectados por la deficiencia de oxígeno y que sean capaces de medir concentraciones de gases de hidrocarburos dentro y por encima de los límites de explosividad.

Para medir por debajo del límite de explosividad, donde haya suficiente oxígeno, los medidores de filamento catalítico son aceptables.

Todas las partes metálicas de los instrumentos portátiles y tubos de muestra que sea necesario introducir en los tanques deben estar conectados haciendo tierra con la estructura del barco con total seguridad mientras el instrumento y tubos de muestra estén siendo usados. Estos instrumentos portátiles deben ser del tipo intrínsecamente seguros.

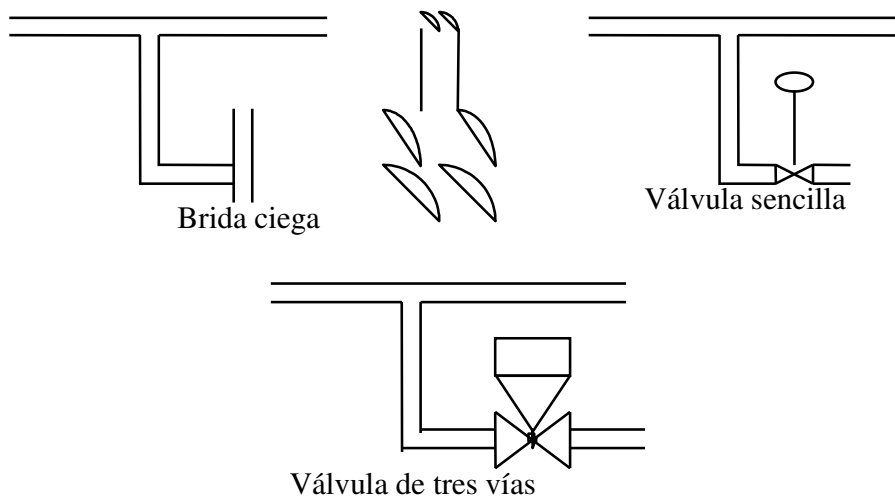
Deben existir suficientes tubos de muestra en los tanques para procurar un muestreo totalmente representativo de la atmósfera de los tanques de carga. Donde los tanques se encuentren subdivididos total o parcialmente mediante mamparos, se deben proveer de puntos de muestreo adicionales para cada subdivisión.

4.6 .- SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL GAS INERTE.

El sistema de distribución de gas inerte, junto con el sistema de ventilación de los tanques de carga, cuando sea aplicable, debe estar provisto de:

- Medios de suministrar el gas inerte a los tanques de carga durante las operaciones de descarga, limpieza de tanques, y para el topeo de la presión de gas en el tanque.
- Medios para el venteo de los gases a la atmósfera durante la carga y el deslastre.
- Puntos adicionales de entrada y salida para las operaciones de purga, inertación y desgasificación.
- Medios para aislar algunos tanques de carga individuales de la línea principal de gas inerte para la desgasificación y la entrada a los tanques. Esto se puede hacer mediante válvulas o dispositivos de embridado. Algunos ejemplos de estos tipos de dispositivos son los siguientes:

Figura 12.- Ejemplos de los métodos de aislar los tanques de carga de la línea principal de Gas Inerte.



- Medios de protección de los tanques del exceso de presión o vacío.

Pueden ser usados una gran variedad de diseños y procedimientos operativos para cumplir con estos requisitos. En el punto siguiente vamos a considerar algunas de las opciones más usadas y sus consecuencias operacionales más importantes.

4.6.1 .- CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA VÁLVULAS Y TUBERIAS EN EL SISTEMA DE GAS INERTE.

- Los materiales usados para las válvulas de aislamiento de los gases de combustión deben tener en consideración la temperatura de los gases en el guardacalor. El hierro fundido es aceptable para temperaturas por debajo de 220 °C. Las válvulas expuestas a temperaturas que excedan los 220 °C deben estar hechas de un material, no solamente compatible con la temperatura, sino también resistente a los efectos corrosivos de los gases de combustión.

- Las válvulas de aislamiento deben estar provistas de facilidades para mantener los asientos libres de ceniza, a menos que la válvula esté diseñada para cerrar con un asiento de acción limpiadora. Las válvulas aislantes del gas de combustión pueden estar también provistas con dispositivos de sello de aire.

- Si se consideran necesarias expansiones de fuelle, éstas deben tener una camisa interna suave y, preferentemente, estarán montados de forma que el flujo de gas que pasa a través de ellos sea vertical. Estarán contruidos de un material resistente a los charcos estancados de hollín altamente corrosivos.

- La tubería entre la válvula de aislamiento de los gases de combustión y la torre de lavado debe estar hecha de acero templado resistente a la corrosión y dispuesta de tal forma que se prevenga la acumulación de humedad ácida del hollín, mediante la eliminación de codos y ramales innecesarios.

- La tubería de entrada a la torre de lavado debe estar dispuesta de tal forma que se permita un aislamiento positivo de los gases de combustión previamente a desgasificar la torre de lavado para entrar en ella con propósitos de mantenimiento. Esto debe ser efectuado quitando un trozo de tubería y cegándola, bien mediante bridas, bien mediante un sello de agua, para prevenir cualquier tipo de fuga de gas de la cámara de combustión.

- La tubería de salida de la torre de lavado hacia las soplantes y líneas de recirculación debe estar hecho de un acero revestido internamente de forma conveniente.

- Se deben incorporar unos dispositivos convenientes de aislamiento en la entrada y salida de cada soplante, para permitir la revisión y mantenimiento de una de ellas mientras la otra está en marcha.

- La válvula reguladora de presión debe estar provista de medios para indicar si la válvula está abierta o cerrada. Donde la válvula sea usada para regular el flujo del gas inerte, ésta deberá ser controlada por la presión del gas inerte medida entre la válvula de aislamiento de cubierta y los tanques de carga.

- Las líneas de cubierta deben ser de acero y estar dispuestas de forma que se drenen ellas mismas. Deben estar fuertemente fijadas a la estructura del barco con dispositivos convenientes para tener en cuenta los movimientos debidos al mal tiempo, expansiones térmicas y flexiones del barco.

- El diámetro de la línea principal de gas inerte, válvulas y ramales deben tener relación con los requisitos del sistema. Para evitar una caída excesiva de la presión, la velocidad del gas inerte no excederá de los 40 m/s en cualquiera de las secciones del sistema de distribución cuando el sistema de gas inerte este operando a su máxima capacidad. Si se está usando la línea principal de gas inerte para ventear durante la carga, necesitamos tener en cuenta otros factores.

- Todas las aberturas de alivio de presión o vacío deben estar fijadas con ventanillas de fácil acceso para su limpieza o reposición. Estas ventanillas deben estar en las entradas y salidas de cada dispositivo de alivio y deben ser de una construcción lo suficientemente robusta para resistir la presión de gas generada a la máxima capacidad de carga y durante las operaciones de deslastrado mientras presenta la mínima resistencia.

4.7 .- OPERACIÓN DE LA PLANTA DE GAS INERTE.

Principios básicos:

- arranque de la planta de gas inerte
- parada de la planta
- revisiones de seguridad cuando la planta está parada.

4.7.1 .- PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE.

1.- Asegurarse de que la caldera o la cámara de combustión está produciendo un gas de combustión con un contenido de oxígeno menor del 5 % del volumen.

2.- Asegurarse de que todos los controles, alarmas y dispositivos de parada de emergencia están siendo alimentados eléctricamente.

3.- Asegurarse de que se mantenga satisfactoriamente la cantidad de agua para la torre de lavado y el sello de agua de cubierta, mediante las bombas seleccionadas a este efecto.

4.- Probar la operación de los sistemas de alarmas y características de las paradas de emergencia con una cantidad de agua en la torre de lavado y el sello de cubierta por encima del nivel normal.

5.- Revisar que las válvulas de entrada de aire puro de desgasificación, donde las haya, estén cerradas y los sistemas de cegado posicionados de forma segura.

6.- Cerrar el aire a cualquier dispositivo de sellado de aire para la válvula de aislamiento del gas de combustión.

7.- Abrir la válvula de aislamiento del gas de combustión.

8.- Abrir la válvula de aspiración de la soplante seleccionada, asegurarse que estén cerradas las válvulas de aspiración y descarga de la otra soplante, a no ser que se pretenda usar ambas soplantes simultáneamente.

9.- Arrancar la soplante.

10.- Probar la alarma de fallo de la soplante.

11.- Abrir la válvula de descarga de la soplante.

12.- Abrir la válvula de recirculación del sistema de regulación automática de la presión, para posibilitar que la planta se estabilice.

13.- Abrir la válvula de regulación del gas de combustión.

14.- Comprobar que el contenido de oxígeno se encuentra por debajo del 5 % del volumen, entonces cerrar la válvula de descarga a la atmósfera que se encuentra entre la válvula reguladora de presión del gas inerte y la válvula de aislamiento de cubierta.

15.- El sistema de gas inerte está ahora listo para ser suministrado a los tanques de carga.

4.7.2 .- PROCEDIMIENTOS DE PARADA.

1 .- Cuando haya sido comprobado que el contenido de oxígeno de la atmósfera de todos los tanques se encuentre por debajo del 5 % del volumen y se obtenga la presión requerida dentro de los tanque, cerrar la válvula de aislamiento de cubierta y la válvula de no-retorno.

2 .- Abrir el venteo a la atmósfera entre la válvula de regulación de presión del gas inerte y la válvula de aislamiento de cubierta/válvula de no-retorno.

3 .- Cerrar la válvula de regulación de presión del gas.

4 .- Parar la soplante del gas inerte.

5.- Cerrar las válvulas de aspiración y descarga de la soplante. Comprobar que los drenajes están libres. Abrir el sistema de limpieza de agua a la soplante mientras esté todavía girando con el suministro eléctrico del motor desconectado. Parar la planta de limpieza de agua después de un período conveniente.

6 .- Cerrar la válvula de aislamiento del gas de combustión y abrir el sistema de aislamiento de aire.

7 .- Mantener el flujo de agua a la torre de lavado.

8.- Asegurarse de que el suministro de agua salada al sello de cubierta esté funcionando satisfactoriamente, para que se mantenga un sellado de agua y que los dispositivos de alarma funcionen correctamente.

4.7.3.- COMPROBACIONES DE SEGURIDAD CON LA PLANTA PARADA.

1.- El suministro de agua y el nivel de agua del sello de cubierta deben ser verificados a intervalos regulares, al menos una vez al día, dependiendo de las condiciones climatológicas.

2.- Comprobar el nivel de agua en los codos de deposición de agua instalados en las tuberías de gas, transductores de agua o presión, para prevenir la presión de retorno de los gases de hidrocarburos hacia los espacios seguros.

3.- Con temperaturas ambientes frías, asegurarse que los dispositivos para prevenir el congelamiento del sello de agua de cubierta, rompedores de presión/vacío, etc. están correctamente.

4.- Antes de que la presión de gas inerte en los tanques inertados caiga por debajo de los 100 mm de columna de agua, éstos deben volver a ser presurizados con gas inerte.

4.7.4.- POSIBLES FALLOS DE LA PLANTA DE GAS INERTE Y MEDIDAS A SER TOMADAS.

1.- Alto contenido de oxígeno que puede ser causado o indicado por las siguientes condiciones:

- Pobre control de la combustión, especialmente bajo condiciones de baja carga.
- Arrastrando aire hacia el guardacalor cuando el rendimiento de la cámara de combustión es menor que la demanda de la soplante, especialmente con bajas condiciones de carga.

- Fugas de aire entre la soplante de gas inerte y el guardacalor de la cámara de combustión.
- Mala operatividad o calibración del analizador de oxígeno.
- Planta de gas inerte funcionando en el modo de recirculación.
- Entrada de aire a la línea principal de gas inerte a través de las válvulas de vacío, palos de venteo, etc. debido a una mala operación.

Si la planta de gas inerte está suministrando el gas con un contenido superior al 5 % de volumen, el fallo debe ser rastreado y reparado. La Regla 62.19.5 de SOLAS requiere, sin embargo, que todas las operaciones realizadas en los tanques de carga deben ser suspendidas si el contenido de oxígeno excede del 8 %, a no ser que la calidad del gas inerte se esté mejorando.

2.- Incapacidad para mantener una presión positiva durante las operaciones de descarga, que podría ser causadas por:

- Cierre inadvertido de las válvulas de gas inerte.
- Operación fallida del sistema de control automático de la presión de gas inerte.
- Presión de la soplante inadecuada.
- Ritmo de carga excesivo para la descarga de la soplante.

La operación de descarga debe ser parada o reducida dependiendo de si se puede mantener la presión positiva en los tanques mientras el fallo es rectificado.

4.8 .- MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES.

4.8.1 .- GENERAL.

Los dispositivos de seguridad son parte integral del sistema de gas inerte, y es importante para el personal del barco prestarle una atención especial durante cualquier inspección.

Esta sección versa sobre las inspecciones de rutina para algunos de los principales componentes de la planta de Gas Inerte:

4.8.2 .- TORRE DE LAVADO.

Las inspecciones deben hacerse a través de los agujeros de hombre. Deben hacerse comprobaciones sobre el ataque de la corrosión, incrustaciones y daños a:

- Al casco y fondo de la torre de lavado.
- Tuberías de agua de refrigeración y boquillas de spray
- Flotadores y sensores de temperatura
- Otras partes internas como bandejas y filtros deshumidificadores.

Se deben revisar los posibles daños ocasionados a las partes no metálicas, tales como:

- Forro interno
- Deshumidificadores
- Empaquetaduras.

4.8.3 .- SOPLANTES.

Hasta un grado limitado, una inspección visual interna nos revelará los posibles daños de una etapa cercana. Deben usarse sistemas de diagnóstico monitoreado, ya que éstos nos asistirán enormemente para mantener la efectividad del equipamiento. Mediante la disposición de dos soplantes de igual tamaño y guardando a bordo un impeler de respeto con un eje para cada soplante, se puede asegurar un nivel aceptable de disponibilidad. Para este propósito es adecuada una inspección visual a través de unas aperturas disponibles en la carcasa de la soplante.

Una inspección de las soplantes de gas inerte incluirá:

- Inspección interna de la carcasa de la soplante para descubrir depósitos de hollín o signos de sufrir ataques de corrosión.
- Examen del sistema portátil de limpieza.
- Inspección del funcionamiento de los dispositivos de inundación de agua dulce, donde éstos estén dispuestos.
- Inspección de las tuberías de drenaje de la carcasa de la soplante para asegurarse que están libres y operativas.
- Observación de la soplante en condiciones de funcionamiento buscando signos de una vibración excesiva, indicando un desequilibrio muy grande.

4.8.4 .- SELLO DE AGUA.

Esta unidad desempeña una función muy importante y debe ser mantenida en perfectas condiciones. No suele ser extraño encontrar tuberías de entrada oxidadas, y daños en las válvulas de flotador. La línea de drenaje a la mar y su conexión son también otras posibles fuentes de problemas.

Una inspección del sello de agua de cubierta debe incluir:

- Apertura para inspeccionar internamente:
 1. corrosión de las tuberías de entrada y alojamiento.
 2. corrosión de los serpentines de calentamiento.
 3. flotadores para el drenaje, válvulas de suministro y niveles oxidados o pegados.
- Probar el funcionamiento:
 1. llenado y drenaje automático.
 2. la presencia del arrastre de agua.

4.8.5 .- VÁLVULA DE NO RETORNO.

Para poder inspeccionar la válvula de no retorno, debe ser abierta para comprobar la corrosión y la condición del asiento de la válvula. El funcionamiento de la válvula debe ser comprobado durante la operación.

4.8.6 .- LINEA EFLUENTE DE LA TORRE DE LAVADO.

La línea efluente de la torre de lavado no puede ser normalmente inspeccionada internamente, excepto cuando el barco está en dique seco. La pieza (stub) del costado del barco, y la válvula de descarga a la mar deben ser inspeccionadas en cada período de dique seco.



Imagen 8.- Ruptor o breaker

4.8.7 .- PRUEBA DE OTRAS UNIDADES Y ALARMAS.

Debe trazarse un método para probar el correcto funcionamiento de todas las unidades y alarmas y será necesario simular ciertas condiciones para llevar a cabo un programa efectivo de comprobaciones.

Tal programa deberá incluir comprobaciones, tales como:

- Todas las alarmas y funciones de seguridad.
- El funcionamiento de las válvulas de aislamiento del gas de combustión.
- La operatividad de todas las válvulas automáticas u operadas a control remoto.
- El funcionamiento del sello de agua y válvulas de no retorno (con una prueba de contrapresión).
- Los niveles de vibración de las soplantes de gas inerte.
- Búsqueda de fugas en los sistemas de cuatro ó más años, deben ser examinadas las líneas de cubierta por una posible fuga de gas.
- La interrelación de las dos soplantes.
- El equipo de medición de oxígeno, tanto el portátil como el fijo, para comprobar su exactitud, mediante el uso de botellas de aire y de un gas de calibración apropiado.



Imagen 9.- Bajantes gas inerte a tanques

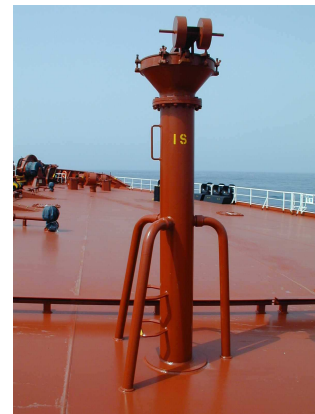


Imagen 10.- Chimenea de desgasificación

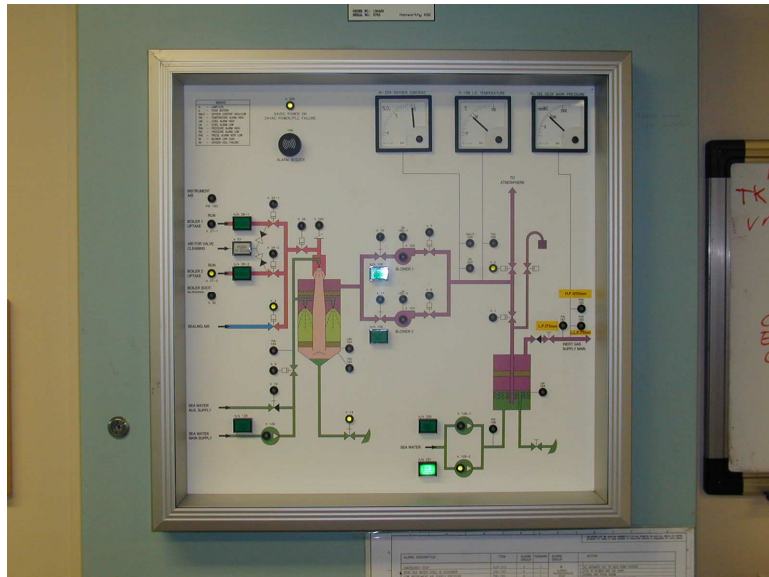


Imagen 11.- Cuadro control gas inerte control de carga



Imagen 12.- Analizador de oxígeno Eagle

3.8.8 .- PROGRAMA DE MANTENIMIENTO SUGERIDO.

Tabla 13 .- Programa de Mantenimiento

COMPONENTE	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	INTERVALO DE MANTENIMIENTO
VALVULAS DE AISLAMIENTO DEL GAS DE COMBUSTION.	Operar la válvula	Antes de arrancar y una vez a la semana
TORRE DE LAVADO	Limpieza con aire comprimido o vapor	Antes de operar la válvula
	Desmantelamiento para inspección y limpieza	Con la cámara de combustión parada
	Baldeo de agua	Después de usar
	Limpieza del deshumidificador	Cada tres meses
TUBERIAS Y VALVULAS DE DESCARGA DE LA TORRE DE LAVADO	Desmantelamiento de los reguladores de nivel y sensores de temperatura	Cada seis meses
	Apertura para completa inspección interna	En dique seco
	Limpieza con la bomba de agua de la torre de lavado durante 1 hora	Después de usarse
SOPLANTES	Desmantelamiento de la válvula para mantenimiento, inspección de la tubería y descarga a la mar	En dique seco
	Prueba de vibraciones	Mientras está en marcha
	Limpieza	Después de usar
	Inspección interna a través de escotillas	Después de la limpieza y cada seis meses
SELLO DE AGUA	Desmantelamiento para un completo mantenimiento de rodamientos, estanqueidad del eje y otros trabajos necesarios	Cada dos años o más frecuentemente si se necesita. En dique seco.
	Desmantelamiento de los reguladores de nivel/ válvulas de flotador para inspección	Cada seis meses
	Apertura para inspección interna completa	Cada año
VALVULA MECANICA DE NO RETORNO	Mantenimiento de las válvulas automáticas	Cada año
	Mover y lubricar las válvulas si es necesario	Cada semana y antes de arrancar
VALVULAS DE PRESION/VACIO	Apertura para inspección interna	Cada año/18 meses
	Operar y lubricar las válvulas	Cada seis meses
VALVULA DE AISLAMIENTO DE CUBIERTA	Apertura para mantenimiento completo e inspección	Cada año
	Apertura para mantenimiento	Cada año
SISTEMA REGULADOR DE PRESION DEL GAS	Quitar la condensación de los instrumentos, suministro de aire	Antes de arrancar
	Apertura de las válvulas para mantenimiento	Cuando sea apropiado
FRENOS DE PRESION/VACIO LLENOS DE LÍQUIDO	Comprobar nivel de líquido cuando el sistema esté a presión atmosférica	Cuando haya oportunidad y cada seis meses

CAPÍTULO V

SEGURIDAD PERSONAL Y SALUD

5.1 .- PRÁCTICAS DE SEGURIDAD.

Es muy importante que exista una correcta manipulación de los productos y asegurarnos del correcto funcionamiento de los dispositivos de seguridad de todo el equipamiento asociado a las diferentes operaciones a realizar a bordo de un buque petrolero. Por esta razón debe ser probado y comprobado todo regularmente. Las operaciones de desgasificación habrá que detenerlas en caso de haya una tormenta eléctrica en las cercanías.

5.2 .- EXPOSICIÓN A PELIGROS.

Todos los buques tanque están diseñados de tal forma que, en operaciones normales, el personal no tiene porqué estar expuesto a los riesgos de los productos que están siendo transportados. El barco y su equipamiento deberán estar en buen estado de mantenimiento y que las instrucciones operativas son observadas concienzudamente.

Sin embargo, en el caso de producirse alguna fuga accidental o algún procedimiento incorrecto, el personal podría quedar expuesto a algún producto líquido o gaseoso, por lo que el propósito de este capítulo es el de hacer una revisión de los riesgos a la seguridad, o la salud del personal que en tales circunstancias podrá presentar un camino a seguir para evitar sus efectos.

La mayor aproximación para evitar los riesgos a la seguridad del personal serían siempre, en orden descendente, extinción del riesgo, control del riesgo, y finalmente, protección del personal.

Un requisito esencial es también el reconocimiento de la necesidad de efectuar una instrucción minuciosa de todo el personal y una supervisión efectiva de todas las tareas donde se pudieran presentar riesgos. Tal instrucción iría más allá de la simple instrucción para aprender cómo usar el equipamiento o realizar procedimientos también incluiría el entendimiento de la naturaleza de los riesgos que en muchas ocasiones no son inmediatamente obvios.

En términos generales, los riesgos de sus vapores, pueden ser de cuatro tipos: asfixia, toxicidad, e inflamabilidad. Las hojas de Datos de los productos que podemos encontrar en el libro: "Guía de Seguridad en los buques tanque de ICS" (ICS Tanker Safety Guide) nos proporcionarán datos detallados sobre riesgos y seguridad para un amplio rango de esos productos.

5.2.1.- ASFÍXIA.

El cuerpo humano requiere aire con un contenido normal de 20,8 % de oxígeno para una normal respiración, aunque una atmósfera con algo menos de ese nivel de oxígeno puede ser también respirable durante un período sin que sea notado ningún efecto. La susceptibilidad de los individuos para reducir los niveles de oxígeno varía, pero a niveles por debajo de 19,5 % de oxígeno se produce, generalmente, un rápido ataque de deterioro del poder de movimientos y razonamiento. Este deterioro es particularmente peligroso debido a que la víctima no reconocerá su peligro, o se sentirá confuso y será incapaz de actuar correctamente o retraerse de su situación peligrosa. En niveles por debajo del 16 % de oxígeno, el ataque de inconsciencia será rápido y, si la víctima no es sacada rápidamente del área, será seguido de una parada respiratoria. A niveles más bajos de oxígeno, el tiempo de exposición para una supervivencia de emergencia se acorta rápidamente, e incluso si la víctima es sacada antes de producirse su muerte, podría haberse producido ya un daño irreparable en su cerebro.

La deficiencia de oxígeno por desplazamiento ocurrirá cuando están presentes en un espacio ciertas concentraciones de vapores de la carga o de gas inerte y, también debido a

otras razones (oxidación, etc.). Por esa razón y teniendo en cuenta que las concentraciones de gas en un espacio cerrado raras veces suelen ser homogéneas, es esencial que se prohíba la entrada a tales espacios hasta que un contenido normal de oxígeno (normalmente del 21 % en los analizadores de oxígeno) se haya medido en varios puntos de muestreo separados a diferentes niveles y lo más ampliamente dispersos posible.

Si es absolutamente necesaria la entrada y los criterios anteriormente expuestos no pueden ser establecidos, el personal que tenga que entrar lo hará con aparatos de respiración asistida.

5.2.2 .- TOXICIDAD.

Toxicidad es la capacidad que tiene una sustancia de causar daño al tejido humano, perjuicios en el sistema nervioso central, enfermedades o, en casos extremos, la muerte cuando es ingerido, inhalado o absorbido a través de la piel. La exposición a sustancias tóxicas provocará uno o más de los siguientes efectos:

- Irritación de pulmones y garganta, de los ojos y algunas veces de la piel. Cuando se produce la irritación a un bajo nivel de exposición, debe servir como un aviso que siempre debe ser obedecido. Sin embargo, esto no puede ser tomado al pie de la letra, ya que existen sustancias que provocan otros efectos tóxicos antes de que se produzca una irritación apreciable.

- Narcosis, lo que provocará una interferencia o inhibición del control o la capacidad de respuesta normal. Los sentidos se embotarán, los movimientos se volverán torpes y el razonamiento se distorsionará. Una exposición profunda y prolongada a una sustancia narcótica podrá producir anestesia (pérdida del conocimiento). Cuando se le saca a la víctima de la exposición a la sustancia narcótica, generalmente se recobrará; el peligro radica en que mientras esté bajo la influencia de ella, no responda a los estímulos normales y sea inconsciente del peligro.

- Daños de pequeña o gran consideración, e incluso permanentes en la piel o en el sistema nervioso. Esto puede ocurrir con algunos productos químicos a bajos niveles de concentración si la exposición es prolongada y frecuente.

Como guía de las concentraciones de vapor admisibles para una exposición prolongada, tales como las que se pueden producir en plantas de operación, las autoridades de varios gobiernos publicaron sistemas de Umbrales de valores límite (TLV – Threshold Limit Value) para las sustancias más manejadas por la industria. El sistema más comprensible y usado es el publicado por la Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales e Industriales (ACGIH). Los valores umbrales recomendados son puestos al día anualmente en vista de la experiencia y el aumento del conocimiento.

El sistema ACGIH contiene las siguientes tres categorías de TLV para describir adecuadamente las concentraciones de atmósferas contaminadas a las que se cree que el personal puede ser expuesto durante su vida laboral sin sufrir efectos adversos:

- TLV – TWA.: (Time weighted average) Concentración media para 8 horas diaria ó 40 horas semanales a lo largo de toda la vida laboral.

- TLV - STEL : (Short term exposure limit) Máxima concentración permitida para un período de exposición de 15 minutos de duración, con no más de 4 de esas exposiciones durante el día y al menos 60 minutos de diferencia entre cada una de ellas.

- TLV - C : (Ceiling) Concentración techo que no debería excederse incluso instantáneamente.

Mientras la mayoría de las sustancias citadas tienen asignadas un TLV-TWA y un TLV-STEL, solamente aquellas que son predominantemente de acción rápida vienen dadas con el TLV-C.

El TLV viene dado normalmente en ppm (partes de vapor por cada millón de partes de aire contaminado en volumen), pero puede ser también especificado en mg/m^3 (miligramos de la sustancia por metro cúbico de aire). Cuando se nombre el valor TLV, pero sin especificar si es TWA, STEL o C, significa que es TWA. Sin embargo, el TLV no puede ser considerado como una línea divisoria entre una concentración segura y otra de riesgo, sino que la mejor práctica irá encaminada a mantener las concentraciones por debajo de los TLV recomendados. Los TLV no están fijados permanentemente, sino que están sujetos a continuas revisiones. Siempre deberemos consultar la última revisión de estos valores.

5.2.3 .- TRATAMIENTOS MÉDICOS.

El tratamiento implica la extracción del accidentado de la exposición, la aplicación cuando sea necesario de respiración artificial, masaje cardiaco externo y la administración de oxígeno. Debe también proporcionarse tratamiento médico profesional en los casos en los que los accidentados hayan sido salvados de vapores tóxicos y/o irritantes. Es extremadamente importante etiquetar al paciente adecuadamente antes de trasladarlo del barco al hospital.

Tabla 14.- Etiqueta del paciente.

(Para la guía del Oficial Médico)			
1.	Nombre del paciente.....	Edad	
	Dirección del paciente		
		
	Nombre del buque	Rumbo al puerto	
	Nombre y dirección del empleador		
		
2.	El paciente estuvo expuesto agas		
	a am/pm., en20....		
	Grado de exposición		
	Suave	Moderado	Grave
	Características del gas		
	Asfixiante	Narcótico	Tóxico Irritante
3.	Breve sumario de los primeros auxilios administrados:		

5.3 .- EVALUACIÓN DE LA ATMÓSFERA.

5.3.1 .- GENERAL.

La atmósfera de los espacios cerrados debe ser comprobada en las siguientes circunstancias:

- Previamente a entrar el personal con o sin aparatos de respiración asistida y ropa de protección.
- Durante las operaciones de desgasificación y purga.
- Como control de calidad antes de cambiar de carga.
- Para establecer una condición de desgasificación previamente a entrar en astillero o en dique seco.

La atmósfera en los tanques de carga, raramente es homogénea. Con la excepción del amoníaco y el metano, la mayoría de los vapores de la carga a temperatura ambiente son más densos que el aire, el nitrógeno o el gas inerte. Esto provoca una estratificación dentro de los tanques de carga. Las estructuras internas del tanque pueden provocar la constitución de bolsas de gas aisladas. Por todo ello, las muestras, siempre que sea posible, deben ser tomadas en varias posiciones dentro del tanque.

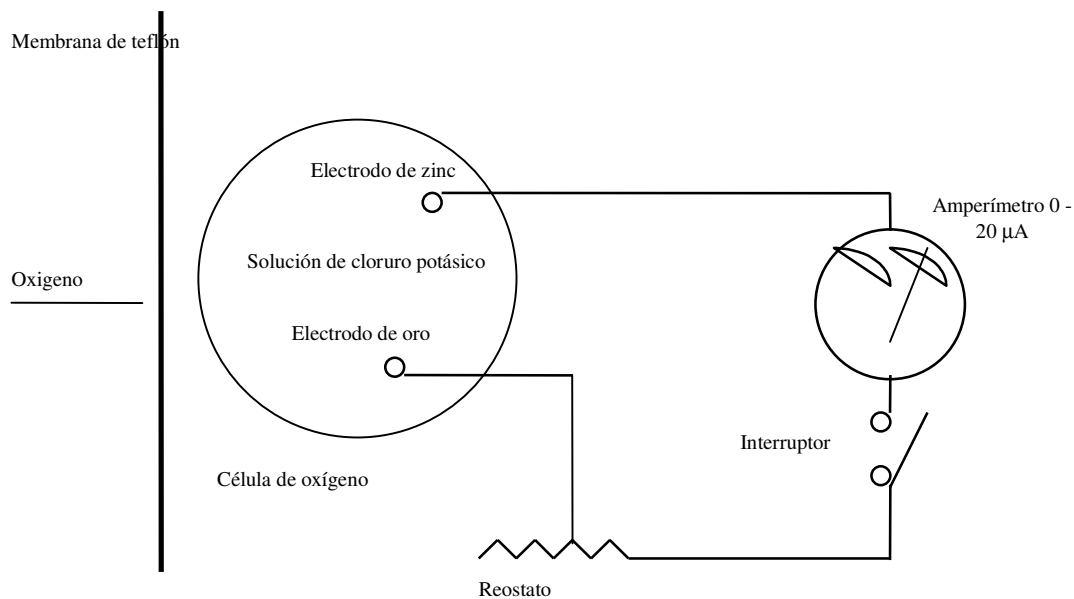
Las atmósferas que están inertadas o son deficientes en oxígeno no pueden ser comprobadas de forma fiable en busca de vapores inflamables con indicador de gas combustible. Por lo tanto los niveles de oxígeno deben ser comprobados en primer lugar, seguidos de comprobaciones de gases inflamables y luego de sustancias tóxicas. Todos los instrumentales eléctricos usados deben estar aprobados como intrínsecamente seguros.

5.3.2 .- ANALIZADORES / INDICADORES DE OXÍGENO.

Se dispone de varios tipos de analizadores de oxígeno.

El oxígeno se propaga a través de una membrana de teflón dentro de una solución de cloruro potásico y activa la célula química. Cuando el interruptor está apagado, la corriente fluye alrededor del circuito y desvía la aguja del amperímetro. Cuanto más oxígeno es absorbido por la solución, mayor es la corriente y el desvío de la aguja indica el porcentaje de oxígeno en la atmósfera que está siendo muestreada.

Figura 15.- Indicador de oxígeno.



Los instrumentos de tipo Polarográfico y Paramagnético son mucho más sensibles y necesitan baterías que deben ser del tipo recargable. Pueden tener escalas dobles, triples o digitales, cada una de las cuales tendrá una función separada. Por ejemplo:

- deficiencia de oxígeno – escala de 0 – 25 % O₂ de volumen
- oxígeno en el gas inerte – escala de 0 – 8 % de O₂ de volumen
- oxígeno en nitrógeno - escala de 0 – 1 % de O₂ de volumen

Estos instrumentos tienen que ser calibrados regularmente con aire fresco (21 % de oxígeno) y nitrógeno (0 % de oxígeno). La contaminación con líquido, o los efectos de la presión y la temperatura pueden descalibrar el instrumento.

5.3.3 .- MONITORES DE GAS INFLAMABLE MULTIPUNTOS.

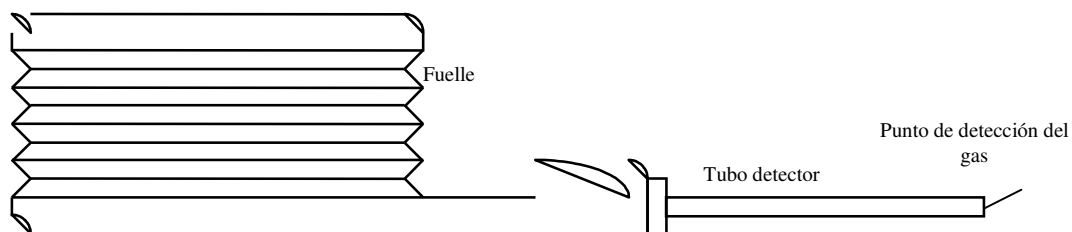
Los indicadores de gas inflamable catalíticos y de conductividad térmica son los más utilizados como aparatos portátiles, con aspiración manual e intrínsecamente seguros, para la comprobación de las atmósferas contenidas en los tanques de carga, espacios vacíos y otros espacios cerrados durante las operaciones de desgasificación y previamente a la entrada de personal.

Los indicadores catalíticos de gas combustible se usan también en forma de multipuntos para monitorizar continuamente ciertos espacios llenos de aire o ventilados, tales como, la sala de compresores, sala de motores eléctricos, espacios de máquinas, o bodegas de tanques de carga. En su forma de multipuntos, el indicador suele estar situado en el puente de forma centralizada o en algún lugar adyacente al control de carga. Las muestras son extraídas secuencialmente de cada uno de los puntos de muestra en los diferentes espacios monitorizados. Las indicaciones se graban automáticamente pero, en cualquier caso, se está provisto de diferentes alarmas individuales cuando se detecte un bajo porcentaje de LEL.

5.3.4 .- DETECTORES DE TOXICIDAD.

Los detectores de toxicidad comúnmente operan siguiendo el principio de absorción del gas tóxico en un tubo químico que produce un cambio de coloración. En la siguiente figura 16 mostramos un tipo común de detector de toxicidad.

Figura 16 .- Indicador de gas tóxico.



Inmediatamente antes de ser usados, tenemos que romper los dos extremos del tubo detector. Este es insertado en la unidad de fuelle, y se aspira la muestra a través de él.

La reacción que se produce entre el gas que se aspira y el contenido químico del tubo provoca un cambio de coloración. Normalmente la lectura de medición nos vendrá indicada por la longitud de la coloración en la escala del tubo y viene expresada en partes por millón (ppm). Con algunos tubos, sin embargo, tendremos que contrastar los cambios de coloración con otros provistos en las instrucciones de los tubos. Debido a que los tubos tienen una determinada duración, siempre viene indicada la fecha de caducidad y también viene acompañada de las instrucciones de uso, donde también vienen listados una serie de diferentes gases que interferirán en la exactitud de la lectura.

Es importante que la aspiración de la muestra realizada con el fuelle se haga correctamente si se quieren obtener resultados fiables. Normalmente, se comprimen los fuelles insertando el tubo todavía sin haberle roto los dos extremos, con el objeto de comprobar que el instrumento no sufre ninguna pérdida. Si la sufriese deberíamos cambiar el instrumento inmediatamente.

5.4 .- ENTRADA EN ESPACIOS CERRADOS.

Podemos encontrar unos procedimientos detallados que cubren la entrada en espacios cerrados en el "ICS Tanker Safety Guide (Liquified Gas)", "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen", "HMSO" y para cada terminal o barco específico, en el manual suministrado por la Dirección de operaciones.

Estas regulaciones variarán en los detalles, pero no en los principios que contienen, que pueden ser sumariados como sigue a continuación:

El personal no entrará a los tanques de carga, espacios de carga, espacios vacíos, espacios de manipulación de la carga u otros espacios cerrados donde se pudiera acumular el gas (incluido el gas inerte), o donde se sospeche que existe una deficiencia de oxígeno, a no ser que :

- a) el contenido de gas en tal espacio haya sido comprobado mediante un equipo fijo o portátil para asegurar suficiente contenido de oxígeno (21 %) y la ausencia de vapores tóxicos e inflamables.

- b) el personal llevando aparatos de respiración y el equipamiento de seguridad necesario, y toda la operación esté bajo la supervisión de un oficial responsable.

Las deficiencias de oxígeno pueden ser debidas a la presencia de vapores de la carga o gas inerte o simplemente al proceso de oxidación que absorbe el oxígeno del aire.

Debe investigarse siempre la presencia de vapores de carga o gas inerte en los tanques de carga, espacios de carga, túnel de la quilla o cualquier otro espacio separado de esos espacios por tan solo un mamparo, de forma similar en la sala de compresores u otro espacio de planta que contenga tuberías conectadas al sistema de carga.

Se pondrán en sitios prominentes carteles con el objeto de informar al personal sobre las precauciones requeridas, así como se añadirán Listas de Comprobación de Seguridad (Safety Check List) como requisito para asegurarnos que tales precauciones están siendo tomadas.

Es una buena práctica que el barco o la terminal publiquen un “permiso de entrada” escrito para el personal autorizado para hacerlo. Este permiso especificará la fecha, hora y el espacio concerniente y listará las precauciones que hayan sido tomadas ya y las que tienen que ser tomadas por el personal que entre.

El permiso puede, por adelantado, incorporar o ser apoyado por una lista de comprobaciones.

La experiencia nos muestra desgraciadamente que el rescate de una o varias personas que hayan sufrido alguna contingencia debido a la atmósfera de un espacio cerrado puede ser extremadamente peligroso para las víctimas o para los responsables de su rescate igualmente, a no ser que se ponga la más estricta atención a los procedimientos correctos y al uso del equipamiento apropiado.

Deben realizarse periódicamente ejercicios completos con maniqués pesados y usando todo el equipamiento y aparatos de respiración, pero en una atmósfera limpia, para que los

equipos de rescate estén convenientemente preparados para realizar su pesada tarea en una emergencia real.

5.5 .- PROTECCIÓN DEL PERSONAL.

5.5.1 .- APARATOS DE RESPIRACIÓN.

Como indicamos anteriormente, siempre es preferible alcanzar una condición de desgasificación en los tanques o espacios cerrados previamente a la entrada en ellos del personal. La entrada en los tanques en que esto no sea posible solamente estaría permitida en circunstancias excepcionales y cuando no exista otra alternativa practicable, en las cuales se debe llevar aparatos de respiración asistida (y si fuese necesario, trajes de protección).

Existen tres tipos de protección respiratoria:

a).- Respiradores de máscara con filtro.

Estos consisten de una máscara con un filtro reemplazable fijado en él, a través del cual pasa el aire contaminado por efecto de la respiración normal del usuario. Son muy simples de operar y mantener en buenas condiciones, se colocan rápidamente y pueden ser usados extensamente como protector personal con el propósito de un escape de emergencia en buques que transporten mercancías tóxicas, son, sin embargo, solamente adecuados con relativamente bajas concentraciones de gas. Una vez usados, no hay forma de saber la capacidad remanente del filtro. Los filtros son específicos para un limitado rango de gases y, por supuesto, el respirador no ofrece protección en atmósferas con bajo contenido de oxígeno. Por estas razones, los requisitos del Código IMO sobre protección para el escape de emergencia están encaminados al uso de otro tipo de aparatos de protección.

b).- Aparatos respiratorios de aire comprimido. ERA

En la versión de equipo de respiración autónoma (self-contained), el usuario lleva su propio aire para respirar en una botella de aire comprimido con una presión inicial de entre 135

y 200 bares. (La presión real a la que las botellas están cargadas a bordo supera los 300 bar debido a las inspecciones vetting). La presión se reduce a la salida de la botella hasta unos 5 bares y es llevada hasta la máscara cuando se necesite a través de una válvula de demanda suministrando una ligera presión positiva dentro de la máscara. La duración de trabajo depende de la capacidad de la botella de aire y de la demanda respiratoria. Los equipos vienen provistos de un indicador de presión y una alarma para avisar del agotamiento del suministro de aire.

Un equipo típico, suministrando aire para aproximadamente 30 minutos de operación con esfuerzo físico, puede pesar del orden de 13 kg y el transporte del contenedor a la espalda del usuario impone cierto tipo de restricciones en su maniobrabilidad dentro de espacios cerrados reducidos. Aunque cuando está correctamente ajustado, el equipo es de operación sencilla y automática, su mantenimiento requiere cuidados y habilidad. Para asegurarnos su operatividad cuando los necesitemos, se comprobarán todos los meses y se llevarán y operarán durante los apropiados ejercicios, preferentemente usando unos equipos especialmente para los ejercicios con objeto de mantener los equipos siempre operativos y totalmente recargados.

Aunque las válvulas de demanda modernas están diseñadas para mantener una ligera presión positiva dentro de las máscaras, esto no presupone que prevenga de fugas provenientes de atmósferas contaminadas que pudieran introducirse dentro de la máscara. Aunque los materiales de las máscaras y sus contornos están diseñados para ajustarse a todo tipo de perfiles faciales y tamaños, es esencial que, antes de entrar en un espacio peligroso, se compruebe concienzudamente la estanqueidad de las máscaras de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Algunos tests prácticos han demostrado que es virtualmente imposible asegurar la estanqueidad continua en condiciones de operatividad sobre rostros con barba.

c).- Aparatos respiratorios de corta duración. Equipos de escape rápido (EEBD)

Distribuidos por la acomodación, cámara de bombas y sala de máquinas, listos para llevarlo en un set fácil de transportar cuando se lleva a cabo la inspección de algún espacio no contaminada como forma de asegurarse ante la posibilidad de encontrarse una atmósfera viciada. Estos equipos consisten en una botella de aire comprimido de reducido tamaño y en una capucha de polietileno que se puede poner rápidamente sobre la cabeza. Su duración está limitada a unos 15 minutos de no gran esfuerzo y el equipo debe ser usado únicamente con el propósito de escapar.

d).- Resucitador de oxígeno.

Este equipo se usa para suministrar respiración enriquecida con oxígeno para asistir a la recuperación de víctimas que hayan sufrido deficiencia de oxígeno o inhalación de gases tóxicos. Los equipos modernos son lo suficientemente portátiles como para ser llevados a los espacios cerrados para dar inmediato tratamiento a los accidentados y consisten en una máscara, una botella presurizada con oxígeno y unos controles automáticos para evitar el provocar daños a la víctima y dar una alarma audible en el caso de que exista una obstrucción en la salida del aire. El equipamiento viene provisto con una manguera estándar de 8 metros de longitud, por lo que la maleta con la botella y los controles puede ser puesta en un sitio seguro y llevarle solamente la máscara a la víctima cuando se encuentre yaciendo en un espacio de difícil acceso. Si se va a meter el equipo en una atmósfera contaminada, solamente se puede suministrar oxígeno puro con las debidas precauciones de uso si hay presente algún gas inflamable. Si se efectúa el tratamiento cuando la víctima ha sido sacada de la zona contaminada, existen medios de proporcionarle mezclas de aire y oxígeno extra.

Para realizar un óptimo uso de este equipamiento es necesario el aprendizaje de todos sus componentes. Se usarán botellas especialmente marcados para el aprendizaje para asegurarnos de que en una emergencia solamente se seleccionarán las que estén totalmente cargadas. Se deberá comprobar regularmente la presión y se remplazarán inmediatamente si es necesario.

CONCLUSIONES

El estudio del funcionamiento y manipulación de estos equipos resulta de gran importancia a la hora de querer entender los procedimientos operativos dentro de este tipo de buques tanque.

Aunque la manipulación y mantenimiento, en principio corresponde al departamento de máquinas, no está de más lograr entender su correcto funcionamiento y el porqué de cada equipo tanto de los sistemas en cubierta como la de máquinas.

Este estudio sobre el gas inerte está particularmente recomendado para profundizar en el conocimiento de la operatividad en la desgasificación de espacios de carga de suma importancia.

La aportación de este tipo de trabajos y su inclusión dentro de los Nuevos sistemas integrados de gestión resultan de gran utilidad, además de resultar sencilla su consulta para cualquier sistema del buque.

BIBLIOGRAFÍA

- ISGOTT, (2006) Fifth Edition *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*.
- IMO, (1990) Edition *Inert Gas Systems*
- “IMO, (2014) Cosolidated Edition **SOLAS**
- “**MARPOL**, Cosolidated Edition, 2017”, IMO
- OMS (1989) Segunda Edición *Guía Médica Internacional de A Bordo*. Ginebra
- INSTRUCTION MANUAL FOR **MOSS INERT GAS, SYSTEM SERIAL NO: 5991**
- **Gas inerte, limpieza de tanques y desgasificación en buques petroleros** (David Dios Lustres)
- **Manual de Lavado con crudo y gas inerte**. (José Luís China López, Vicente Hernández Santaella. COMME)
- Description and Maintenance Schedule for **Moss Combined Inert Gas generator**
- **Trabajos sistema gas inerte** (Jorge García Rivas y David Seijas Marante)
- **<https://www.wartsila.com>** (web)
- **www.ingenieriaindustrialonline.com** (web)
- **pemex.com** (web)
- **www.alfalaval.com** (web)