



**Universidad
de La Laguna**

Planta de gas inerte del B/T MENCEY

Trabajo Fin de Grado
Grado en Tecnologías Marinas
Junio 2023

Autor:
Carlos Adrián Espinosa Espinosa

43485867C

Tutora:
Prof. Dra. María del Cristo Adrián de Ganzo

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna

D^a. M.^a del Cristo Adrián de Ganzo, Profesora de la UD de Marina Civil, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Carlos Adrián Espinosa Espinosa** con **DNI 43485867C**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Planta de gas inerte del B/T MENCEY**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 01 de junio de 2023.

Fdo.: M.^a del Cristo Adrián de Ganzo

Tutora del trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Tras una vida dedicada al trabajo duro y a la superación sólo me queda agradecer a todos aquellos que me han dado alguna lección por pequeña que fuere para ser el hombre que soy. Consideraré este proyecto como el pistoletazo de salida hacia un proyecto de vida en el que han invertido todos aquellos que me han hecho ir por la senda en la que hoy camino.

*En especial me gustaría nombrar a mi tutora en este trabajo, mi padre, a mi familia y en especial a ti Mamanena. A todos ellos y los que llegarán,
Muchísimas gracias.*

Índice del TFG

1.Introducción	9
2.Objetivos.....	11
3.Revisión y antecedentes.....	13
3.1. Introducción histórica.....	13
3.2. Principios generales	14
3.2.1. Situaciones que favorecen a la combustión de un tanque.....	14
3.2.2. Gas inerte.....	15
3.3. Planta de gas inerte típica	15
3.3.1. Elementos principales que componen la planta de gas inerte	16
4. Metodología	21
4.1. Material.....	21
4.2. Documentación bibliográfica.....	25
4.3. Metodología del trabajo de campo	25
4.4.Marco referencial.....	25
5. Resultados.....	27
5.1. Principio de funcionamiento.....	27
5.2. Emplazamiento de los bloques de equipos que intervienen en la inertización	28
5.2. Generador de nitrógeno.....	31
5.2.1. Compresores de aire de alimentación	31
5.2.2. Bloque de filtros	37
5.2.3. Membranas para la generación de nitrógeno.....	41
5.2.4.Válvula reguladora de caudal	43
5.3.Alimentación eléctrica de la planta	46
5.4.Funcionamiento del sistema	48
5.5.Sistema de control	50
5.6.Operativa de la planta de gas inerte.....	53

6. Conclusiones.....	57
7. Bibliografía	59
8. Anexos	61
Anexo I. Plano con características del buque tanque Mencey Fuente:Manuales B/T Mencey.....	61
Anexo II. Diagrama de flujo para la puesta en marcha de la planta Fuente: SGI de DM Petrogás.....	62

Índice de figuras

Figura 1. Triangulo de fuego. Fuente: (Louzán Lago, 2020)	16
Figura 2. Torres de scrubber. Fuente: (Louzán Lago, 2020).....	19
Figura 3. Ventiladores de gas inerte. Fuente (Louzán Lago, 2020).	20
Figura 4. Sello de cubierta. Fuente: (Louzán Lago, 2020).	21
Figura 5. Ruptor de cubierta actuando en condiciones de presión y vacío excesivos. Fuente: (Louzán Lago, 2020).	22
Figura 6. B/T Mencey. Fuente: (DM Petrogas, s.f.).....	24
Figura 7. Servo del aparato de gobierno. Fuente: Trabajo de campo.....	25
Figura 8. Motor principal B/T Mencey. Fuente: Trabajo de campo.....	26
Figura 9. Generador de cola. Fuente: Trabajo de campo.....	27
Figura 10. Motores auxiliares. Fuente: Trabajo de campo.....	27
Figura 11. Compresor A Fuente: Trabajo de campo.....	31
Figura 12. Compresor B. Fuente: Trabajo de campo.	31
Figura 13. Armario del bloque de membranas. Fuente: Trabajo de campo.....	32
Figura 14. Bombas de agua salada. Fuente: Trabajo de campo.	33
Figura 15. Helicoides del compresor. Fuente: (Maritime Protection Norway, 2018).	34
Figura 16. Enfriador tubular de aceite del compresor B. Fuente: Trabajo de campo.	35
Figura 17. Válvula de apertura de agua salada al compresor A. Fuente: Trabajo de campo.	35
Figura 18. Enfriador de placas. Fuente: Trabajo de campo.....	36
Figura 19. Bomba de agua dulce a enfriadores. Fuente: Trabajo de campo	37
Figura 20. Tanque de compensación de presión. Fuente: Trabajo de campo.....	37
Figura 21. Esquema de los compresores. (Maritime Protection Norway, 2018).....	39
Figura 22. Bloque de filtros. Fuente: Trabajo de campo.....	40
Figura 23. Purgadores de los filtros de partículas. Fuente: Trabajo de campo.	41
Figura 24. Calentador de aire. Fuente: Trabajo de campo.....	42
Figura 25. Válvulas de interconexión entre membranas y bypass. Fuente: Trabajo de campo.	43

Figura 26. Compresor de aire de pilotaje. Fuente: Trabajo de campo.	43
Figura 27. Representación del proceso de adsorción. Fuente: (Maritime Protection Norway, 2018).	44
Figura 28. Contenedores de las membranas en paralelo. Fuente: Trabajo de campo	45
Figura 29. válvula reguladora de caudal. Fuente: Trabajo de campo.	46
Figura 30. Sello de cubierta. Fuente: Trabajo de campo.	47
Figura 31. Colector de la línea de cubierta. Fuente: Trabajo de campo.	48
Figura 32. Tubería de gas inerte entrando a un tanque de carga. Fuente: Trabajo de campo	48
Figura 33. Esquema de barras del controlador Lyngso. Fuente: Trabajo de campo.	49
Figura 34. Seccionador directo de barras a hélice de proa. Fuente: Trabajo de campo.	50
Figura 35. Seccionadores de la hélice de proa y de la planta de nitrógeno. Fuente: Trabajo de campo	51
Figura 36. Cuadro de alimentación de la planta de gas inerte. Fuente: Trabajo de campo	51
Figura 37. Switchboard control, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.	54
Figura 38. Process N2, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.	55
Figura 39. Main deck line, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.	55

1.Introducción

1. Introducción

A lo largo de mis prácticas profesionales, tuve la posibilidad de utilizar equipos relacionados con la operativa de los buques en los que estuve, al igual que comprendí su funcionamiento y realicé mantenimientos en los mismos. De todos ellos, uno me llamó especialmente la atención. Siempre se me había hablado en la inertización de la carga de los buques tanque de una serie de equipos que intervenían en la misma, pero siempre desde la perspectiva de buques que necesitasen calderas para la descarga. En mi paso por el buque tanque Mencey, descubrí un método alternativo para la inertización de dichos tanques a menor escala.

Con tal efecto, en este TFG se trata de mostrar la Planta de gas Inerte del Buque tanque Mencey haciendo mención a su operativa, funcionamiento y mantenimientos realizados.

En el capítulo introducción se generaliza brevemente todo el contenido de este Trabajo Final de Grado de manera clara y concisa. En el capítulo objetivos, se exponen una serie de hitos sobre los cuales se fundamenta la realización de este trabajo, siendo el último de estos, el de entender el funcionamiento de la planta de gas inerte del buque Mencey.

Así mismo, en el capítulo revisión y antecedentes se ponen de manifiesto los factores históricos que llevaron a la implementación de esta tecnología en los buques tanques de nuestro tiempo. Por otra parte, el capítulo metodología reza sobre las diversas fuentes a las cuales se recurrió para la realización de este Trabajo.

Por otra parte, en el capítulo Resultados, se utilizan aportaciones de elaboración propia fruto de la operación del equipo y de las diferentes fuentes consultadas, exponiendo así la mayoría del contenido y por tanto, dando la veracidad de lo que en este trabajo se expone es fruto de la experiencia adquirida en el manejo del mismo. En el capítulo conclusiones, se verifica si se han cumplido las pautas marcadas y los contratiempos encontrados a lo largo de la elaboración de este trabajo. Y por último, en el capítulo biografía, se hace mención a todas las fuentes consultadas para la realización de este trabajo.

1. Abstract

Throughout my internship, I had the opportunity to use equipment related to the operation of the ships I was on, as well as to understand their operation and carry out maintenance on them. Of all of them, one particularly caught my attention. I had always been told about a series of equipment involved in the inertisation of tanker cargoes, but always from the perspective of ships that needed boilers for unloading. During my time on the tanker Mencey, I discovered an alternative method for the inertisation of such tanks on a smaller scale.

To this end, this dissertation aims to show the Inert Gas Plant of the tanker Mencey, mentioning its operation, functioning and maintenance.

In the introduction chapter, the contents of this Final Degree Project are briefly outlined in a clear and concise manner. In the objectives chapter, a series of milestones are set out on which this work is based, the last of these being to understand the operation of the inert gas plant on the vessel Mencey.

Likewise, the review and background chapter highlight the historical factors that led to the implementation of this technology in the tankers of our time. On the other hand, the chapter Methodology describes the different sources used for this work.

On the other hand, in the chapter Results, contributions of own elaboration are used as a result of the operation of the equipment and of the different sources consulted, thus exposing the majority of the content and therefore, giving the veracity of what is exposed in this work is the result of the experience acquired in the handling of the same one. The chapter on conclusions verifies whether the guidelines established and the setbacks encountered during the preparation of this work have been fulfilled. Finally, in the biography chapter, mention is made of all the sources consulted for this work.

2. Objetivos

2. Objetivos

Los objetivos que aquí se plasman son los que se plantean para ir abordando los temas sobre los que trata este Trabajo de Fin de Grado, a fin de hacer más eficiente la realización del mismo y exponerlo de forma breve y objetiva.

1

- Mostrar los equipos que se involucran en la inertización del B/T Mencey

2

- Exponer de forma ilustrativa el funcionamiento de la planta de gas inerte del B/T Mencey

3

- Presentar los sistemas de control de la planta de gas inerte del B/T Mencey

4

- Comprender el funcionamiento y control de la planta de gas Inerte del B/T Mencey

3. Revisión y antecedentes

3. Revisión y antecedentes

En este apartado se comentarán una serie de hechos históricos relacionados con la temática a la que se alude en este trabajo dando así contexto a la idea sobre la que se plantea el mismo.

3.1. Introducción histórica

La tecnología de inertización de tanques tiene cerca de 80 años de historia. Debido a la explosión del petrolero Bidwell en 1932 la compañía armadora, Sun Oil hace implementar en todos los buques de su propiedad teniendo toda su flota provista de plantas de gas inerte a finales de 1933. Otro hito en la implementación de esta tecnología llega de la mano de BP, la cual observó corrosión acelerada en los tanques de buques que transportaban crudos con un alto contenido en azufre. Esta, al inspeccionar algunos buques de la Sun Oil se interesó por el sistema que desarrolló bajo su propio criterio y que implementó en el petrolero British Skill allá por la década de los 60 (Louzán Lago, 2020).

El siguiente punto clave en la historia de la implementación del gas llega en diciembre de 1969, cuando tres petroleros, el Mactra, el Marpessa y el Kong Haakon VII sufren explosiones consecutivamente en tres semanas mientras realizaban operaciones de limpieza de tanques. Estos accidentes supusieron una gran preocupación para el sector por lo que se pusieron en marcha diversos estudios para determinar las causas. Se concluyó que el agua utilizada para limpiar los tanques al ser proyectada a gran presión sobre el acero de los tanques era capaz de producir electricidad estática generando chispas capaces de iniciar una combustión en una atmósfera inflamable (Louzán Lago, 2020).

La solución pasaba por la implementación del gas inerte, pero no es hasta 1973 que la OCMI por medio de la resolución A.271(VIII) recomienda la utilización de plantas de gas inerte en buques a 100000TPM y buques de carga segregada mayores a 50000TPM. Esta regla se recogió en el texto original del SOLAS 74 y El guardacostas de los Estados Unidos lo requirió en buques cuya puesta de quilla se realizará después del 31 de diciembre de 1974. Sin embargo, no se hace efectivo hasta el 1 de mayo de 1981 tras haberse acordado en la conferencia internacional sobre la seguridad de los buques tanque celebrada en 1978. Haciéndose así obligatoria la instalación de una planta de gas inerte los buques destinados al transporte de crudo u otros productos petrolíferos que tengan un peso muerto igual o superior a 20000 toneladas. Después del 1 de mayo de 1983 también deberán llevarlo petroleros mayores o iguales a 70000 toneladas, pero ya existentes y en buques de 20000 a 70000 toneladas a partir del 1 de mayo de 1985 (Louzán Lago, 2020).

3.2. Principios generales

Para comprender bien la finalidad del equipo al que se hace mención, se deben definir una serie de conceptos referentes al funcionamiento y la utilidad de este previo a describirlo directamente.

3.2.1. Situaciones que favorecen a la combustión de un tanque

El transporte de hidrocarburos en tanques se torna peligroso en el preciso instante en el que tres factores se equilibran entre sí, formando a su vez el “Triangulo de fuego”, el cual reza que para que se produzca la combustión deben juntarse una atmósfera con combustible, comburente y una fuente de ignición (Louzán Lago, 2020).



Figura 1. Triangulo de fuego. Fuente: (Louzán Lago, 2020)

Con lo cual se puede entender que si uno de los tres factores se elimina de la ecuación es suficiente para evitar una explosión. Para ser más concretos, un tanque lleno de hidrocarburos, pero con una cierta cámara siempre va a desprender gases. Sin embargo, es casi imposible que entre en combustión si la atmósfera de este tiene un porcentaje inferior al 11% de contenido de oxígeno. En términos generales es poco viable el control de la emisión de gases de los hidrocarburos almacenados. También se pueden reducir las diferentes fuentes de ignición, pero no es posible eliminarlas todas teniendo en cuenta las condiciones de la carga, ya que esta siempre se encuentra en movimiento dentro de los tanques sea porque en ellos se están llevando a cabo operaciones de carga, descarga, se encuentren en proceso de limpieza o simplemente haya balances y superficies libres, produciendo en estos fricción y por lo tanto generando electricidad estática. Expuesto lo anterior, se puede comprender que la manera más viable de controlar las explosiones de este tipo de carga pasa por la eliminación

de una atmósfera rica en oxígeno insuflando en el interior del tanque otra que no contenga gases que puedan iniciarla (Louzán Lago, 2020).

3.2.2. Gas inerte

Es un gas que por sus propiedades químicas es muy poco reactivo con otros elementos químicos a la hora de iniciar una combustión. Siendo este de mucha utilidad a la hora de sustituir atmósferas de gases que puedan reaccionar con el medio en el que se encuentran de manera indeseada. Por ejemplo, el oxígeno, en el caso de estudio de este trabajo, resulta ser un elemento químico fundamental en la combustión y junto con otros elementos químicos además resulta un agente corrosivo para los metales de los que se fabrica el buque. En la actualidad, según el tipo de generador se pueden encontrar mezclas de gas con proporciones de dióxido de carbono y nitrógeno (Louzán Lago, 2020).

3.3. Planta de gas inerte típica

El equipo en cuestión ha sido concebido para producir un gas que pueda ser conducido hacia los tanques de carga sin contaminar la misma siendo este capaz de producir el volumen adecuado de gas para suplir el volumen de carga que se desaloje del interior del tanque. El conjunto de la planta de gas inerte está compuesto por los siguientes elementos básicos (Louzán Lago, 2020):

- Una planta de tratamiento que se encarga de refrigerar y limpiar los gases procedentes de la combustión de una caldera que a su vez sea capaz de enviarlos a presión por medio de ventiladores a los tanques.

- Un circuito de distribución de tuberías que canalice el gas inerte a los tanques y que a su vez cuente con medios antirretorno de los gases provenientes de la carga.

- La instrumentación necesaria para la medición y el control del flujo de gas inerte según se requiera.

A continuación, se puede observar el esquema típico de una planta de gas inerte que utiliza los gases de las calderas además de un pequeño generador de gas inerte. El siguiente paso de gas inerte sería por las válvulas conocidas como “up takes”. Estas generalmente utilizan un sistema de accionamiento neumático con una construcción tipo mariposa, que abren y cierran el sistema en caso de que se requiera o no su utilización. Seguidamente, los gases calientes y sucios pasarían por la torre de lavado o “scrubber” en la cual se limpian, se

enfrian y se deshumidifican para ser enviados a cierta presión por medio de unos ventiladores. El flujo de gases se controla por medio de la válvula reguladora de presión y la válvula de recirculación a la atmósfera, las cuales regulan dependiendo la presión que se requiera según el régimen de descarga pudiendo enviar el exceso de gas inerte a la atmósfera. Contiguo a las válvulas anteriormente descritas, se encuentra el sello hidráulico de cubierta, la válvula de retención y la válvula principal de incomunicación de los tanques de carga. Entre el sello y la válvula reguladora se suele encontrar una válvula de ventilación para despresurizar la sección cuando no se requiere la utilización de la planta (Louzán Lago, 2020).

El siguiente punto para reconocer en esta planta tipo de gas inerte es el colector principal de gas inerte en cubierta, del cual se distribuyen los diferentes brazos del circuito a cada tanque de carga. Hay que destacar que cada uno de estos brazos está provisto de medios de bloqueo y brida ciega giratoria, la cual se encuentra abierta normalmente, pero en caso de requerirse se posicionara por la parte ciega para dejar el brazo completamente incomunicado con total seguridad. En el circuito principal de gas inerte, se alinea también el ruptor de presión y vacío y el palo de venteo sumado a demás a medios con los que abastecer de gas inerte de tierra al buque y bridas para la conexión de gas inerte para los tanques de lastre además de líneas en el manifold para retornar gases a tierra (Louzán Lago, 2020).

3.3.1. Elementos principales que componen la planta de gas inerte

En este apartado se hará mención más concretamente a los componentes descritos en el apartado anterior teniendo en cuenta sus características.

Torre de lavado

Su cometido es el de enfriar y lavar los gases procedentes de la combustión de la caldera para así eliminar el dióxido de azufre y las partículas de hollín en su gran mayoría. Esto se consigue por medio del contacto directo de los gases con cantidades ingentes de agua suministradas por la bomba de refrigeración de estos antes de entrar a lo que sería la propia torre en sí. Acto seguido, el gas burbujeando, supera un sello de agua situado en el fondo de la torre y asciende a través de esta pasando por otras baterías de rociadores y una serie de tabiques perforados o en su defecto unas bandejas llenas de bolas de polipropileno. Esto se hace para tratar que haya el mayor contacto posible entre el agua de lavado y los gases. Finalmente, los gases pasan por un deshumidificador situado en la zona más alta de la torre de lavado (Louzán Lago, 2020).

Estas torres están diseñadas para que soporten la elevada corrosión de los gases de escape por lo que en su interior se suelen recubrir con materiales como la ebonita, el

polipropileno, epoxi de fibra de vidrio entre otros, para así resistir principalmente al efecto del dióxido de azufre y el agua salada (Louzán Lago, 2020).

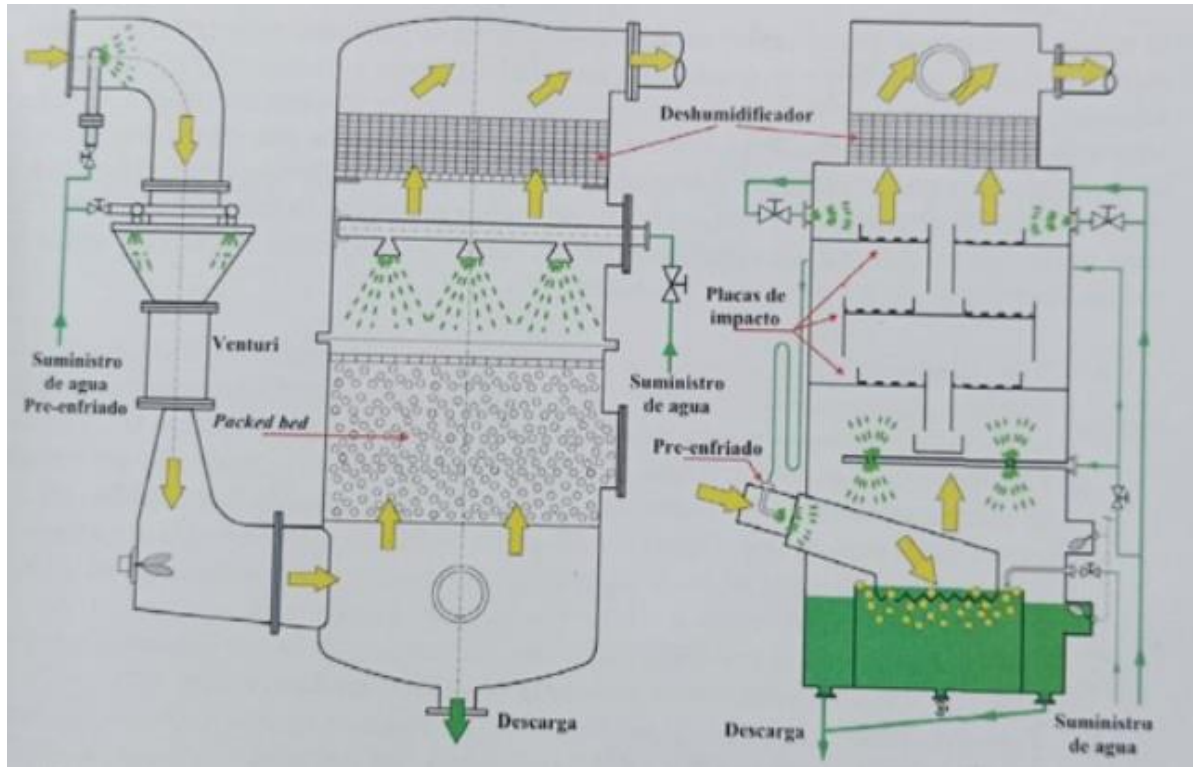


Figura 2. Torres de scrubber. Fuente: (Louzán Lago, 2020).

Ventiladores de gas inerte

Estos aspiran los gases de combustión una vez han sido procesados en la torre de lavado y los manda a través del sello de cubierta hacia el colector principal y de ahí a los tanques. A efectos prácticos, se trata de ventiladores centrífugos de una única etapa movidos por motores eléctricos. Cuentan con tomas de agua dulce y de drenaje para que sea posible su limpieza eliminando así los posibles restos que puedan depositarse en su interior tras su utilización. Como condición de seguridad se requiere que por lo menos dos de estos ventiladores sean capaz de suministrar un 125% del caudal al cual son capaces de descargar las bombas (Louzán Lago, 2020).



Figura 3. Ventiladores de gas inerte. Fuente (Louzán Lago, 2020).

Sello de cubierta

Este elemento de la planta tiene la finalidad de impedir el retorno de los gases de los tanques de carga a la zona segura en la cual se encuentre situada la planta de gas inerte. Está pensado para permitir el paso de gas cuando la planta está en funcionamiento, pero no cuando se encuentra parada, de tal modo, que cuando se paran los ventiladores, este se rellena automáticamente con suficiente cantidad de agua para crear una columna que impida el retorno de gases y líquido a la mayor presión que se pueda encontrar en los tanques. Incorpora dos bombas independientes capaces de suministrar agua cuando se necesite mantener el nivel. A demás cuenta con sensores de alto y bajo nivel. En caso de navegar en aguas con bajas temperaturas, cuenta en su interior con un serpentín para que pueda calentarse. Generalmente se ubica sobre la cubierta principal a proa de la válvula reguladora de presión (Louzán Lago, 2020).

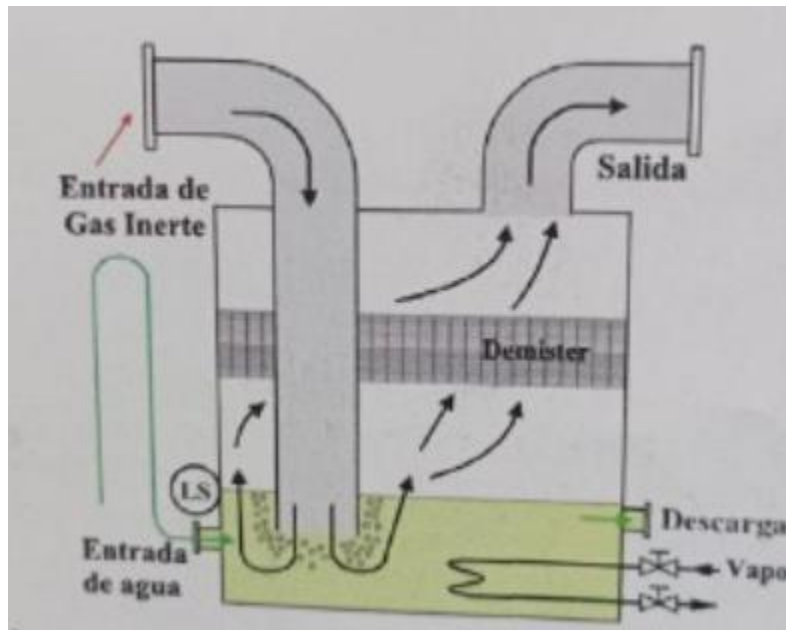


Figura 4. Sello de cubierta. Fuente: (Louzán Lago, 2020).

Ruptor de cubierta

El ruptor de cubierta es un elemento añadido a la seguridad de la planta. Va conectado al colector principal de gas inerte y su función es la de proteger los tanques ante una presión o vacío excesivos. Se trata del último elemento de seguridad para la protección de los tanques. Funciona a una presión ligeramente superior e inferior a la que corresponde con el funcionamiento de las válvulas de presión y vacío de los tanques. El elemento en sí no son más que dos tubos concéntricos que contienen una mezcla de agua y anticongelante hasta más o menos la mitad de su altura cuando los tanques de carga se encuentran a presión atmosférica. A una presión ligeramente superior a la atmosférica el líquido sube por el tubo interior siendo expulsado hacia la cubierta y si por el contrario disminuyese, aumentaría el nivel del exterior, siendo incluso posible que succionase hacia la línea de gas inerte. Su presión de trabajo se establece normalmente entre los 1800 mm de columna de agua en caso de sobrepresión y a un vacío de unos 700 mm. Es importante que para que funcione correctamente se llene por el nivel con la proporción de agua y anticongelante correcta para mantener la densidad (Louzán Lago, 2020).

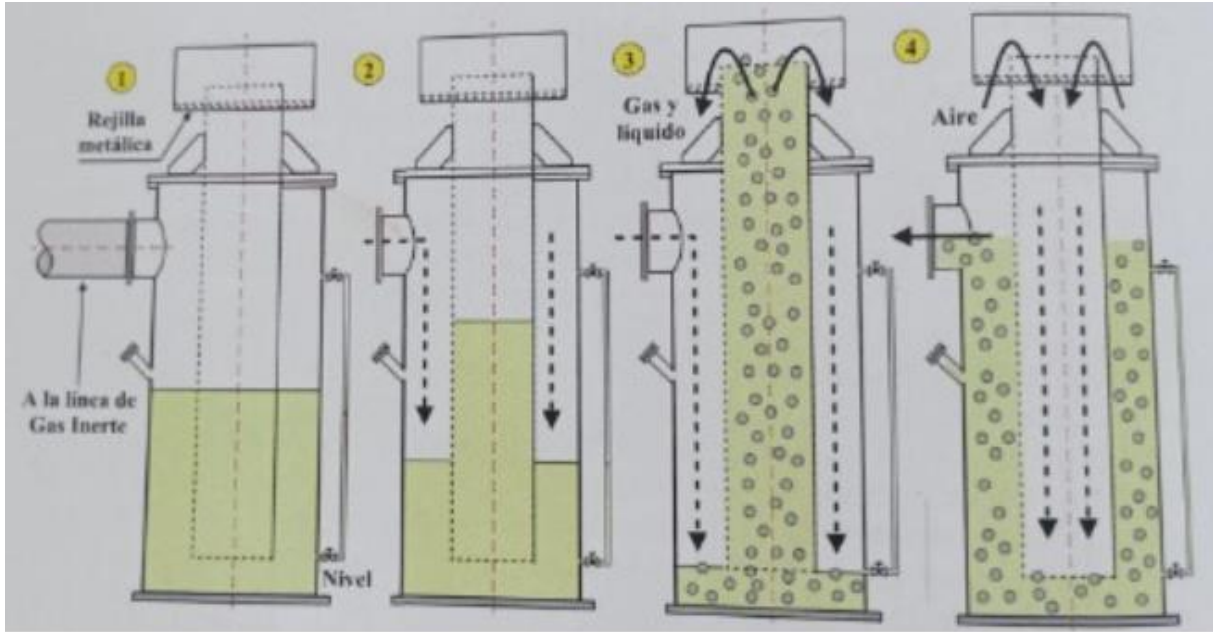


Figura 5. Ruptor de cubierta actuando en condiciones de presión y vacío excesivos. Fuente: (Louzán Lago, 2020).

4. Metodología

4. Metodología

La metodología utilizada para llevar a cabo el presente trabajo fin de grado titulado “Planta de gas inerte del buque tanque Mencey” se desarrolla a continuación organizada en las siguientes secciones.

4.1. Material

Aquí se hablará de un modo general del medio sobre el cual se enfoca este Trabajo Final de carrera, abordando las características técnicas tanto de lo que sería el buque tanque Mencey como de su sala de máquinas para ir enfocando el cometido que tiene la planta de nitrógeno en este buque, pero una vez sabidas sus características principales.

El buque en cuestión es el buque tanque Mencey perteneciente a la Distribuidora marítima petrogas, S.L.U. Se trata de un buque cisterna Matriculado en el puerto de Santa Cruz de Tenerife, clasificado por la korean register of shipping en la clase KRS1 como buque de carga de productos derivados del petróleo. Fue construido en los astilleros de Tuzla en Turquía y lanzado el 31/03/2004. Este cuenta con una eslora de 109,54 m, una manga de 17,20 m y un calado de 7 m. Cuenta con un Peso muerto de 6937 DWT y un desplazamiento total de 9500 T. Las condiciones estructurales de este barco hacen que pueda ir a una velocidad de 13 nudos de velocidad máxima.



Figura 6. B/T Mencey. Fuente: (DM Petrogas, s.f.).

Entre sus características cabe destacar que se trata de un buque que cuenta con doble casco. Sus bodegas de carga se distribuyen en 18 tanques completamente independientes entre sí pudiendo cargar y descargar diferentes productos al mismo tiempo sin que estos se contaminen pues a su vez las líneas de cada tanque por separado confluyen en el manifold tanto de babor como de estribor. Estos tanques se dividen a su vez en 9 por cada banda del barco. A demás cuenta con una bomba de descarga por cada uno de los mismos de la marca Svanehoj pudiendo tener una ratio de carga/decarga de hasta 800 m³/h y su capacidad total con toda la cubierta llena al 98% sería de 7332 m³.

A demás este buque cuenta con dos botellas preparadas para cargar asfalto con bombas independientes, pero al ser destinado a cargar productos limpios no se suelen utilizar. El único uso que estos recibirían sería para cargar agente dispersante ya que actualmente este buque está fletado por la EMSA por lo que cuenta con equipos anticontaminación en caso de vertido de hidrocarburos al mar.

En cuanto a su propulsión este buque cuenta con una hélice de paso variable Berg modelo 1000HX/4 con un diámetro de 3950 mm.

Para la realización de maniobras de atraque y desatraque este buque cuenta además con una hélice de proa de accionamiento hidráulico tipo Brunvol FU-45 LTC-1375.

A parte, cuenta con un aparato de gobierno compuesto por una pala con accionamiento hidráulicamente mediante un servo tipo Gurdesan GD- ADFH 160/14.

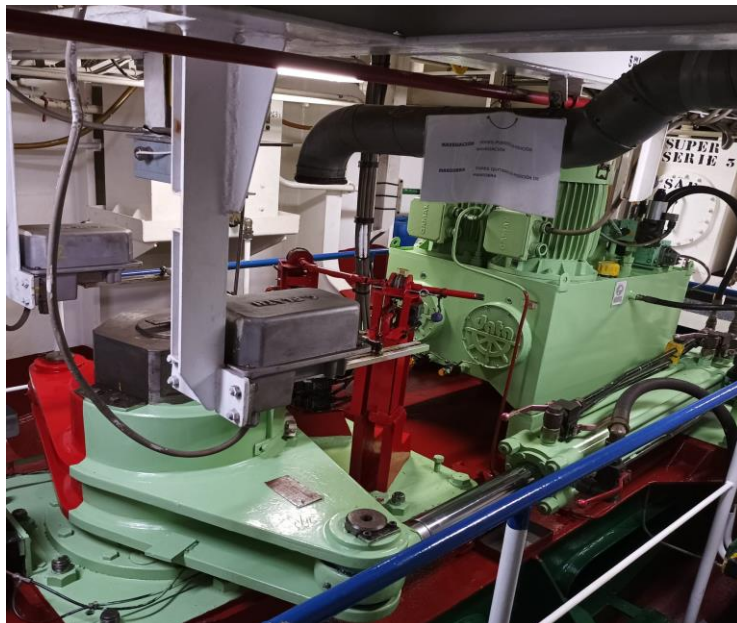


Figura 7. Servo del aparato de gobierno. Fuente: Trabajo de campo

En su sala de máquinas este buque cuenta con los siguientes equipos energéticos:

En primer lugar, el motor principal es un motor MAK 8M 32C de 3840 kw de potencia a 600 rpm fijas al no necesitar incrementar o disminuir estas por contar el buque con una hélice de paso variable. Este motor es un 8 cilindros en línea con un diámetro de 320mm y una carrera de 420mm. Su ciclo de funcionamiento es de cuatro tiempos. Funciona por exceso de aire forzado por un turbocompresor Napier 357 que eleva la presión en el colector de admisión hasta los 1,5 bar girando a 15000 rpm.

Este motor puede funcionar tanto con fuel como con gasoil puesto que el lubricante que utiliza es compatible con los dos combustibles. El aceite en cuestión es el Mobilgard M420 de CEPSA.

A demás de como aparato de propulsión del buque, este motor al ir a revoluciones fijas tiene la cualidad de que en navegación puede ir generando corriente por medio de un generador de cola tipo Avk DSU 62L2-4.



Figura 8. Motor principal B/T Mencey. Fuente: Trabajo de campo.



Figura 9. Generador de cola. Fuente: Trabajo de campo.

Para dar alimentación a la planta eléctrica del buque, este cuenta con tres motores guascor SF240 TA de 694 HP a un régimen de 1500 rpm. Estos motores son de 8 cilindros en línea con una cilindrada total de 24 litros. También son de aspiración forzada a 0,5 bar. Su alimentación es directa usando como combustible diésel marino. Estos mueven cada uno un alternador Leroy Sommer LSAM46-216 de 210 KVA a 50 hz.



Figura 10. Motores auxiliares. Fuente: Trabajo de campo.

Este barco incorpora dos calderas de aceite térmico Aalborg de 1000 kw que servirían para calentar la carga y el combustible del barco en caso de que se precise, aunque por las condiciones de dicha carga, actualmente se utilizan sólo para mantener caliente el fuel del motor principal.

Con la finalidad de que sea más gráfica la descriptiva hecha anteriormente, se dispone de un plano general del buque (Véase: Véase "Anexo I Plano con características del buque tanque Mencey")

4.2. Documentación bibliográfica

En este apartado se han incluido todas las fuentes a las que se ha recurrido, teniendo en cuenta páginas webs, imágenes o incluso manuales técnicos que se han consultado en el transcurso de la investigación de este Trabajo Fin de Grado.

Cabe destacar también la utilización de ciertos conocimientos que se fueron adquiriendo a la hora de operar la planta de gas inerte del buque tanque Mencey.

4.3. Metodología del trabajo de campo

La confección de este Trabajo final de grado es fruto de la practica adquirida a la hora de operar y entender como alumno de máquinas el funcionamiento de la planta de gas inerte del buque tanque Mencey la cual resulta de un sistema de producción de nitrógeno para la inertización de tanques de carga.

4.4. Marco referencial

En este caso, el marco referencial sería el buque tanque Mencey, perteneciente a la DM petrogas S.L.

5. Resultados

5. Resultados

En el siguiente apartado se concluye con las competencias adquiridas a lo largo, tanto de la andanza por la escuela, como la de alumno de máquinas en el buque tanque Mencey siendo encauzados hacia los objetivos fijados, los cuales se ven reflejados en este trabajo.

5.1. Principio de funcionamiento

EL cometido de esta planta es el de generar nitrógeno gaseoso con la finalidad de inertizar los tanques de carga del buque, tanto en operaciones de carga, como de descarga como en las limpiezas. Puesto que, en estas, se genera gran concentración de gases volátiles, que mezclados con el aire de la atmósfera y una fuente de ignición pueden producir una explosión en el interior de las bodegas de carga.

Con la finalidad de eliminar uno de los tres elementos que en conjunción pueden provocar una combustión se ha optado por la utilización del siguiente equipo, el cual es capaz de generar gas inerte, que, al ser introducido en los tanques de carga, desplaza el aire de la atmósfera, evitando así la posibilidad de que se produzca una combustión en su interior.

Previo a entender el principio por el cual se produce el gas inerte en este equipo es elemental saber la composición del aire de la atmósfera la cual es de un 0,1% de agua, un 0,89% de gases nobles, un 21% de oxígeno, y un 78% de nitrógeno.

Sabiendo la premisa anterior el principio de funcionamiento de este equipo es coger el aire de la atmósfera a presión y pasarlo por unas membranas conformadas por fibras huecas y compactadas que permiten el paso de un gas muy rico en nitrógeno que se puede introducir en los tanques para asegurar las operaciones de descarga y limpieza que son los momentos críticos en los cuales se hace indispensable la utilización de esta máquina.

5.2. Emplazamiento de los bloques de equipos que intervienen en la inertización

Es preciso para tratar de entender el funcionamiento de esta planta, tener claro aquellos equipos que en su conjunto permiten generar nitrógeno para la inertización. De el mismo modo, también se debe tener en cuenta el emplazamiento de los mismos, y el cometido de cada uno.

1.-Compresores de aire

Son dos, se utilizan según el caudal de inertización que se precise, Aunque están en el castillo de proa, se encuentran en dos cámaras completamente separadas. Se encargan de suministrar caudal de aire a las membranas adsorbentes.



Figura 11. Compresor A Fuente: Trabajo de campo.



Figura 12. Compresor B. Fuente: Trabajo de campo.

2.-Prefiltros de deshumidificación.

En el mismo bloque se pueden encontrar, a parte de los filtros de deshidratación antes de la entrada de las membranas, las purgas automáticas de los filtros, el precalentador de aire posterior a los filtros, Las válvulas neumáticas de apertura o cierre del bypass que permite el

paso de aire a las membranas o a la recirculación, a los filtros de deshidratación. Emplazado en la misma localización se encuentran las electroválvulas de control que operan las válvulas neumáticas del bypass. Por último, se encuentra un armario con el autómatas que controla la planta y su respectiva alimentación y seguridades eléctricas además del display táctil que se utiliza como interfaz entre el operario y la planta.

3.- Bloque de membranas

En este armario se encuentran las membranas que se encargan de generar el nitrógeno. A parte, salen las tuberías que diversifican hacia la cubierta y el venteo a la atmósfera.



Figura 13. Armario del bloque de membranas. Fuente: Trabajo de campo.

4.-Bombas de agua y circuito de refrigeración

En lo más profundo del castillo de proa, sobre el tubo de la hélice de proa se encuentran las bombas de enfriamiento de agua salada, las cuales surten a los enfriadores de amos compresores.



Figura 14. Bombas de agua salada. Fuente: Trabajo de campo.

5.2. Generador de nitrógeno

En este apartado Se tratará el funcionamiento de cada sección y los componentes que lo conforman tratando el cometido de cada uno en el proceso de generación de nitrógeno.

5.2.1. Compresores de aire de alimentación

Son los encargados de introducir caudal de aire de la atmósfera a lo que es la sección que lo trata para separar el nitrógeno. En el caso de esta planta, se cuenta con dos equipos con las mismas características, pero con la salvedad de que entregan caudales de aire diferentes según se requiera un flujo más elevado de gas inerte, o uno más pequeño en su defecto.

En cuanto a estos equipos, se trata de dos compresores TMC 150-235 EWNA de tornillo con una única etapa refrigerados por aire y lubricados por aceite. El proceso de compresión se realiza pasando el aire entre dos helicoides engranados entre sí que a medida que van girando van pasando el aire entre las crestas, esto se suma también al efecto de disminución de espacio que a medida que el giro de los tornillos crea al cerrar la abertura de admisión.

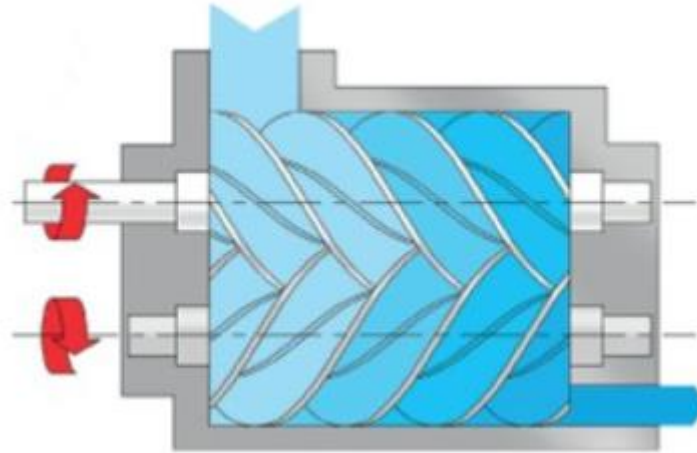


Figura 15. Helicoides del compresor. Fuente: (Maritime Protection Norway, 2018).

El aceite lubricante tiene dos cometidos, en primer lugar, se encarga de enfriar la unidad pues este se inyecta en su interior. En segundo lugar, se encarga de lubricar los cojinetes y sellar los huecos existentes entre los helicoides y la carcasa.

El aceite circula junto con el aire a presión, pero la mayor parte de este se separa en el recipiente de recepción y almacén puesto que en su interior se forma un vórtice que hace chocar la mezcla haciendo que el aceite se adhiera a la pared y precipite hasta el fondo del mismo. Los restos de aceite restantes se terminan de separar por un filtro separador.

En cuanto a la refrigeración del equipo, este cuenta con dos enfriadores tubulares, uno para la salida de aire hacia los filtros de las membranas y otro para la salida de aceite del compresor antes de la entrada del recipiente separador. Con la finalidad de que el compresor funcione a una temperatura óptima, este cuenta con electroválvulas y válvulas neumáticas de bypass antes de los enfriadores descritos anteriormente con los cuales se mezclaría aire o aceite salido de los enfriadores, con el mismo pero salido del compresor para evitar una temperatura excesivamente baja.



Figura 16. Enfriador tubular de aceite del compresor B. Fuente: Trabajo de campo.

Los enfriadores a su vez van refrigerados por agua salada directamente, que por medio de un circuito diversificado por válvulas de globo surten al compresor A o B en su defecto.



Figura 17. Válvula de apertura de agua salada al compresor A. Fuente: Trabajo de campo.

Como particularidad de este circuito cabe destacar que se puede surtir de la línea de contra incendios de la bomba de emergencia del barco a parte de las dos bombas que posee el propio circuito, las cuales se encuentran emplazadas sobre el local de la hélice de proa. Cabe destacar que esta disposición será alterada en el corto plazo siendo en su defecto introducido un sistema el cual antes de los enfriadores propios del compresor haya un enfriador de placas que surta a estos de agua dulce y al cual vaya el agua salada con la finalidad de que sea más cómoda la limpieza de que la de los ases tubulares. En este caso, el agua dulce sería movida por una bomba a la salida del enfriador de placas y la presión de dicho circuito se regularía por medio de un tanque de compensación con membrana al cual se le introduciría presión neumática con tal fin.



Figura 18. Enfriador de placas. Fuente: Trabajo de campo.



Figura 19. Bomba de agua dulce a enfriadores. Fuente: Trabajo de campo



Figura 20. Tanque de compensación de presión. Fuente: Trabajo de campo

A parte de eliminación de aire, los compresores vienen equipados con filtros deshidratadores de purgado automático que tratan el aire para que vaya al siguiente bloque del equipo de generación de nitrógeno tan seco como sea posible.

Para hacer girar los helicoides, el compresor cuenta con un motor ABB trifásico de 200 KW de potencia a 1500 rpm.

En cuanto al control de estos compresores, se realiza de manera automática por medio de un sistema formado por sensores de temperatura, presión y un controlador de sistema con las siguientes características.:

- Sistema de arranque estrella triángulo
- Control de parada automática retardada
- Control de funcionamiento continuo con operación completamente automatizada
- Control de purgado de agua condensada
- Registro de alarmas con fecha y hora

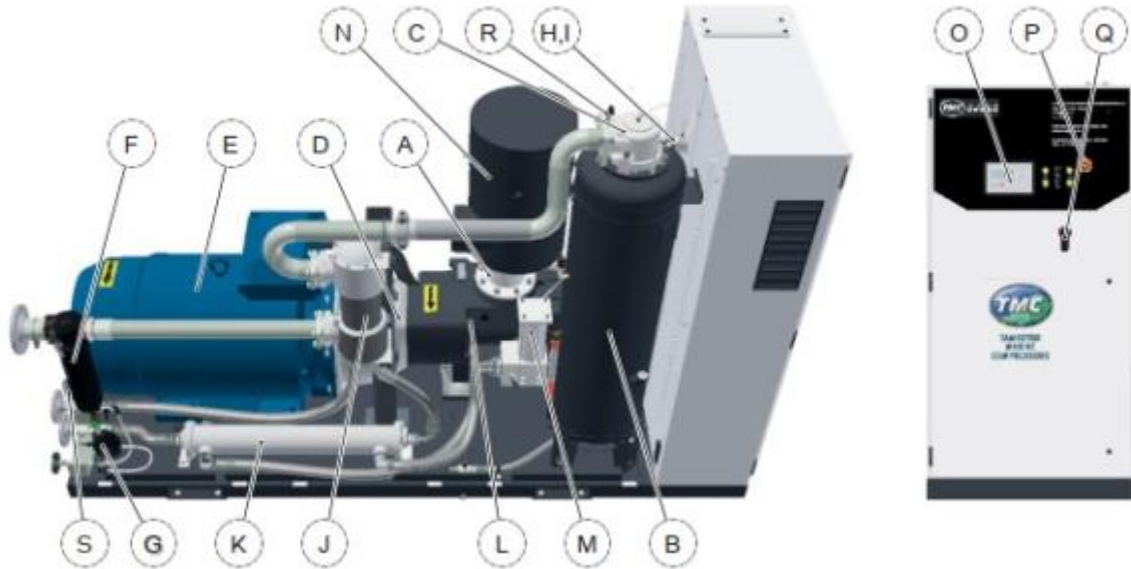
Para garantizar la integridad de los compresores, estos cuentan con una serie de alarmas que serían capaces de producir la parada inmediata de los mismos. Entre ellas se encuentran:

- Temperatura alta en el motor
- Temperatura alta en el compresor
- Presión de funcionamiento excesiva
- Alta temperatura de aire de salida
- Fallo de sensor
- Alta presión diferencial en el filtro separador de aceite

Estos compresores cuentan con un sistema de cuenta atrás para tareas de mantenimiento imprescindibles para un correcto funcionamiento a pleno régimen, de tal modo que si el contador de horas llega a una de estas consignas no permitirá el arranque hasta que no se vuelva a actualizar la cuenta atrás del mantenimiento realizado. Entre estas tareas de mantenimiento se encuentran:

- Cambio de aceite
- Cambio de filtro de aceite
- Cambio de separador de aceite
- Cambio de filtro de aire
- Cambio de filtrinas del cuadro
- Lubricación de cojinetes del motor eléctrico.

A continuación, se muestra un esquema de las partes del compresor de manera que sea más gráfica la comprensión de la disposición de los elementos que conforman este equipo.



Ref	Componente	Propósito
A	Válvula de entrada	Controla la salida de aire
B	Receptor	Separa el aceite del aire
C	Válvula de descarga	Mantiene la presión mínima del recipiente, válvula antirretorno
D	Acoplamiento	Transmite la potencia del motor eléctrico al extremo neumático
E	Motor eléctrico	Conduce el extremo de aire
F	Separador de agua	Elimina el agua condensada del aire de salida
G	Drenaje automático controlado por nivel	Elimina el agua condensada
H	Electroválvula	Controla el soplo y la reducción del ruido
I	Electroválvula	Controla la válvula de entrada
J	Después del enfriador	Enfría el aire a presión
K	Enfriador de aceite	Enfría el aceite
L	Parte séres	Comprime el aire
M	Filtro de aceite	Purifica el aceite
N	Filtro de aire	Limpia el aire de admisión
O	Controlador	Controla y ajusta el funcionamiento del compresor
P	Parada de emergencia	Detiene el compresor inmediatamente
Q	Interruptor de carga	Interruptor principal
R	Válvula limitadora de presión	Protege al receptor contra la sobrepresión
S	Sensor de temperatura ambiente	Mide la temperatura ambiente para una regulación óptima de la temperatura de funcionamiento

Figura 21. Esquema de los compresores. (Maritime Protection Norway, 2018).

5.2.2. Bloque de filtros

Antes de pasar por membranas, es necesario que el aire entre con la mayor pureza que se pueda, con este motivo, el aire debe pasar por un bloque de tratamiento tras salir de los compresores.

Previo al paso por las membranas, el aire pasa por un bloque de filtros que eliminan la mayor parte de la humedad, aceite y partículas en suspensión que han quedado al pasar por los compresores y que pueden acabar obstruyendo las membranas. En primer lugar, el aire pasa por un filtro con una porosidad de una micra para pequeñas impurezas suspendidas en el aire de alimentación de la planta. Seguido de este, se encuentra un filtro de una décima para separar casi por completo los pequeños restos de agua y aceite que hayan podido pasar por el filtro anterior. Por último, hay montada una carcasa para un filtro de 0,3 micras, aunque no se precise la utilización de este.



Figura 22. Bloque de filtros. Fuente: Trabajo de campo

Los filtros anteriormente mencionados desahogan las impurezas que condensan en el interior de la carcasa hacia el exterior mediante unos purgadores automáticos que se resetean cada vez que se va a poner en servicio la planta. Estos a su vez desahogan unos segundos hasta que han pasado unos diez segundos posteriores al arranque de los compresores.



Figura 23. Purgadores de los filtros de partículas. Fuente: Trabajo de campo.

El siguiente elemento que se encuentra en esta sección sería un calentador de resistencias variables dispuesto en caso de que la temperatura del aire se reduzca por debajo de los 50 °C ya que en este rango no pasaría de manera correcta por las membranas produciendo que el nitrógeno se volviera a mezclar con el oxígeno permeado por las membranas previamente.

Su puesta en servicio es totalmente automática ya que se hace por medio de la consigna que recibe el autómeta que controla todo el proceso. En caso de superarse la temperatura de 65 °C el calentador dejaría de funcionar al estar la temperatura dentro del rango óptimo de funcionamiento de las membranas, las cuales son muy sensibles a las bajas temperaturas.

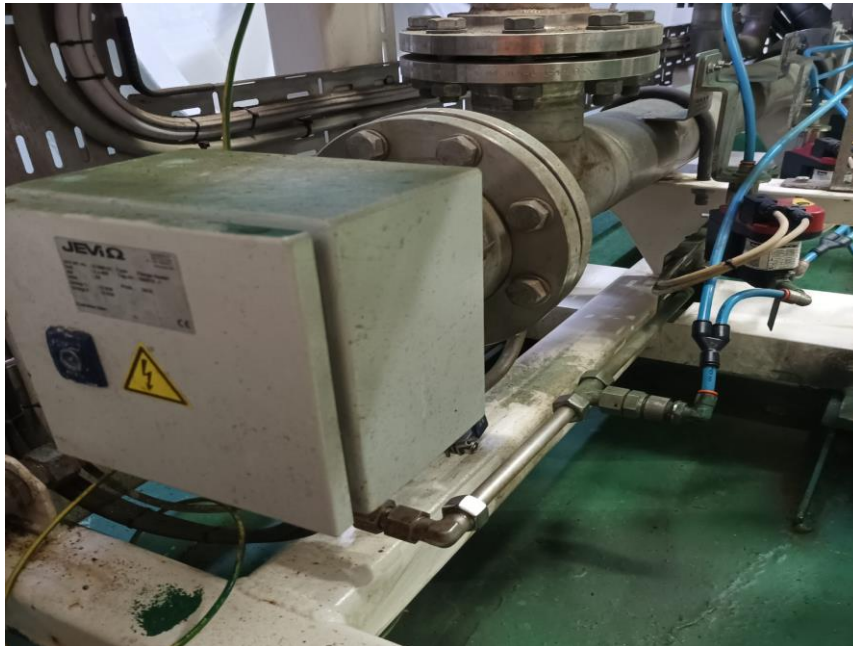


Figura 24. Calentador de aire. Fuente: Trabajo de campo.

La planta, está diseñada para que en el arranque el aire de los compresores no vaya directamente a membranas. En su lugar pasa por un bypass que lo mandaría a un desahogo en cubierta una vez se garantiza que el aire está dentro de parámetros debe pasar por las membranas. Pero en el transcurso, el aire pasa por un bypass que lo purga directamente a la atmósfera. De este modo, la selección del paso de aire ya sea a membranas o al bypass de purga se realiza por medio de dos válvulas de accionamiento neumático y control electrónico asociado directamente al autómata.



Figura 25. Válvulas de interconexión entre membranas y bypass. Fuente: Trabajo de campo.

Para que las válvulas neumáticas de todo el circuito puedan actuar, debe de haber un circuito neumático con presión constante que las haga actuar en caso de que llegue señal eléctrica directamente a las solenoides que tienen las mismas, por este motivo, la planta cuenta con un compresor de aire de pilotaje de válvulas tipo sauer de dos etapas capaz de levantar 8bar de presión de aire. Este compresor tiene la característica de que no va lubricado por aceite ni ningún otro fluido.



Figura 26. Compresor de aire de pilotaje. Fuente: Trabajo de campo.

5.2.3. Membranas para la generación de nitrógeno

Estos elementos son los más importantes de la planta, puesto que en ellos es donde se produce el gas inerte propiamente dicho, tratándose además de los más cuantiosos económicamente hablando y de los más sensibles a la ruptura en caso de una mala operación o sustitución de estas. Esto los convierte en elementos críticos a la hora de ser intervenidos en caso de mantenimiento, ya que el más mínimo fallo en el proceso de montaje o desmontaje puede dar lugar a la inoperatividad de la máquina, un cuantioso gasto al no poderse revertir los posibles fallos que puedan surgir en el proceso, y lo más grave es que afectaría directamente a la operativa del buque en cuanto a limpiezas y descarga se refiere pues es imprescindible el gas inerte para evitar que en estos procesos críticos pueda generarse la combustión de los gases volátiles desprendidos por la carga. : (Maritime Protection Norway, 2018).

Estas membranas, están constituidas por unas fibras huecas que se encuentran compactadas dentro de una carcasa. Estas fibras permean una parte del aire atmosférico que les llega por medio de la presión de los compresores, concretamente se trata del oxígeno que compone este aire, al ser una molécula más pequeña. Por otra parte, el nitrógeno presente en el aire, al ser de mayor tamaño que las moléculas de oxígeno no permea con facilidad con lo cual satura las membranas y por lo tanto haciendo que los otros gases más pequeños tengan que ir desechándose de las membranas para que por proporción y no por tamaño no permitan el paso de nitrógeno al colector principal de la línea de canalización a los tanques (Maritime Protection Norway, 2018).

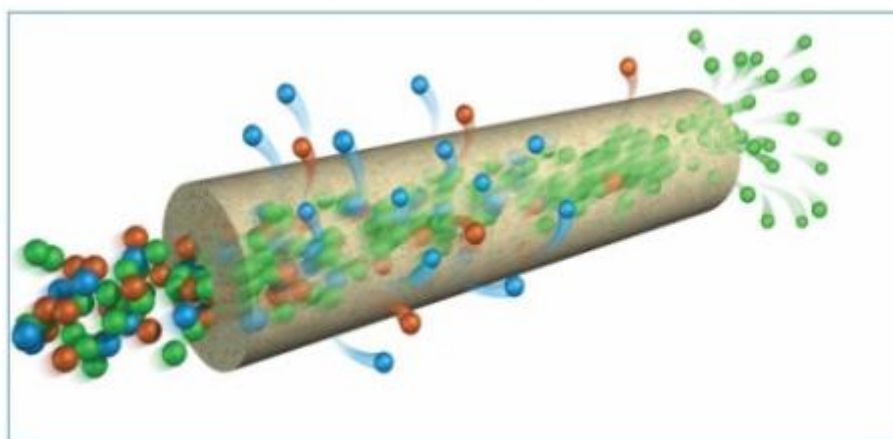


Figura 27. Representación del proceso de adsorción. Fuente: (Maritime Protection Norway, 2018).

Aunque ya se hace en apartados anteriores, cabe recalcar que el aire debe dirigirse a las membranas con la mayor pureza posible pues la humedad puede causar que no se pueda permear correctamente el oxígeno. A demás en un medio como es el buque tanque Mencey, se puede dar la posibilidad de que se arrastren gases de hidrocarburos al interior de las membranas, y estos, al ser solubles con el polímero que forman las membranas tienden a acumularse en las fibras impidiendo también el correcto permeado del oxígeno.



Figura 28. Contenedores de las membranas en paralelo. Fuente: Trabajo de campo

5.2.4. Válvula reguladora de caudal

Esta válvula es indispensable para el funcionamiento de la planta, pues como ya se explicó anteriormente la generación de nitrógeno ve afectado su régimen y su pureza dependiendo de la temperatura a la que vaya entrando el gas al sistema o incluso las pequeñas variaciones de presión que puedan existir en la demanda de los compresores. Por estos motivos existe esta válvula ya que por medio de un regulador de posición electroneumático burkert controlado directamente por el autómatas, se pueden hacer ajustes respecto al porcentaje de apertura de esta. Esto conseguiría que, restringiendo el caudal, el aire, pasase más lento por las membranas, pero con mayor presión, haciendo que la pureza del nitrógeno a la salida de las mismas aumente. La válvula se ajusta en función de la presión en el colector, ya que si esta baja significa que el pico de demanda es mayor y por lo tanto la válvula dejará fluir más caudal de gas inerte, Y al contrario si la presión aumenta.

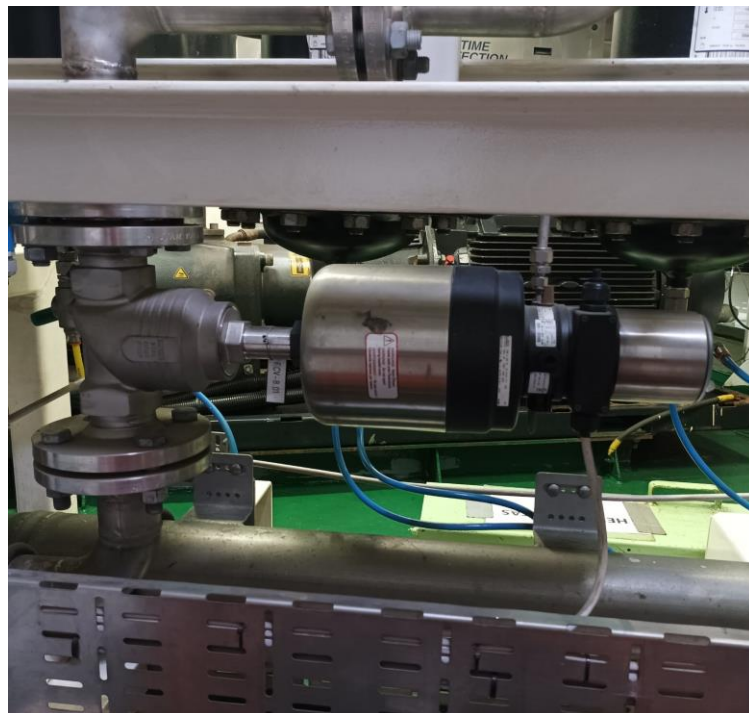


Figura 29. válvula reguladora de caudal. Fuente: Trabajo de campo.

5.2.5. Línea de cubierta

En este punto, ya se tendría el nitrógeno generado por la planta, por lo que el siguiente paso sería distribuirlo según se demande con el fin de inertizar tras alguna operación en cualquier tanque de los que se segregado por la cubierta. Para ello, el sistema de distribución comienza con la salida de las membranas directamente acoplada a un pequeño sello de cubierta ubicado en la base del palo de proa.



Figura 30. Sello de cubierta. Fuente: Trabajo de campo.

En el siguiente punto, el gas inerte se desplaza hasta un colector en el cual se pueden encontrar dos válvulas neumáticas de corte general de gas inerte y dos venteos con apertura y cierre controlado también por válvulas neumáticas. La finalidad de estos venteos es verter a la atmósfera el remanente de gas inerte que se esté generando en la planta en caso de que no se precise en ese momento, ya que una vez esta empieza a producir gas, el flujo es continuo hasta que se para la planta, con lo cual estos se suelen utilizar en momentos como el arranque de la planta de nitrógeno antes de que se inicien las operaciones de inertización. Contiguo a estos se halla una válvula anti-retorno que restringe el sentido del gas y una electroválvula de seccionamiento del flujo de gas inerte.



Figura 31. Colector de la línea de cubierta. Fuente: Trabajo de campo.

Lo siguiente que se puede apreciar es la tubería que saldría del colector surtiendo mediante una derivación a todos los tanques de carga y de lastre a lo largo de toda la cubierta. Hay opción de alinear el circuito con aquellos tanques que precisen de inertización ya que en la entrada de cada tanque hay una válvula de corte de suministro a dicho tanque.



Figura 32. Tubería de gas inerte entrando a un tanque de carga. Fuente: Trabajo de campo

5.3. Alimentación eléctrica de la planta

Con el fin de ahorrar costes a la hora de montar esta planta, se optó en su momento por utilizar la alimentación eléctrica de la hélice de proa al estar emplazada en la misma sección en la que se ubicaría la planta, ya que además esta línea de tensión está preparada para soportar la tensión a la que trabajan los equipos de esta. Por esta particularidad, puede ser alimentada de dos maneras al igual que la hélice de proa. Esto se puede hacer al contar con la particularidad de que la planta eléctrica del buque cuenta a parte de con motores auxiliares, con un generador de cola, el cual en maniobra se destina a dar corriente únicamente a la hélice de proa, dejando los auxiliares destinados sólo a la demanda eléctrica que se tenga en ese momento en las barras del buque. Esto hace que haya dos seccionadores distintos para surtir a la que era en un principio sólo la hélice ya que cuando el motor principal no estuviera funcionando y por lo tanto el generador de cola tampoco, era necesario alimentar directamente desde barras sin pasar por este generador. Esto se hace en momentos en los que se necesite maniobrar el barco sin necesitar propulsión como poniéndolo al paio cerca de la costa evitando que sea arrastrado por la corriente.



Figura 33. Esquema de barras del controlador Lyngso. Fuente: Trabajo de campo.



Figura 34. Seccionador directo de barras a hélice de proa. Fuente: Trabajo de campo.

Para aprovechar esta cualidad del circuito de ser alimentado tanto por los motores auxiliares como por el generador de cola y al no haber compatibilidad entre el uso de la hélice de proa y la planta de nitrógeno, se optó por poner dos seccionadores de accionamiento digital mediante el display de la planta de gas inerte pudiendo seleccionar si el circuito deriva la alimentación hacia esta o hacia la hélice.



Figura 35. Seccionadores de la hélice de proa y de la planta de nitrógeno. Fuente: Trabajo de campo

La alimentación llegaría hasta el cuadro principal de la planta de gas inerte desde donde se puede dar corriente eléctrica a los dos compresores y al panel principal de la planta.



Figura 36. Cuadro de alimentación de la planta de gas inerte. Fuente: Trabajo de campo

5.4. Funcionamiento del sistema

Como cualquier máquina con retroalimentación continua, la planta responde a una lógica fundamentada en estados Desde que arranca hasta que para, siguiendo una serie de secuencias a medida que transcurre su operación.

En esta máquina se pueden distinguir siete estados que pueden ser distinguidos a continuación:

Estado 0

Este estado hace referencia al instante en el cual la planta se pone en marcha por parte del usuario. En este estado la planta no debe tener ninguna alarma previa por lo que, si es así, no pasará al siguiente estado. En caso contrario, esta entrará en estado listo (Maritime Protection Norway, 2018).

Estado 1

El autómatas se encontrará en este estado siempre que la planta se encuentre lista y un operario se disponga a ponerla en marcha pulsando el ícono que se encuentra en el HMI (Maritime Protection Norway, 2018).

Estado 2-4

En este punto, la planta empieza arrancando el compresor seleccionado en el HMI para realizar el proceso. Cuando se detecta presión, el calentador arranca hasta que el aire alcance la temperatura de consigna. Cuando la planta se encuentra en este punto, inicia la purga de los filtros de manera automática. En este momento la planta pasa de estado (Maritime Protection Norway, 2018).

Estado 5

Este estado también se conoce como Standby, En él ya el compresor empieza a derivar aire del bypass a las membranas y de estas a las purgas hasta que el nivel de oxígeno disuelto tras pasar por las membranas empiece a estar dentro del rango aceptado. En este punto, la planta seguirá mandando nitrógeno a la atmósfera, por lo que el operador deberá indicar en las opciones que el suministro pase a la línea de cubierta (Maritime Protection Norway, 2018).

Estado 6

En el transcurso del proceso el Autómata retroalimenta la señal de presión del suministro de gas inerte que va hacia la línea de cubierta, por lo que esta va regulando el caudal de gas suministrado en función de esta. En el caso de que se precise dejar de mandar suministro de gas a cubierta, la planta vuelve al estado 5 mandando el nitrógeno a purgas y cerrando las válvulas neumáticas del colector de cubierta (Maritime Protection Norway.2018).

Estado 7

En este estado, el operador pulsaría el botón de “Parar el sistema”, con lo que este pasaría a derivar el aire al bypass antes de ir a membranas y detendría el calentador. Mientras el temporizador de enfriamiento del calentador realiza la cuenta atrás, la planta mantiene suministro de aire hasta que se garantice que los elementos del calentador se enfrían

correctamente. Acto seguido, la planta se detendría completamente para ponerse en estado 1 nuevamente hasta que se precise volverla a arrancar nuevamente (Maritime Protection Norway, 2018).

5.5. Sistema de control

Esta planta dispone de un PLC con interfaz táctil para supervisar e interactuar por parte del operario a cargo de la misma. La Interfaz o HMI suele utilizarse para operar e sistema de manera local o remota al disponer de tres distintos a lo largo del buque. Desde esta se puede iniciar y detener el sistema, además de hacer un seguimiento continuo de los parámetros relevantes que permiten un correcto funcionamiento de los equipos. Se pueden encontrar tres de estas pantallas permitiendo controlar la planta desde el puente de gobierno, el control de la sala de máquinas y por último en la planta en sí (Maritime Protection Norway, 2018).

La distribución del HMI se hace siguiendo una serie de vistas a las que se puede acceder mediante una barra dispuesta en la parte baja del display. En esta barra se distinguen los títulos “System Start/Stop”, “Delivery options”, “Valve test”, “Main deck line valves” y “Switchboard control”, a parte, e pueden encontrar un botón para acceder al historial de alarmas, uno de apagado de alarma sonora y otro de aceptación de alarma.

Este equipo está preparado funcionar automáticamente sin tener la necesidad de modificar parámetros desde el momento en el que se hace la puesta en marcha y en el caso de necesitar alguno de esta modificación, deberá realizarse por personal propio de la empresa Maritime Protection que es el fabricante de la planta. Con lo cual se tratarán aquellas vistas relativas a la operativa por parte del personal de a bordo.

La vista principal llamada Switchboard sirve principalmente para la conexión de los seccionadores, para dar alimentación en caso de ser necesaria la utilización de la hélice de proa o la planta de gas inerte según se precise. Desde esta pantalla se puede también arrancar de manera remota las dos bombas de agua salada para la refrigeración de los compresores. Y también se puede dar alimentación al ventilador principal del castillo de proa y al auxiliar. Por último, en esta vista se puede observar si tienen alimentación los compresores, el cuadro principal y las bombas de agua salada de refrigeración que surte a los compresores. A demás se puede ver si se encuentran armadas las paradas de emergencia de los ventiladores del castillo de proa, de los compresores y de los cuadros de alimentación principal y del autómatas.

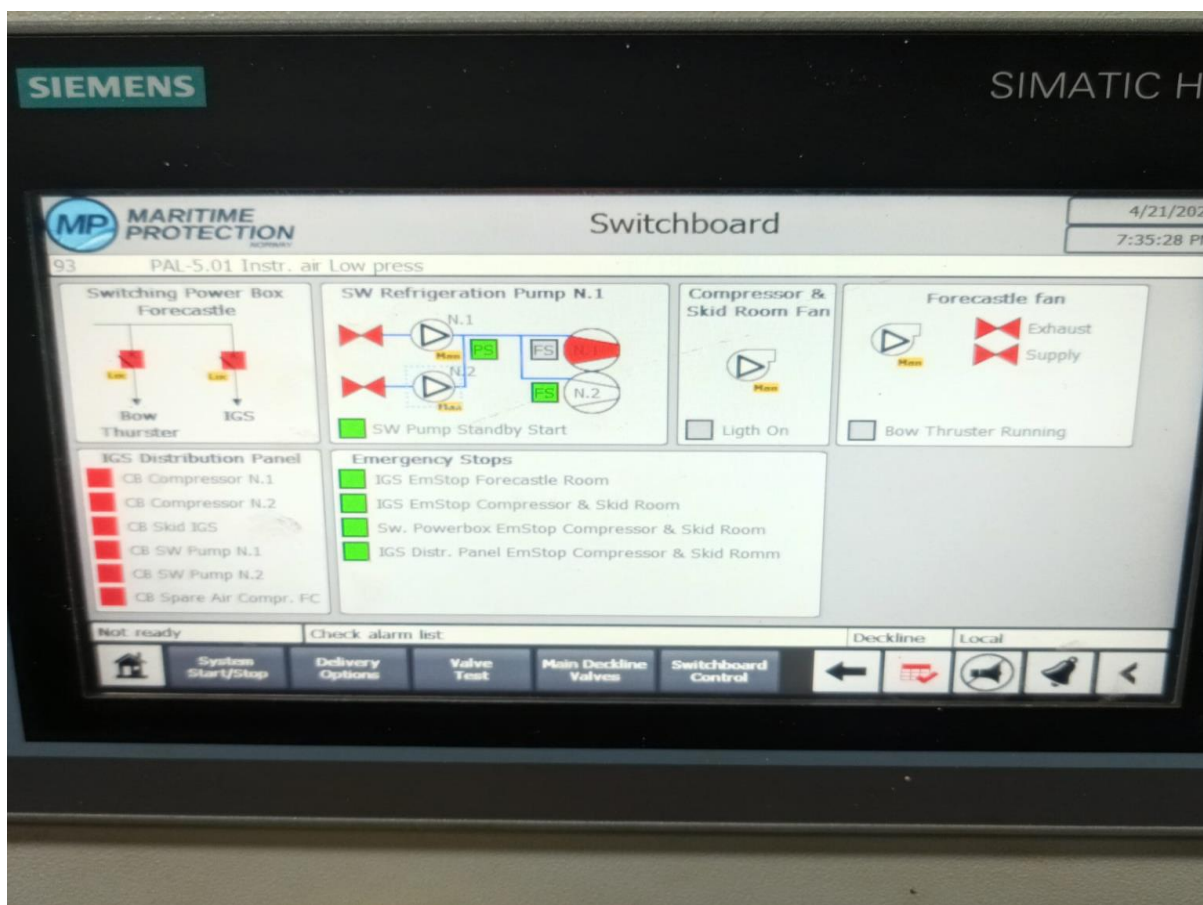


Figura 37. Switchboard control, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.

La siguiente vista más utilizada es la del process N2, a la cual se accede pulsando el ícono de la casa a la esquina inferior izquierda del display. En esta se puede ver un esquema de las partes de la planta con indicación de apertura o cierre de las diferentes válvulas neumáticas involucradas en el proceso, además de una serie de cuadros de telemetría entre los que destacan el compresor seleccionado en el proceso, la temperatura de entrada de aire a los filtros, la presión de entrada y de salida a los mismos, temperatura de salida del calentador, porcentaje de carga del calentador, porcentaje de oxígeno a la salida de las membranas, caudal de gas inerte, porcentaje de apertura de la válvula reguladora de caudal, presión entregada a la botella de almacenamiento, y presión entregada a la línea de cubierta. En esta vista se puede seleccionar el compresor que se va a poner en marcha pulsando directamente sobre los iconos que señalizan a estos en el esquema.



Figura 38. Process N2, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.

Desde la barra de la parte baja del display se puede acceder a otra panel biew conocida como “Main deck line”, el cual consta de un esquema de válvulas de cubierta para poder saber las válvulas que se encuentran abiertas o cerradas a lo largo de la línea que distribuye el gas inerte hacia los tanques de carga.

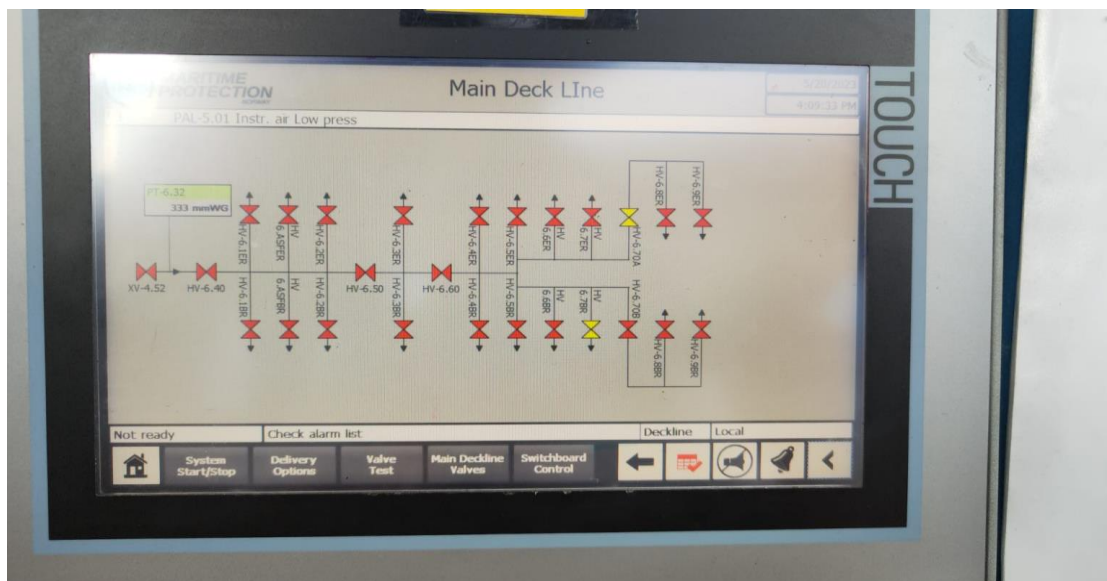


Figura 39. Main deck line, vista de la HMI. Fuente: Trabajo de campo.

En el icono de Delivery options se puede controlar la demanda de gas inerte en dos modos predeterminados. Hay que recordar, que la planta está preparada para funcionar en modos predeterminados automáticamente según se requiera. Primeramente, se establece el modo “Delivery to ATM” en el cual la planta de gas inerte estaría produciendo gas inerte a régimen normal, pero enviándolo a la atmósfera antes de ser enviado a los tanques de carga, por ejemplo, este modo se utilizaría en el caso de tener que ir alineando tanques progresivamente a medida que se realizan operaciones en los mismos.

En el modo “Delivery to deckline” se enviaría gas inerte a lo largo de la línea de cubierta para surtir a los tanques de carga, con lo cual se cerrarían las purgas y se abrirían las válvulas neumáticas del colector de cubierta.

En el tercer modo, “Select tank”, la planta no mandaría el nitrógeno para ninguno de los puntos anteriores, sino que lo haría hacia la botella de almacenaje de gas inerte en caso de que sea oportuno.

5.6. Operativa de la planta de gas inerte

El siguiente apartado se tratará desde la perspectiva de un oficial de máquinas que tenga que poner en servicio la planta de gas inerte para que el departamento de cubierta pueda realizar operaciones de inertizado.

Se deberá tener en cuenta en la puesta en marcha de la planta, el tipo de operación que se va a llevar a cabo, la cantidad de gas inerte que se va a tener que producir. Hay que recordar que en esta planta no es necesario el arranque de los compresores en paralelo, pues estos están tarados a una potencia de suministro específica. Esto quiere decir que el caudal que puede dar el compresor A con respecto al B es del doble de aire hacia las membranas o incluso si el buque está realizando operaciones en puerto o en navegación.

1.-Alimentación eléctrica

La demanda energética no va a ser la misma, por los reglajes a los que han sido sometidos los compresores, así que en primer lugar se deberá preparar la planta eléctrica para el arranque. Otro aspecto a tener en cuenta si el buque se encuentra en navegación o en puerto. En tal caso, si se precisa seleccionar el compresor A en navegación se deberá poner la planta en semi automático para que esta no detecte como alarmas el cambio de grupos y se procederá a arrancar un motor auxiliar para que acople a barras dejando el generador de cola libre para poder abrir el conmutador del contacto a barras y dar así dar alimentación directa al circuito de la hélice de proa donde se dará alimentación a la planta de gas inerte en su defecto. Por otra parte, si el buque se encuentra en puerto y al prescindir por

lo tanto del generador de cola se deberán de arrancar los tres generadores auxiliares para seguidamente subir el seccionador directo de barras.

En el caso de que se deba arrancar el compresor B, la forma de proceder será, en caso de estar en navegación la del cierre del conmutador directo de barras al circuito de la hélice de proa en caso de estar en navegación y en el caso contrario bastaría con arrancar dos motores auxiliares para surtir la planta.

2.- Puesta en marcha

Una vez alimentada correctamente se deberá cerrar el botón IGS en el HMI del control de la máquina. Tras esto, el operario deberá ir a cubierta y cerciorarse de que están abiertas las ventilaciones del castillo de proa y que el sello de cubierta tiene nivel de agua, en caso contrario, este deberá ser llenado hasta un nivel aceptable.

El siguiente aspecto que deberá tener en cuenta el operario será el alineado de las válvulas que tiene el circuito de refrigeración de los compresores, dependiendo el compresor que vaya a dar suministro. Acto seguido se deberá dar alimentación en el cuadro auxiliar a los dos interruptores del cuadro de control de la planta y al compresor necesario.

Lo siguiente será purgar la botella del compresor de aire de pilotaje y abrir las llaves del purgador del compresor que se vaya a poner en marcha y cerrando las del otro. Acto seguido se abrirán también las válvulas de purga de los purgadores de los filtros de la planta y del calentador de esta y se resetearan dejando pulsado el botón que se encuentra sobre ellos haciendo parpadear la luz verde que incorporan.

El siguiente paso será poner en marcha una de las bombas de agua salada y comprobar que la presión es de 4 bar en el manómetro de la línea. EN caso de no ser así se deberá limpiar la caja de mar de la que se alimentan estas bombas. Si se precisa de manera urgente el uso de la planta y no se pueda intervenir de la manera citada anteriormente, se podrá abrir el bypass de la bomba contra incendios de proa pudiendo surtir la línea.

En este punto se deberán resetear las alarmas que pueda tener el panel biew, se seleccionará el compresor que vaya a arrancar y se pulsará el botón de arranque.

En cuanto el compresor comience a dar presión de aire se deberán cerrar las válvulas de los purgadores automáticos y la de la purga del calentador y ya por último se observará como se cierra la válvula neumática del bypass dando paso de aire a las membranas. Entonces en la pantalla se verá como el nivel de oxígeno empieza a bajar gradualmente, quedando la planta en standby a espera que el personal de cubierta requiera de su utilización.

Para tener todos estos aspectos en cuenta en la puesta en marcha, se ha creado un diagrama de flujo con el fin de que el operario pueda ver los pasos que tiene que seguir de manera más visual. (Véase: "Anexo II Diagrama de flujo").

6. Conclusiones

6. Conclusiones

Desde el preciso instante en el que se procede a la realización de este trabajo, se parte con la premisa de enfocar una serie de objetivos principales sobre los cuales se plasma la idea del presente Trabajo Final de Grado, destacando entre estos objetivos los que se exponen a continuación:

Se ha concluido de manera satisfactoria con el estudio de los diferentes componentes y procesos que influyen directamente en la Inertización del B/T Mencey.

Se ha llevado a cabo un estudio con el objetivo de exponer de manera ilustrativa el funcionamiento de la planta de gas inerte del B/T Mencey.

También se ha tenido en cuenta aquellos sistemas por los cuales se puede controlar el proceso de inertización con esta planta de nitrógeno.

Por último, se ha llegado a la comprensión total del funcionamiento y lógica por la cual se rige el funcionamiento de dicha planta de Inertización, concluyendo así con aquellas competencias que se precisaban oportunas a la hora de abordar la investigación sintetizada en el Siguiente Trabajo Final de Carrera.

A la hora de abordar la temática de este trabajo, se ha seguido una línea muy secuencial puesto que el equipo en cuestión me resulta muy familiar al haberlo operado en repetidas ocasiones llevando a cabo incluso pequeños mantenimientos en el mismo. Como podían ser el cambio de los filtros de partículas, aceite, limpieza de enfriadores, reparación de válvulas en el circuito de refrigeración. Trabajos que cabe destacar fueron supervisados por los oficiales que me instruyeron a lo largo de mis prácticas en el buque.

Desde el primer momento, elegí esta temática al resultarme un sistema novedoso del cual desconocía su existencia. Me pareció una gran alternativa a lo que es la planta de gas inerte de gases producto de la combustión tal y como me la enseñaron en el grado. Cabe destacar que quizás esta planta no genere el caudal de gases óptimo para un régimen de descarga de un super petrolero, pero parece muy ventajosa en pequeños buques con las características que se citan en este trabajo, simplificando las tareas de mantenimiento de los equipos involucrados en la inertización para el personal de a bordo haciendo mucho más simple el tratamiento del aire al prescindir casi en su totalidad de tratamiento alguno una vez pasado por las membranas.

7. Bibliografía

7. Bibliografía

-DM Petrogas. (s.f.). *Distribuidora Marítima. Petrogas - Distribuidora Marítima*. Recuperado 29 de mayo de 2023, de <https://www.petrogas.es/flota/Mencey.aspx>

-Louzán Lago, F. (2020). *Manual de buques petroleros* (1ª ed.). Ediciones Cartamar.

-García Soutullo, R. (s.f.). *Sistema de Gas Inerte a Bordo*. ingenieromarino. Recuperado mar 7, 2023, de <https://ingenieromarino.com/sistema-de-gas-inerte-a-bordo/>

-Solares Sampedro, A. (2018, jul). *sistema de gas inerte buque Toledo Spirit*. Retrieved mar 15, 2023, de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48002/TFM_Arturo%20SolaresSampedro.pdf?sequence=3&isAllowed=y

-Mija, K. D. (2020, Octubre 15). *SISTEMA DE GAS INERTE DE UN BUQUE PETROLERO - Comunidad Marítima Internacional*. Marine and Naval Engineering. Recuperado abr 31, 2023, de <https://marineandnavalengineering.com/articulos/sistema-gas-interte-buque/>

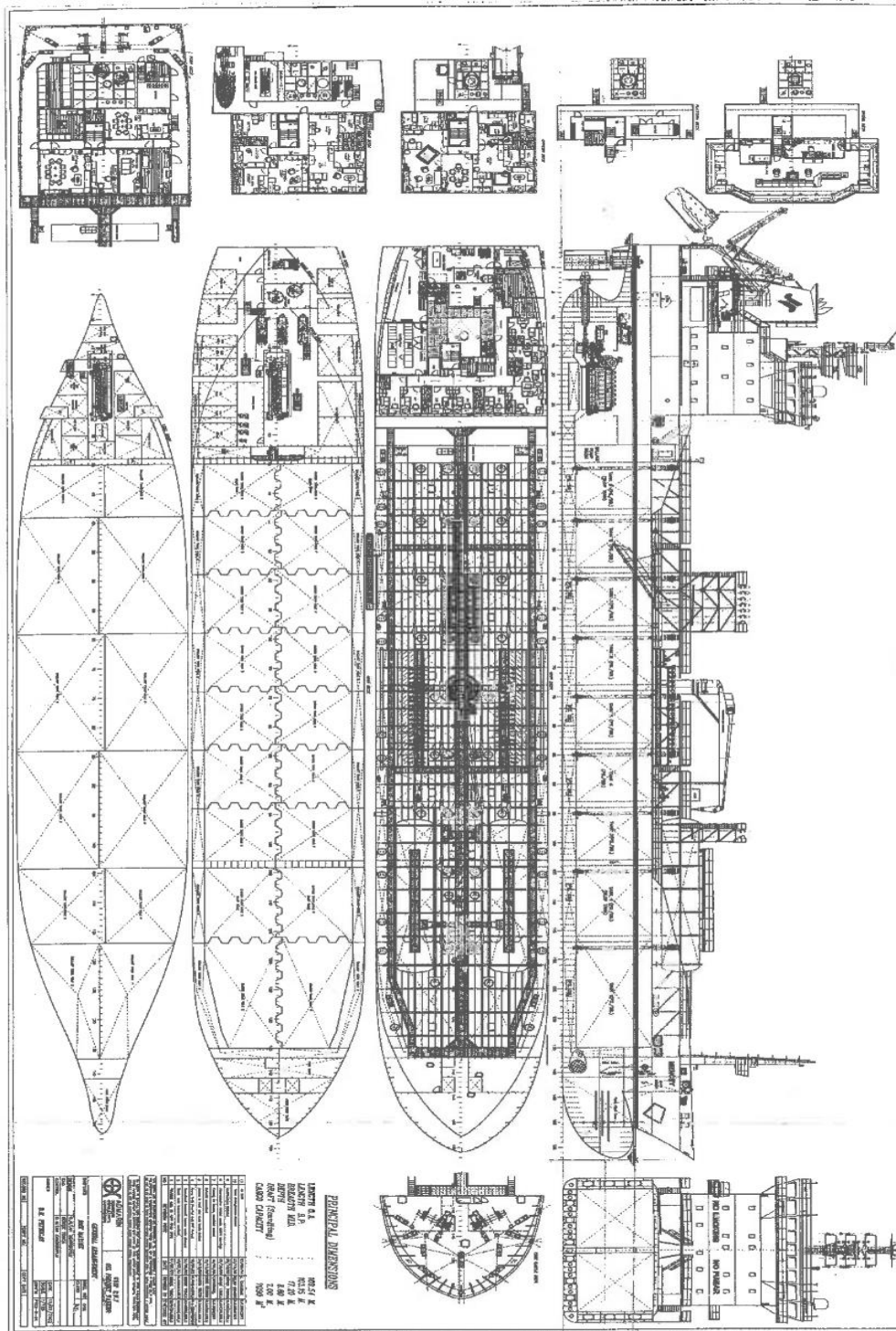
-FORTUNY, P. (2020, July 15). *PROCEDIMIENTOS PARA OPERACIONES CON CARGAS LÍQUIDAS REFINADAS EN B/T DE PRODUCTOS “CASTILLO DE TRUJILLO”*. RIULL Principal. Recuperado abr 31, 2023, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20677/PROCEDIMIENTOS%20PARA%20OPERACIONES%20CON%20CARGAS%20LIQUIDAS%20REFINADAS%20EN%20BT%20DE%20PRODUCTOS%20C2%BFCASTILLO%20DE%20TRUJILLO%20C2%BF.pdf?sequence=1>

-Segura Casals, R. (2020, nov). *Simulación de la operación y mantenimiento de los sistemas auxiliares de un buque petrolero*. UPCommons. Recuperado abr 25, 2023, from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/332567/154188_Simulaci%C3%B3n%20de%20la%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20los%20sistemas%20auxiliares%20de%20un%20buque%20petrolero.pdf

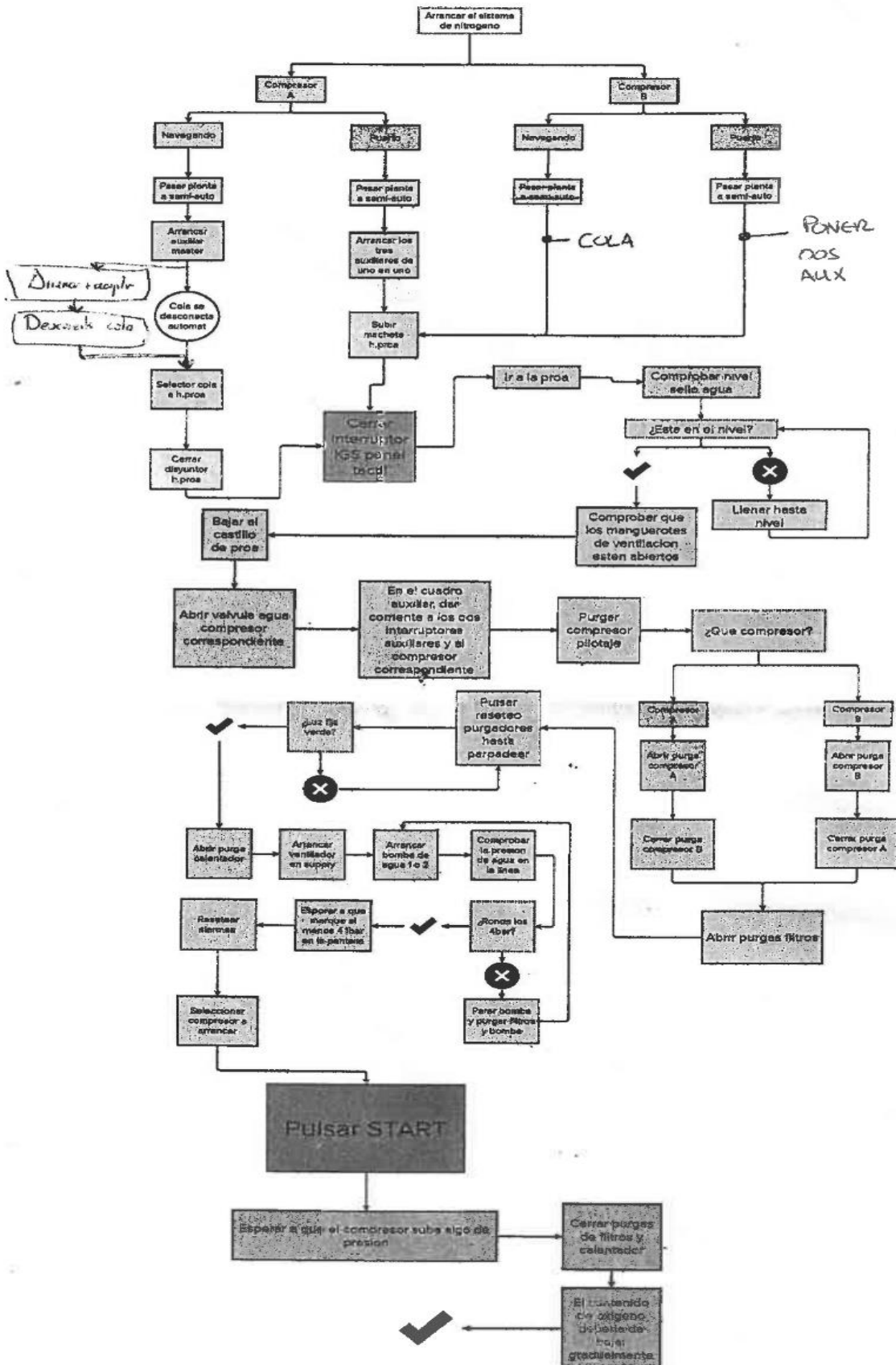
-Maritime Protection Norway. (2018). *Operating Manual. User Manual: DIMA Petrogas. Mencey. Maritime Protection Order Nº: 56031.*

8. Anexos

Anexo I. Plano con características del buque tanque Mencey Fuente: Manuales B/T Mencey



Anexo II. Diagrama de flujo para la puesta en marcha de la planta Fuente: SGI de DM Petrogás



Rev 001

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Carlos Adrián Espinosa Espinosa**, autor del trabajo final de Grado titulado **“Planta de gas inerte del buque tanque Mencey”**, y tutorizado por el/los profesor/es **María del Cristo Adrián de Ganzo**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación, manifiesta que **NO PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, sección náutica, máquinas y radioelectrónica naval del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación de este.